Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA

Vol. 15(1) 2016

Politechnika Lubelska
Lublin, 2016

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA

Vol. 15(1) 2016

Politechnika Lubelska
Lublin, 2016

Rada Naukowa

Tomasz Bajda (AGH Kraków)
Ivan Baláž (University of Economics in Bratislava)
Mykola Bevz (National University Lviv Polytechnic)
Grażyna Dąbrowska-Milewska (Politechnika Białostocka)
Wiesława Głodkowska (Politechnika Koszalińska)
Adam Goliger (The Council for Scientific and Industrial Research - CSIR)
Zbyněk Keršner (Brno University of Technology)
Halit Cenan Mertol (Atilim University)
Carlos M. Mozos (University of Castilla - La Mancha)
Adam Nadolny (Politechnika Poznańska)
Sandro Parrinello (Pavia University)
Stanislav Pospíšil (Institute of Theoretical and Applied Mechanics)
Wojciech Radomski (Politechnika Łódzka i Politechnika Warszawska)
Elżbieta Radziszewska-Zielina (Politechnika Krakowska)
Petro Rychkov (National University of Water Management and Nature Resources Use)
Shamsher Bahadur Singh (Birla Institute of Technology and Science)
Anna Sobotka (AGH Kraków)
Thomas Thiis (Norwegian University of Life Sciences)
Viktor Tur (Technical University of Brest)
Tim K.T. Tse (The Hong Kong University of Science and Technology)

Kolegium Redakcyjne

Redaktor naczelny: **Wojciech Franus**

Redaktorzy Tematyczni:

Stanisław Fic, Joanna Giecewicz, Anna Halicka, Piotr Jaśkowski, Wojciech Kosiński, Jan Kukiełka, Tomasz Lipecki, Marek Łagoda, Wojciech Piasta, Jadwiga Roguska, Małgorzata Rozbicka, Elżbieta Ryńska, Bogusław Szmygin, Maciej Trochonowicz, Magdalena Wdowin, Daniel Załuski

Sekretariat: Lidia Bandura

Adres redakcji:
Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: wb.bia@pollub.pl

Strona czasopisma:
http://wbia.pollub.pl/pl/o-wydziale/czasopismo-budownictwo-i-architektura

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej
Finansowana w ramach środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

© Copyright by Politechnika Lubelska 2016

ISSN 1899-0665

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej
Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej
ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin, email: wydawca@pollub.pl
Fundacja Rozwoju Politechniki Lubelskiej

SPIS TREŚCI
CONTENTS

Tomasz E. Burghardt, Anton Pashkevich, Lidia Żakowska:
Contribution of solvents from road marking paints to tropospheric ozone formation *7*

Przemysław Buczyński, Marek Iwański, Grzegorz Mazurek:
Wodoodporność recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym w aspekcie składu spoiwa drogowego
The water resistance of a recycled base with foamed bitumen in the aspect of road binder composition *19*

Paweł Piwnicki:
Inwestycje drogowe – wody w raportach o oddziaływaniu na środowisko
Road projects – waters in the reports on the environmental impact assessment *31*

Agata Dąbal, Marcin Łyszczarz:
Analizy LCA dla dróg i mostów jako narzędzie do szczegółowej i kompleksowej oceny oddziaływania na środowisko
LCA analyses for roads and bridges as a tool for detailed and comprehensive environmental impact assessment *41*

Sławomir Karaś, Maciej Kowal, Anna Leniak-Tomczyk:
Graffiti na mostach
Graffiti on bridges *51*

Petro Savchuk, Olesya Maksymovych, Vitaliy Knysh:
Durability of steel rail bridges as a part of environmental protection *61*

Maciej Kowal, Sławomir Karaś:
Przejścia dla zwierząt na odcinku S17 między węzłami „Kurów Zachód" a „Lublin Felin"
Animal transitions on the section of S17 expressway between junctions "Kurów West" and "Lublin Felin" *71*

Małgorzata Półtorak:
System odwodnienia dróg a prawna ochrona herpetofauny
The road drainage against the legal protection of herpetofauna *81*

Ibrahim Baran Karasin, Ercan Isik:
Protection of Ten-Eyed Bridge in Diyarbakır *87*

Jacek Szulej, Paweł Ogrodnik:
Określanie poziomu tłumienia drgań w mostach i kładkach dla pieszych
Determining the level of damping vibration in bridges and footbridges *95*

Artur Juszczyk, Adam Wysokowski:
Stalowe ruszty jako innowacyjne nawierzchnie dróg tymczasowych
Steel gratings as an innovative temporary roads pavement *105*

Jerzy Kukiełka, Marcin Dębiński:
Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE) modyfikowane miałem gumowym
Mineral-cement-emulsion mixtures (MCEM) modified with fine rubber *115*

Agnieszka Woszuk, Wojciech Franus:
Zastosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze zagęszczania z dodatkiem zeolitów w warunkach rzeczywistych
Use of mix asphalts with reduced compaction temperature and addition of zeolites in real conditions *123*

Magdalena Rogalska:
Dobór sprzętu budowlanego koparek i samochodów samowyładowczych w aspekcie minimalizacji emisyjności CO2 z wykorzystaniem metod prognostycznych
Selection of construction equipment – excavators and dump trucks in terms of minimizing he emission of CO2 by using forecasting methods *133*

Olga Skoczylas:
Przeobrażanie się przestrzeni miasta i osiedli związane ze zmianami stylu życia mieszkańców
Transformation of city space and housing estates associated with changes in lifestyle of inhabitants *143*

Grzegorz Antoniszyn:
Ekologiczne, estetyczne i ekonomiczne aspekty konstrukcji gruntowo-powłokowych na przykładzie przebudowy mostu drogowego w Żórawinie
Reconstruction of the road bridge in Żórawina as the example of ecological, aesthetic and economic values of soil-steel structures *149*

Wojciech Bańkowski, Dariusz Sybilski, Jan Król, Karol Kowalski, Piotr Radziszewski, Piotr Skorek:
Wykorzystanie destruktu asfaltowego – konieczność i innowacja
Use of reclaimed asphalt pavement – necessity and innovation *157*

Jan Wrana:
Estetyka rozwiązań mostowych Santiago Calatravy
Aesthetics of bridging solutions of Santiago Calatrava *169*

Jarosław Bęc, Michał Jukowski:
Analiza statyczna i modalna Mostu Solidarności w Płocku
Static and modalanalysis of Solidarity Bridge in Płock *177*

Sofya Matskevich, Sławomir Karaś:
Study of spatial development around the Lutoslawski bridge in Kalinowszczyzna, Lublin *191*

Wojciech Kocki, Bartłomiej Kwiatkowski:
Space Syntax w strukturze komunikacyjnej Lublina
Space Syntax in communication structure of Lublin *201*

Beata Klimek:

Wpływ oddziaływań środowiskowych na obiekty zabytkowe – na przykładzie mostku nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach
Environmental impacts on historical buildings – an example of the bridge over the former "Głęboka Droga" in Puławy *213*

Marek Motylewicz:

Skrzyżowania z wyspą centralną – przepustowość, warunki ruchu oraz wpływ na klimat akustyczny
Signalized roundabouts – capacity, traffic conditions and their influence on noise levels *223*

Anna Leniak-Tomczyk, Grażyna Łagoda:

Environment-friendly roads *235*

Wioleta Czarnecka:

Prędkość i jej wpływ na wypadki na drogach z udziałem zwierząt
Speed and its impact on road accidents involving animals *249*

Zbigniew Tabor, Janusz Bohatkiewicz:

Analizy i badania potrzeb oraz możliwości ochrony przed hałasem w otoczeniu dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego
Analyses and research of needs and possibilities of protection against noise in surrounding of provincial roads in Silesian Voivodship *259*

Joanna Bohatkiewicz, Janusz Bohatkiewicz:

Rozwój systemów projektowania i zarządzania w budownictwie drogowym – od Euklidesa i systemów CAD do eLBIM w terenach wrażliwych środowiskowo i społecznie
Development of design and management systems in road construction industry – from Euclid and CAD systems to eLBIM in the areas environmentally and socially sensitive *269*

Krzysztof Śledziewski:

Rola zasad estetycznych w procesie projektowania konstrukcji mostowych
The role of aesthetic principles in the designing process of bridge structures *281*

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 7-18

Contribution of solvents from road marking paints to tropospheric ozone formation

Tomasz E. Burghardt[1], Anton Pashkevich[2], Lidia Żakowska[2]

[1] M. Swarovski GmbH, Industriestrasse 10, 3300 Amstetten, Austria,
e-mail tomasz.burghardt@swarco.com
[2] Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mail apashkevich@pk.edu.pl, lzakowsk@pk.edu.pl

Abstract: Solventborne road marking paints are meaningful sources of Volatile Organic Compounds (VOCs), which under solar irradiation affect formation of tropospheric ozone, a significant pulmonary irritant and a key pollutant responsible for smog formation. Influence of particular VOCs on ground-level ozone formation potential, quantified in Maximum Incremental Reactivities (MIR), were used to calculate potential contribution of solvents from road marking paints used in Poland to tropospheric ozone formation.

Based on 2014 data, limited only to roads administered by General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA), emissions of VOCs from road marking paints in Poland were about 494 838 kg, which could lead to production of up to 1 003 187 kg of tropospheric ozone.

If aromatic-free solventborne paints based on ester solvents, such as are commonly used in Western Europe, were utilised, VOC emissions would not be lowered, but potentially formed ground-level ozone could be limited by 50-70%. Much better choice from the perspective of environmental protection would be the use of waterborne road marking paints like those mandated in Scandinavia – elimination of up to 82% of the emitted VOCs and up to 95% of the potentially formed tropospheric ozone could be achieved.

Keywords*:* road marking, waterborne paint, solventborne paint, tropospheric ozone, VOC, road safety, MIR, environmental protection.

1. Background

Horizontal road markings are essential safety feature on all modern roads. They are quite frequently in the centre of drivers' attention, providing information about the lateral positioning of the vehicle and give guidance during driving.

The markings in Poland are generally divided into two types: thick-layer (1 mm or thicker), comprising thermoplastic and coldplastic masses, and thin-layer (less than 1 mm) comprising various paints with a possibility of using coldsprayplastic as well. Coldplastics and thermoplastics shall not be covered in this analysis as they are considered solvent-free. Plural-component systems based on epoxy or urethane technologies, which can be either solventborne, water-dispersible, or solvent-free are not discussed, either. Properties of waterborne and solventborne paints and their application characteristics were described elsewhere [1].

Solventborne paints used for horizontal road markings are a meaningful source of VOC emissions, which are capable of increasing the level of tropospheric ozone. Herein, we estimated the amounts of VOCs emitted from road marking paints used in Poland and calculated potential of the ozone formation from these VOCs. To demonstrate alternatives,

the simulation was extended to include aromatic-free paints such as are at present used in Western Europe and waterborne paints, which are the only type permitted in Scandinavia.

A notable limitation of our work is that only paints used for marking of roads administered by GDDKiA were included – only about 19 000 km (out of ~250 000 km of the total public paved roads network) due to difficulty of obtaining data from a plenitude of sources. In our preceding work on this topic, we have concentrated on the city of Kraków and demonstrated that road marking paints contribute to air pollution in that ecological disaster area 18 254 kg of VOCs that could be adding up to 42 350 kg of tropospheric ozone [2].

The results of this analysis can be used by road administrators as an aid in selection of road marking materials that are environmentally-friendly. Simultaneously, paint formulators are being made aware that emissions of VOCs are not all equal.

1.1. Composition of road marking systems

Typical road marking paints consist of an organic polymeric resin (binder), inorganic pigments and fillers, a package of additives, and a blend of organic solvents (for waterborne paints – mostly water). Classes of their components, with particular attention paid to solvents, are discussed below.

1.1.1. Binders

Modern solventborne road marking paints are based on 100% acrylic binders. The binders are produced by polymerisation of monomers like methyl acrylate, methyl methacrylate, ethyl acrylate, butyl acrylate, and similar. The resulting polymeric material is a solid readily soluble in numerous organic solvents. Solventborne paints dry by simple evaporation of solvents, which leaves a film consisting of the pigments and dried binder.

Waterborne paints are also based on 100% acrylic binders forming their polymeric backbone. However, with the development of quick-set technology, the polymeric chains were modified to contain monomers with moieties capable of acid-base chemistry [3]. Additionally, binders for waterborne paints, which always are delivered in aqueous solutions, require a base to assure protonation of the acidic moieties and a surfactant to keep the polymer suspended.

Modern waterborne paints furnish surprisingly quick drying and their application does not require special equipment or knowledge, except normally expected differences associated with novel technology. A weakness of waterborne paints is washout resistance time, which occurs after drying: A sudden rain on freshly applied waterborne paint may dissolve it if the washout resistance time was not reached. Another weakness is slowing of drying at marginal application conditions combining low temperature and high humidity. Quick-set waterborne paints dry and cure due to simultaneous physical and chemical changes. They are typically more durable than comparable solventborne paints, as we have measured and recently reported [2].

1.1.2. Pigments and fillers

All white paints contain titanium dioxide. Even in yellow or blue paints, small amount of titanium dioxide is included to give clean shades. Production of titanium dioxide is quite complex. Titanium dioxide can be produced by chlorine or by sulphate process; comparison of cradle-to-grave Life Cycle Assessment (LCA) for these processes demonstrated that either one is very harmful for the environment, albeit in different aspects [4]. Indeed, an LCA of road marking materials has shown that titanium dioxide, despite its quite low content, is the third major environmental impactor, lesser only than the impacts caused by the production of binder and glass beads [5]. Surface treatment of titanium dioxide typically

consists of inorganic and organic chemicals and can vary greatly between grades and manufacturers; it plays profound role in stability of waterborne road marking paints.

Amongst eight known titanium dioxide polymorphs, two are of importance: rutile and anatase. In paints, rutile is used, because it has higher refractive index: 2.7, as compared to only 2.5 for anatase. In titanium dioxide crystal structure, each titanium atom is surrounded by six oxygen atoms in octahedral arrangement with mostly regular structure. In more closely packed rutile structure, the octahedra are turned through 90° with a twist of 45° from one layer to the next. In anatase, the twists are missing, which negatively influences packing and was reported to reduce the refractive index. Anatase is occasionally added to paints to improve their durability and lower raw materials expense.

Of course, to prepare colours other than white, appropriate organic pigments are used. In some cases, a small amount of inorganic colour pigments like iron oxide is also added to achieve the desired paint properties.

Majority of the volume of paint is calcium carbonate – readily available harmless inexpensive filler. Some paints, especially those designed for special purposes, can also contain other fillers. Paints ought to be devoid of any pigments or fillers containing chromium, lead, or other heavy metals.

1.1.3. Additives

Amongst other raw materials for paint production, there is a plethora of additives, which are necessary to assure paint processing and stability. Appropriate selection of additives plays the most profound role in all paints and is quite frequently the major differentiator between equivalent formulations from different manufacturers.

Amongst additives, dispersants, most of the time based on functionalised acrylates, play critical role not only in proper dispersing of pigment particles, but also in preventing their flocculation and settling.

In-can stability is achieved by the use of thickeners and anti-settling additives, which prevent separation of pigment particles from the binder and their precipitation. Organic and inorganic, naturally-derived and engineered compounds are available and suitable.

Defoamers are used to release any air bubbles formed during paint processing and application. For road marking paints, it is critical that the defoamers remain compatible with glass beads, which meaningfully limits their selection.

Plasticisers that assure appropriate flexibility of the dried film are frequently added as some paints might be too brittle to withstand impact caused by tyres and snow ploughs. It is important that phthalate-free plasticisers are utilised, because of environmental and health concerns.

For waterborne paints, one additionally can use biocides, surfactants, wetting agents, grinding aids, and other materials. However, the most important is coalescent: With the current technology, it is not possible to prepare a successful waterborne paint without a coalescent or an alternate molecule that acts as such. Coalescents are small molecules that "bring together" drying polymeric chains and thus furnish smooth crack-free surface.

1.1.4. Solvents

Solvents are necessary to make the paint liquid. Amongst the numerous available materials, paint manufacturers select only a few that show the desired properties, like speed of evaporation, capability of penetration of the surface cracks to improve durability and adhesion of the paint, and price. Selected properties of solvents commonly used in road marking paints are given in Table 1 and their chemical structures are provided in Fig. 1. Solubility parameters describing a sphere of solubility, based on like-dissolves-like principle, were

developed by Hansen and bear his name [6]. The sphere can be used to predict solubility of different materials – in case of road marking paints such information is needed to properly dissolve the binder and simultaneously to prepare paints with good adhesion to bituminous and concrete surfaces.

Toluene is a commonly used aromatic solvent; its moderate evaporation rate is advantageous in prevention of forming skin and essentially uniform dry-through of the forming film. Toluene has very high dispersion forces solubility parameter (δd), which along with low polarity (δp) and low hydrogen bonding capability (δH) gives it the capability of penetrating surface cracks and even dissolving some of typical oily contaminations present on road surface. Hence, the use of toluene is favoured by the paint formulators and applicators. However, toluene is quite harmful for the environment and as such it is effectively banned in Western Europe. In Poland, its amount is limited to 8% of the total road marking paint formulation [7]. Toluene is not a carcinogen [8], but it is classified as reproductive toxicant and targets organs like kidneys, liver, and the central nervous system. Due to its solubility in lipids, absorption through dermal exposure is as likely as inhalation and equally harmful. A recent field assessment of road marking crews' exposure to toluene has shown that the permissible concentrations were not exceeded [9].

Other common solvents, either esters or ketones, generally are somewhat more polar and are capable of better forming hydrogen bonding. Hence, while their capability of dissolving acrylic resin is not affected, they are somewhat less likely to penetrate surface cracks and adhere to oily asphalt. Their evaporation rates depend on the carbon chain length and functionality, so selection of appropriate blends to achieve paint dry-through without skin formation is quite easy. Generally, ester solvents are considered in the industry as better, due to their lower toxicity and good affinity for resins.

Acetone, with an exceptionally high evaporation rate and high solubility parameters is barely suitable for road marking paints, because excessively fast drying of the paint would prevent good adhesion, particularly when road surface temperatures are high. However, acetone has miniscule toxicity and its ozone formation potential is so low that it is considered in the United States an 'exempt solvent', not counted as VOC [10].

Table 1. Properties of selected solvents commonly used for road marking paints

Name	Density [g/cm³]	Evaporation rate[(a)]	Boiling point [°C]	Hansen solubility parameters[(b)]		
				δd	δp	δH
Toluene	0.87	200	110	18.0	1.4	1.4
1-methoxypropan-2-yl acetate	0.97	33	146	15.6	5.6	9.8
Butyl acetate	0.88	100	126	15.8	3.7	6.3
Methyl isobutyl ketone	0.80	166	116	15.3	6.1	4.1
Methyl ethyl ketone	0.81	390	80	16.0	9.0	5.1
Acetone	0.79	560	56	15.5	10.4	7.0

(a) Relative to *n*-butyl acetate, assumed as 100. (b) Hansen solubility parameters are given in the units of $MPa^{1/2}$: δd denotes dispersive forced, δp – dipolar intermolecular forces, and δH – hydrogen bonding.

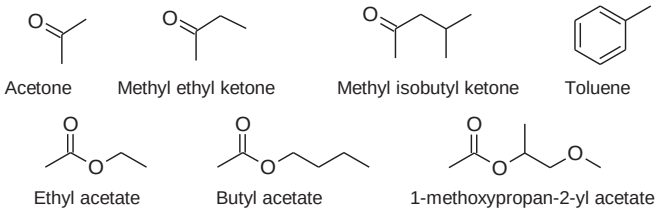


Fig. 1. Chemical structures of common solvents

Properties of volatiles present in waterborne road marking paints are given in Table 2: water is the main solvent. Water, with its slow evaporation, would normally translate to very slowly drying paints; fortuitously, modern waterborne paints employ another drying and curing mechanism, which permits for their exceptionally quick drying [3]. The same mechanism allows for application of films reaching even 1200 μm without unacceptable slowing of drying [1].

Amongst the volatiles, one must list ammonium hydroxide, which is the base necessary to keep the paints stable before application, decomposes to ammonia, which quickly evaporates upon application, causing drop in pH and thus paint drying and curing. Ammonia is an irritant, so several commercial ammonia-free binders have been devised; unfortunately, these binders do not permit yet to achieve the desired quick drying of applied road marking. A small amount of ethyl alcohol is added to the paint as a processing aid and also to augment freeze-thaw stability.

Another volatile, albeit evaporating extremely slowly, is Texanol®, a C12 hydroxyesters mixture that acts as coalescent. Chemical structure of Texanol® is provided in Fig. 2; the ratio of the two esters is not disclosed by either the original manufacturer (Eastman Chemical, of Kingsport, Tennessee, U. S. A.) or numerous makers of generics.

Table 2. Properties of volatile materials used for waterborne road marking paints

Name	Density [g/cm³]	Evaporation rate[(a)]	Boiling point [°C]	Hansen solubility parameters[(b)]		
				δd	δp	δH
Ammonium hydroxide	0.73	n/a	37	n/a	n/a	n/a
Ethanol	0.79	165	78	15.8	8.8	19.4
Texanol®	0.95	0.002	255	7.4	3.0	4.8
Water	1.00	30	100	7.6	7.8	20.7

(a) Relative to *n*-butyl acetate, assumed as 100. (b) Hansen solubility parameters are given in the units of $MPa^{1/2}$: δd denotes dispersive forced, δp – dipolar intermolecular forces, and δH – hydrogen bonding.

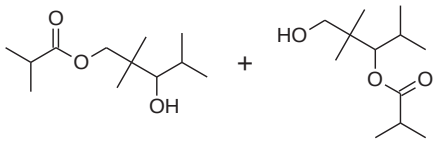


Fig. 2. Chemical structure of Texanol®

1.1.5. Glass beads

Glass beads are used as reflective elements and are inalienable component of road marking systems. Beads of various refractive indices and sizes ranging in diameter from about 100 μm to 2 mm are commonly used. Incorporation of anti-skid particles in glass beads packages assures proper skid resistance, necessary for safety during wet conditions.

The selection of glass beads is critical to achieve the optimum performance of the applied systems as they not only provide retroreflectivity, but also protect the paints from abrasion caused by the vehicular traffic. Appropriate embedment of glass beads is necessary to achieve retroreflectivity [11], so the application crews must adjust the beads flow to obtain the best results. Mismatch between glass surface coating and the road marking paint can lead to significant lowering of beads-paint adhesion, causing premature failures.

High-performance glass beads can furnish very high retroreflection, which can exceed 1000 mcd/m²/lx while the required initial minimum is only 200 mcd/m²/lx. Numerous reports demonstrate positive impression from people who drive on roads with high retrore-

flectivity of the horizontal markings [12][13], even though some reports show no direct correlation between retroreflectivity and road safety [14]. Definitely, elderly drivers benefits from higher retroreflection [15]. It is also very likely that the improved aesthetics associated with clear and well-marked roads would lead to increased safety [16][17].

1.2. Tropospheric ozone

Ozone, a tri-molecular allotrope of oxygen, is naturally occurring and forms in the atmosphere during lightning. Majority of ozone is found in the lower stratosphere, where it plays critical role in absorption of ultraviolet rays and thus protection of life on Earth. However, ozone is also present in the troposphere. Some of it is a result of natural atmospheric mixing, but majority has been reported to be formed as a result of photolytic decomposition of nitrogen oxide (NO_2), according to a general scheme shown in eq. 1 [18].

(Step)	Reaction	Reaction rate
(1)	$NO_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O\bullet$	k_1
(2)	$O\bullet + O_2 \longrightarrow O_3$	k_2
(3)	$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$	k_3

(1)

In eq. 1, steps (1) and (2) lead to ozone generation, while step (3) accounts for ozone depletion. Hence, equilibrium shown in eq. 2 forms.

$$[O_3] = \frac{[NO_2]k_1}{[NO]k_3} \tag{2}$$

Ozone is one of the key components of smog. It is a severe respiratory system irritant; its negative effects on human health are well-documented [19] and numerous premature deaths are attributed to its presence at the ground level [20]. Concerning is the fact that higher concentration of ozone in cities lead to prolonged and repeated exposure of people who are already exposed to a plethora of other pollutants, which might exaggerate its harmfulness. Even though Poland does not suffer from tropospheric ozone pollution as extreme as, for example, Northern Italy, the concentrations are still sufficiently high to cause damage to certain sensitive plants [21].

1.3. Maximum Incremental Reactivity (MIR)

All of the VOCs undergo decomposition in the atmosphere *via* photolytic pathways, as was first reported by Leighton [22]. Elucidation of the mechanism and confirmation that the VOCs affect the equilibrium shown in eq. 2 was done by Crutzen [23]. Laboratory experiments and theoretical calculations have demonstrated very significant differences between ozone formation that could be attributed to various VOCs, as was reported by Carter and Atkinson [24]. The differences are caused by chemical moieties formed during decomposition, which in can be re-introduced times into the ozone formation reactions.

VOC-influenced ozone formation depends on many factors, such as concentrations in the above-defined equilibrium, presence of other pollutants, temperature, irradiation level, etc. To quantify these effects, Carter defined maximum incremental reactivity as ”the amount of additional ozone formation resulting from the addition of a small amount of the compound to the system in which ozone is formed, divided by the amount of compound

added" and devised for California Air Quality Management District a straightforward protocol and a measurement scale [25]. The conditions used by Carter assume the worst-case scenario of high insolation (35° North) and unlimited NO_2 supply. The studies were later examined and confirmed by several researchers [26]; field measurements of pollution plumes further confirmed the theoretical and laboratory analyses [27]. Subsequent adjustments of the calculated and published MIR values were done as new data and methodologies became available [28], but the general trends remain in force.

2. Results and discussion

2.1. Methodology

The use of MIR, which are expressed in the unit of grams of potentially formed ozone per gram of VOC made the calculations very simple and straightforward [25]. MIR values published in California Code of Regulations, Title 17, Chapter 8, §94700 were used.

To perform the calculations, results from a query for public information to GDDKiA were analysed [29]. The response provided the surface area that was painted and in some cases also the specific paint: in 2014, 3 436 371 m² was marked. To obtain the mass amount, an assumption of a typical thin-layer application of 600 g/m² (400 μm) wet film was made, yielding paints consumption of 2 061 822 kg. Amongst other necessary assumptions, in cases where multi-year contracts were in force, the provided amounts were divided by the number of years to give an approximate annual usage. In some cases, where the specific paint was not listed, solvent composition being a weighted average of other paints was used.

The solvents compositions were taken from publically available Safety Data Sheets. To avoid providing excessive data details that would obscure the main point of our work, we have analysed the solvents compositions and combined them into two categories: toluene plus esters and toluene plus ketones. The solvent packages were idealised, because the Safety Data Sheets do not list exact compositions and chromatographic analyses for positive solvents identification was beyond the scope of our work.

2.2. Solvent compositions and emissions

Composition of the volatiles from these two paints categories and alternative paints are shown in Table 3. It should be noted that the compositions of solventborne paints are somewhat different as used for model paints in case of our paper concentrating on Kraków [2], because of the aforementioned approximation.

For our calculations, all of the paints were assumed to contain 24% of solvents, which upon application evaporate to become VOCs. In case of waterborne paint, the VOC were assumed to be 5%, with the remaining 19% being water. Considerations regarding VOC of the coalescent were discussed elsewhere [2].

In Table 4 are listed the data obtained from GDDKiA regarding the painted surfaces, which we broke down based on the paints composition [29]. Aromatic-free and waterborne paints were not listed amongst ordered by applicators. Total emitted VOCs and the calculated maximum amounts of formed tropospheric ozone based on the MIR are provided.

Table 3. Idealised composition of volatiles of the analysed paints and their MIR

Solvent	MIR	Toluene - ketones	Toluene - esters	Esters	Waterborne
Toluene	4.00	8.0%	8.0%		
Methyl isobutyl ketone	3.88	8.0%			
Methyl ethyl ketone	1.48	8.0%			
Butyl acetate	0.83		8.0%	12.0%	
Ethyl acetate	0.63		8.0%	8.0%	
1-methoxypropan-2-yl acetate	1.70			4.0%	
Texanol®	0.81				3.5%
Ethanol	1.53				0.5%
Ammonium hydroxide	0.00				1.0%
Water	0.00				19.0%

Table 4. Tender data from GDDKiA: solvents compositions and emissions

Solvents package:	Toluene - ketones	Toluene - esters
Marking area [m²]	547 985	2 888 386
Paint amount [kg]	328 791	1 733 032
Maximum ozone [kg] formed per 1 kg of paint	0.749	0.437
Maximum ozone [kg] formed per painted 1 m²	0.449	0.262
Total emitted VOC [kg]	78 910	415 928
Total potentially formed tropospheric ozone [kg]	246 199	756 988

As shown in Table 4, the amount of potentially produced ozone very significantly exceeds the emitted VOCs in all cases, mostly because of high MIR of toluene and methyl isobutyl ketone. The paints containing ketone solvents are meaningfully less environmentally friendly as compared to those where esters are used. Fortunately for our environment, the paints containing ketones appear to be less popular amongst applicators.

In case of paints that contain toluene and ketone solvents, up to 0.749 kg of ground-level ozone could be formed from each kilogram of paint applied (0.449 kg per 1 m² of painted surface). At annual use of 328 791 kg, 78 910 kg of VOCs are emitted to the atmosphere, which could lead to the formation of up to 246 199 kg of tropospheric ozone. With paints where esters are used along toluene, the ozone formation potential is lower, at 0.437 kg per 1 kg of paint (0.262 kg per 1 m² of marked surface). Therefore, the annual usage of 1 733 032 kg translates to VOC emissions of 415 928 kg and potentially up to 756 988 kg of tropospheric ozone produced.

Overall, from the annual thin-layer marking of roads administered by GDDKiA, approximately 494 838 kg of VOCs are emitted to the atmosphere, leading to potential formation of up to 1 003 187 kg of ozone.

The supply of NO_2 necessary for ozone formation is furnished directly at the road marking application sites by vehicular traffic – traffic jams caused by marking activities do increase the NO_2 availability. Measurements correlating vehicular traffic, nitrogen oxides concentration, and tropospheric ozone were reported over 20 years ago [30].

Insolation in Poland (50° North) is meaningfully lower as compared to the conditions used for obtaining MIR (35° North), which is a significant abating factor making the above maxima unlikely to be reached in our country. Furthermore, extreme temperatures are not frequent and meaningful part of road marking is done either after sunset or in autumn when the insolation is nil or marginal. However, one has to remember that even if the solvents do not decompose in the troposphere and not cause increased ozone formation, they migrate to stratosphere, where they cause more harm to the environment.

2.3. Environmentally-friendly alternatives

One of our goals was presenting readily available alternatives to the currently used systems. Hence, solvent packages of a toluene-free ester-based solventborne road marking paint and a waterborne paint were included in Table 3. We do not include a "0 VOC" paint according to the United States rules, because such paint, despite very low impact on the formation of tropospheric ozone [31], would be a poor alternative on our roads and could be prohibitively expensive.

In Table 5, we are providing results for the same volumes of paints that were ordered for road marking by GDDKiA, but assuming two readily available alternatives: Aromatic-free ester-based solventborne paint and a waterborne paint. The savings of our natural resources could be enormous, as visualised in Fig. 3, where various emissions scenarios are compared. Assuming that only ester solvents were used (without toluene or methyl isobutyl ketone), the amount of potentially formed ozone could be lowered by approximately 50-71%. Limiting the emissions of VOC by 82% and lowering potential of tropospheric ozone formation by 83-95% could be achieved if all thin-layer marking were done with a waterborne paint.

Table 5. Emissions from alternative paints

Solvents package:	Esters	Waterborne
Maximum ozone [kg] formed per 1 kg of paint	0.218	0.036
Maximum ozone [kg] formed per painted 1 m²	0.131	0.022
Total emitted VOC [kg] in case of full conversion	494 837	87 627
Total potential formed ozone [kg] in case of full conversion	449 447	74 226
Potential of lowering VOC emissions	0%	-82%
Potential for lowering tropospheric ozone formation	-50% – -71%	-83% – -95%

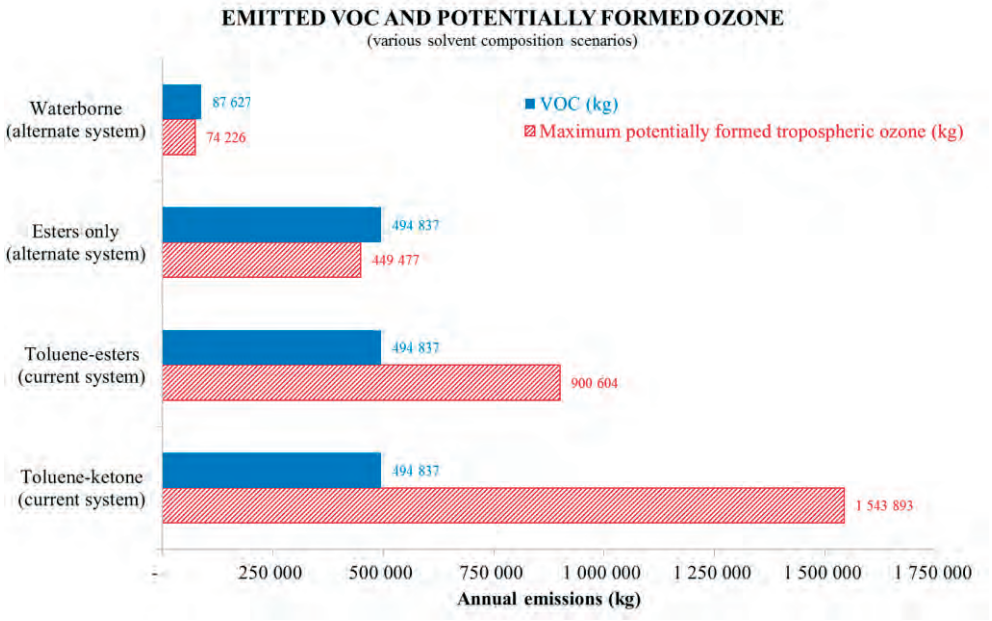


Fig. 3. Emissions scenarios with various solvent packages

3. Conclusions

This analysis of road marking paints used in Poland has demonstrated profound influence of their solvent packages on tropospheric ozone formation potential. The calculations have shown that 2 061 823 kg of paints used for thin-layer markings of roads administered by GDDKiA emit to the atmosphere 494 838 kg of VOCs capable of producing up to 1 003 187 kg of tropospheric ozone. While lowering the VOC emissions would require switch to a technology of waterborne paints, which is still a novelty in Poland, significant potential for tropospheric ozone formation could be achieved with simple adjustments of solvent blends within the existing technology. Solventborne paints with carefully selected solvents could lead to lowering of the potentially formed tropospheric ozone by about 50%. However, better choice would be the use of waterborne paints, which emit up to 79% VOCs less and their solvents have ozone formation potential lower by 83-95%.

The results provided herein do not include paints ordered by local road authorities. These amounts are significant, because local roads constitute about 90% of total paved roads in Poland. In fact, an environmental analysis report has estimated the use of solventborne road marking paints in Poland in 2006 at 21 308 000 kg, with expected significant growth [32].

In comparison with other anthropogenic emissions, such as vehicular or industrial, pollution caused by road marking paints is insignificant. However, every little effort that can help our environment should not be abandoned, especially if more sustainable alternatives are readily available.

We have provided in this work a tool to road administrators in selecting environmentally-friendly sustainable solutions and simultaneously gave information to paint formulators to select materials with least impact on the health of our planet.

References

1 Babić D., Burghardt TE., Babić D. Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. International Journal for Traffic and Transport Engineering 5 (2015) 150-169.
2 Burghardt TE., Pashkevich A., Żakowska L. Influence of Volatile Organic Compounds Emissions from Road Marking Paints on Ground-Level Ozone Formation. Case Study of Kraków, Poland. Transportation Research Procedia (2016) in press.
3 Clinnin DD., Heiber WG., Lewarchik RJ. Fast dry waterborne traffic marking paint. United States Patent 5,340,870.
4 Reck E., Richards M. Titanium dioxide - Manufacture, environment, and life cycle analysis: The tioxide experience. Surface Coatings International 80 (1997) 568-572.
5 Kheradmand H. Life Cycle Assessment. Road Marking Technologies Eco-Profile. Intertraffic, Amsterdam, 2012.
6 Hansen CM. The three dimensional solubility parameter and solvent diffusion coefficient. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press (1967).
7 IBDiM (Instytut Badawczy Dróg i Mostów / Road and Bridge Research Institute). Warunki Techniczne. Poziome znakowanie dróg. POD-2006. Seria „I" - Informacje, Instrukcje. Warszawa, 2007.
8 McMichael AJ. Carcinogenicity of benzene, toluene and xylene: epidemiological and experimental evidence. IARC Scientific Publication 85 (1988) 3-18.
9 Szpakowska-Kozikowska E., Mniszek W. Exposure assessment of workers during road surface marking. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach 1 (2014) 32-40.
10 Per United States Code of Federal Regulations, Chapter 40, §51.100(s).

11 Grosges T. Retro-reflection of glass beads for traffic road stripe paints. Optical Materials 30 (2008) 1549-1554.
12 Carnaby B. Poor road markings contribute to crash rates. Australasian Road Safety Research Policing Education Conference. Wellington, New Zealand, 2005.
13 Horberry T., Anderson J., Regan MA. The possible safety benefits of enhanced road markings: a driving simulator evaluation. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 9 (2006) 77-87.
14 Bahar G., Masliah M., Erwin T., Tan E., Hauer E. Pavement Marking Materials and Markers: Real-World Relationship Between Retroreflectivity and Safety Over Time. Contractor's Final Report for NCHRP Project 17-28 (2006).
15 Easa SM., Reed MJ., Russo F., Dabbour E., Mehmood A., Curtis K. Effect of increasing road light luminance on night driving performance of older adults. International Journal of Engineering and Applied Sciences 6 (2010) 41-48.
16 Żakowska L. Dynamic Road View Research for Road Safety and Aesthetics Evaluation. Journal for Geometry and Graphics 1 (1997) 51-57.
17 Żakowska L. The effect of environmental and design parameters on subjective road safety – a case study in Poland. Safety Science 19 (1995) 227-234.
18 Chameides W., Walker JC. A photochemical theory of tropospheric ozone. Journal of Geophysical Research 78 (1973) 8751-8760.
19 Lippmann, M. Health effects of tropospheric ozone. Environmental Science and Technology 25 (1991) 1954-1962.
20 OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development). OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction: The Key Findings on Health and Environment. Paris, 2012, http://www.oecd.org/environment/outlookto2050. Accessed 22.09.2015.
21 Godzik B. Ground level ozone concentrations in the Krakow region, southern Poland. Environmental Pollution 98 (1997) 273-280.
22 Leighton P. Photochemistry of air pollution. Academic Press, 1961, ISBN: 978-0124422506.
23 Crutzen PJ. Photochemical reactions initiated by and influencing ozone in unpolluted tropospheric air. Tellus 26 (1974) 47-57.
24 Carter WPL., Atkinson R. An experimental study of incremental hydrocarbon reactivity. Environmental Science and Technology 21 (1987) 670-679.
25 Carter WPL. Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds. Journal of Air and Waste Management Association 44 (1994) 881-899.
26 Martien PT., Harley RA., Milford JB., Russell AG. Evaluation of Incremental Reactivity and Its Uncertainty in Southern California. Environmental Science and Technology 37 (2003) 1598–1608.
27 Ryerson TB., et al. Effect of petrochemical industrial emissions of reactive alkenes and NOx on tropospheric ozone formation in Houston, Texas. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) 108 (2003) D8-1 – D8-24.
28 Carter WPL. Updated Maximum Incremental Reactivity Scale and Hydrocarbon Bin Reactivities for Regulatory Applications. California Air Resources Board Contract 07-339 (2009).
29 GDDKiA (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad / General Directorate for National Roads and Motorways), Warszawa. Authors' query through Public Information Bulletin, 2015.
30 Klösch H., Rairoux P., Weidauer D., Wolf J., Wöste L. Analysis of the tropospheric ozone dynamics by Lidar. Journal de Physique IV C4 (1994) 643-646.
31 Burghardt TE. Emissions aware. Intertraffic World (2016) 48.
32 Tebert C., Volz S., Müller W., Theloke J. Review of directive 2004/42/EC. Ökopol GmbH, Institute for Environmental Strategies, Hamburg, 2011.

Wkład rozpuszczalników z farb drogowych do tworzenia się ozonu troposferycznego

Tomasz E. Burghardt[1], Anton Pashkevich[2], Lidia Żakowska[2]

[1] M. Swarovski GmbH, Industriestrasse 10, 3300 Amstetten, Austria, e-mail tomasz.burghardt@swarco.com
[2] Krakow University of Technology, Warszawska 24, 31-155 Krakow, e-mail apashkevich@pk.edu.pl, lzakowsk@pk.edu.pl

Streszczenie: Rozpuszczalnikowe farby do poziomego znakowania dróg są znaczącym źródłem lotnych związków organicznych (*Volatile Organic Compounds*, VOC). VOC ulegając rozkładowi pod wpływem promieniowania słonecznego wpływają na powstawanie w troposferze ozonu, który jest związkiem chemicznym znacząco drażniącym system oddechowy i współodpowiedzialnym za powstawanie smogu. Wpływ poszczególnych VOC na tworzenie ozonu troposferycznego jest nierówny; wartości te zostały określone w maksymalnych przyrostowych reaktywnościach (*Maximum Incremental Reactivities*, MIR). MIR zostały użyte do obliczenia maksymalnego wpływu rozpuszczalników w farbach używanych w Polsce do znakowania dróg na tworzenie ozonu troposferycznego.

Na podstawie danych z roku 2014, ograniczających się jedynie do dróg zarządzanych przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), emisja VOC z farb używanych do znakowania dróg dotyczyła ilości około 494 838 kg, co mogło prowadzić do produkcji około 1 003 187 kg ozonu.

Jeżeli wykorzystywane byłyby farby bez rozpuszczalników aromatycznych, oparte na estrach, jak to ma miejsce w Europie Zachodniej, emisje VOC nie uległaby zmianie, ale potencjał formowania ozonu zostałby ograniczony o 50-70%. Jednakże, z punktu widzenia ochrony środowiska, najlepszym rozwiązaniem byłoby wykorzystywanie farb wodnych, wedle wymagań skandynawskich – wówczas możliwa byłaby eliminacja do 82% emitowanych VOC i ograniczenie do 95% powstałego ozonu troposferycznego.

Słowa kluczowe: znakowanie dróg, farby wodo-rozpuszczalne, farby rozpuszczalnikowe, ozon troposferyczny, VOC, bezpieczeństwo dróg, MIR, ochrona środowiska.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 19-29

Wodoodporność recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym w aspekcie składu spoiwa drogowego

Przemysław Buczyński, Marek Iwański, Grzegorz Mazurek

Katedra Inżynierii Komunikacyjnej, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska,
e–mail: p.buczynski@tu.kielce.pl , iwanski@tu.kielce.pl, gmazurek@tu.kielce.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono rezultaty badań recyklowanej podbudowy wykonanej w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym oraz spoiwem mieszanym. W badaniach szczególną uwagę zwrócono na jej wodoodporność. Indywidualne projektowanie składu spoiwa pozwala na precyzyjne dostosowanie jego oddziaływania do warunków terenowych oraz wymaganych parametrów recyklowanej podbudowy. Projekt recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym symulował proces recyklingu głębokiego na zimno. Zastosowane składniki mineralne tj. destrukt asfaltowy, kruszywo 0/31,5 mm oraz kruszywo doziarniające 0/4 stanowiły materiał odpadowy z istniejącej konstrukcji. W składzie recyklowanej podbudowy zastosowano spoiwa drogowe, które wytworzono w warunkach laboratoryjnych z wymieszania trzech bazowych składników. Udział procentowy poszczególnych spoiw drogowych określono zgodnych z planem eksperymentu sympleksowo-centroidowego. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono różnorodny wpływ analizowanych składników spoiw drogowych na właściwości mechaniczne oraz wodoodporność recyklowanej podbudowy. W oparciu o zastosowany plan eksperymentu możliwe było określenie składu spoiwa drogowego, które zapewni uzyskanie recyklowanej podbudowy odpornej na działanie wody.

Słowa kluczowe: spoiwa drogowe, recykling głęboki, asfalt spieniony, wapno hydratyzowane, cement portlandzki, pyły cementowe, podbudowa recyklowana.

1. Wprowadzenie

Możliwość zastosowania materiałów budowlanych podlega głównie ocenie ich trwałości. Wobec czego oznaczane są ich właściwości fizyczne oraz mechaniczne. Ponadto ocena trwałości materiałów budowlanych wymaga uwzględnienia oddziaływania warunków klimatycznych. Wielu badaczy skupia swoją uwagę nad rozpoznaniem konfiguracji udziałów procentowych składników mineralnych, których zastosowanie zapewni uzyskanie wymaganej trwałości [1, 2, 3, 5, 6]. Ze względu na lokalizację podbudowy drogowej w układzie warstwy konstrukcyjnych narażone są w większym stopniu na działanie wody niż oddziaływanie wody i mrozu. Wynika to z ich umiejscowienia w układzie warstw konstrukcyjnych [7] oraz zabezpieczenia przed przemarzaniem przez warstwy zalegające powyżej. Zależność taka wskazuje na konieczność oceny odporności na działanie wody recyklowanych podbudów z asfaltem spienionym. Zastosowania spoiw drogowych w składzie podbudów recyklowanych [8] oraz na brak rozpoznania tego zjawiska, wymusza trwałość podbudów w odniesieniu do tego czynnika. Zastosowanie tradycyjnego spoiwa w postaci cementu portlandzkiego w składzie recyklowanej podbudowie w aspekcie odporności na działanie wody zostało rozpoznane przez wielu badaczy [1, 4, 9, 15, 16]. Analiza wyników badań wykazała pozytywne jego oddziaływanie. Zróżnicowanie składu spoiw

drogowych wynikający z wprowadzenia w jego składzie np. popiołów lotnych oraz pyłów cementowych [10, 11, 12], może w odmiennym stopniu wpływać na właściwości recyklowanej podbudowy. Zarówno w zakresie właściwości fizyczno-mechaniczne oraz odporności na działanie wody.

W związku z powyższym niezbędne wydaje się określenie odporności na działanie wody recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym w aspekcie rodzaju składników spoiw drogowych.

2. Obiekt badań

Przedmiotem badań w aspekcie wpływu składników spoiwa na wodoodporność recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym jest zaprojektowana mieszanka mineralno-spoiwowa zgodnie z kryterium dobrego uziarnienia określonego w wytycznych [13, 14]. Próbki zagęszczono w formach Marshalla dla wilgotności optymalnej równej 5,3% w efekcie czego uzyskano maksymalną gęstość szkieletu mineralno-spoiwowego równą 2,227 Mg/m3. Wilgotność optymalną określono za pomocą metody Proctora wg PN-EN 13286-2. Do wytworzenia piany asfaltowej wykorzystano asfalt drogowy o przedziale penetracji 50/70 w ilości 3%. Natomiast spoiwo w recyklowanej podbudowie stanowiło 2,5% mieszanki mineralnej.

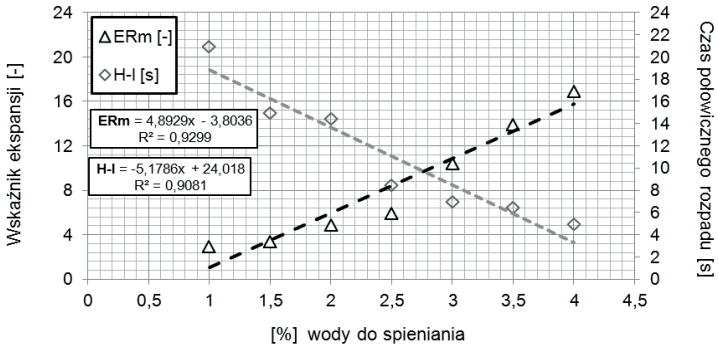
2.1. Projekt mieszanki mineralno-spoiwowej z asfaltem spienionym

Projekt recyklowanej mieszanki podbudowy obejmował zastosowanie materiałów mineralnych, których zestawienie pozwoliło na symulację procesu recyklingu głębokiego na zimno w technologii "in situ". W recyklowanej mieszance zastosowano cztery składniki mineralne tj.: destrukt asfaltowy (RAP) o uziarnieniu 0/31,5 mm w ilości 50% (m/m), kruszywo naturalne wapienne z istniejącej podbudowy o uziarnieniu 0/31,5 mm w ilości 20%(m/m), kruszywo naturalne dolomitowe o ciągłym uziarnieniu 0/4 mm w ilości 22%(m/m) oraz pyły mineralne pochodzenia gabrowego w ilości 5% (m/m). Należy dodać, że zastosowanie pyłów mineralnych podyktowane było uzyskaniem wymaganej zawartości frakcji wypełniającej (poniżej 0,063 mm), co w przypadku technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym jest pożądane. W trakcie spieniania piana asfaltowa łączy się z drobnoziarnistym materiałem tworząc "zbrojenie rozproszone" z wytworzonego w ten sposób mastyksu [13, 17]. Możliwość zastosowania pyłów mineralnych w składzie recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym została opisana szczegółowo w pracach [18,19].

2.2. Właściwości asfaltu spienionego

W technologii recyklingu głębokiego z asfaltem spienionym wymagane jest zastosowanie takiego typu asfaltu, dla którego uzyskuje się rekomendowane parametry spieniania. Właściwości te oceniane są na podstawie wskaźnika ekspansji ERm (maximum Expansion Ratio) oraz czasu połowicznego rozpadu H-L (Half life) [13, 14, 19].

Do analizowanej mieszanki mineralno spoiwowej z asfaltem spienionym (msas) zastosowano asfalt drogowy o deklarowanych parametrach jak dla asfaltu 50/70. Wyniki spieniania asfaltu 50/70 przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przebieg projektowanej krzywej uziarnienia MCAS

Ocenę właściwości piany asfaltowej określono na podstawie zmiany poziomu dozowania wody do spieniania w przedziale od 1,0 % do 4,5 % z krokiem co 0,5% oraz określenia parametru wskaźnika ekspansji ER_m (maximum Expansion Ratio) oraz czasu połowicznego rozpadu H-L (Half life). Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdza się, że optymalna zawartość wody potrzebna do spieniania analizowanego asfaltu jest równa 2,9%. Wartość ta została określona na podstawie wytycznych [13]. Jest efektem przecięcia się liniowej linii trendu ekspansji (ER_m) oraz czasu połowicznego rozpadu (H-l) i wyznaczenia środka przedziału dla minimalnych wartości ER_m oraz H-L, który umożliwia określenie optymalnych wartości spieniania przy optymalnej ilości wody potrzebnej do uzyskania maksymalnego rozprężenia układu koloidalnego. Natomiast wartość wskaźnika ekspansji dla badanego asfaltu uzyskała wartość ERm=11,0 przy czasie połowicznego rozpadu H-L = 9,0 s. Należy również dodać, że zmienność uzyskanych wyników badań w przypadku współczynnika ekspansji jest równa (ER_m: R^2 = 0,9299) natomiast w przypadku czasu połowicznego rozpadu zmienność opisana jest na poziomie 90,81% (R^2 = 0,9081).

2.3. Składniki spoiwa

Materiałami wyjściowymi zastosowanymi do skomponowania spoiw drogowych, w celu możliwości zastosowania w składzie recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym były: wapno hydratyzowane $Ca(OH)_2$, pył cementowe (CKD) oraz cement portlandzki CEM I 32,5R. Analizę chemiczną składników przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny składników spoiw

	LOI	$Ca(OH)_2$	SiO_2 *	CaO **	SO_3	Na_2O ***	MgO	Cl	P_2O_5	Al_2O_3	Fe_2O_3
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
CEM I 32,5R	3,1	-	20,2	63,5	3,4	0,16	2,4	0,07	0,33	4,4	2,4
$Ca(OH)_2$		92,2	-	95,1	0,2	-	0,7	-	-	0,4	0,3
CKD	25,2	-	14,9	54,4	1,5	0,3	1,6	4,0	-	3,6	1,9

* – reaktywna, ** – wolne, *** – ekwiwalent.

Zastosowany cement portlandzki klasy I 32,5R w podbudowy z asfaltem spienionym stanowił mieszankę referencyjną, która oznaczona została jako MIX-R. Wapno palone zastosowano ze względu na swoje działanie koagulacyjne oraz wymianę jonów. W sytuacji wystąpienia w zastosowanym materiale mineralnym części pylasto-ilastych jego działanie zredukuje ich negatywny wpływu na właściwości recyklowanej podbudowy. Technologia

recyklingu głębokiego na zimno umożliwia zastosowanie materiałów mineralnych charakteryzujących się niższymi parametrami [12, 13, 18, 21], w których składzie mogą ujawnić się części ilaste.

Pyły z pieców cementowych są materiałem odpadowym przy produkcji cementu. Dlatego też niezbędna jest próba ich utylizacji [21, 23]. Ze względu na zawartość tlenku wapnia na poziomie 30-40% [22] charakteryzują się one dużą reaktywnością.

3. Plan eksperymentu

Ocenę recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym oraz projekt składu spoiwa drogowego zrealizowano zgodnie z założeniami planu eksperymentu sympleksowo-centroidalnego. Podstawowym kryterium projektowania mieszaniny było uzyskanie sumy składników równiej 100% w odniesieniu do ilości spoiwa w składzie podbudowy [24, 25]. W projekcie spoiwa wykorzystano następujące składniki tj. cement portlandzki CEM I 32,5R (CEM), wapno hydratyzowane ($Ca(OH)_2$) oraz pyły cementowe (CKD). Zastosowanie założeń planu eksperymentu pozwoliło na uzyskanie siedmiu spoiw drogowych.

Do oceny wpływu składników spoiwa drogowego na właściwości recyklowanej podbudowy wykorzystano plan badań składający się z dwóch etapów. Pieszy etap zakładał ocenę właściwości fizycznych oraz mechanicznych:

- zawartość wolnej przestrzeni V_m,
- nasiąkliwość wagową n_w,
- wytrzymałość na pośrednie rozciąganie - badanie w temperaturze 25^OC wg PN-EN 12697-23
- moduł sztywności w pośrednim rozciąganiu IT-CY po 7 oraz 28 dniach pielęgnowania wg PN-EN 12697-26.

Drugi etap badań obejmował optymalizację składu spoiwa drogowego w aspekcie ocenę odporności na działanie wody (TSR). Do tego celu wykorzystano liniową funkcję optymalizacji.

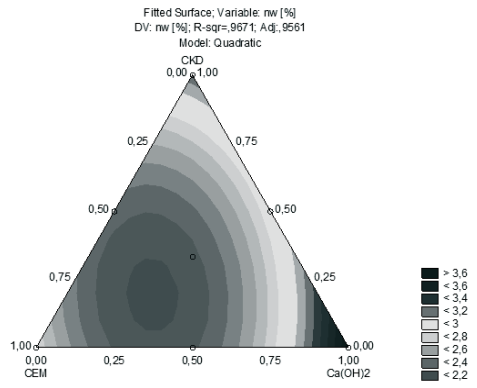
4. Wyniki badań

4.1. Właściwości fizyczne

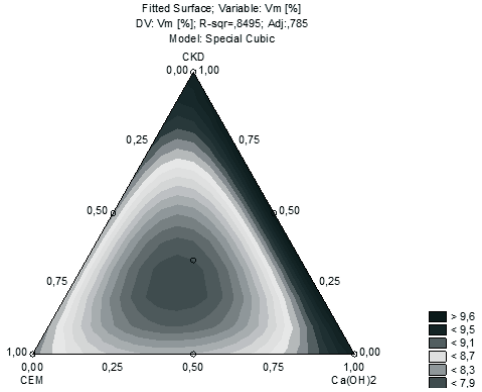
Podstawowymi parametrami oceny jakości recyklowanej podbudowy są zawartość wolnej przestrzeni V_m oraz nasiąkliwość n_w. Parametry te odpowiadają za zapewnienie szczelności recyklowanej mieszanki. W odniesieniu do wymagań [13, 14, 21] określony został przedział graniczny zawartości wolnej przestrzeni $V_m = 5 \div 12$ [%]. Uzyskane wyniki dla analizowanych właściwości fizycznych przedstawiono na rysunku 2 i 3. Do oceny zmiany parametrów wykorzystano, wspomniany wcześniej, plan eksperymentu sympleksowo-centroidowy [24]. Do opisu uzyskanych wyników badań zastosowano model wielomianu opisany wzorem 1. Wartości współczynników opisujących uzyskany model wraz z oceną istotności przedstawiono w tabeli 2.

$$y_{S.C} = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (1)$$

gdzie: $y_{S.C}$ - model wielomianu stopnia trzeciego, b_1 ; b_2;b_3 - współczynniki funkcji regresji stanowiącej model, x_1 ; x_2; x_3 wielkości wejściowe niezależne, czynniki.



Rys. 2. Wynik planu eksperymentu mieszaniny dla parametru nasiąkliwość n_w



Rys. 3. Wynik planu eksperymentu mieszaniny dla parametru wolna przestrzeń V_m

Wyniki analizy statystycznej wykazały, że do opisu zmian cechy nasiąkliwości (n_w) recyklowanych podbudów w aspekcie składników spoiw drogowych najbardziej adekwatny jest model wielomianu stopnia drugiego (R^2 = 0,96). Natomiast zmiany zawartości wolnej przestrzeni (V_m) najlepiej opisuje jest model wielomianu stopnia trzeciego (R^2 = 0,79). Wartości współczynników opisujących uzyskany model wraz z oceną istotności przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartość współczynników eksperymentalnych dla cechy n_w oraz V_m

	CEM	$Ca(OH)_2$	CKD	CEM*$Ca(OH)_2$	CEM*CKD	$Ca(OH)_2$*CKD	CEM* $Ca(OH)_2$*CKD
n_w	2,77803	3,70378	3,1724	-3,8497	-2,5061	-2,1997	-
V_m	8,9545	9,4678	9,4656	-3,2075	-1,1008	0,8778	-27,785

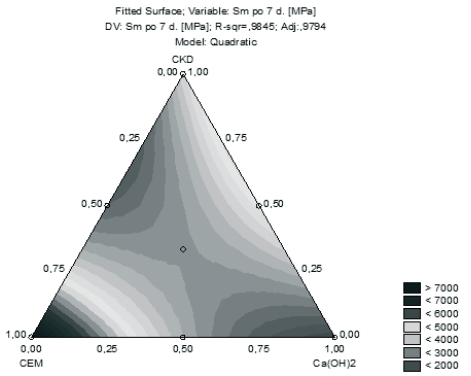
Pogrubiona czcionka oznacza istotny wpływ składników spoiwa lub interakcji składników na badany parametr przy założonym poziomie istotności α = 0,1

Na podstawie uzyskanych wyników badań nasiąkliwości oraz zawartości wolnej przestrzeni można stwierdzić, że najwyższą wartość analizowanych parametrów recyklowane podbudowy z asfaltem spienionym uzyskały w zakresie dozowania składników od 0% do 100% w odniesieniu do wapna hydratyzowanego oraz pyłów cementowych. Największą szczelność niezależnie od analizowanego parametru wykazują recyklowane podbudowy, w których składzie zastosowano wszystkie składniki spoiwa przy proporcjonalnym ich udziale (punkt centralny planu eksperymentu). Należy również dodać, że w odniesieniu do wymagań określonych przez wytyczne [13, 14, 21] wszystkie recyklowane podbudowy spełniają wymaganą zawartości wolnej przestrzeni V_m = 5÷12 [%]. Dodatkowo w przypadku nasiąkliwości istotny wpływ wywołuje interakcja wszystkich składników spoiw czego w przypadku parametru zawartości wolnej przestrzeni nie zaobserwowano. Ponadto w przypadku cechy V_m ważną rolę odgrywa efekt interakcji pomiędzy wszystkimi składnikami spoiw (CEM* $Ca(OH)_2$*CKD). Ten efekt potwierdza, że w czasie twardnienia zachodzą pomiędzy składnikami procesy chemiczne.

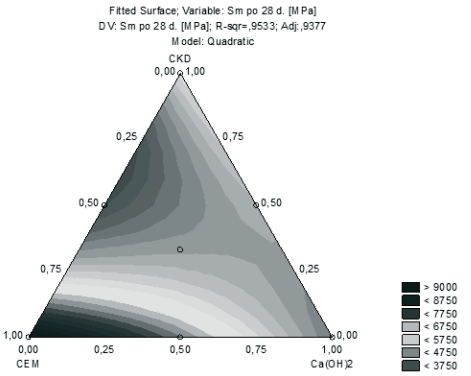
4.2. Właściwości mechaniczne mieszanki recyklowanej

Ocena właściwości mechanicznych recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym polegała na ocenie modułu sztywności sprężystej S_m [MPa]. Moduł sztywności sprężystej

określa nośność recyklowanej podbudowy w zakresie sprężystym, czyli takim w jaki się odbywa ruch samochodowy przy czasie obciążenia 0,02s. Analizę przedstawiono na rysunku 4 oraz 5.



Rys. 4. Rezultaty mieszaniny składników dla parametru modułu sztywności Sm po 7dn [MPa]



Rys. 5. Rezultaty mieszaniny składników dla parametru modułu sztywności Sm po 28dn [MPa]

Wyniki analizy statystycznej, przedstawione na rysunku 4 oraz 5 wykazały, że do opisu zmian cech ($S_{m\ po\ 7\ dn}$ oraz $S_{m\ po\ 28\ dn}$) recyklowanych podbudów w aspekcie składników spoiw drogowych najbardziej adekwatny jest model wielomianu stopnia drugiego. Dla którego wartość współczynnika determinacji opisującego jego dopasowanie kształtuje się na poziomie R^2 powyżej 0,9 (rys.4 i rys. 5). Wartości współczynników opisujących uzyskany model wraz z oceną istotności przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartość współczynników eksperymentalnych dla cech S_m po 7 dniach oraz S_m po 28 dniach

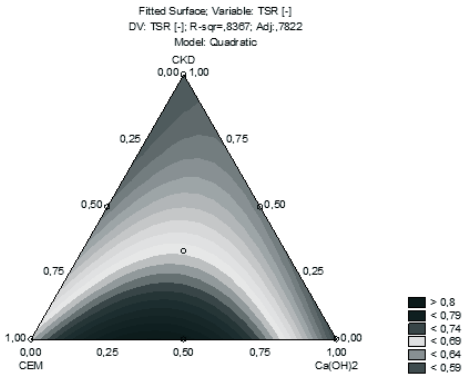
	CEM	Ca(OH)2	CKD	CEM*Ca(OH)2	CEM*CKD	Ca(OH)2*CKD
$S_{m\ po\ 7\ dn}$	7730	1839,3	4171,7	-5079,8	-13750	6408,9
$S_{m\ po\ 28\ dn}$	9121,3	4480	5882,6	908,7	-15070	14,00

Pogrubiona czcionka oznacza istotny wpływ składników spoiwa lub interakcji składników na badany parametr przy założonym poziomie istotności α=0,1

Dokonując analizy uzyskanych wyników badań modułu sztywności sprężystej przedstawionych na rysunku 4 oraz 5 dla recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym, w aspekcie składników spoiwa drogowego możliwe jest stwierdzenie, że największą sztywność, niezależnie od czasu pielęgnacji zaobserwowano przy 100% udziale cementu portlandzkiego. Należy zauważyć, że w obszarze osi składnika cement po 7 dniu pielęgnacji ujawnia się interakcja z pozostałymi składnikami. Ujawnia się stopniowy spadek wytrzymałości na ściskanie przy zwiększaniu udziału pozostałych składników spoiwa w stosunku do ilości cementu. Należy również dodać, że najniższe moduły sztywności uzyskano dla recyklowanych podbudów, w składzie których występuje jedynie wapno hydratyzowane. Interakcja wapna hydratyzowanego z pozostałymi składnikami spoiw nie wykazała istotnego wpływu na przyrost modułu sztywności sprężystej po 28 dniach dojrzewania.

4.3. Wodoodporność recyklowanej podbudowy

Do oceny odporności na działanie wody recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym w aspekcie zastosowanych spoiw drogowych wykorzystano metodykę badawczą opisaną w wytycznych [13]. Wartość wskaźnika TSR zgodnie z wytycznymi [13] powinna wynosić minimalnie 0,7. Badanie ma na celu określenie wpływu zawilgocenia recyklowanej podbudowy na osłabienie wiązania asfaltu spienionego oraz zastosowanych spoiw drogowych z kruszywem. Trwałość podbudowy uzależniona jest od cykli, których oddziaływanie powoduje spadek nośności konstrukcji. W przypadku braku odporności na działanie wody, znaczny spadek wytrzymałości na pośrednie rozciąganie powoduje obniżenie trwałości zmęczeniowej warstwy konstrukcyjnej. Sytuacja ta może mieć miejsce w czasie pór roku przejściowych: zima-wiosna, jesień-zima, kiedy występuje duży napływ do wnętrza konstrukcji wód opadowych oraz powierzchniowych. Wyniki odporności na działanie wody recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym i spoiwami drogowymi przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wynik planu eksperymentu mieszaniny dla wodoodporności recyklowanej podbudowy TSR

Do opisu zmian wytrzymałości na pośrednie rozciąganie (TSR) recyklowanych podbudów w aspekcie składników spoiw drogowych wykorzystano model kwadratowy. Wartość współczynnika determinacji dla modelu kwadratowego opisującego zmienne jest równa (R^2=0,78). Współczynniki opisujące uzyskany model wraz z oceną ich istotności przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartość współczynników eksperymentalnych dla TSR

	CEM	Ca(OH)2	CKD	CEM*Ca(OH)2	CEM*CKD	Ca(OH)2*CKD
TSR	0,70696	0,58946	0,60068	0,59026	-0,1251	0,11347

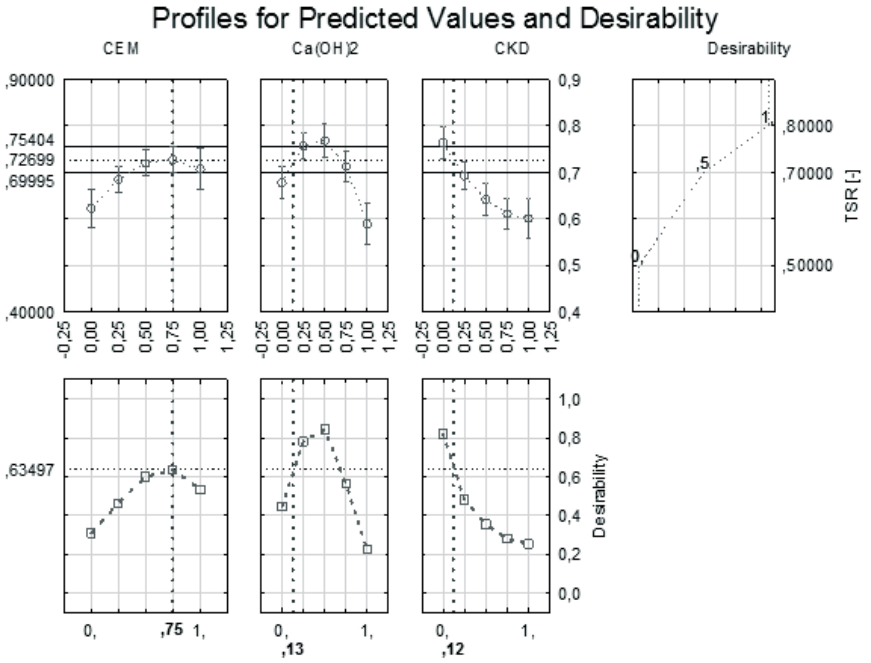
Pola szare oznaczają istotny wpływ składników spoiwa na badany parametr przy założonym poziomie istotności α=0,1

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że spoiwo, w którego składzie nie zostanie zastosowany cement charakteryzuje się brakiem wymaganej wodoodporności. Maksymalne wartości wskaźnika TSR uzyskała mieszanka, w której składzie zastosowano spoiwo składające się z cementu oraz wapna hydratyzowanego w proporcjach 50% CEM + 50% $Ca(OH)_2$ wartość TSR=0,80. Dodatkowo należy zauważyć, że spoiwo które zostanie wytworzone z pewnym udziałem procentowym wapna hydratyzowanego (około 30%) oraz niewielką ilością pyłów cementowych (10%) charakteryzuje się wymaganą wartością wskaźnika TSR.

5. Optymalizacja składu spoiwa drogowego

Do rozwiązania problemu optymalizacyjnego zaproponowano liniową funkcję optymalizacji określoną trzema charakterystycznymi przedziałami. Funkcja użyteczności przyjmuje wartość 1 dla poziomu parametru TSR równemu 0,8, dla poziomu akceptowalnego parametru TSR wynoszącego 0,7 funkcja użyteczności przyjmuje wartość 0,5. Natomiast dla poziomu minimalnego dla parametru TSR równego 0,5 [13] funkcja przyjmuje wartość 0.

W związku z tym wykorzystując metodę Simplex [25, 26] oraz pakiet Statistica estymowano wartości rekomendowane dodatków w mieszance recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym względem uzyskania satysfakcjonującego rozwiązania w odniesieniu do parametru wodoodporności TSR. Rezultaty przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Rozwiązanie dla funkcji użyteczności wnoszącej 0,73

W tabeli 5 przedstawiono trzy warianty optymalizacji w zależności od wyniku funkcji użyteczności.

Tablica 5. Rezultat optymalizacji

Wynik funkcji użyteczności	Wynik parametru TSR	95% Przedział ufności średniej dla parametru TSR	Ilość cementu (CEM)	Ilość wapna ($Ca(OH)_2$)	Ilość pyłów (CKD)
[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]
0,5	≈0,7	0,67 ; 0,73	34	34	32
0,63	≈0,73	0,7 ; 0,75	75	13	12
1,0	≈0,8	0,76 ; 0,84	58	42	0

Analiza rekomendowanych składów spoiwa wykazała, że ich połączenie, które gwarantuje uzyskanie odporności na działanie wody jest następująca: cement od 34% do 75%, wapna hydratyzowanego od 13% do 42%, pyły cementowe CKD maksymalnie 32%. Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie samego cementu nie zapewni wysokiej wodoodporności. Aby zapewnić maksymalną odporność na działanie wody należy pominąć obecność pyłów CKD na koszt kompozycji CEM - $Ca(OH)_2$ wynoszącej 58%/42%. Podsumowując, zalecana ilość cementu (CEM) musi być w przedziale około od 58% do 75%, wapna hydratyzowanego ($Ca(OH)_2$) w przedziale 13% do 42%, natomiast pyłu z systemu odpylania nie więcej niż 12%. Taka kompozycja składników zapewni wymaganą wodoodporność na poziomie parametru TSR równą 0,7.

6. Wnioski

Analiza uzyskanych wyników badań umożliwia sformułowanie następujących wniosków:

- zastosowane w analizie składniki spoiwa potwierdza, że istnieje możliwość stosowania alternatywnych środków wiążących w składzie recyklowanej podbudowy w zależności od wymagań projektowych i pełnionej funkcji recyklowanej mieszanki w układzie warstwowym przy zachowaniu wymaganej wodoodporności,
- najkorzystniejsze wyniki badań właściwości fizycznych oraz mechanicznych uzyskano dla mieszanki zawierającej w swoim składzie dodatek wapna hydratyzowanego w połączeniu z cementem,
- wszystkie recyklowane podbudowy z asfaltem spienionym spełniają wymaganie minimalnej zawartości wolnej przestrzeni. Najniższą zawartość wolnej przestrzeni równą V_m=7,9% uzyskała mieszanka, w której składzie zastosowano spoiwo składające się ze wszystkich analizowanych składników (CEM+CKD+$Ca(OH)_2$),
- zastosowanie samego cementu nie zapewni wystarczającej wysokiej wodoodporności recyklowanej mieszanki,
- rekomendowany skład spoiwa zapewniający uzyskanie wymaganej wodoodporności (TSR≥0,70) jest następujący: (58% - 75%) CEM + (13% - 42%) $Ca(OH)_2$ + maksymalnie 12% CKD.

Literatura

1 Iwański M., Chomicz-Kowalska A. Laboratory Study on Mechanical Parameters of Foamed Bitumen Mixtures in the Cold Recycling Technology. Procedia Engineering, Volume 57 (2013) 433-442.

2 Cyr M., Pouhe R. The frost resistance of alkali-activated cement-based binders Handbook of Alkali-Activated Cements. Mortars and Concretes (2015) 293-318

3 Iwański M., Mazurek G. The impact of aging on water and frost resistance of asphalt concrete with low-temperature bitumen. Structure and Environment Vol. 2 no. 1 (2010) 24-31.

4 Iwański M., Chomicz-Kowalska A. Resistance of the pavement to water and frost in the cold recycling technology. Structure and Environment Vol. 2 no. 1 (2010) 9-14.

5 Judycki J., Jaskuła J. Badania odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i mrozu, Drogownictwo 12 (1997) 374-378.

6 Iwański M. Wodo- i mrozoodporność betonu asfaltowego z kruszywem kwarcytowym. V Konferencja Międzynarodowa. Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe. Kielce 11-12 maja (1999) 77-84.

7 Judycki J. Analiza i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2014.
8 Dołżycki B. Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE). GDDKiA, Gdańsk 2014.
9 Iwański M., Buczyński P. Properties of the Recycled Base Course with Respect to the Road Binder Type. 9th International Conference Environmental Engineering at Vilnius (2013).
10 Deja J., Gołek Ł., Kołodziej Ł. Application of glass cullet in binder production. Cement-Lime-Concrete Vol. 2011/6 (2011) 349-354.
11 Gawlicki M., Wons W. Popioły lotne z kotłów fluidalnych jako składniki popiołowo-cementowych spoiw drogowych. Scientific Works of Institute of Ceramics and Building Materials Vol. 8 Warszawa-Opole (2011) 69-78.
12 Iwański M., Buczyński P., Mazurek G. Statistical evaluation of water and frost resistance of deep cold recycled bases with foamed bitumen, hydrophobic activators and fines. Third International Conference on Transportation Infrastructure April 22-25 (2014) 203-212.
13 Wirtgen GmbH. Wirtgen cold recycling technology. 1st ed.Windhagen: Wirtgen GmbH 2012.
14 Asphalt Academy, Technical Guideline TG2: Bitumen Stabilised Materials, A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials. Second Edition, Pretoria, South Africa, 2009
15 Kavussi A., Modarres A. Laboratory fatigue models for recycled mixes with bitumen emulsion and cement, Construction and Building Materials 24 (2010).
16 Modarres A., Ayar P. Comparing the mechanical properties of cold recycled mixture containing coal waste additive and ordinary Portland cement. International Journal of Pavement Engineering (2014).
17 Fu P., Jones D., Harvey J., Halles F. Investigation of the Curing Mechanism of Foamed Asphalt Mixes Based on Micromechanics Principles. Journal Material Civil Engineering No. 22 (2010) 29–38.
18 Iwański M., Buczyński P. Zastosowanie pyłów mineralnych w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym. Drogownictwo 2013/ 5 (2013) 143-148.
19 Martinez-Arguelles G, Giustozzi F., Crispiono M., W. Flintsch G. Investigating physical and reological properties of foamed bitumen. Construction and Building Materials 72 (2014) 423-433.
20 Simon J. Blott, Debra J. Croft, Pye K., Samantha E. Saye S. E., Wilson H. E. Particle size analysis by laser diffraction. The Geological Society of London 2004.
21 Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D. Warunki techniczne wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MCE). Zeszyt 61, IBDiM, Warszawa 1999.
22 Sreekrishnavilasam A., Rahardja S., Kmetz R., Santagata M. Soil treatment using fresh and landfilled cement kiln dust. Construction and Building Materials Vol. 21 (2007) 318–327.
23 Bożym, M. Alternatywne metody wykorzystania pyłów z pieców wapienniczych i cementowych, ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki osadowej. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Nr 8 (2011) 59-68.
24 StatSoft Polska "Zastosowania statystyki i data mining w badaniach naukowych" - materiały z seminarium XI.2013.
25 Montgomery D. G. Design and Analysis of Experiments. 5th Edition. John Wiley and Sons 2001.
26 Zivorad R. Lazic, Design of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide, Wiley-VCH 2004.

The water resistance of a recycled base with foamed bitumen in the aspect of road binder composition

Przemysław Buczyński, Marek Iwański, Grzegorz Mazurek,

Katedra Inżynierii Komunikacyjnej, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska,
e–mail: p.buczynski@tu.kielce.pl , iwanski@tu.kielce.pl, gmazurek@tu.kielce.pl

Abstract: The paper describes research results of recycled base which was performed in a cold deep recycling technology with foamed bitumen and different type of hydraulic mixed binder in the aspect of water resistance. An individual design of a composition of a binder enables to achieve a precise adjustment of a binder's impact to local conditions and required parameters of a recycled base. The design a recycled base with foamed bitumen simulated a cold deep recycling process with materials from existing crushed bituminous pavement layers ("technology in-situ"). To produce the foamed bitumen a road bitumen of penetration grade 50/70 was used. Moreover, the following mineral components were categorised as a waste material: reclaimed asphalt pavement, 0/31,5 mm aggregate and aggregates for soil gradation improvement 0/4. A composition of the recycled base consisted of the binders prepared in the laboratory as a result of a mix of three basic components. The percentage of individual road binders was determined in line with the plan of the simlex-centroid experiment. For the purpose of determining an influence of such a hydraulic road binder on the water resistance in recycled base, the following tests were carried out: void contents V_m, tensile strength ratio TSR (water resistance). Additionally, an evaluation of increase of indirect tensile modulus (IT-CY) was conducted. On the basis of the test results, a varied impacts of tested hydraulic road binders on mechanical properties and water resistence of recycled base with foamed bitumen were observed. On the basis of the plan of the experiment, it was possible to determine the recommended road binder composition that enabled to obtain the water resistance in the recycled base with foamed bitumen.

Keywords: hydraulic road binder, cold deep recycling, foamed bitumen, hydrated lime, portland cement, cement dust, recycled base.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 31-39

Inwestycje drogowe – wody w raportach o oddziaływaniu na środowisko

Paweł Piwnicki

Wydział Ocen Oddziaływania na Środowisko, Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Lublinie, e-mail: ppiwnicki@rdos.lublin.pl

Streszczenie: Jednym z kluczowych oddziaływań inwestycji drogowych na środowisko jest wpływ na warunki gruntowo-wodne. Poprzez dokładną identyfikację wyjściowego stanu środowiska, analizę skali i zasięgu oddziaływań oraz dobór właściwych rozwiązań chroniących środowisko możliwa jest realizacja przedsięwzięcia drogowego, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ma to szczególne znaczenie w kontekście dochowania celów środowiskowych i dobrego stanu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych, określonych w Ramowej Dyrektywie Wodnej i w ustawie Prawo wodne.

Słowa kluczowe: ocena, raport, droga, odwodnienie, jednolite części wód.

Stan prawny: 15 lutego 2016 r.

1. Wprowadzenie

Raport o oddziaływaniu na środowisko służy określeniu oddziaływania planowanego przedsięwzięcia na poszczególne elementy środowiska oraz ludzi, przy uwzględnieniu przyjętych przez inwestora rozwiązań lokalizacyjnych, projektowych, technologicznych, technicznych i organizacyjnych. Organ ochrony środowiska prowadzący procedurę oceny czerpie z raportu informacje o wpływie inwestycji na środowisko w fazie jej realizacji, eksploatacji lub użytkowania i likwidacji. Od ilości szczegółów, wiarygodności i jakości zawartych w nim danych będzie zależał przebieg oceny oddziaływania na środowisko, rodzaj rozstrzygnięcia w postaci wydanej decyzji (odrzucenie projektu inwestycyjnego bądź jego akceptacja) oraz zakres, rodzaj i charakter zidentyfikowanych oraz nałożonych na inwestora warunków środowiskowych [1].

2. Wpływ inwestycji drogowych na środowisko gruntowo-wodne

Oprócz niewątpliwych aspektów pozytywnych, budowa, przebudowa lub rozbudowa, a także znaczny wzrost natężenia ruchu, mogą powodować wiele negatywnych oddziaływań na bezpośrednie otoczenie drogi, tj. na środowisko oraz na zdrowie i warunki życia ludzi [2]. Przedsięwzięcie drogowe, będące inwestycją celu publicznego o często wielokilometrowym przebiegu, w sposób znaczący oddziałuje na środowisko, zarówno na etapie realizacji, eksploatacji jak i likwidacji. Wpływ ten dotyczy m.in. oddziaływania na środowisko gruntowe i wodne z racji ich ścisłych powiązań.

Aby określić zakres niezbędnych do zastosowania działań technicznych, technologicznych i/lub organizacyjnych, mających na celu ograniczenie wpływu przedsięwzięcia drogowego na środowisko gruntowo-wodne, niezbędne jest przedstawienie charakterystyki warunków hydrogeologicznych na terenie planowanej trasy drogi w poszczególnych jej wariantach.

W ramach powyższej charakterystyki istotne wydaje się określenie takich elementów jak: lokalizacja i granice dorzeczy, cieków wodnych i ich dolin (np. Rys. 1), zbiorników wód śródlądowych, poziomu zalegania warstw wodonośnych, ujęć wód podziemnych wraz z zasięgiem stref ochrony bezpośredniej i pośredniej, stref zagrożenia powodziowego, Głównych Zbiorników Wód Podziemnych wraz z obszarami wysokiej ochrony (OWO) i obszarami najwyższej ochrony (ONO) oraz jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) i podziemnych (JCWPd). Powyższe informacje powinny również zostać zobrazowane na stosownym załączniku mapowym do raportu [2].

Na etapie realizacji przedsięwzięcia głównymi przyczynami zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych mogą być:

- spływy wód opadowych i roztopowych z terenu budowy,
- wypłukiwanie zanieczyszczeń z materiałów wykorzystywanych do budowy dróg,
- nieodpowiednie składowanie materiałów budowlanych,
- niewłaściwa lokalizacja zaplecza budowy oraz brak zaplecza sanitarnego lub jego zła organizacja,
- zanieczyszczenia wód substancjami ropopochodnymi, wyciekającymi z maszyn budowlanych, będących w złym stanie technicznym lub w wyniku ich awarii.

Rys. 1. Naturalny krajobraz rzeki Drwęcy
(źródło: http://serwis.bip.golub-dobrzyn.com.pl/1308,najciekawsze-miejsca-i-zabytki.html)

Wobec powyższego niezbędne jest przedstawienie w raporcie propozycji planowanych do wdrożenia działań w kierunku zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania etapu budowy na środowisko gruntowo-wodne.

W tym celu ważne jest racjonale wyznaczanie miejsc przeznaczonych pod bazę maszynowo-sprzętową oraz bazę materiałową, uwzględniające odległość od terenów o płytko zalegających wodach podziemnych, terenów podmokłych, zbiorników, cieków wodnych

oraz dolin rzecznych tak, aby ograniczyć potencjalną migrację substancji szkodliwych do wód. Poza lokalizacją ww. baz, istotne jest ich prawidłowe zabezpieczenie np. w postaci utwardzenia i uszczelnienia.

Prowadzenie prac na placu budowy, w szczególności w obrębie ww. obszarów wymaga zastosowania przede wszystkim sprawnych technicznie urządzeń i maszyn, gwarantujących brak ryzyka wycieku płynów eksploatacyjnych do środowiska. Dodatkowym zabezpieczeniem, w szczególności na obszarach podatnych na zanieczyszczenie wód tj. dolin rzecznych może być wykonywanie robót w okresach o niskich stanach wód podziemnych i niskich opadach atmosferycznych.

W ramach prac na placu budowy może zachodzić konieczność wykonania odwodnieni z wykopów, skąd woda powinna być odprowadzana na teren, do którego inwestor posiada tytuł prawny. W przypadku odwodnień w ramach prowadzenia prac np. przy obiektach mostowych woda w większości przypadków odprowadzana jest w dół cieku, co pociąga za sobą konieczność szczególnej przezorności przy pracach budowlanych. Zwraca się uwagę, że na wykonanie odwodnienia wykopów ale również i budowę urządzeń wodnych, konieczne jest uzyskania stosownego pozwolenia wodnoprawnego na mocy przepisów ustawy Prawa wodnego [3].

Etap realizacji przedsięwzięcia jest również źródłem ścieków bytowych, w związku z obecnością pracowników na placu budowy. Ujmowanie ww. ścieków w szczelne zbiorniki bezodpływowe w ramach przenośnych sanitariatów umożliwia zabezpieczenie środowiska gruntowo-wodnego przed tego rodzaju zanieczyszczeniami.

Źródłem potencjalnych, bezpośrednich oddziaływań na środowisko gruntowo-wodne na etapie eksploatacji dróg mogą być zanieczyszczenia zawarte w wodach opadowych i roztopowych, spływających z nawierzchni utwardzonych dróg oraz wycieki niebezpiecznych dla środowiska substancji, powstających na skutek wypadków drogowych. Miejscem generowania zanieczyszczeń są zarówno pasy ruchu, jak i inne elementy drogi – pobocza, skarpy (jak np. Rys. 2), obiekty inżynierskie oraz pozostałe obiekty towarzyszące drogom (stacje paliw, miejsca obsługi podróżnych miejsca poboru opłat, obwody utrzymania dróg). W wodach opadowych i roztopowych, spływających z powierzchni korpusu drogowego mogą być zawarte następujące substancje i związki chemiczne [4]:

- materiały pędne, smary, oleje, dodatki organiczne do produktów naftowych, woski, smoły, silikony;
- składniki gazów spalinowych: metale ciężkie, tlenki węgla i azotu oraz związki fosforu;
- produkty ścierne opon i tarcz hamulcowych zawierające m.in. związki: chromu, miedzi, niklu, ołowiu, cynku, żelaza, kadmu, siarki oraz kauczuk i sadza;
- resztki zużywających się elementów pojazdów;
- produkty zużywających się nawierzchni drogowych i materiałów konstrukcyjnych: pył zawierający związki krzemu, wapnia, magnezu, niklu, manganu, ołowiu, chromu, cynku, astatu, a także popioły lotne, asfalt, organiczne składniki bitumiczne;
- środki używane do zimowego utrzymania dróg;
- zanieczyszczenia z nieprawidłowego transportu materiałów sypkich i płynnych.

Powyższe zanieczyszczenia migrując na pobocza wraz ze spływem wód z wyprofilowanej nawierzchni drogowej, osadzają się na roślinności i gruncie przyległym do drogi, a poprzez infiltrację mogą wnikać pod powierzchnię ziemi do warstw wodonośnych. Dynamika tego zjawiska jest zależna od rodzaju gleby oraz jej przepuszczalności. Spływy opadowe wykazują najwyższe stężenia zanieczyszczeń po długim okresie bezdeszczowym oraz długotrwałym okresie zalegania pokrywy śnieżnej (nagromadzenie zanieczyszczeń, w tym substancji wykorzystywanych do zimowego utrzymania dróg). Zanieczyszczenia te

poprzez infiltrację mogą następnie przedostawać się poprzez wody podpowierzchniowe do wód gruntowych oraz wgłębnych. W konsekwencji migracja zanieczyszczeń może pogorszyć jakość wód wydobywanych z ujęć na cele bytowe oraz sprawiać, że pozyskiwana woda nie będzie nadawać się do spożycia.

Do powyższego zestawienia należy również dodać trudny do przewidzenia wachlarz substancji chemicznych, mniej lub bardziej szkodliwych dla środowiska gruntowo-wodnego, które mogą pojawić się w systemie odwodnienia drogi na skutek nieprzewidzianych sytuacji awaryjnych, np. wypadków drogowych.

Do pośrednich zagrożeń środowiska gruntowo-wodnego związanych z eksploatacją drogi zaliczyć można brak konserwacji urządzeń ochrony środowiska, tj. okresowego usuwania nagromadzonych odpadów w osadnikach i separatorach, zaniedbanie koszenia rowów trawiastych, udrożniania przepustów, przeglądu i konserwacji zbiorników retencyjnych i infiltracyjnych, etc.

Rys. 2. Układanie darni i odwodnienie korpusu drogi (źródło: http://archiwum.parp.gov.pl/infra2000/0008_01_03.php)

Zgodnie z obowiązującymi przepisami wody opadowe lub roztopowe, ujęte w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z zanieczyszczonej powierzchni szczelnej (…) dróg zaliczanych do kategorii dróg krajowych, wojewódzkich lub powiatowych klasy G, a także parkingów o powierzchni powyżej 0,1 ha, w ilości, jaka powstaje z opadów o natężeniu co najmniej 15 l na sekundę na 1 ha, mogą być wprowadzane do wód lub do ziemi, o ile nie zawierają substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających 100 mg/l zawiesin ogólnych oraz 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych. Oddzielną kwestią jest zawartość substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [5].

Przy określaniu oddziaływań na środowisko gruntowo-wodne istotne jest uwzględnienie wzajemnych powiązań poszczególnych elementów środowiska oraz oddziaływań pośrednich i wtórnych, wynikających z tych powiązań [6]. Wody powierzchniowe i podziemne są elementem środowiska nierozerwalnie powiązanym z innymi elementami przez co zanieczyszczenia obecne w wodach mogą wywoływać oddziaływania skumulowane oraz sprzężenia zwrotne np. zmieniając właściwości fizyczne, chemiczne oraz skład ilościowy i jakościowy fauny i flory ekosystemów cieków wodnych. Ponadto konieczne jest uwzględnianie w raporcie możliwości kumulowania się oddziaływań w wyniku współfunkcjonowania kilku przedsięwzięć infrastrukturalnych jednocześnie.

3. Jednolite części wód

Ramowa Dyrektywa Wodna [7] zobowiązuje państwa członkowskie Unii Europejskiej do racjonalnego wykorzystywania i ochrony zasobów wodnych w myśl zasady zrównoważonego rozwoju. Zapisy Dyrektywy wprowadzają system planowania gospodarowania wodami w podziale na obszary dorzeczy. Dla potrzeb osiągnięcia dobrego stanu wód opracowywane są plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz program wodno-środowiskowy kraju. Transpozycja przepisów Ramowej Dyrektywy Wodnej (Dz. U. UE. L. 2000 r., nr 327 poz. 1 ze zm.) do prawodawstwa polskiego nastąpiła przede wszystkim poprzez ustawę Prawo wodne (t. j. Dz. U. z 2015 r., 469 ze zm.), ustawę Prawo ochrony środowiska (t. j. Dz. U. z 2013 r., poz. 1232 ze zm.) oraz ustawę o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (t. j. Dz. U. z 2015 r., poz. 139 ze zm.) wraz z aktami wykonawczymi do tych ustaw.
Zgodnie z zapisami Ramowej Dyrektywy Wodnej w 2015 r. nastąpiła aktualizacja planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz programu wodno-środowiskowego kraju (co 6 lat od daty pierwszej publikacji) [8].

Na obszarze Polski zlokalizowane są następujące dorzecza następujących rzek: Wisła, Odra, Dunaj, Dniestr, Łaba, Niemen, Świeża, Pregoła, Ücker i Jafta. Poszczególne dorzecza zostały podzielone na regiony wodne, zaś w ich obrębie jednolite części wód powierzchniowych oraz podziemnych.
Jednolita część wód powierzchniowych to oddzielny i znaczący element wód powierzchniowych, taki jak: jezioro, zbiornik, strumień, rzeka lub kanał, część strumienia, rzeki lub kanału, wody przejściowe lub pas wód przybrzeżnych. Jednolita część wód podziemnych oznacza określoną objętość wód podziemnych występującą w obrębie warstwy wodonośnej lub zespołu warstw wodonośnych [8].

Powyższe jednostki określone są przez zespół różnorodnych parametrów w celu określenia ich stanu bieżącego, śledzenia tendencji zmian oraz dostosowywania środków mających na celu poprawę stanu.

Stan ekologiczny dla naturalnych części wód oraz potencjał ekologiczny dla sztucznych i silnie zmienionych części wód klasyfikuje się w oparciu o wskaźniki jakości elementów fizykochemicznych (np. temperatura, ogólny węgiel organiczny, zawiesina, zasolenie, zakwaszenie, BZT_5, ChZT, obecność biogenów), biologicznych (np. fitoplankton, fitobentos, makrofity, makrobezkręgowce bentosowe, ichtiofauna) oraz hydromorfologicznych (np. ilość i dynamika przepływu wody, czas retencji, połączenie z wodami podziemnymi, głębokość, struktura i podłoże koryta).

Stan ekologiczny naturalnych części wód powierzchniowych lub potencjał ekologiczny sztucznych części wód powierzchniowych określa się poprzez nadanie jednej z pięciu klas jakości wód naturalnych lub jednej z pięciu klas potencjału ekologicznego wód sztucznych.

Dodatkowo stan chemiczny jednolitych części wód, zarówno naturalnych, sztucznych jak i silnie zmienionych klasyfikuje się na podstawie wyników badań obecności substancji priorytetowych i innych zanieczyszczeń np. benzen, rtęć, kadm, ołów, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Dopiero łączne zestawienie wyników ww. klasyfikacji umożliwia ocenę ogólnego stanu jednolitych części wód powierzchniowych [9].

Stan wód powierzchniowych jest ogólnym wyrażeniem stanu części wód powierzchniowych, określonym przez gorszy ze stanów ekologiczny lub chemiczny, zaś stan wód podziemnych jest ogólnym wyrażeniem stanu części wód podziemnych, określonym przez gorszy ze stanów ilościowy lub chemiczny.

Celem środowiskowym dla jednolitych części wód powierzchniowych niewyznaczonych jako sztuczne lub silnie zmienione, jest ochrona, poprawa oraz przywracanie stanu jednolitych części wód powierzchniowych, tak aby osiągnąć dobry stan tych wód, a także zapobieganie pogorszeniu ich stanu.

Celem środowiskowym dla sztucznych i silnie zmienionych jednolitych części wód powierzchniowych jest ochrona tych wód oraz poprawa ich potencjału ekologicznego i stanu chemicznego tak, aby osiągnąć dobry potencjał ekologiczny i dobry stan chemiczny wód powierzchniowych, a także zapobieganie pogorszeniu ich potencjału ekologicznego oraz stanu chemicznego [7].

Z zasady, jeżeli dla określonej jednolitej części wód stosuje się większą liczbę celów środowiskowych realizuje się cel formułujący bardziej rygorystyczne wymagania. Wyjątkiem w tym zakresie jest możliwość ustalenia mniej rygorystycznych celów środowiskowych dla wybranych jednolitych części wód, które są w takim stopniu zmienione działalnością człowieka lub których naturalne warunki są takie, że osiągnięcie tych celów byłoby niewykonalne lub rodziłoby nieproporcjonalnie wysokie koszty w stosunku do spodziewanych korzyści.

Ponadto w przypadku gdy w obrębie jednolitej części wód występuje obszar sieci Natura 2000 wówczas cel środowiskowy z Ramowej Dyrektywy Wodnej będzie bardziej restrykcyjny niż cel ochrony w obszarze Natura 2000. W przypadku gdy siedliska lub gatunki nie są charakterystyczne dla danego typu części wód, ich ochrona nie powinna przeważać nad renaturyzacją jednolitej części wód powierzchniowych, chyba że są one ważne dla stanu ochrony siedliska lub gatunku będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty.

Na potrzeby raportu przeprowadzana jest analiza skali i zakresu oddziaływania przedsięwzięcia na stan jednolite części wód, a tym samym badane jest potencjalne ryzyko nieosiągnięcia celów środowiskowych wyznaczonych dla tych wód. Poniżej wyróżnić można zasadnicze etapy tej analizy [10]:

1. Identyfikacja jednolitych części wód lub ich zlewni, w obrębie których będzie się znajdowało przedsięwzięcie oraz, na które będzie ono oddziaływało (w odniesieniu do informacji zawartych w Planie Gospodarowania Wodami; określenie typu, statusu, oceny stanu, oceny zagrożenia i derogacji wraz z ich uzasadnieniem; identyfikacja stanu abiotycznego jednolitych części wód wraz z warunkami referencyjnymi dla danego typu wód).
2. Określenie celów środowiskowych dla jednolitych części wód (identyfikacja środków służących uzyskaniu celów środowiskowych).
3. Identyfikacja stanu jednolitej części wód (analiza dostępnych danych opracowanych np. w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska).
4. Identyfikacja rodzajów oddziaływania przedsięwzięcia na jednolite części wód - elementy: biologiczne, fizykochemiczne, hydromorfologiczne (np. regulacja poprzez profilowanie koryta i dna, nadsypywanie skarp, niszczenie roślinności wod-

nej i przybrzeżnej, zagrożenie eutrofizacją, zmiana poziomu wód gruntowych, budowa urządzeń energetyki wodnej).

5. Ocena skutków oddziaływania na ww. elementy w kontekście oceny zgodności z celami środowiskowymi dla JCW (ustalenie czynników oddziaływania przedsięwzięcia na elementy jakości wód oraz ustalenie, na jakie elementy jakości wód i ich składowe będzie oddziaływała realizacja przedsięwzięcia).

Jeżeli w toku analizy wpływu przedsięwzięcia na jednolite części wód zostanie wykazane pogorszenie stanu ekologicznego lub potencjału ekologicznego albo zagrożenie nieosiągnięciem dobrego stanu bądź potencjału ekologicznego dla wód powierzchniowych, a dla wód podziemnych pogorszenie stanu ilościowego i chemicznego albo zagrożenie nieosiągnięciem dobrego stanu ilościowego i chemicznego, wówczas konieczna jest analiza przesłanek z art. 38j Prawa wodnego(t. j. Dz. U. z 2015 r., 469 ze zm.), (art. 4.7-9 Ramowej Dyrektywy Wodnej - Dz. U. UE. L. 2000 r., nr 327 poz. 1 ze zm.). Wynik analizy powinien uwzględniać system oceny opierający się na decydującej roli elementów biologicznych oraz wspierającej roli elementów hydromorfologicznych i fizykochemicznych. Stosownie należy uzasadnić jaki wskaźnik oddziaływania decydował o stwierdzeniu zagrożenia realizacji celu [11].

Zgodność z zapisami ramowej dyrektywy wodnej (Dz. U. UE. L. 2000 r., nr 327 poz. 1 ze zm.) ma istotne znaczenie przy uzyskiwaniu decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach.

Zgodnie z art. 81 ust. 3 ustawy o ocenach oddziaływania na środowisko jeżeli z oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko wynika, że przedsięwzięcie może spowodować nieosiągnięcie celów środowiskowych, zawartych w planie gospodarowania wodami na obszarze dorzecza, organ właściwy do wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach odmawia zgody na realizację przedsięwzięcia, o ile nie zachodzą przesłanki, o których mowa w art. 38j ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. - Prawo wodne [12]. Przesłanki te umożliwiają derogację w spełnieniu ww. wymogów ustawowych. Nieosiągnięcie dobrego stanu ekologicznego oraz niezapobieżenie pogorszeniu stanu ekologicznego jednolitych części wód powierzchniowych oraz dobrego potencjału ekologicznego sztucznych i silnie zmienionych jednolitych części wód powierzchniowych jest dopuszczalne pod warunkiem, że (1) jest ono skutkiem nowych zmian właściwości fizycznych tych wód albo (2) niezapobieżenie pogorszenia się stanu tych wód ze stanu bardzo dobrego do dobrego jest wynikiem nowych działań człowieka, zgodnych z zasadą zrównoważonego rozwoju i niezbędnych dla rozwoju społeczeństwa. W przypadku wód podziemnych jest to wynik nowych zmian właściwości fizycznych jednolitych części wód powierzchniowych albo zmian poziomu zwierciadła tych wód [3]. Zastosowanie powyższych odstępstw nie zwalnia inwestora z obowiązku podejmowania wszelkich działań, aby łagodzić skutki negatywnych oddziaływań na stan jednolitych części wód, z zastrzeżeniem ich racjonalności pod względem uwarunkowań wykonalności technicznej lub bilansu kosztów w stosunku do spodziewanych korzyści.

W wyniku zaniedbania w raporcie kwestii związanych z analizą i oceną wpływu przedsięwzięcia na stan i cele środowiskowe jednolitych części wód inwestor naraża się na ryzyko odmowy uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, a w konsekwencji odmowy decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej. Fakt ten może w sposób znaczący wpłynąć na kontynuację procesu inwestycyjnego danego projektu drogowego, generując dodatkowe nakłady finansowe oraz w sposób znaczący wydłużając czas jego sfinalizowania.

4. Wnioski

Projektowanie skutecznego systemu odwodnienia nawierzchni drogowej wymaga adekwatnego do skali realizowanej inwestycji rozpoznania warunków hydrogeologicznych obszaru, na którym będzie realizowane przedsięwzięcie, i obszaru, na które będzie oddziaływać. Kompleksowe ujęcie wpływu na środowisko projektowanego systemu odwodnienia drogowego jest kluczowe ze względu na możliwość migracji zanieczyszczeń generowanych przez ruch pojazdów do środowiska oraz ich skumulowanego oddziaływania. W kontekście znowelizowanych przepisów prawa wodnego – w drodze transpozycji Ramowej Dyrektywy Wodnej, w raporcie o oddziaływaniu na środowisko niezbędna jest analiza zgodności skali i zasięgu oddziaływania drogi z celami środowiskowymi, określonymi dla jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych

Literatura

1 Florkiewicz E. i Kawicki A., Postępowania administracyjne w sprawach określonych ustawą z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, Warszawa: Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, 2009.
2 Bohatkiewicz J i inni, Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych, Kraków: Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego EKKOM Sp. z o.o., 2007.
3 Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne, t. j. Dz. U. z 2012 r., poz. 145 z późn. zm., http://dziennikustaw.gov.pl/ Data dostępu 15 lutego 2016 r.
4 Kołodziejczyk U., Bohatkiewicz J. i inni, Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego, Warszawa: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2009.
5 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz. U. z 2014 r., poz. 1800, http://dziennikustaw.gov.pl/ Data dostępu 15 lutego 2016 r.
6 Tracz M. i Bohatkiewicz J., Postępowanie w sprawie ocen oddziaływania na środowisko. Część I – wydanie trzecie rozszerzone i uaktualnione (wydanie nie zostało wydrukowane i nie było rozpowszechniane przez GDDP), Warszawa: Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, 2001.
7 Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz. U. L 327, 22/12/2000 P. 0001 - 0073, http://eur-lex.europa.eu Data dostępu 15 lutego 2016 r..
8 Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, http://www.kzgw.gov.pl Data dostępu 15 grudnia 2015 r..
9 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz. U. z 2014 r., poz. 1482, http://dokumenty.rcl.gov.pl/ Data dostępu 15 lutego 2016 r.
10 Okrasiński K., „Warsztaty na temat Ramowej Dyrektywy Wodnej – cz. I," w Konferencja zamykająca cykl szkoleń z RDW w 2014 r. - 3 grudnia 2014 r., Warszawa, 2014.
11 Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, „Procedura oceny oddziaływania na środowisko pod kątem zapewnienia zgodności programów i przedsięwzięć z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej," w Konferencja zamykająca z Ramowej Dyrektywy Wodnej (2000/60/WE), Warszawa, 2014.
12 Ustawa z dnia 3 października o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, tekst jednolity Dz. U. z 2013 r., poz. 1235 z późn. zm, http://dziennikustaw.gov.pl/ Data dostępu 15 lutego 2016 r.

Road projects – waters in the reports on the environmental impact assessment

Paweł Piwnicki

Department for Environmental Impact Assessment,
Regional Directorate for Environmental Protection in Lublin, e-mail: ppiwnicki@rdos.lublin.pl

Abstract: One of the key impacts of roads on the environment is their influence on soil-water conditions. Through accurate identification of initial state of the environment, analysis of the scale and range of impacts and selection of appropriate solutions to protect the environment the road project can be successfully achieved in accordance with the principle of sustainable development. This is particularly important in the context of achieving environmental objectives and good status of surface and ground water bodies as set out in the Water Framework Directive and polish Water Law act.

Keywords: assessment, report, road, drainage, water bodies.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 41-50

Analizy LCA dla dróg i mostów jako narzędzie do szczegółowej i kompleksowej oceny oddziaływania na środowisko

Agata Dąbal, Marcin Łyszczarz

Promost Consulting T.Siwowski Sp.J., e–mail: dabal@promost.pl, lyszczarz@promost.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwości wykonywania analiz LCA w odniesieniu do dróg i mostów wraz z określeniem zasadniczych warunków brzegowych i ustaleniem jednostki funkcjonalnej. Na przykładach przeanalizowano charakterystyczne drzewa procesów stanowiące podstawę do dalszych analiz. Przedstawiono oparte na analizie LCA metody oceny oddziaływania obiektów drogowych i mostowych na takie elementy środowiska, jak klimat czy warstwa ozonowa. Opisano także wpływ warunków brzegowych i rozbudowy drzewa procesów na uzyskiwane wyniki, w odniesieniu do skali oddziaływania na środowisko, wskazując w jaki sposób interpretacja wyników umożliwia podjęcie optymalizacji przyjętych rozwiązań projektowych celem zmniejszenia oddziaływania na środowisko.

Słowa kluczowe: środowisko, drogi, mosty, LCA, ocena oddziaływania.

1. Wprowadzenie

Oceny oddziaływania na środowisko na dobre wrosły w proces przygotowania inwestycji drogowych i mostowych. W chwili obecnej prawie każdy odcinek nowej drogi wymaga nie tylko posiadania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, ale w większości przypadków uzyskanie takie decyzji jest poprzedzone wieloaspektową i często długotrwałą procedurą oceny oddziaływania na środowisko w jego poszczególnych elementach oraz ich wzajemnym powiązaniu. Podstawowe składniki w ocenach oddziaływania dróg to analizy w zakresie oddziaływań przyrodniczych, emisji energii w postaci hałasu oraz emisji substancji do powietrza i wód. W ostatnim okresie, przede wszystkim w odniesieniu do obiektów mostowych, nabierają bardzo istotnego znaczenia oddziaływania związane z ingerencją w koryta cieków wodnych, w tym również z ich przekształcaniem wynikającym z konieczności zabezpieczenia stateczności konstrukcji wsporczych.

Powszechnie dostępne narzędzia, w postaci programów komputerowych, pozwalają na wykonywanie obliczeń poziomu zanieczyszczeń środowiska powstałych w wyniku konkretnych presji wywołanych mierzalnymi emisjami. W przypadku konieczności oceny wieloaspektowej na złożone komponenty środowiska takie jak klimat, przyroda, procesy eutrofizacji, oddziaływania na człowieka i jego warunki życia, oceny oddziaływania są najczęściej oparte na metodach podatnych na subiektywne podejście i trudnych do jednoznacznej weryfikacji takich jak metody opisowe, eksperckie, punktowe, czy też macierze, pokazujące zależności w ramach jednego projektu, ale trudne do zastosowania przy porównywaniu różnych obiektów. Autorzy opracowań sięgają wówczas najczęściej po analizy wielokryterialne, narzędzie bardzo przydatne, proste do interpretacji, ale wrażliwe na szczegółową metodykę ich opracowania. Przy zastosowaniu tych sposobów analizy trudno jest uwzględnić w sposób holistyczny zarówno środowisko, jak i dany obiekt, we wszystkich jego aspektach wynikających zarówno z zastosowanych materiałów, jak i kolejnych etapów realizacji, eksploatacji i likwidacji.

Poszukiwanie całościowych systemów oceny wpływu na środowisko, w ujęciu ilościowym i opartym o zasadę zrównoważonego rozwoju, zaowocowało powstaniem metod opartych na analizach cyklu życia (LCA, ang. Life Cycle Assessment).

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania tych technik w procesie analizy oddziaływania dróg i mostów na środowisko jako całość, a także w odniesieniu do poszczególnych komponentów. Zaprezentowano również przykładowe wyniki pozwalające na dokonywanie porównań skali oddziaływania różnych rozwiązań stosowanych w budownictwie komunikacyjnym.

2. Geneza i charakterystyka środowiskowych ocen cyklu życia (LCA)

Badania metody LCA zapoczątkowano w końcu lat 60-tych XX wieku [1, 10]. Dotyczyły one wówczas ograniczonego zasobu danych i analiz – najczęściej zużycia energii i materiałów. Informacje literaturowe dotyczące wykorzystywania tej techniki w szerszym zakresie pojawiły się w latach 90-tych ubiegłego stulecia. Analizowano wówczas przy jej pomocy negatywne oddziaływania dotyczące materiałów i energii przy produkowaniu i użytkowaniu wyrobów o określonych, porównywalnych parametrach. Dodatkowym impulsem do rozwoju tej techniki były szerokie badania zjawisk takich jak efekt cieplarniany, zanik warstwy ozonowej, kwaśne deszcze i smog. Efektem doskonalenia metody było wprowadzenie kolejnych stałych elementów, aż do oceny wpływu cyklu życia wyrobu na środowisko (LCIA, ang. Life Cycle Impact Assessment) i interpretacji wyników. Równocześnie znormalizowano stosowane pojęcia oraz technikę i w chwili obecnej stanowi ona kluczowy element zarządzania środowiskowego bazujący na systemie norm od 14040 do 14049. W chwili obecnej obserwuje się coraz szersze stosowanie technik LCA w odniesieniu do doskonalenia wyrobów pod kątem minimalizacji oddziaływania na środowisko jako całość, bez przenoszenia wzrostu niektórych oddziaływań między komponentami. Przejawem tego wykorzystania są także kolejne prace normalizacyjne, których efektem są najnowsze normy dotyczące np. oceny obiektów budowlanych [5].

LCA dotyczy aspektów środowiskowych oraz możliwych wpływów na środowisko (np. zużycie surowców i konsekwencje środowiskowe uwolnień) w okresie cyklu życia wyrobu począwszy od pozyskania surowców, przez produkcję, użytkowanie, przetwarzanie, po wycofaniu z eksploatacji, recykling, aż do ostatecznej likwidacji (tj. „od kołyski do grobu") [3]. Dzięki użyciu w ogólnej definicji pojęcia „wyrobu" jest możliwe zastosowanie tej metody zarówno w odniesieniu do produktu, jak i usługi czy procesu.

Badania mogą być wykonywane na trzech podstawowych poziomach szczegółowości [8]:

1) wariant koncepcyjny – wykorzystywany gdy nacisk jest położony na szybkość analizy,
2) wariant uproszczony – wykorzystywany w procesach decyzyjnych związanych z rozwojem wyrobu,
3) wariant szczegółowy – stosowany do pełnej oceny oraz badań porównawczych.

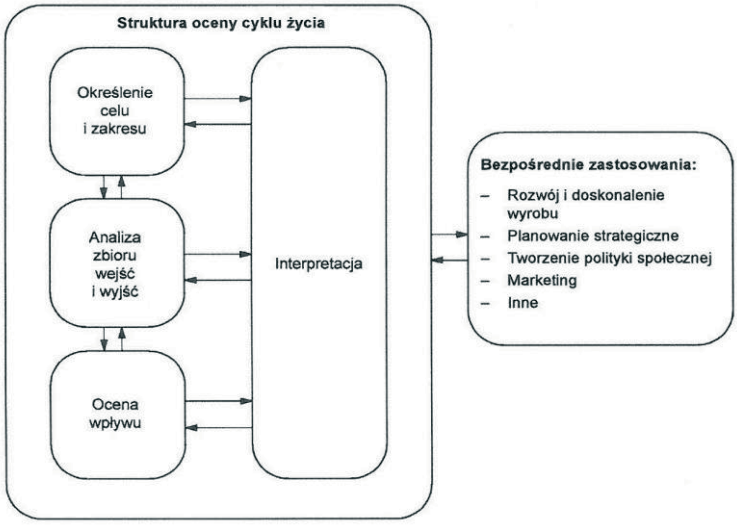
Wyróżnia się cztery fazy badania LCA:

1. Faza określenia celu i zakresu
2. Faza analizy zbioru wejść i wyjść
3. Faza oceny wpływu
4. Faza interpretacji

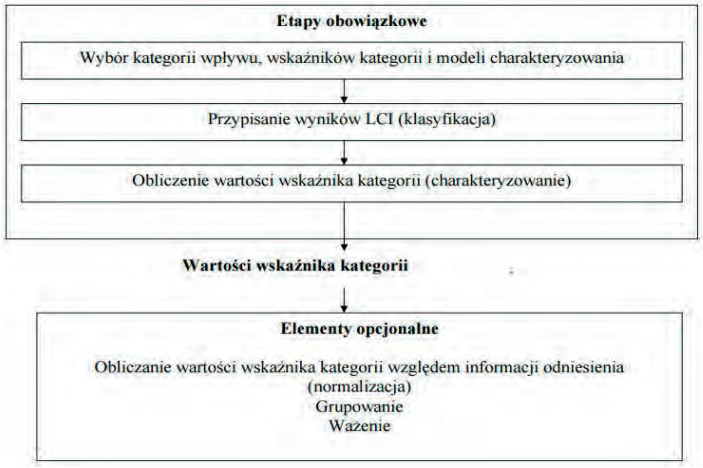
W ramach każdej fazy należy wykonać właściwe dla niej czynności określając kolejno cel działania i zakres prowadzonych badań, co determinuje zarówno jednostkę funkcjo-

nalną rozumianą jako ilościowy efekt systemu wyrobu stosowany jako jednostka odniesienia, jak i system wyrobu czyli zbiór procesów jednostkowych wraz ze strumieniami elementarnymi i strumieniami wyrobu, które spełniają jedną lub więcej określonych funkcji i modelują cykl życia wyrobu. Na tej podstawie dokonuje się analizy zbioru wejść, czyli wszystkich wyrobów, materiałów lub strumieni energii, które wchodzą do procesu jednostkowego, i wyjść rozumianych jako wyrób, materiał lub strumień energii opuszczający proces jednostkowy. W wyniku tej analizy otrzymujemy obraz przepływów przekraczających granice systemu, co z kolei stanowi punkt początkowy do oceny wpływu cyklu życia.

Ocena wpływu cyklu życia – LCIA – to trzecia faza LCA, faza oceny ukierunkowana na zrozumienie i ocenę wielkości oraz znaczenia możliwych wpływów systemu wyrobu na środowisko w całym cyklu życia wyrobu [3].Celem tej fazy jest dostarczenie dodatkowych informacji pomocnych w ocenie wyników analizy zbioru wejść i wyjść systemu wyrobu w celu lepszego zrozumienia ich znaczenia środowiskowego [3].



Rys. 1. Fazy LCA wg [3]



Rys. 2. Elementy fazy LCIA wg [3]

Analizy cyklu życia są determinowane przez granice systemu, które określają, które procesy jednostkowe powinny być włączone do LCA. Z tego względu istotne jest, aby granice te były spójne z celem badania i nie zmieniały znacząco ogólnych wyników [4]. W cyklu życia obiektów budowlanych można wyróżnić metody oparte o analizę od etapu pozyskania surowców do likwidacji obiektu (rozbiórka) tzw. analizę „cradle to grave". Ze względu na długotrwałe okresy użytkowania obiektów budowlanych, sięgające kilkudziesięciu, a nawet kilkuset lat, zasadne może być wykonanie analizy w określonej perspektywie czasowej, czyli analiza od pozyskania surowców do przyjętego czasu użytkowania zwana „cradle to gate", ewentualnie analiza dla etapu budowy i użytkowania (tzw. analiza „gate to gate").

Wśród kategorii wpływu można wyróżnić: globalne ocieplenie, zubożenie warstwy ozonowej, zakwaszenie, zużycie zasobów naturalnych, zajęcie terenu, poziom eutrofizacji, ekotoksyczność. Każda z tych kategorii wpływu jest określana w jednostce właściwej dla danego komponentu. W kolejnym kroku dokonuje się klasyfikacji wyników i obliczenia wartości dla wskaźnika kategorii wpływu zamieniając przy pomocy parametru charakteryzowania jednostkę określonego wyniku na jednostkę ogólną danej kategorii wpływu. Dokonując agregacji przekształconych w ten sposób wyników otrzymujemy wartość wskaźnika kategorii, co jest ostatnim elementem obowiązkowym w ramach LCIA.

W kolejnych etapach (fakultatywnych) jest możliwe dokonanie porównania wyników. W tym celu niezbędne jest wykonanie dalszych etapów LCIA, a w szczególności grupowania i normalizowania, które polega na ustaleniu wartości liczbowej interpretowanej jako udział określonej kategorii wpływu w jednym z trzech głównych elementów środowiska: człowieka, jakości ekosystemu i zasobów. W najczęściej stosowanej metodzie ekowskaźnika (ECO-INDICATOR 99) grupowanie, a następnie normalizowanie obejmuje następujące kategorie wpływów [2]:

- zużycie surowców mineralnych i paliw mierzone w jednostce MJ definiowanej jako ilość dodatkowej energii potrzebnej do przyszłego wydobycia minerałów i paliw kopalnych,
- zajęcie terenu, eutrofizacja/zakwaszenie, ekotoksyczność – dla których jednostką jest PDF$*$m^{2*}rok, definiowany jako potencjalnie zanikająca ilość gatunków roślin (Potentially Disappeared Fraction of plant species),
- ubytek warstwy ozonowej, zmiany klimatu, rakotwórczość, smog, promieniowanie – mierzone w jednostkach DALY definiowanych jako skorygowana przez niepełnosprawność długość życia człowieka (Disability Adjusted Life Years).

W fazie oceny wpływu LCIA różne wartości wskaźnika kategorii mogą być ważone i sumowane, co umożliwia uzyskanie wielkości oddziaływania na środowisko w ujęciu całościowym.

Ostatnim etapem LCA jest interpretacja wyników obejmująca określenie elementów szczególnie istotnych, o dużym zagrożeniu, analizę wrażliwości tych elementów, określenie sposobu minimalizacji zagrożeń, czy też ustalenie priorytetów i możliwych zmian. Wyniki uzyskane w toku interpretacji mogą posłużyć do doskonalenia wyrobu pod kątem zmniejszenia wpływu na środowisko.

Narzędziem do wykonywania analiz LCA są programy komputerowe, w ramach których jest opracowany szereg baz danych dla materiałów i energii oraz procesów stosowanych w ramach produkcji, czy też realizacji usług i inwestycji. Prowadzone badania dotyczą rozwoju i precyzowania tych baz, co umożliwia coraz szersze i bardziej dokładne obliczenia wpływu wyrobu na środowisko, a przede wszystkim optymalizacji wyrobu pod kątem zapewnienia zrównoważonego rozwoju. Niemniej w przypadku analiz szczegółowych niezbędne jest weryfikowanie danych z ogólnodostępnych baz i stosowanie w możli-

wie najszerszym zakresie danych pierwotnych właściwych dla dostawców i producentów dla danego wyrobu.

W odniesieniu do dróg i mostów wykonanych zostało kilka analiz porównawczych LCA ukierunkowanych przede wszystkim na zużycie materiałów i optymalizację kosztów zarówno budowy, jak i utrzymania obiektów o różnej konstrukcji [6, 7, 9]. Wskazuje się, że zintegrowana ocena cyklu życia LCA staje się obecnie jedną z podstawowych technik wspomagających podejmowanie decyzji w projektach infrastrukturalnych, w tym mostowych [9].

3. Przykłady analiz LCA dla dróg i mostów

Przedmiotem wykonanych analiz środowiskowych były odcinki drogi o nawierzchni asfaltowej i betonowej oraz mosty o różnych konstrukcjach. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu komputerowego SimaPro 8.0. W obliczeniach dla dróg posłużono sie bazą danych dostępną w ramach wykorzystanego oprogramowania, w przypadku mostów, pozyskano również dane wejściowe od producentów stosowanych materiałów.

W pierwszym etapie określono cele analiz i zakres systemu. W każdym przypadku podjęto próbę porównania skali oddziaływania na środowisko w odniesieniu do konstrukcji i zastosowanych materiałów. Jako jednostkę funkcjonalną ustalono odpowiednio odcinek drogi lub obiekt o określonych parametrach.

Granice systemu stanowiły odcinki drogi lub obiekty w określonych lokalizacjach i perspektywach czasowych. W odniesieniu do dróg analizowano odcinek drogi z uwzględnieniem możliwości powtórnego wykorzystania materiałów do budowy nawierzchni lub podbudowy (analiza „cradle to grave"). W przypadku obiektów mostowych analizowano całe obiekty o analogicznych parametrach. Analizę dla mostów wykonano do okresu rozbiórki, przy uwzględnieniu wymaganych remontów i robót utrzymaniowych (analiza „cradle to gate"). W przypadku dróg uwzględniono także etap likwidacji nawierzchni drogowej oraz możliwość powtórnego wykorzystania materiałów.

Dane te determinowały również drogi transportu materiałów, w tym zużycie energii i paliw. Zarówno w odniesieniu do dróg, jak i obiektów mostowych analizy dotyczyły konkretnych odcinków drogi i obiektów, dla których posiadano możliwie pełne dane konstrukcyjne.

W kolejnym etapie w każdym przypadku przeanalizowano wejścia i wyjścia, w tym pod kątem odpadów. W ramach tego etapu sporządzono drzewa procesów przedstawiające przepływy materiałów i energii w ramach całego cyklu życia objętego analizą. W każdym przypadku ograniczono poziom wpływu prezentowanych składowych uwzględnionych w procesach, odpowiednio do 5% w przypadku drogi o nawierzchni asfaltowej i 1% w przypadku obiektów mostowych. Poprzez ograniczenie poziomu wpływu prezentowanych składowych uwzględnionych w procesach należy rozumieć przedstawienie wejść i wyników, dla których oddziaływania są większe od zdanej procentowej wielkości wpływu. Przykładowe drzewo procesów dla podanych powyżej założeń nawierzchni asfaltowej przedstawia rysunek 3, a dla jednego z mostów rysunek 4.

Zmiana procentowego poziomu wpływu dla składowych może wywierać istotne znaczenie dla konstrukcji drzewa procesów i jego czytelności, ale nie ma znaczenia dla otrzymanych wyników. Procedury obliczeniowe uwzględniają wszystkie wejścia i wyjścia. Niemniej w toku prezentacji danych, wysoki lub nieodpowiednio dobrany poziom tego ograniczenia, może w skrajnym przypadku sugerować pominięcie pewnych procesów. Przykłady drzewa procesów dla mostów o różnej konstrukcji przy ograniczeniu procentowym poziomu wpływu składowych wynoszącym 10% przedstawiono na rysunku 5.

W przypadku mostu o konstrukcji typu K wpływ robót utrzymaniowych wynosił 2,29% i został pominięty przy zastosowaniu ograniczenia poziomu wpływu rzędu 10% dla każdej ze składowych.

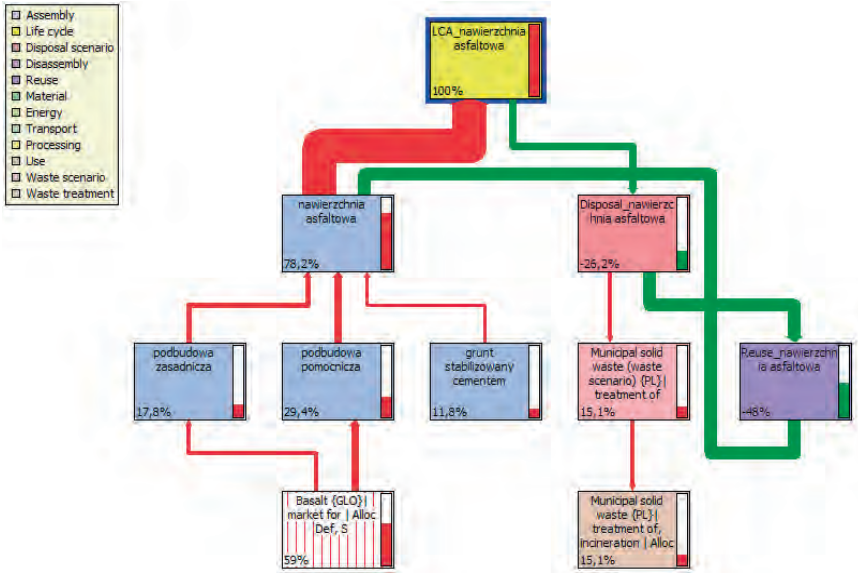
Na tym przykładzie jest widoczne, że z jednej strony rozbudowa drzewa procesów pozwala na uwzględnienie wszystkich analizowanych procesów jednostkowych, a tym samym uzyskanie możliwie pełnych wyników, a z drugiej strony, w przypadku niektórych konstrukcji, na przykład tych o większej trwałości, pewne procesy mogą oddziaływać w sposób pomijalnie mały. Intuicyjnie można wnioskować o takiej skali oddziaływania na podstawie metod opisowych. Analiza LCA dostarcza tego typu informacji w sposób liczbowy, jasny i łatwy do interpretacji.

W trzecim etapie obejmującym analizę LCIA obliczono wartości kategorii wpływu dla każdego z mostów i porównano je. Wyniki prezentuje rysunek 6. Interpretacja wskazuje na różną skalę oddziaływania w odniesieniu do poszczególnych kategorii wpływu.

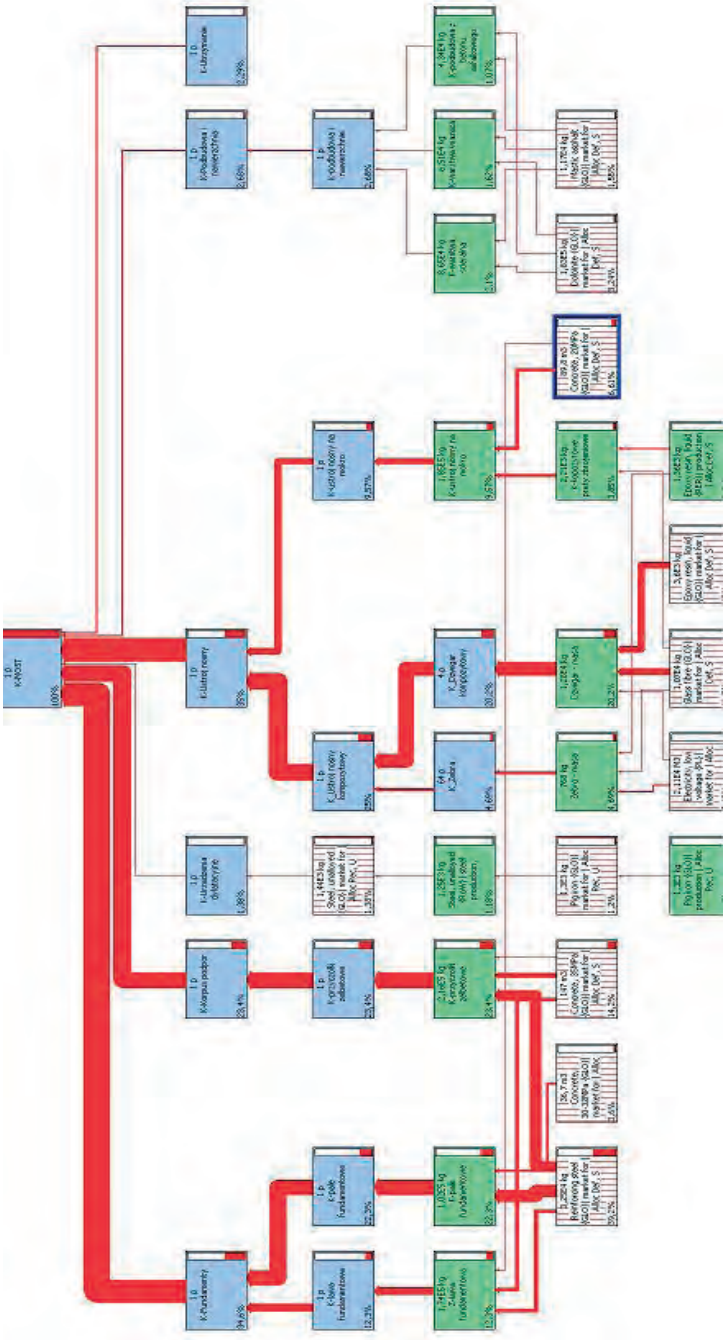
Przedstawione dane dla poszczególnych kategorii wpływu umożliwiają szczegółowe, liczbowe określenie skali oddziaływania na takie elementy jak: klimat, warstwa ozonowa, ekotoksyczność, które są trudno mierzalne innymi metodami. Ponadto możliwe jest określenie tego oddziaływania nie tylko w odniesieniu do procesu budowy, ale w ujęciu całościowym – pełnego cyklu życia, przy uwzględnieniu oddziaływań wynikających z przebiegu procesu produkcji, stosowanych materiałów, transportu na plac budowy, a także późniejszej rozbiórki i możliwości wtórnego wykorzystania.

Pogrupowanie, a następnie normalizacja umożliwiają określenie oddziaływania w jednolitej skali punktów wskaźnikowych Pt na środowisko jako całość oraz w podziale na trzy główne elementy: człowieka, jakość ekosystemu i dostępność zasobów dla przyszłych pokoleń. Etap ten opracowano przy wykorzystaniu metody ekowskaźnika (ECO-INDICATOR 99). Wyniki w tej formie zaprezentowano dla jednego z obiektów mostowych na rysunku 7.

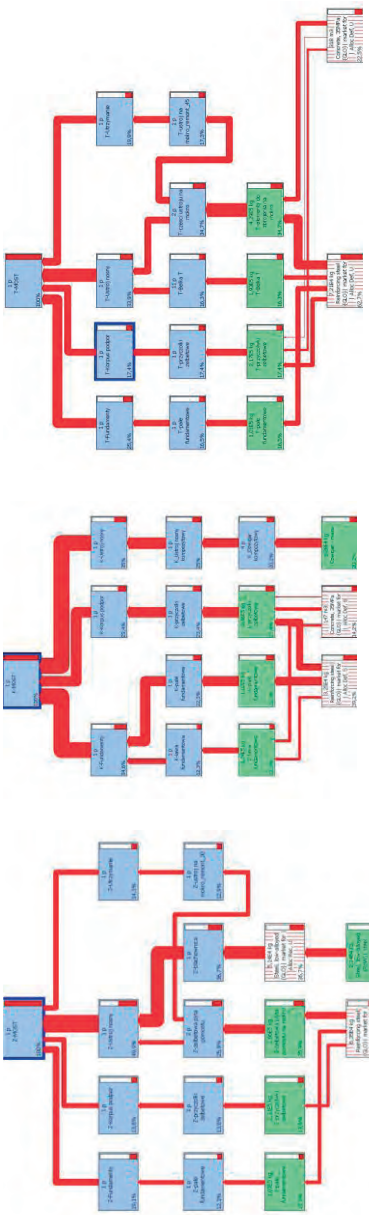
Wykorzystanie jednolitej skali punktów wskaźnikowych umożliwia dokonywanie porównań pomiędzy jednostkami odniesienia w szerokim zakresie wpływu na środowisko jako całość i oddziaływań na trzy wymienione powyżej główne elementy.



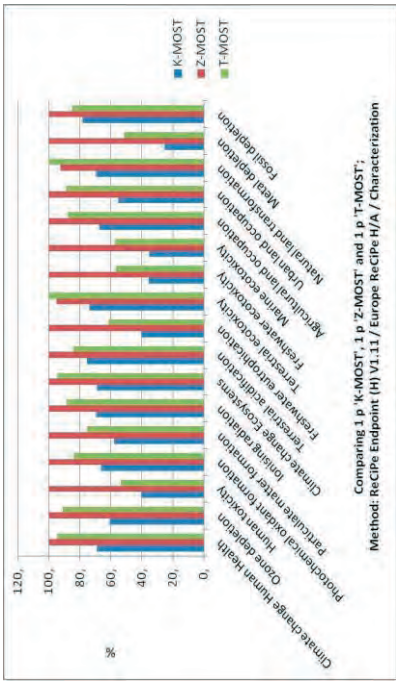
Rys. 3. Drzewo procesów – nawierzchnia asfaltowa – składowe wywierające więcej niż 5% wpływu [11]



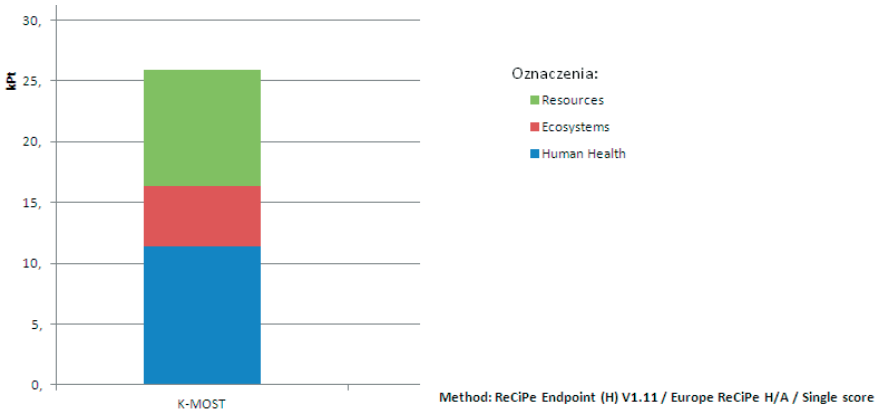
Rys. 4. Drzewo procesów – most typ K - składowe wywierające więcej niż 1% wpływu (oprac. własne)



Rys. 5. Porównanie drzewa procesów – mosty Z, T, K - składowe wywierające więcej niż 10% wpływu (oprac. własne)



Rys. 6. Wielkość kategorii wpływu dla mostów K, Z, T (oprac. własne)



Rys. 7. Oddziaływanie mostu K w jednolitej skali punktów wskaźnikowych Pt (oprac. własne)

4. Podsumowanie

Analizy cyklu życia umożliwiają dokonanie analiz oddziaływania na środowisko i wskazują możliwości działania przy zapewnieniu zrównoważonego rozwoju. Analiza oddziaływania LCIA jest bowiem jednym z etapów analizy LCA. Wykonanie pełnej analizy umożliwia liczbowe określenie skali oddziaływania, porównanie różnych wyrobów i zidentyfikowanie obszarów możliwych, a równocześnie najbardziej celowych działań minimalizujących oddziaływanie.

W procesie analiz bardzo istotne jest prawidłowe określenie jednostki funkcjonalnej, którą w przypadku obiektów składających się z powtarzalnych elementów może to być jeden taki element – w odniesieniu do dróg na przykład 1 km drogi o określonej konstrukcji. Porównanie dla takich obiektów jest możliwe na podstawie analizy wykonanej dla elementu powtarzalnego. W przypadku obiektów, których konstrukcja wynika z indywidualnych rozwiązań projektowych jednostką funkcjonalną powinien być cały obiekt – nie można dokonywać porównań całego mostu na podstawie analizy opracowanej dla 1 m mostu.

Wykonywanie analiz dla obiektu wiąże się z określonymi trudnościami związanymi z definiowaniem granic systemu i poziomu rozbudowy drzewa procesów, a także z poziomem wpływów dla poszczególnych składowych w ramach analizy wejść i wyjść.

Analizy LCA można wykonywać na różnych poziomach szczegółowości, ale w każdym przypadku poziom ten musi być dostosowany do celu, któremu służy analiza, a dodatkowo w ramach analizy powinna być przeprowadzona analiza wrażliwości co najmniej dla zagadnień kluczowych.

Metody oparte na analizach LCA mogą mieć zastosowanie nie tylko w procesach oceny oddziaływania na środowisko, ale także przy podejmowaniu działań inwestycyjnych, bowiem pozwalają na całościowe podejście do obiektów budowlanych uwzględniające wszystkie etapy ich egzystencji.

Literatura

1 Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych, PWN, Warszawa, 2007.
2 Goedkoop M., Oele M., Vieira M., Leijting J., Ponsioen T., Meijer E., SimaPro Tutorial, 2014
3 SimaPro 5, Batabase Manual, 2001.

4 PN-EN ISO 14040, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura, PKN, Warszawa, 2009.
5 PN-EN ISO 14044, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne, PKN, Warszawa, 2009.
6 PN-EN 15804, Zrównoważoność obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobów – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych, PKN, Warszawa, 2012.
7 Rantala T., Life cycle analysis of three finnish standard bridges, Liikennevirasto, Helsinki 2010.
8 Sagemo A., Strock L., Comparative study of bridge concepts based on life-cycle cost analysis and life-cycle assessment, Chalmers Uniwersity of technology, Goteborg, 2013.
9 Samson-Bręk I., Zastosowanie metody oceny cyklu życia LCA do oszacowania wpływu na środowisko wytwarzania paliwa biogazowego do silników spalinowych, Archiwum motoryzacji, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Nr 2/2011 (53) s. 69-79.
10 Siwowski T., Zintegrowana analiza cyklu życia w utrzymaniu mostów, Awarie budowlane, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna, Międzyzdroje, 2013.
11 Strykowski W., Lewandowska M., Wawrzynkiewicz Z., Noskowiak A., Cichy W., Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) wyrobów drzewnych, WITD, Poznań 2006.
12 Wdowiarz W., Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) nawierzchni w drogownictwie- metodyka i przykłady zastosowań, Praca magisterska, Politechnika Rzeszowska, 2015.

LCA analyses for roads and bridges as a tool for detailed and comprehensive environmental impact assessment

Agata Dąbal, Marcin Łyszczarz

Promost Consulting T.Siwowski Sp.J., e–mail: dabal@promost.pl, lyszczarz@promost.pl

Abstract: The article presents possibilities of using LCA analyses for roads and bridges determining core boundary conditions and functional unit. The examples of characteristic process trees were studied and fundamental for further analyses. The environmental impact assessment methods, based on LCA analyses, illustrating roads and bridges influence on environmental elements such as climate or ozone layer, were presented. The influence of boundary conditions and the process tree expansion on the results obtained was described with its reference to the scale on environmental impact. It showed how the interpretation of the results make an optimization of a design possible in order to minimize the environmental impact.

Keywords: environment, roads, bridges, LCA, impact assessment.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 51-60

Graffiti na mostach

Sławomir Karaś[1],Maciej Kowal[1] , Anna Leniak-Tomczyk[2]

[1] Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: s.karas@pollub.pl, m.kowal@pollub.pl
[2] DrogMost Lubelski, e–mail: anna.lt@drogmost.lublin.pl

Streszczenie: W artykule jest rozpatrywany problem graffiti na mostach. Graffiti można postrzegać, jako formę artystycznej wypowiedzi. Przytoczono dwa historyczne przykłady, jeden z czasów antyku i drugi z bliskiej historii z lat czterdziestych. Podjęto próbę zdefiniowania graffiti na podstawie rozpoznania środowiska lubelskich kręgów graffiti. Powstała opisowa charakterystyka graffiti wskazuje na stałe, niezależne a nawet nielegalne działanie, które nie jest możliwe do ograniczenia. Rozpatrzono graffiti na przykładzie mostów Santiago Calatravy oraz prostego statystycznego ujęcia ocen estetycznych graffiti dokonanych przez studentów WBiA PL. We wnioskach poddano pod rozwagę opcje pozostawianie niektórych obrazów graffiti na mostach, kierując się racjonalnym osądem ich wyrazu artystycznego.

Słowa kluczowe: mosty, estetyka, graffiti.

1. Wprowadzenie

Graffiti to z definicji[1] forma pisania, bazgrania, drapania lub rozpylania farby na twardej powierzchni, na ścianie w miejscu publicznym, nielegalnie i anonimowo.

Jako zupełnie legalna i uznawana za formę sztuki jest sgraffito, będącą zdobieniem architektonicznym ścian. Na pewno pierwowzorem mogą być obrazy z paleolitu, 40 tys. lat p.n.e do 10 tys. lat p.n.e. W jaskiniach Cro-Magnon, Lascaux, Altamira. Dziś trudno rozstrzygnąc czy powstałe wówczas dzieła były formą legalną czy nie. Na pewno technika malowania na ścianach skalnych odpowiadała dzisiejszemu graffiti. W czasach Grecji helleńskiej na ścianach budowli pojawiały się napisy ryte w kamieniu. Przykład takiego uwiecznienia w sensie dosłownym i przenośnym pokazano na Rys. 1. Jest to napis wskazujący na człowieka, którego imię oznaczało osobę potężną i niepospolitą.

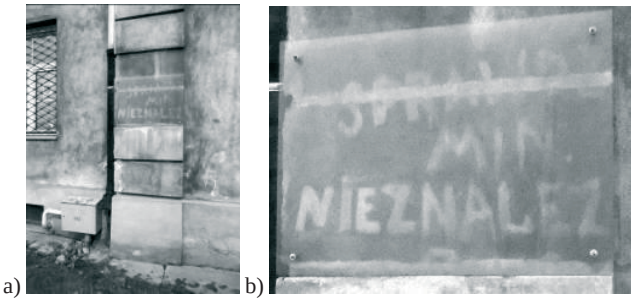
a) b)

Rys. 1. Nemea, Peloponez: a) wejście na stadion b) antyczne graffiti na bloku w tunelu

[1] Hornby A.S., Cowie A.P.: Oxford Advanced Dictionary of Current English, Oxford University Press, 1981.

Nie zawsze pisanie po murach było wypowiedzią artystyczną. Często była to forma walki politycznej. W Polsce ten sposób komunikowania działalności patriotycznej pojawił się w XIX w. Na budynkach[2], a dokładniej na ich murach wypisywano teksty prześmiewcze o caracie. Było to, w sensie prawnym, działanie nielegalne, a treść tekstów wulgaryzowała oficjalne osoby lub urzędy.

Pisanie po murach było często ważną informacją, która tą drogą kierowana była do osób zainteresowanych. W Warszawie w wielu miejscach są utrwalone i obecnie chronione napisy z okresu po wyzwoleniu miasta, w 1945 r., o tym, że teren został rozminowany. Na Rys. 2 pokazano taką informację, która jest przy ulicy Wawelskiej.



Rys. 2. Graffiti-informacja, Warszawa, Ochota, ulica Wawelska: a) widok ogólny b) treść graffiti

Ucywilizowaną formą graffiti są murale miejskie często wykonywane na odsłoniętych ścianach szczytowych szeregowej zabudowy kamienic miejskich. Jednakże owo *ucywilizowanie* wyklucza tę formie malarstwa ściennego z ruchu graffiti.

2. Kim są grafficiarze i czym jest graffiti?

Graffiti jest wyzwaniem i praktycznie nikt nie chce rozpoznać problemu graffiti i ludzi uprawiających tę formę wypowiedzi artystycznej. Spróbujmy rozpoznać i próbować zdefiniować graffiti i grafficiarzy. Niech to będzie środowisko polskich grafficiarzy w docelowym kontekście graffiti na mostach.

Rys. 3. Policyjne zatrzymanie artysty uprawiającego graffiti, ujętego na gorącym uczynku [3]

Na pewno graffiti jest w swej istocie działaniem artystycznym nierozerwalnie związanym z taką czy inną formą undergroundu. Najczęściej anonimową, nielegalną, ściganą

[2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Graffiti [10.12.2015]

[3] http://www.echodnia.eu/radomskie/wiadomosci/radom/art/8784681,graficiarz-w-rekach-policji-zobacz-video-z-zatrzymania,id,t.html [10.12.2015]

i karaną, Rys. 3. Prawdziwe graffiti to protest młodych ludzi. Są oni powszechnie, co najmniej, nieakceptowani. Nie potrafią i nie chcą się zaadoptować do hierarchicznej sytuacji kulturowej i społecznej. Nikt, lub prawie nikt spoza ich grona nie rozumie ich sztuki, w tym przesłania ich działalności, a tym bardziej protestu. Jest to sztuka zagubionych, ale krnąbrnych i prężnych nastolatków, którzy są gotowi do walki.

Malują farbami w spreju. W większości nie są wykształceni, a nawet nie byli kształceni w zakresie sztuk pięknych, kompozycji i technik malarskich. To amatorzy. W wielu przypadkach nie mają wykształcenia w ogóle. Problematyka lub przedmiot ich malarstwa nie jest zdefiniowany. W tym malarstwie akcja tworzenia jest najważniejsza, w takim sensie akcja jest tu techniką malarską. Tu akcja tworzenia nie tożsama z aktem tworzenia. Graffiziarz działa w osamotnieniu lub, paradoksalnie, jako uczestnik dobrze logistycznie przygotowanej akcji grupowej. Underground jest rozumiany jako tajemnica i skrytość przed rodzicami, nauczycielami a także środowiskiem pozaszkolnym lub innym.

Mosty są znakomitym miejscem do graffitowych akcji. Można tu wydzielić dwie opcje. W pierwszej opcji przedmiotem są istniejące, wieloletnie obiekty, najczęściej zaniedbane i właśnie przez to atrakcyjne. Graficiarz tworząc nawiązuje do istniejącego turpizmu dokładając swoje obrazy, które mogą być *w stylu* lub mogą *upiększać* obiekt. W wariancie drugim, nowy, czysty most kusi łatwością wyrażenia protestu i niezgody na konformizm cywilizacyjny. Nowy most jest emanacją powodzenia społecznego, a nawet skucesu, dlatego jest doskonałym miejscem sygnalizowania kontrastu do ludzi wycofanych i marginalizowanych przez ich niedostosowanie.

Powyższa charakterystyka ruchu graffiti i jego uczestników powstała, jako synteza kilku rozmów z grafficiarzami z Lublina. Nie jest to definicja w sensie stricte, ale tworzy podstawę do identyfikacji grafficiarza, jako artysty niosącego pewne, jego własne silnie zindywidualizowane przesłanie o silnym odcieniu elitarności i narcyzmu.

W przeszłości, miały miejsce częściowe analogie do graffiti, w formie protestów do formalnie uznanych jako poprawne i akademicko właściwych form sztuki. Są one znane, jako kryzysy i przełomy w sztuce tj. w malarstwie, architekturze i muzyce. Jednym z najbardziej znanych wydarzeń był przypadek powstania nieoficjalnego Salon de Refusés[4] w Paryżu w XIX w., (1830).

Corocznym podsumowaniem działalności malarzy paryskich/francuskich była wystawa o nazwie *Salon de Paris*, na której prezentowano przyzwoite, szacowne malarstwo, nadające się do salonów paryskich. Na tę wystawę były dopuszczane prace wyłonione na drodze oceny artystycznej firmowanej przez akademię sztuki. Przejście przez *Salon* było furtką do kariery artystycznej. Salon stał się instytucją artystycznie skostniałą, która nie nadążała za rozwojem sztuki. Przełomem były dwa skandalizujące obrazy Eduarda Maneta - *Śniadanie na trawie* (1862) wystawione w *Salon* oraz *Olimpia* (1863) wystawiona już w *Salonie Odrzuconych*. Monopol *Salon* został przełamany a artyści odrzuceni zyskali ścieżkę do artystycznego establishmentu.

Przywołana powyżej skrótowo i w uproszczeniu historia kryzysu w sztuce nie może mieć miejsca w odniesieniu do graffiti. Każda forma akademizmu, konformizmu lub komercjalizacji wyklucza grafficiarza z grupy. Dalej może być artystą z dorobkiem, ale nie jest już graficiarzem. Oczywiście istnieją opracowania albumowe i naukowe z zakresu dziedziny, jaką jest graffiti, ale zawsze jest to zewnętrzna ocena, będąca w sensie graffiti, martwą ocena charakterystyczną dla krytyka sztuki, który zawsze jest pasywny, np.: Gregrowicz [1], Rutkiewicz, Sikorski [2] oraz Zrałka [3].

[4] Salon de Refusés (fr.) - Salon Odrzuconych

Graffiti, podobnie jak Internet, jest aktywnością otwartą. Bierze w niej udział każdy, kto ma odpowiedni potencjał intelektualny i techniczny. Z tego powodu treści obrazów graffiti są różne. Ogólnie uznaje się, że polityczna wypowiedź na murach jest dopuszczalna, natomiast wulgaryzmy, antysemityzm i rasizm są w kulturze polskiej i europejskiej wielce naganne. Niestety są to dość częste przypadki, na które odpowiednie administracje obiektów mostowych lub budynków reagują nie zawsze dostatecznie szybko. Z automatu ta, w gruncie rzeczy marginalna podgrupa obrazów, jest dostrzegana szybko i silnie wpływa na postrzeganie graffiti w całości.

Prowadząc rozważania o graffiti i ich twórcach należy dokładnie rozróżnić dzieło graffiti od działalności przypadkowych osób pojawiających się przy lub pod mostem. To właśnie tacy ludzie są autorami skrajnie wulgarnych napisów i rysunków, zazwyczaj korespondujących z ich stanem intelektualnym. To nie jest graffiti.

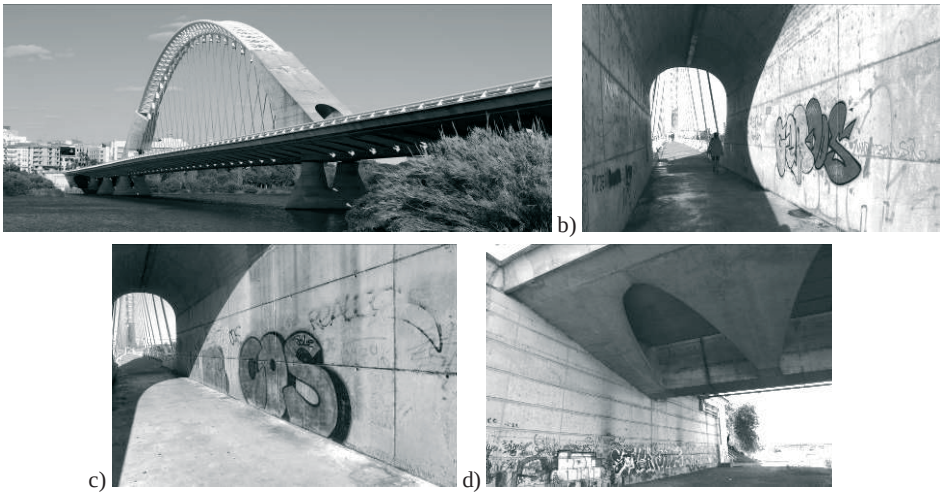
Przy największej życzliwości do graffiti, zawsze jako kontrapunkt pojawia się wandalizm. Ta sztuka widziana z perspektywy poprawnego, klasycznego obrazu mostów jest wandalizmem, który ma wyraźny wymiar finansowy, np. przy wyborze powłok malarskich odpornych na farby w spreju lub przez prowadzenie oczyszczania powierzchni mostów z już trwale wykonanych barwnych obrazów. W tym dramatycznym wyborze występują dwie opcje: przywyknąć lub zwalczać. Znając naturę sztuki graffiti, a w tym w szczególności jej kontestacyjny charakter, każda z opcji jest w równym stopniu mało skuteczna, co nie znaczy, że nie jest efektywna w ogóle, Karaś [4].

3. Graffiti na mostach

Tematyka graffiti na mostach nieodzownie łączy się z prezentacją obrazów. Jednocześnie obrazy należy traktować na zasadzie jeden obraz wart więcej niż tysiąc słów, przy czym przez obrazy należy rozumieć zamieszczone zdjęcia.

3.1. Mosty Santiago Calatravy

Santiago Calatrava jest obecnie najbardziej rozpoznawalnym konstruktorem mostów, przy czym chodzi tu o rozpoznawalność przez jego mosty.

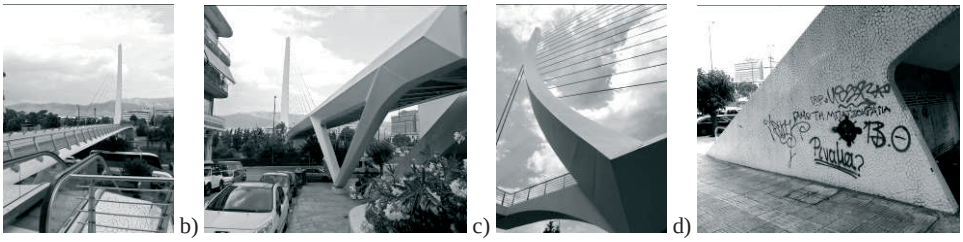


Rys. 4. Most Lusitania (Puente Blanco), Mérida, Hiszpania: a) widok z boku b) - c) graffiti na bramach portalowych łuku d) na przyczółku

Calatrava projektował mosty monumentalne w kolorze białym. Biel jest silna i czysta. To może wynikać z jego upodobania, ale jednocześnie może być naturalnym przeniesieniem bieli z śródziemnomorskiej architektury, a w szczególności hiszpańskiej. Obecnie można już mówić o naśladownictwie w wielu równie udanych mostach, które konstrukcyjnie nawiązują do mostów Calatravy. O ile konstrukcyjna innowacyjność mostów Calatravy jest trudna do osiągnięcia to biały kolor stosuje się często. Jako przykłady można podać kładkę dla pieszych *Ponte della Musica* w Rzymie, [5], oraz kładkę pieszo-rowerową w Szczebrzeszynie, [6].

Biała barwa mostów oraz ich elegancja jest znacznym wyzwaniem dla artystów graffiti. Być może z tego powodu mosty Calatravy nie są przedmiotem ich wzmożonej aktywności. Jednakże nie znaczy to, ze pisanie po nich nie mam miejsca.

Most ma nieoficjalną nazwę Puente Blanco, Rys. 4, który został wzniesiony w 1991 r. Umiejscowione na betonowych portalach łuku napisy sprejem są estetycznie bardzo przeciętne i nieciekawe. Podobnie, rzecz się ma z graffiti na przyczółkach mostu, pomimo iż w tym przepadku można mówić o graffiti w pełnym wymiarze.



Rys. 5. Kładka Katehaki, Ateny, 2004: a) - c) widoki na most d) skromne graffiti

Tym bardziej, że spód ustroju nośnego to rytmiczny układ żeber o krawędziach elipsoidalnych zbliżonych swym kształtem do użebrowania zastosowanego w moście R. Maillarta w Garstatt z 1939 r.

Dwa inne mosty Calatravy, odpowiednio w Atenach i w Wenecji były przedmiotem niewielkich ingerencji grafficiarzy. Kładka dla pieszych Katehaki jest uważana za najpiękniejszy z mostów Calatrawy. Ma w sobie element niedosytu. Bezwzględnie czaruje swoją lekkością i wdziękiem śródziemnomorskiego żaglowca, ale jest tak dokładnie wpasowany w przeciętna zabudowę miejską dzielnicy Katehaki, że po prostu niej jest widziany w swej całej postaci. Być może ten element niedosytu był również celowym zabiegiem architektonicznym, Rys. 5. Właściwie jedynym dostepnym miejscem do uprawiania graffiti są podpory mostu i właśnie na jednej z nich zamieszczono niewielkie napisy, które tylko w przypadku wielkiej życzliwości mogą być kwalifikowane do graffiti. Są to zwyczajne przypadkowe bazgroły. Można jedynie odnotować, że ich udział w oglądzie mostu jest porównywalny z zaprojektowana zielenią widoczną na Rys. 5.b.

Most powstał równolegle z w najwyższym stopniu impresyjnymi obiektami architektonicznym stadionów olimpiady w 2004 r. Calatrawa, podczas wizyty w Atenach, wyjawił, że projektował z myślą hołdu dla antycznej architektury i ogólniej cywilizacji greckiej.

Na Rys. 6 przedstawiono piękny, ale bardzo kontrowersyjny *Ponte della Costituzione* (*Ponte di Calatrava*) w Wenecji, zmontowany w 2007 r. Wybudować monumentalny most w Wenecji to bardzo trudne zadanie, to wyzwanie. Calatrava połączył barwy Wenecji z ograniczonymi - odpowiednimi dla tego miasta - gabarytami. Most jest usytuowany na obrzeżu starego miasta i nawiązuje do trzech innych historycznych mostów nad Canal Grande. Jednocześnie jest inny, łuk jest zdecydowanie łagodny i nowoczesny. Obłość wszystkich kształtów powoduje jego miękkość.

Znakomita konstrukcja ramowa przypomina szkielet ryby. Postawowe żebro umiejscowiono w osi mostu. Żebro jest wsparte o pochylone ramy, które przypominaa kratownice bezkrzyżulcowe. Od żebra są wysunięte wsporniki chodników, tworzących poziomą ramę. Całkowita transparentność stalowej czerwonej konstrukcji połączona z pół przezroczystym szklanym pomostem może nasuwać skojarzenie z motylem. Most spełnia wszystkie wymogi skrajni ruchu niezbędne do przepływu weneckich tramwajów wodnych (*vaporetto*).

a) b)

Rys. 6. Kładka dla pieszych *Ponte di Calatrava* w Wenecji, 2007: a) transport konstrukcji mostu po *Canal* Grande[5] b) manifest artystyczny[6]

Czy most zostanie zaakceptowany? tego na razie nie wiadomo. Na Rys. 6.b uwidoczniono protest, manifest artystyczny poddający bardzo silnie w wątpliwość propozycji Calatravy. Na dodatek most nie jest użytkowo dostępny w pełni. Zamontowane spoczniki i plateau w kluczu przejścia powodowały liczne upadki, zwichnięcia koniczyn dolnych i w konsekwencji konieczność interwencji pogotowia ratunkowego. Przejściowo przy wejściach na most ustawiono znak zakazu przejścia dla ludzi niepełnosprawnych lokomocyjnie. Napisy na moście są natychmiast usuwane.

Wenecki most Calatravy pokazuje, że nawet w przypadku perfekcji architektonicznej należy się liczyć z odmiennością podejść w zabytkowych zurbanizowanych obszarach.

3.2. Tablice informacyjne

Tablicom informacyjnym przy mostach poświęca się ten fragment, głównie dlatego, że w Polsce ich nie ma, a to właśnie te krótkie, umiejętnie napisane, konspekty pozwalają identyfikować interesujący obiekt mostowy. Na Rys. 7 przedstawiono kilka przykładów, które wydają się być wzorcowe. Jest to najczęściej połączenie obrazów z przeszłości z danymi o projektancie i wykonawcy. W kontekście środowiskowym zamieszczane są wzmianki o florze i faunie występującej w okolicach mostu. Tablice informacyjne są również doskonałymi miejscami do zamieszczenia graffiti, przy czym nie jest to przypadek graffiti interesującego artystycznie. Najczęściej występuje rodzaj luźnych zapisów charakteryzujących autora poprzez jego sentencje, często zamieszczane są intymne wyznania głębokich uczuć.

[5] https://it.wikipedia.org/wiki/File:ConcioCentraleRialto.JPG#/media/File:ConcioCentraleRialto.JPG [10.12.2015]

[6] http://farm2.static.flickr.com/1352/5181243616_546c2c425a.jpg [10.12.2015]

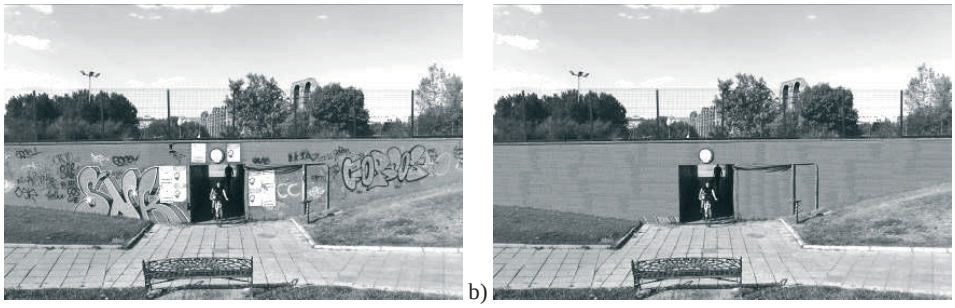
a) b) c) d)

Rys. 7. Tablice informacyjne przy mostach: a) – b) Rzym c) – d) Mérida, Hiszpania

Bez wątpienia zamieszczone na Rys. 7 napisy nie są sztuką graffiti i mają wyraźny charakter wandalizmu.

3.3. Estetyczna dyskusja obrazów z graffiti

Współczesne procedury działania na obrazach stwarzają możliwość porównywania stanów z graffiti i bez graffiti. Rozpatrzmy w tym kontekście obraz wejścia do tunelu/przepustu w nasypie kolejowym, Rys. 8.



a) b)

Rys. 7. Tunel przejścia dla pieszych przez nasyp kolejowy, Mérida, Hiszpania: a) stan istniejący b) sztuczny obraz z usuniętym graffiti

O gustach się nie dyskutuje, ale wyrażanie aprobaty albo dezaprobaty podlega statystyce. Powyższe dwa obrazy zostały poddane ocenie w pięciu grupach studenckich na specjalności Drogi i Mosty na Politechnice Lubelskiej. Liczba studentów w kolejnych próbach wynosiła od 12 do 20. Stosowano ocenę 1- pozytywne wrażenie oraz 0 - negatywne. We wszystkich z pięciu testów wynik końcowy był pozytywny, przy proporcji około 2/3 z liczby uczestników, [1:+7 ; 0:-3] . W dalszej dyskusji, jako najczęstszy argument podawano ożywienie martwej, płaskiej ściany przez występujące graffiti. Zwracano uwagę na ciemną barwę, która w Polsce jest rzadko stosowana, ale w Hiszpanii ten kolor jest kolorem pospolitym. Głosy po stronie dezaprobaty były powodowane niejednolitą formą graffiti, która poza dopracowanymi obrazami zawierała także plakaty komercyjne i wyborcze oraz przypadkowe napisy.

Podobnej, ale w tym wypadku bezpośredniej ocenie, tj. bez sztucznego obrazu, poddano dwa obiekty odpowiednio w Lublinie i w Badajoz, Rys. 8.

a) b)

Rys. 8. Interesujące graffiti: a) Most przez rzekę Bystrzycę w Lublinie w ciągu ulicy Żeglarskiej b) Przejście dla pieszych w Badajoz

W obu tych przypadkach wynik był pozytywny przy zdecydowanej, bo w przedziale 90% do 100% liczby ankietowanych, [1:+14 ; 0:-2] oraz [1:+12 ; 0:-0]. W przypadku przejścia dla pieszych z Rys. 8.b stan emocjonalny oceny był niski, podczas gdy w przypadku lubelskiego mostu wywiązała się dyskusja, w której wskazywano na niski stan techniczny konstrukcji mostu spowodowany niewłaściwym utrzymaniem. W tej sytuacji istniejące na pokazanym przyczółku, ale również i na drugim przyczółku, graffiti było postrzegane, jako moderacja przygnębiającego obrazu korozji żelbetu.

Negatywne oceny wystąpiły w przypadku trzech obrazów, pokazanych na Rys. 9, [1: +0 ; 0: -16].

a) b) c)

Rys. 9. Negatywne oceny obrazów graffiti: a) most typu Verendeela b) most M. Lutosławskiego c) prefabrykowany wiadukt kolejowy

Na rys. 9.a pokazano na nowym moście typu Vierendeela, który jest usytuowany w Lublinie przy ulicy Turystycznej. Most na Rys. 9.b to odrestaurowany most Mariana Lutosławskiego z 1909 r. przez rzekę Bystrzycę w ciągu ulicy Zamojskiej. W obu przypadkach padły oceny negatywne, a były spowodowane silną identyfikacja z mostami lubelskimi. Prowadzenie zajęć na przedmiotach mostowych na WBiA PL jest z założenia związane z interesującymi mostami naszego regionu. Prawdopodobnie to zdecydowało o ocenach negatywnych, [1: +3; 0: -17] oraz [1: +0 ; 0: -18], pomimo uznawania obrazów graffiti jako interesujące. Trzeci z obrazów, Rys. 9.c przedstawia brzydki, cokolwiek by to nie znaczyło, obiekt mostowy z równie przeciętnym graffiti. Zastosowane sugerowanie wewnętrznej harmonii obu estetycznie równych elementów obniżyło ostrość ocen, ale nie wpłynęło na ich zmianę, [1: +4 ; 0: -15].

Mając na uwadze fakt, ze do tej pory w Polsce nie podejmowano metodycznie weryfikacji obrazów graffiti, wydaje się, że można w sposób mniej lub więcej arbitralny stosować przedstawioną metodę do rozstrzygania o możliwości pozostawiania istniejących obrazów na mostach. Kolejnym czynnikiem na rzecz takiego ujmowania problemu jest bolesna alternatywa iluzoryczności stosowanych procedur ograniczania graffiti.

4. Wnioski

Przedstawione rozważania powstały na skutek dodatkowych, poza mechaniką konstrukcji mostowych, zainteresowań autorów. Została naszkicowana opisowa definicja graffiti, jako rezultat rozpoznania koncepcji artystycznych lubelskiego środowiska grafficiarzy. Na drodze prostej statystycznej miary poddano ocenie niektóre mosty z obrazami graffiti, przy czym kilka z nich, jako czytelne przykłady, zamieszczono w artykule.

Konkluzja pracy może być sformułowana na zasadzie analogii do problemu wycinania drzew - problemem nie jest wycinka, problemem jest nasadzanie drzew.

Z graffiti może być dokładnie tak samo. Graffiti to zdefiniowany proces, który, jak się wydaje, jest nie do powstrzymania. Zatem część obrazów pseudo graffiti, szczególnie te, które są skrajnie wulgarne lub propagujące rasizm, antysemityzm i ksenofobię oraz inne ruchy społeczno-polityczne uznawane powszechnie za szkodliwe, należy usuwać, podczas gdy pozostałe, przy stosowaniu racjonalnej oceny, może można pozostawić. Przesłanką do takiego umiarkowanego postrzegania graffiti jest niewątpliwa uroda wielu spośród istniejących na mostach obrazów.

Literatura

1 Gregrowicz R. Polskie mury. Graffiti - sztuka czy wandalizm. Wydawnictwo Comer, 1991.
2 Rutkiewicz M., Sikorski T. Graffiti w Polsce 1940-2010. Wydawnictwo Carta Blanca, 2011.
3 Zrałka J. Pre-Columbian Maya graffiti. Krakow, Alter Press, 2014.
4 Karaś S. Mosty inżyniera Mariana Lutosławskiego w Lublinie. PWN, 2014.
5 De candia M. Roma inaugura il Ponte della Musica firmato Buro Happold. del 31/05/2011. http://www.archiportale.com/news/2011/05/architettura/roma-inaugura-il-ponte-della-musica-firmato-buro-happold_22886_3.html. [06.09.2015].
6 Karaś S., Oskręda B, Skulski B. Nowy most łukowy w Szczebrzeszynie, Mosty 6/2015, 22-26.
7 Graffiti Art magazine. http://www.graffitiartmagazine.com/index.php?category/GRAFFITI-ART-MAGAZINE. [16.11.2015].
8 Graffiti Vandalism posing as art? http://www.creationtips.com/graffiti.html. [11.12.2015].

Graffiti on bridges

Sławomir Karaś[1], Maciej Kowal[1], Anna Leniak-Tomczyk[2]

[1] Road and Bridge Chair, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail:s.karas@pollub.pl, m.kowal@pollub.pl
[2] DrogMost Lubelski, Road and Bridge Technical Office, e–mail: anna.lt@drogmost.lublin.pl

Abstract: The article dealt with a problem of graffiti on bridges. Graffiti can be perceived as a form of artistic expression. Two historical examples of graffiti, one from antiquity times and the other one from the forties of the past century were presented. An attempt was made in order to define the graffiti on the basis of the analysis of the Lublin's graffiti culture The obtained descriptive characteristic/definition of graffiti indicates stable, independent and even illegal activity which seems to be impossible to be constricted. The graffiti was examined on the example of Santiago Calatrava bridges. On the basis of simple statistical method, which was applied, the groups of students assessed the displayed graffiti

on bridges by answering the questions by means of 1/0 estimation (positive/negative impression). The reliable results were obtained. It was concluded that some graffiti on bridges can optionally be accepted and therefore can be remained as a result of rational judgement of the artistic expression.

Keywords: bridges, aesthetics, graffiti.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 61-70

Durability of steel rail bridges as a part of environmental protection

Petro Savchuk[1], Olesya Maksymovych[1], Vitaliy Knysh[2]

[1] Department of Technical Mechanics, Faculty of Construction and Design, Lutsk National Technical University, e-mail: olesyamax@meta.ua
[2] Department of the Strength of Welded Structures, Ye.O. Paton Institute of Electric Welding of NASU, e–mail: knyshj@paton.kiev.ua

Abstract: Condition of bridges with defects can lead to destruction and at the same time adverse effects on the environment, causing discomfort to society. Therefore, it is necessary to predict the durability of existing bridges, including resistance to increasing number of fatigue cracks, which can lead to the destruction of the steel elements. The article presents the results of theoretical and experimental research, which can be used to assess the durability of steel structures.

The method of calculation of fatigue cracks growth in anisotropic elements, occurring at different angles to the stiffeners, was presented in the paper. Developed calculation allows estimating time of growth of cracks to some (safe) sizes and determining a value of stress intensity factors, based on which major repairs of the damaged areas can be planned.

Keywords: durability, plate, fatigue cracks, cyclic loading.

1. Introduction

One of the most common causes for the destruction of plate elements under cyclic loads is the growth of small initial cracks before they reach critical size. Investigation of the process of extension of fatigue cracks allows us to predict the durability of structures, i.e. to evaluate the process from the origination of cracks to total destruction.

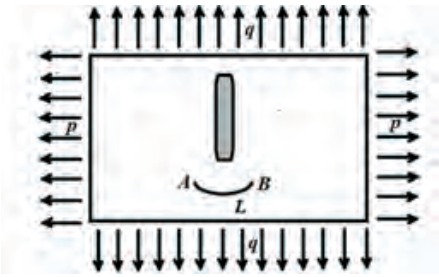


Fig. 1. The plate with a inclusion is weakened by a crack

To increase the stiffness of plate elements the ribs are welded to them. It is known that in the vicinity of the ends of the ribs, as a rule, there is a high stress concentration. That's why here fatigue cracks arise and propagate. In particular, such cracks often occur in railway bridges. For the calculations on the durability of these structural elements, the rib would be modeled by the rigid inclusion. In this case, the task of calculating the longevity is reduced to the study of trajectories and speed of propagation of fatigue cracks in the plate

with inclusion depending on the mechanical characteristics of the plate, place of the beginning of a crack, its form and type of active load.

Let us assume that the plate with the inclusion (Fig. 1) is weakened by a crack located on the curve *L*. Let us consider the case when the plate is stretched by variable in time efforts of *Cq* in the direction of the axis *Oy* and *Cp* in the direction of the axis *Ox*, where *C* is a cyclic multiplier. Further, we assume that this multiplier varies in each of the load cycles from 0 to 1. The values of effort q and p near the ribs are selected depending on loading conditions. We should note that for complex types of load which occur in bridges, these efforts are defined by experimental methods in specialized mobile laboratories.

It is determined that the cracks originate near the ends of the ribs at some distance from the ribs and are inclined at a certain angle. Further, we assume that the above values are given for the initial crack.

To find the form of cracks in the process of loading we use step-by-step method [1, 2]. The process of extension of cracks is studied sequentially on separate steps on which accept gains arcs of small cracks. When determining the length of the arc growth the growth rate of fatigue cracks was determined on the basis of the diagrams of fatigue failure (DFF), which were chosen in the form

$$V = F(K_{\max}, K_{\min}), \tag{1}$$

where *V* is the propagation velocity of the crack tip, $K_{\max}, K_{\min}$ respectively the largest and smallest equal to the value of *K* characterizing the stress-strain state (SSS) near the crack-tip cyclic loading. In particular, in the case of extension of cracks by the mechanisms of the normal separation or shift the values *K* take the values of stress intensity factor (CIF) or respectively.

The calculation algorithm is as follows. Let us consider the *n*-th step. Let's denote the crack tip by A_n, B_n. In the process of tracing, the cracks change shape. To find CIF, which are necessary we use the method of integral equations [1,5,6]. The shape of the cracks is found in the analytical form. With this purpose for each of the cracks, we give the coordinates of the nodal points and additionally the angles of inclination of tangents at the vertices.

We denote the selected nodal points on the crack as *n-th* step via $(x_1^{(n)}, y_1^{(n)}), (x_2^{(n)}, y_2^{(n)}), ..., (x_{N_n}^{(n)}, y_{N_n}^{(n)})$, where N_n is the number of nodal points. Note that the first and last points correspond to the vertices of the crack. We will also give the values of the angles of inclination of tangents at the vertices of the crack to the *Ox* axis, which we denote by φ_n^A, φ_n^B.

Based on predetermined coordinates of the nodal points and the derived equations of each crack we describe using cubic spline, which is continuous together with the first two derivatives and has set the slopes of the tangent at the vertex. Further, using known methods of calculation of SSS [1,4-6] of plates with cracks we find CIF for both of the vertices of cracks, which we denote by K_I, K_{II}.

Using the force criterion of destruction, we find the angles θ_n^A, θ_n^B that will both grow the crack, which are measured from the respective tangent. Let us denote the coordinates of the vertices of a crack at the next stage via A_{n+1}, B_{n+1} and the distance at which they moved through

Δ_{n+1}^A, Δ_{n+1}^B , where $\Delta_{n+1}^A = |A_{n+1} - A_n|$, $\Delta_{n+1}^B = |B_{n+1} - B_n|$.

Based on (1) we arrive at

$$\Delta^{A}_{n+1} = F_n(A)\Delta\tau_{n+1}, \quad \Delta^{B}_{n+1} = F_n(B)\Delta\tau_{n+1}, \tag{2}$$

where: $F_n(A) = F(K_{\max}(A_n), K_{\min}(A_n))$, $F_n(B) = F(K_{\max}(B_n), K_{\min}(B_n))$, $\Delta\tau_{n+1}$ – time of growth. Here we adopted that the crack grew up along the rectilinear segment.

In the calculations, we assume that the distance of the vertex move with the highest value of CIF per step is equal to some value Δ that is small in value. Then, based on (1) we obtain

$$\Delta\tau_{n+1} = \Delta / F_{\max}, \tag{3}$$

where: $F_{\max}$ is greater of $F_n(A)$, $F_n(B)$.

Based on the ratios we find the coordinates of the vertices of cracks at a new stage, and then find the slope of the tangent to the crack at its vertices to the *Ox* axis. The obtained results give the opportunity to move to the next stage of tracing the trajectory of the crack.

To determine the stress state of such plates we used the algorithm that is given in [1, 5] based on the method of integral equations. The calculations are performed with respect to low alloy steel 10ХСГД. In the calculations, we take into account that the metal plates, which are made on rolling mills, can be mechanically anisotropic. In the literature, as a rule, the mechanical anisotropy is neglected. Since the calculation of isotropic and anisotropic plates is performed by the same algorithms [1,5], the anisotropy does not lead to additional complications.

To account for mechanical anisotropy we assumed that the modules of elasticity in the direction of the coordinate axes are equal and known to the average Poisson's ratio ν. It was assumed that the known fracture toughness $K_C(\gamma)$, which is included in this criterion, depends on the direction (angle γ) and is described by the formula [3]

$$K_C(\gamma) = K_C(0)\sqrt{1-\sin^2\gamma\left[1-\left(K_C(\pi/2)/K_C(0)\right)^2\right]}, \tag{4}$$

for the application which is sufficient to determine experimentally the values of fracture toughness in the main orthotropic directions. DFF in the form of (1) was used to determine the lengths of the increments of the vertices of the cracks, in which the value of *K* characterizing SSS at the crack was assumed. The value $K_{I\theta}$ of the stress intensity factor on the ground, inclined at an angle γ to *Ox* axis, was the angle between the tangent to the crack at the top and *Ox* axis. In the calculation DFF was described by the Yarema-Mikitishin formula [3], and it was $\Delta K_{fc} = 40\,МПа\sqrt{m}$, $\Delta K_{th} = 4\,МПа\sqrt{m}$, $v_0 = 1.06\cdot10^{-7}\,m$, $\kappa = 1{,}5$.

2. Vertical cracks

Let us consider primarily vertical crack of half-length *L*, which is at a distance *d* from the inclusion. It was assumed that the inclusion is rigid and has the shape of an ellipse with semi-axes *a*, *b* that lie on the coordinate axes *Ox* and *Oy*. The results of calculations of the trajectories and the speed of extension of the cracks *v (m/cycle)* at *L* = 0.1 *a*, *b/a* = 0.1, *d/a* = 0.1, *a* = 1 m is shown in Fig. 2a, when *p* = 0.25*q* and in Fig. 2b at *p* = 0.5*q*. In the calculations in step-by-step method were chosen 60 steps and it was assumed that the average Poisson's ratio $\nu = 0{,}29$, $w = E_x / E_y = 1$ and $m = K_C(0)/K_C(90^0) = 1$.

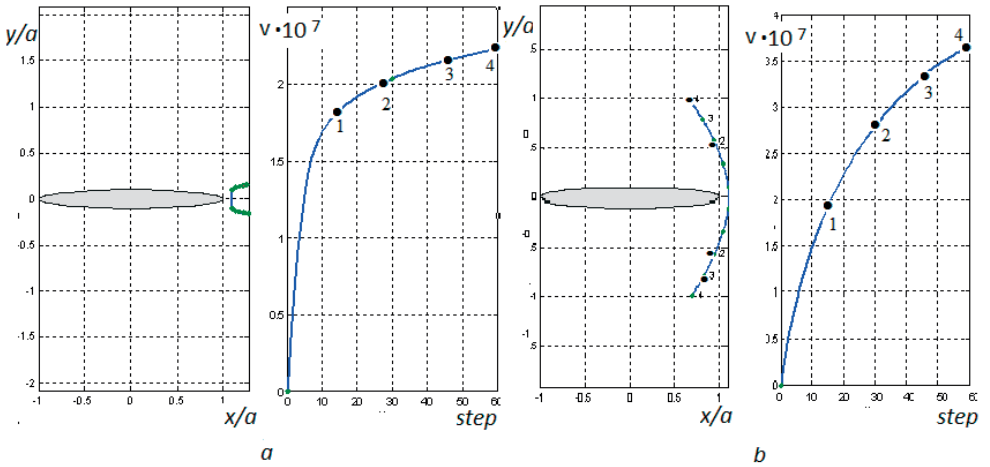


Fig. 2. The trajectory and speed of growth of fatigue cracks in (0.25 q, q), q = 40 MPa (a) and (0.5 q, q), q = 20 MPa (b)

The calculations are done for the case of inclusion, which has the shape of a rectangle with length 2*a*, width 2*b* and rounded sides by semicircles of radius *b* did not differ from the image shown data.

Points on the trajectories correspond to the placement of the vertices of the crack on 15, 30, 45, 60 steps. The right figure shows the value of *N* is the number of cycles required for crack extension to given labels, and the steps are above the values of N marked points.

From Fig. 2 it is clear that the crack moving away from inclusion is almost perpendicular to the crack under tension in the direction of the *Oy* axis with efforts *q* = 40 *MPa* and *p* = *q*/4 in the direction of the *Ox* axis. With the additional stretching of the *p* = *q*/2 in the direction of the axis *Ox* the character of cracks growth is different – its top moving in the direction of inclusion. We should note that the resulting path of movement of the tops of the cracks do not depend on the diagrams of fatigue damage, since both vertices are in the same conditions. Therefore, these trajectories will be the same for all materials with the same Poisson's ratio (when $\nu = 0.29$).

3. Horizontal cracks

Let us explore the durability of the plate with hard inclusion and rectilinear crack of half-length 0.2*a* with centered at the point (*1.3 a*, 0), which lies on the *Ox* axis with tension of plate with the efforts of p acting at an angle φ to the axis *Ox*. The calculations showed that at *a* = 1*м*, $\varphi = \pi / 6$, the minimum and maximum permissible values of external effort, at which fatigue cracks grow up respectively 9,609 MPa and MPa 82,680. The calculations were performed at four values of the external efforts: 17,728, 25,847, 33,966, 42,085 (MPa) and continued up until CIF has not reached the maximum number allowed. The calculated trajectory of extension of the cracks for these cases lie between the points with lower and upper numbers (1, 1), ..., (4, 4) accordingly in Fig. 3a. Similar calculations are performed for the angle $\varphi = \pi / 4$, which is shown in Fig. 3b.

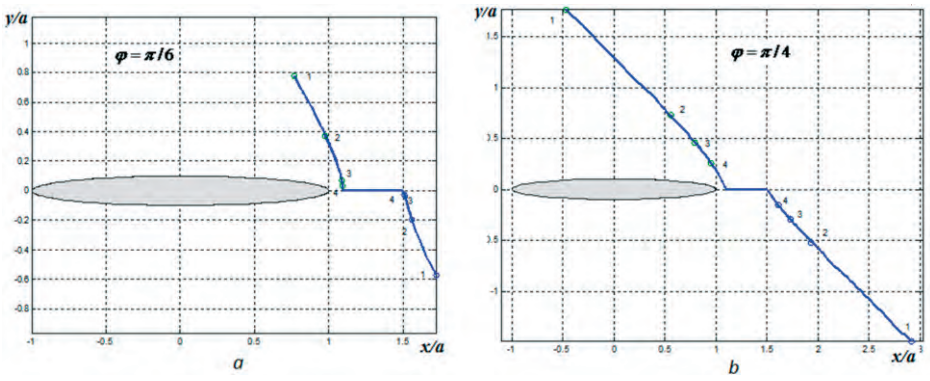


Fig. 3. The trajectory of crack growth under tension at the angle

Table 1 shows the minimum and maximum values of the allowable effort and effort in which the trajectory was calculated.

The value of the number of cycles required for the crack to grow up to the labels 1 – 4 are shown in Table 2.

Table 1. Determination of efforts (MPa)

	p_{min}	p_{max}	p_1	p_2	p_3	p_4
π/6	9.609	82.680	17.7278	25.8468	33.9659	42.0849
π/4	6.6205	56.9673	12.2146	17.8087	23.4028	28.9968
π/3	5.6086	48.2603	10.3477	15.0868	19.8259	24.5649
π/2.2	5.3928	46.4032	5.6654	1.7228	0.7081	0.3106

Table 2. Number of cycles before failure

	$N_1/10^4$	$N_2/10^4$	$N_3/10^4$	$N_4/10^4$
π/6	0.8294	0.1910	0.0589	0.0278
π/4	2.7659	0.7636	0.2745	0.1029
π/3	4.9505	1.4919	0.5989	0.2685
π/2.2	5.6654	1.7228	0.7081	0.3106

4. Comparison with experimental data

The above options of fatigue cracks growth often occur around the welded stiffeners in plate elements of bridges. Most often cracks in the walls of the main span structures of railway bridges occur near the ends of welded stiffeners perpendicular to the edge. In Fig. 4 shows a view of the bridge over the Vorskla river (Poltava).

To the right of the edges the crack in Fig. 5 is placed almost symmetrically. It is seen that the crack grew in the direction of an edge, which is consistent with the data calculations. It is seen that cracks can occur at various distances from the edge. After the fatigue cracks reach big sizes in bridge span structures different ways can be used to stop them. One of the methods can be seen in Fig. 5 - near the peaks of crack were drilled circular holes (without drilling holes cracks further grew in the direction of the ribs).

After drilling holes, the calculation of the strength is conducted basing on the values of maximum stresses on the boundary.

It is determined that during further exploitation on the holes appear new cracks and growth of fatigue cracks is going on. In this case, the crack grows along the trajectory close to the calculated in Fig. 2b and its size is significantly greater than the diameter of the hole. Next, the value of CIF is estimated and if they reach close to critical values, additional repair work is conducted. That is, the key issue in this approach is the calculation of CIN for cracks that changes in growth form.

The fatigue cracks in this bridge are depicted in Fig. 5.

Fig. 4. Railway bridge over the Vorskla river in Poltava

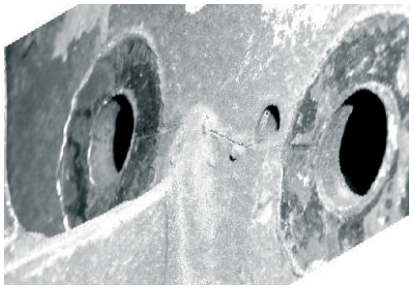
a)  b)

Fig. 5. Cracks of railway bridge a) near the stiffness ribs of the wall of the main passage of the structure b) near the stiffness ribs of the wall of the main span structures

5. The value of CIF on the trajectories of cracks' growth

Let us consider a vertical crack near the end of the inclusion centered at the point (x_c, 0) and a half-length L. Let us assume that the plate without the inclusion is under the efforts p_x, p_y in the directions of the axes Ox and Oy. Then the crack will grow along the symmetric trajectory and it can be found without the use of DFF. The obtained results will be more general in nature and can be used for various close to isotropic materials in dimensionless variables. Further calculations are made for case $x_c = 1,05a;\ L = 0,05a$, $b/a = 0,05;\ \nu = 0,3$, and are different relations of efforts p_x/p_y. The calculated trajectory of the crack if p_x/p_y = 0.25 is depicted in Fig. 6 on the left. On the right the relative CIF $F_I = K_I / \left(p_y \sqrt{a} \right)$ value is shown (along the trajectory $K_{II} \approx 0$) depending on the step number. It should be noted that the whole growth process was divided into 60 steps, for which increase of the crack length was the same. On the left the numbers 1, 2, 3, 4 correspond to point of the trajectory, which correspond to the numbers 15, 30, 45, 60 steps.

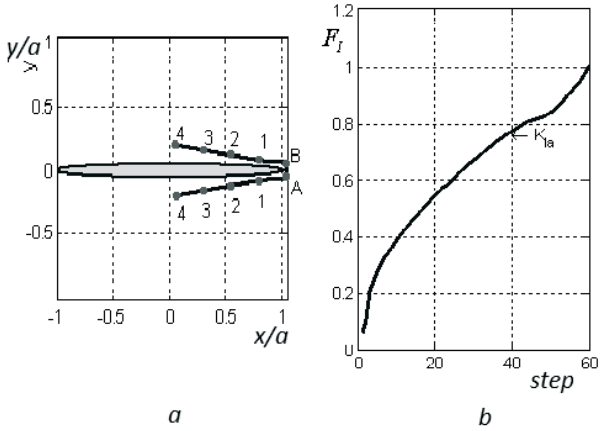


Fig. 6. The trajectory of crack growth and relative CIF when $p_x / p_y = 0,25$

The calculations showed that under relations of efforts $p_x/p_y \le 0.3$, the replacement of the initial crack for slightly curved can change the direction of the trajectory of the crack growth on the opposite. That is, for these values the efforts of the trajectory of the crack growth can be unstable.

The calculations of the trajectories of crack growth and CIF at different ratios of fracture toughness in the longitudinal and transverse directions are made. The results of the calculations at p_x/p_y = 0.3 and the ratio $K_{IC}(0^0) / K_{IC}(90^0)$ equal to 1.2 are depicted in Fig. 7a,b.

From the performed calculations it follows that the anisotropy of dependence K_{IC} wit ratio $0,8 \le K_{IC}(0^0) / K_{IC}(90^0) \le 1,2$ has little impact on the trajectory of crack growth and CIF, the influence of the shift of fracture toughness can occur in quite significant reltionship $K_{IC}(0^0) / K_{IC}(90^0)$ = 0.5.

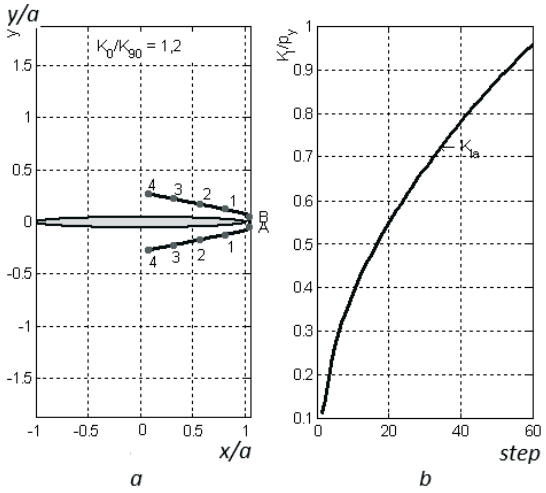


Fig. 7. The trajectory of crack growth and relative CIF at $p_x / p_y = 0.3$, $K_{IC}(0^0) / K_{IC}(90^0)$ = 1,2

6. Investigation of the effect of residual stresses

It was established experimentally that near the ribs are residual stresses, encountered during their welding. The influence of residual stresses on the process of growth of fatigue cracks under cyclic loads was investigated by experimental methods. It is shown that the decrease in the level of residual stresses allow to reduce the speed of growth of fatigue cracks several times.

7. Conclusions

Knowledge of the complex processes of destruction is one of the main elements of the design, leading to the strength of structures and, thereby, indirectly, to the protection of the environment in the broad sense of the word.

On the basis on data shown in Figs 2–7 can be calculated the trajectory of growth of fatigue cracks, depending on the relationship of efforts p_x/p_y. At known values p_y of the values in Fig. 7b CIF can be found and compared with the fracture toughness K_{IC}. Anisotropy of fracture toughness in which the ratio of the maximum to minimum values satisfies the inequality has little impact on the trajectory of crack growth and CIF. Basing on these data, you can set the time when you need major repairs near the crack.

Thus, the method of calculation of growth of fatigue cracks that originated at different angles of inclination relative to the ribs is developed. For the implementation of the technique it is sufficient to indicate the slope of the initial crack length and to determine forces that arise in the neighborhood of the rib. Developed computational complex allows evaluating the crack growth up to a certain (safe) sizes and to determine the value of CIF based on which further time for overhaul of the damaged areas is determine. Since the crack is significantly larger than the diameter of the hole, the hole was not taken into account in the calculations of CIF.

The high efficiency of methods to reduce residual stresses near the ribs to stop or decrease the rate of growth of fatigue cracks is determined.

References

1 Божидарник В.В. Упругое и предельное равновесие анизотропных пластинок с отверстиями и трещинами / В.В. Божидарник, А.В. Максимович // Монография. - Луцк: ЛГТУ, 2003. - С. 226.

2 Панасюк В.В. О росте трещины в телах качения в условиях сухого трения и увлажнения / В.В. Панасюк, А.П. Дацишин, Г.П. Марченко // физ.-хим. мех. материалов. - 2003. - № 6. - С. 12-23.

3 Ярема С.Я. Построение диаграмм предельных напряжений для анизотропных хрупких материалов / С.Я. Ярема, С. Крестин // физ.-хим. механика материалов. - 1968. - № 4. - С. 420-423.

4 Bozydarnik W., Maksymovicz O.: Badanie poczatcov niszenia plyt w obszarach wad podobnych do pekania / Zeszyty naukovwe politechniki rzeszowskiej. Mechanika. Technika i techlogia montazu maszyn. – Rzeszov. – 2008. – 72. – S. 267-274

5 Maksymovych O., Pasternak I., Sulym H., Kutsyk S. Doubly Periodic Cracks in the Anisotropic Medium with the Account of Contact of Their Faces Acta Mechanica et Automatica 12/2014; 8(3):160–164.

6 Maksymovych O.,· Bortnyk K. Ya. SolyarDetermination of Stresses in Plates with Cracks for the Discrete Contact of their Faces ·Journal of Mathematical Sciences 08/2014; 201(2):200-213.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАЛЬНЫХ МОСТОВ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

П.П. Савчук[1], О.В. Максимович[1], В.В. Кныш[2]

[1] Кафедра технической механики, факультет строительства и дизайна, Луцкий национальный технический университет, e–mail: olesyamax@meta.ua
[2] Отдел прочности сварочных конструкций, Институт электросваривания им. Є.О. Патона НАНУ, e–mail: knyshj@paton.kiev.ua

Резюме: Состояние мостов с дефектами может привести к разрушениям и в то же время отрицательно влияет на состояние окружающей среды, вызывает дискомфорт общества. Поэтому, необходимо прогнозировать долговечность существующих мостов, в том числе устойчивость к росту усталостных трещин, которые могут привести к разрушению стальных элементов. В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые могут быть использованы при оценке долговечности стальных сооружений.

Разработана методика расчета роста усталостных трещин в пластинчатых анизотропных элементах, которые возникают возле ребер жесткости. Разработанный расчетный комплекс дает возможность оценивать время роста трещин до некоторых (безопасных) размеров и определять значение КИН, на основании которых дальше определяют момент времени для проведения капитального ремонта поврежденных зон. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений на процесс роста усталостных трещин возле ребер жесткости и способов их регулирования.

Ключевые слова: долговечность, пластинка, трещины, циклические нагрузки, усталостные трещины.

Trwałość stalowych mostów kolejowych jako warunek ochrony środowiska

P.P. Savchuk[1], O.V. Maksimovich[1], V.V. Knysh[2]

[1] Katedra mechaniki technicznej, Łucki narodowy uniwersytet techniczny, e-mail: olesyamax@meta.ua
[2] Departament wytrzymałości konstrukcji spawanych, Instytut elektro-spawania im. Є.O. Paton NASU, e-mail: knyshj@paton.kiev.ua

Streszczenie: Zawansowany stan rozwoju pęknięć w mostach stalowych może skutkować zniszczeniem konstrukcji. Wyłączenie mostu z ruchu i jego remont to złożona społecznie i środowiskowo sytuacja dyskomfortu dla ludzi i środowiska. Mając to na uwadze należy już na etapie projektowania mostu stosować rozwiązania trwałe odpowiadające założonemu czasowi eksploatacji, w tym w szczególności zapobiegającymi powstawania i rozwoju rys zmęczeniowych. W artykule zamieszczono wyniki analiz teoretycznych i badań eksperymentalnych, które mogą być wykorzystane do oceny trwałości konstrukcji stalowych.

Przedstawiono metodę obliczania rozwoju pęknięć zmęczeniowych w anizotropowych elementach płytowych, w sąsiedztwie sztywnych żeber. Zastosowano złożoną analizę procesu rozwoju rys, która umożliwia wyznaczenie stanu granicznego w kategoriach użytkowalności konstrukcji oraz powiązanych z nim wartości współczynników intensywności wytężeń. Uzyskane rozwiązania są równoważne wyznaczeniu czasu, w którym jest konieczne przeprowadzenie naprawy konstrukcji. W analizach zawarto wpływ naprężeń residualnych wynikających ze stosowanych technologii, proponując jednocześnie postępowania minimalizujące ich efekty.

Słowa kluczowe: trwałość, płyta, pękania zmęczeniowe, obciążenia periodyczne.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 71-80

Przejścia dla zwierząt na odcinku S17 między węzłami „Kurów Zachód" a „Lublin Felin"

Maciej Kowal, Sławomir Karaś

Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: m.kowal@pollub.pl, s.karas@pollub.pl

Streszczenie: W artykule opisano parametry i efektywność elementów ochrony środowiska drogi ekspresowej S17 w formie przejść dla zwierząt. Przedstawione zostały obiekty inżynierskie na odcinku od węzła „Kurów Zachód" do węzła – „Lublin Felin". Opisano wymagania ochrony środowiska na etapie projektowania oraz podczas realizacji budowy. Zaprezentowano rozwiązania konstrukcyjne obiektów oraz podstawowe funkcje tych przejść. Podsumowano trafność zastosowanych rozwiązań obiektów i ich lokalizacji w terenie.

Słowa kluczowe: ochrona środowiska, droga ekspresowa S17, przejścia dla zwierząt.

1. Wprowadzenie

Pod koniec 2015 otwarto oferty na zaprojektowanie i budowę ostatnich odcinków drogi ekspresowej S17 na odcinku „Zakręt" – „Kurów Zachód". Realizowany odcinek S17, ma w niedalekiej przyszłości podnieść klasę drogi krajowej nr 17 od Warszawy do węzła „Kurów Zachód" do poziomu drogi ekspresowej. Trasa podzielona na 7 odcinków, w dużej części ma przebiegać wzdłuż istniejącej drogi krajowej, omijając po nowym śladzie kilka miast i miejscowości.

Pod koniec 2014 roku, oddano do użytku ostatnie dwa odcinki dużej inwestycji drogowej pod nazwą „Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski". Budowa drogi ekspresowej S17 o długości niespełna 67 kilometrów rozpoczęła się w 2010 roku i trwała w sumie cztery lata. Oddany do ruchu odcinek praktycznie w pełni przejął ruch ze starej drogi krajowej nr 17. Droga ekspresowa otwiera Lublin na nowe inwestycje oferując komfortowe warunki transportowe.

Przeciążona ruchem kołowym droga krajowa nr 17, zajmująca pierwsze miejsce w hierarchii dróg województwa lubelskiego, została na omawianym odcinku wyprowadzona w 80% poza dotychczasowy ślad. Poprowadzenie przebiegu drogi ekspresowej po nowym szlaku spowodowało przecięcie korytarzy migracyjnych dzikich zwierząt i płazów. Aby zapobiec stworzeniu sztucznej bariery, należało dostosować do tychże korytarzy migracyjnych typ, liczbę i formę projektowanych obiektów inżynierskich.

Niniejszy artykuł opisuje przejścia dla płazów, małych, średnich i dużych zwierząt, które zbudowano w ramach realizacji S17 w poniżej wyszczególnionych celach:

- zachowania ciągłości szlaków sezonowych migracji rozrodczych płazów i bezkręgowców naziemnych,
- zachowania ciągłości obszarów siedliskowych i szlaków migracyjnych małych ssaków (łasicowate, gryzonie, owadożerne) oraz ssaków ziemnowodnych (wszystkie gatunki), mające służyć także średnim ssakom żyjącym w norach (głównie lisom),

- ochrony dostępu do terenów łownych oraz migracji zwierząt dużych, wszystkich gatunków ssaków kopytnych (w tym łosia) oraz drapieżnych (w tym wilka i rysia) oraz średnich, ale z możliwością wykorzystania przez zwierzęta małe i płazy.

2. Wymagania odnośnie ochrony środowiska

Zgodnie z Rozporządzeniem MTiGM z dnia 30 maja 2000 r. [1], dla zwierząt dziko żyjących powinno być zapewnione bezkolizyjne przemieszczanie się ich z jednej na drugą stronę drogi klas A, S, GP i G, w miejscach nasilonej migracji, a w szczególności w większych kompleksach leśnych oraz obszarach bagiennych i innych przeciętych drogą siedliskach rzadkich i zagrożonych gatunków.

Bezpośrednio, wzdłuż wybudowanego odcinka drogi S17 nie występują obszary parków narodowych oraz obszary Natura 2000. Jednakże, w pobliżu linii rozgraniczających inwestycję (na odcinku „Lublin Rudnik" – „Lublin Felin") występuje Specjalny Obszar Ochrony Siedlisk „Bystrzyca Jakubowicka" zaliczany do obszarów Natura 2000. W obszarze tym występuje kilka gatunków chronionych motyli i roślin. Przy projektowaniu i realizacji drogi ekspresowej przestrzegano zapisów decyzji o uwarunkowaniach środowiskowych [2, 3, 4, 5] oraz przepisów ustawy o ochronie środowiska [6] Ochrona środowiska wymagana była zarówno podczas realizacji budowy S17 oraz długofalowo po oddaniu drogi ekspresowej do użytkowania. Wymagania ochrony środowiska dotyczyły ochrony wód, powietrza, przed hałasem, zwierząt (poprzez umożliwienie migracji zwierząt i płazów w poprzek drogi), siedlisk oraz zabezpieczenia przed możliwym wtargnięciem zwierząt na trasę. Obostrzeniom środowiskowym podlegały prowadzenie prac w sąsiedztwie terenów objętych ochroną przed hałasem oraz lokalizacje zapleczy budów. Do minimum ograniczono prace w obrębie cennych siedlisk chronionych gatunków roślin i zwierząt. W trakcie realizacji prac wygradzano obustronnie pas drogowy, zabezpieczając przed niekontrolowanym wtargnięciem na plac budowy płazów w obszarach siedliska łęgu oraz odcinków szlaków migracyjnych.

Monitorowanie oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko w zakresie skuteczności wykonanego nasadzenia roślinności oraz skuteczności ekologicznej zastosowanych działań minimalizujących barierowe oddziaływanie drogi na faunę (trafności lokalizacji przejść dla zwierząt i ich parametrów) ma trwać przez 4 lata, raz do roku, począwszy od drugiego roku od oddania drogi do użytku.

3. Podstawowe funkcje przejść i rozwiązania konstrukcyjne

Zbudowane przejścia spełniają dwie podstawowe funkcje ekologiczne. Są nimi stworzenie warunków umożliwiających przemieszczanie się osobników, których siedliska przecina droga oraz umożliwienie migracji, wędrówki i dyspersji osobników przemieszczającym się na duże odległości [8]. W przypadku omawianego odcinka drogi ekspresowej są ważnym elementem przeciwdziałania efektu bariery, która powstała po wybudowaniu drogi w nowym śladzie, w obszarze o rzadkiej zabudowie, w którym wcześniej dzikie zwierzęta miały swobodę przemieszczania się.

Ukształtowanie terenu oraz poprowadzenie niwelety drogi ekspresowej spowodowało, że na wszystkich omawianych zadaniach występują jedynie przejścia dolne pod drogą ekspresową. W ramach zrealizowanej drogi ekspresowej występują zarówno przejścia pełniące funkcje wyłącznie ekologiczne oraz przejścia o funkcjach zespolonych – łączące funkcje ekologiczne i gospodarcze.

W celu zapewnienia dostępu do terenów łownych, jak również migracji głównie zwierząt dużych, ssaków kopytnych oraz drapieżnych (m.in. wilka) oraz średnich (dzik, sarna), w ciągu drogi ekspresowej S17 zbudowane zostały obiekty, których parametry przedstawiono w tab. 1. W przypadku dolnych przejść dla dużych i średnich zwierząt, zalecane wartości światła poziomego (*b*) wynoszą odpowiednio ≥ 15,0 *m* i ≥ 6,0 *m*, światła pionowego (*h*) ≥ 5,0 *m* i ≥ 3,5 *m* oraz współczynnika względnej ciasnoty (*WWC*, szerokość x wysokość / długość) ≥ 1,5 *i* ≥ 0,7 [8]. Zgodnie z DŚU [3] parametry przejść dla średnich zwierząt to *b* ≥ 8,0 *m i h* ≥ 3,0 *m* oraz *WWC* ≥ 0,7. Przedstawione w tab. 1 obiekty mogą być dodatkowo wykorzystywane przez małe zwierzęta i płazy.

Tabela 1. Zestawienie parametrów przejść dla dużych i średnich zwierząt [13-17]

Zadanie	Obiekt	Opis	Przeszkoda	Światło obiektu [m]	Światło przejścia [m]	Światło pionowe [m]	Współcz. względnej ciasnoty [-]
1	MS-02	PZDzd1	Ciek, droga	33,60	19,00	6,80	3,53
	MS-04	PZDzd2	Ciek bez nazwy	21,76	17,48	5,60	2,83
	MD-04a	PZDzd2	Ciek bez nazwy	21,80	17,60	5,40	12,34
	MS-05	PZDzd3	Rzeka Białka	21,76	16,26	5,40	2,40
	MS-10	PZSzd1	Rzeka Białka	21,80	16,80	3,00	1,46
	MS-14	PZSzd2	Rzeka Kurówka	33,60	20,00	4,20	2,43
	PDŚZ	PZSzd3	Ciek bez nazwy	15,82	9,42	6,50	0,92
	MS-16a	PZSzd4	Ciek bez nazwy	17,62	13,82	7,20	1,38
2	MS-02	PZSzd5	Rzeka Ciemięga	29,70	20,20	4,45	2,61
	PZSzd6	PZSzd6	Ciek bez nazwy	14,50	9,60	3,80	0,90
	PZSzd8	PZSzd8	Suchy ciek	11,50	11,50	5,00	1,23
3	WS-07	PZSzd9	Dolina, droga	139,40	38,50	5,3-12,9	min 5,8
	PZSzd10A	PZSzd10	Teren	10,20	10,60	3,00	2,89
	PZSzd10B	PZSzd10	Teren	10,20	40,10	3,00	0,76
	PZSzd10C	PZSzd10	Teren	10,20	9,10	3,00	3,36
	PZSzd11A	PZSzd11	Teren	10,20	9,10	3,00	3,36
	PZSzd11B	PZSzd11	Teren	10,20	40,60	3,00	0,75
	PZSzd11C	PZSzd11	Teren	10,20	11,10	3,00	2,76
4	MS-16	PZDzd4	Dolina Bystrzycy	979,00	841,00	6,0-9,0	min 4,69
	WS-20	PZSzd13	Teren, droga, tory	188,00	10,00	3,50	0,99

PZDzd – przejście dolne dla zwierząt dużych, PZSzd – przejście dolne dla zwierząt średnich

Abstrahując od opisanego powyżej zakładanego przeznaczenia, praktycznie każde z tych przejść może być częściej lub rzadziej wykorzystywane przez różne gatunki i grupy zwierząt. Do zauważonych w okolicy drogi ekspresowej należą między innymi: łoś, jeleń, sarna, dzik, lis, zając, drobne ssaki i płazy.

W ciągu zrealizowanego odcinka drogi ekspresowej zbudowano również szereg mniejszych przejść dla zwierząt. Obiekty te wykonano głównie w celu zachowania ciągłości obszarów siedliskowych i szlaków migracji małych ssaków owadożernych, łasicowatych i gryzoni oraz ssaków ziemnowodnych. Przejścia te mają również służyć średnim ssakom żyjącym w norach (głównie lisom) oraz płazom i bezkręgowcom naziemnym. Przejścia dla małych zwierząt zespolone z przepustami, w których okresowo lub stale płynie woda, zostały zbudowane w trzech formach. Pierwsza, to stalowe półki szerokości 50 cm przymocowane po obu stronach do ścian konstrukcji (stalowej lub żelbetowej) przepustu,

z pokryciem półek warstwą ziemi mineralnej. Druga forma to przejście po warstwie gruntu przykrywającego dno przejścia. Trzecią formę przejścia stanowią półki wykonane z gabionów przykryte warstwą humusu (rys. 1 i 2).

Rys. 1. Rozwiązanie przejścia dla małych zwierząt w formie półek z gabionów w obiekcie PZM 33
Rys. 2. Rozwiązanie przejścia dla małych zwierząt w formie półki z gabionów w obiekcie PZM 29

Zgodnie z Poradnikiem projektowania przejść [8] współczynnik względnej ciasnoty (WWC) przejść dla małych zwierząt powinien być nie mniejszy niż 0,07. Wszystkie zbudowane w ciągu omawianego odcinka S17 przejścia dla małych zwierząt wykonane w formie przepustów spełniają ten wymóg. Jako przejścia dla małych zwierząt wykonano 34 zespoły obiektów lub pojedyncze obiekty (20 konstrukcji stalowych, 32 konstrukcji żelbetowych, w tym dwa małe mosty ramowe). Zestawienie parametrów przejść dla małych zwierząt przedstawione zostało w tab. 2.

Tabela 2. Zestawienie przejść dla małych zwierząt i ich parametrów [13-17]

Typ	Liczba [sztuk]	Szerokość [m]	Wysokość [m]	Pole powierzchni przejścia [m^2]	Współczynnik względnej ciasnoty [-] minimum	maksimum
stalowe	3	2,23	1,68	2,81	0,061	0,073
	2	2,76	2,05	4,29	0,099	0,100
	7	2,84	2,02	4,63	0,099	0,115
	5	2,96	2,16	5,06	0,067	0,098
	3	3,35	2,19	5,68	0,109	0,126
żelbetowe	8	2,00	1,50-2,00	3,00	0,081	0,429
	1	2,50	2,00	3,75	0,449	0,449
	5	2,50	2,50	5,00	0,106	0,602
	2	3,00	1,00	3,00	0,073	0,085
	5	3,00	2,00-3,00	4,50	0,099	0,652
	1	3,00	2,00	5,70	0,497	0,497
	2	3,00	3,00	7,50	0,159	0,181
	2	3,50	2,50	5,25	0,088	0,760
	3	4,50	1,50-2,50	6,75	0,092	0,416
	2	10,00	2,00	14,00	0,410	2,029

Przykładowe przejścia dla zwierząt dużych pokazano na rys. 3; średnich na rys. 4–6; małych na rys. 1, 2, 7, 8.

Rys. 3. Przejście dla zwierząt dużych PZDzd3 w pobliżu węzła „Kurów Wschód”
Rys. 4. Przejście dla zwierząt średnich PZSzd5 w dolinie rz. Ciemięgi

Rys. 5. Przejście dla średnich zwierząt PZSzd6 w pobliżu m. Sieprawice
Rys. 6. Przejście dla średnich zwierząt PZSzd11 na odcinku północnej obwodnicy Lublina

Rys. 7. Zespół przejść dla małych zwierząt PZM37
Rys. 8. Przejście dla średnich zwierząt PZSzd1 w pobliżu węzła „Nałęczów”

Odcinki drogi ekspresowej zaprojektowane zostały przez kilka biur projektowych, co spowodowało nieznaczne zróżnicowanie konstrukcji przejść dla małych zwierząt (rys. 1, 2, 7, 8). W ramach Zadania 1 („Kurów Zachód” – „Jastków”) wykonano wszystkie 22 przejścia dla małych zwierząt i płazów, jako konstrukcje z blach falistych. Kilka konstrukcji wzniesiono w lokalizacji przepustów pod drogą ekspresową oraz na istniejących niewielkich ciekach. W ich przypadku, przejście dla zwierząt stanowią półki stalowe pokrytej warstwą gruntu. Na długości Zadania 2 („Jastków” – „Lublin Sławinek”), konstrukcje przejść dla małych zwierząt delikatnie zróżnicowano. Tam gdzie bezpośrednio nad przepustem ułożona została nawierzchnia drogowa lub niewielki nasyp drogowy, tam zaprojekto-

wano konstrukcje żelbetowe. W sumie zbudowano 5 żelbetowych i 8 stalowych przejść dla małych zwierząt i płazów. W przypadku Zadania 3 („Lublin Sławinek" – „Lublin Rudnik"), wykonano 12 przejść dla małych zwierząt i płazów w formie żelbetowych konstrukcji z elementów prefabrykowanych. Podobne konstrukcje jak w Zadaniu 3 przyjęto jako przejścia dla małych zwierząt i płazów w ramach Zadania 4 („Lublin Rudnik" – „Lublin Felin"). Łącznie zbudowano 13 obiektów żelbetowych z elementów prefabrykowanych. Dodatkowo przejściem dla małych zwierząt jest most o konstrukcji ramy żelbetowej o wymiarach w świetle 2,0 x 10,0 m.

W celu zminimalizowania negatywnego wpływu drogi ekspresowej na płazy, wykonano przejścia dla płazów (PDP). Obiekty przyjęły formę konstrukcyjną przepustów stalowych. W ramach drogi S17 wzniesiono 7 przejść dla płazów w zakresie Zadania 1 (276x205 cm, WWC 0,068 ÷ 0,098) oraz 4 w ramach Zadania 2 (296x216 cm, WWC 0,096 ÷ 0,120). Przejścia dla płazów pełnią również funkcję uzupełniającą przejść dla średnich i małych zwierząt.

Rys. 9. Ślady użytkowania przejścia dla małych zwierząt przez ludność
Rys. 10. Widoczne ślady pojazdów kołowych w przejściu dolnym dla średnich zwierząt

4. Trafność rozwiązań

W 2015 roku minęły dwa lata od oddania drogi ekspresowej na odcinku Zadania 1 [7] oraz rok od oddania do użytkowania odcinków zadań 2, 3 i 4. Okres użytkowania pozwala na wstępna ocenę efektywności zastosowanych rozwiązań. Pierwsze analizy są już prowadzone. Zwierzęta mogły oswajać się z urządzeniami przeznaczonymi dla ich ochrony, już w trakcie realizacji budowy drogi. Co więcej, okres ten w przypadku odcinków od węzła „Jastków" do węzła „Lublin Felin" z różnych przyczyn wydłużył się o rok. Wielką niewiadomą było, jak zwierzęta zareagują na ruch pojazdów w okolicy drogi ekspresowej.

Analizując trafność zastosowanych rozwiązań należy zwrócić uwagę na kilka pozytywów i negatywów. Jak rozpatrywano w publikacji Kowala [10] dyskusyjna była lokalizacja przejścia dla średnich zwierząt PZSzd8 na Zadaniu 2 (rys. 10). Obiekt został zlokalizowany bezpośrednio w okolicy zabudowań gospodarczych, co może znacznie zminimalizować jego wykorzystanie przez dzikie zwierzęta. Z obserwacji własnych autorów wynika, że obawy nie były bezzasadne. Trudno zauważyć tropy dzikich zwierząt w obszarze tego przejścia, co nie oznacza, że obiekt nie jest nieużytkowany przez dzikie zwierzęta. Na obniżenie podstawowej funkcji obiektu, dodatkowo może mieć wpływ użytkowanie przez okoliczną ludność. Obiekt jest idealnym przejazdem gospodarczym. Podobna sytuacja dotyczy kilku przejść dla małych zwierząt, które pełnią funkcje przejść dla miejscowej ludności (rys. 9).

Rozważanym w [10] problemem była trafność ustawiania latarni oświetleniowych w pobliżu lub bezpośrednio na obiektach stanowiących przejścia dolne dla zwierząt (PZDzd1, PZDzd3, PZSzd1 wszystkie na odcinku „Kurów Zachód" – „Jastków"). Po prawie trzech latach od oddania drogi do użytku widać, że fauna w pewnym stopniu się dostosowała do nowej rzeczywistości. W pobliżu obiektu PZDzd3 (MS-05) i pod nim, można spotkać tropy dzika. Co więcej, obiekt stał się prawdopodobnie ciekawym udogodnieniem dla członków koła łowieckiego z tego obszaru, ponieważ 150 m na północ od obiektu postawiono ambonę strzelniczą. W obszarze obiektu PZSzd1 (MS-10) zauważono ślady tropów sarny (rys. 11).

Rys. 11 i 12. Tropy zwierząt w obszarze z przejścia dla średnich zwierząt PZSzd1 oraz zespołu przejść dla małych zwierząt PZM37

Kolejnym tematem poddanym dyskusji był kolor antykorozji powierzchni betonowych obiektów [10,11]. Zastosowane na obiektach jasno-żółtego koloru ścian przyczółków i skrzydeł oraz pomarańczowego na powierzchniach gzymsów prawdopodobnie nie wpłynęło negatywnie na użytkowanie przez dzikie zwierzęta.. Obecnie autorzy nie posiadają własnych zasobów fotograficznych z uchwyceniem wykorzystania obiektów przez konkretne gatunki zwierząt w zależności od pory doby. Jednakże, w trakcie prac gwarancyjnych w okresie września i października 2015, pracownicy budowlani dokonujący poprawek na łożyskach obiektu MS-02 (PZSzd5) na odcinku „Jastków" – „Lublin Sławinek" z podziwem kilkukrotnie obserwowali przejście pod obiektem saren i lisów w porze dziennej. Obiekt PZSzd5 jest mostem nad rzeką Ciemięgą zespolonym z przejściem dla średnich zwierząt. Jego parametry nie dyskwalifikują przed możliwością wykorzystania także przez duże zwierzęta. Podczas budowy tego mostu w 2013 roku, obok obiektu, po nasypie budowanej drogi przeszedł dorosły łoś. Później nie zaobserwowano ponownego przejścia. Jednakże, podczas omawianych powyżej prac gwarancyjnych, w słoneczny dzień, jeden z pracowników uwiecznił zbliżenie się do obiektu młodego łosia, który jednak pod obiektem nie przeszedł. Możliwe jednak, że obiekt będzie pełnił funkcję przejścia i dla tego gatunku.

Ślady tropów saren autorzy zinwentaryzowali między innymi również w zespole przejść dla małych zwierząt PZM37 (rys. 12). To ciekawe, ponieważ wymiary światła tych obiektów to 3,0 m w poziomie oraz 1,5 m i 2,0 m w pionie. Współczynnik względnej ciasnoty w tych obiektach wynosi 0,59 dla obiektu o mniejszym świetle oraz 0,181 dla drugiego.

5. Podsumowanie

Inwestycja polegająca na budowie drogi ekspresowej, to poważne wyzwanie zarówno dla zamawiającego, którym w przypadku dróg ekspresowych, jest Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad o/Lublin, jak również dla projektantów oraz wykonawców podejmujących się wykonania zadania. Ustalenie optymalnego przebiegu trasy, w tym skomunikowanie przyległych do przebudowywanej drogi krajowej miejscowości oraz umożliwienie przekroczenia migrującym zwierzętom bariery, jaką stanie się droga ekspresowa, stanowi poważne wyzwanie. 2016 rok będzie etapem projektowania przebiegu trasy, węzłów drogowych i obiektów inżynierskich w ciągu dalszych odcinków drogi ekspresowej S17 od węzła „Kurów Zachód" do węzła „Zakręt". Z ciekawością należy oczekiwać projektowanych rozwiązań.

Budowa drogi ekspresowej S17(12) na odcinku „Kurów Zachód" – „Piaski Zachód" przyczyniła się znacząco do poprawy komfortu życia i poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w obrębie miejscowości leżących wzdłuż starej drogi krajowej nr 17, a które w związku z poprowadzeniem trasy po nowym przebiegu, ominięto. Określenie rzeczywistego wpływu budowy drogi ekspresowej na zmniejszenie liczby zdarzeń drogowych i wypadków będzie możliwe w perspektywie kilku najbliższych lat.

Projektanci starannie zadbali, aby w ciągu drogi ekspresowej wprowadzić bezpieczne dla środowiska rozwiązania elementów trasy i obszarów przyległych tak, aby jak najmniej ingerować w środowisko naturalne znajdujące się na przebiegu wybudowanej drogi ekspresowej. Koszty wszystkich elementów wymaganych przepisami ochrony środowiska naturalnego na omawianym odcinku S17 osiągnęły znaczny udział w kosztach całkowitych inwestycji (nawet 27% [10]). Jednakże, ludność, faunę, florę, wodę i powietrze należy bezwzględnie chronić przed negatywnymi wpływami wybudowania i użytkowania drogi tej klasy. Należy mieć na uwadze, że zachowanie równowagi w środowisku naturalnym, zatem dbanie o czystość wód i powietrza, ale również o płazy oraz małe, średnie i duże zwierzęta, wpływa w ostatecznym rozrachunku na środowisko człowieka. Obserwując i analizując już zbudowane urządzenia ochrony środowiska należy poszukiwać i stosować w przyszłych inwestycjach dobrych, sprawdzonych i opłacalnych rozwiązań.

Dokonując ostatecznej oceny efektywności urządzeń ochrony środowiska w postaci przejść dla zwierząt na analizowanym odcinku S17, należy stwierdzić, że mimo wcześniejszych pewnych wątpliwości odnośnie przydatności do użycia, obiekty są w większości użytkowane zgodnie z przeznaczeniem. Nie można oceniać w pełni przydatności na podstawie tego czy przez obiekt w danym okresie przeszło jedno zwierzę czy sto. Można natomiast z optymizmem patrzyć w przyszłość, ponieważ z dużym prawdopodobieństwem obiekty, w których zwierzęta już się pokazały, staną się w bliskiej przyszłości, nowym „naturalnym" elementem na trasie wędrówek dzikiej zwierzyny. Obecnie, nadal należy prowadzić obserwację i szukać rozwiązań optymalnych, aby w przypadku przyszłych inwestycji stosować efektywne rozwiązania. Co więcej, każdy obiekt mostowy stanowiący przejście dla zwierząt, mógłby w przyszłości zostać odpowiednio oprzyrządowany, stając się punktem kontrolnym środowiska naturalnego, o czym autorzy pisali w [11].

Literatura

1 Rozporządzenie MTiGM z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie – Dz. U. nr 63 z dnia 3 sierpnia 2000 r. poz 735
2 Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia nr RDOŚ-06-WOOŚ-6650/37-6/09/m z dnia 12 października 2009 r. wydana przez Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Lublinie;
3 Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia nr RDOŚ-06-WOOŚ-6650/45-25/09/lp z dnia 16 grudnia 2009 r. wydana przez Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Lublinie;
4 Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia nr DOOŚidk-452-446/2021/10/91 z dnia 7 czerwca 2011 r.
5 Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia nr WOOŚ.4242.17.2011.LP z dnia 6 października 2009 r. wydana przez Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Lublinie;
6 Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62 poz. 627);
7 Kowal M., Droga ekspresowa S17 odcinek Kurów-Bogucin. Drogownictwo 2013, nr 9, s.282-286
8 Kurek R.T.: Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach. Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot. ISBN 978-83-61453-16-1
9 Kurek R.T., Rybacki M., Sołtysiak M.: Poradnik ochrony płazów. Ochrona dziko żyjących zwierząt w projektowaniu inwestycji drogowych. Problemy i dobre praktyki. Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot. ISBN 978-83-61453-20-8
10 Kowal M., Ochrona środowiska na drodze ekspresowej S17. Budownictwo i Architektura 2014, nr 1 vol.13, s.267-276
11 Kowal M., Walory estetyczne drogi ekspresowej S17. Budownictwo i Architektura 2014, nr 1 vol.13, s.253-265
12 Karaś S., Kowal M., Bridge as Environmental Check-Point, Annual International Conference on Transportation, 8-11 June, 2015, Athens, Greece
13 Lafrentz – Polska Sp. z o.o., Projekt wykonawczy, Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski. Zadanie nr 1: Odcinek Kurów (od węzła „Sielce" wraz z węzłem) – węzeł „Bogucin" (wraz z węzłem). Poznań, maj 2010
14 DHV POLSKA Sp. z o.o., Drogmost Lubelski Sp. z o.o., Drogprojekt Sp. z o.o., Projekt wykonawczy, Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski. Zadanie nr 2: Odcinek węzeł „Bogucin" – węzeł „Dabrowica" (wraz z węzłem). Warszawa, kwiecień 2010.
15 DHV POLSKA Sp. z o.o., Drogmost Lubelski Sp. z o.o., Drogprojekt Sp. z o.o., Projekt wykonawczy, Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski. Zadanie nr 3: Odcinek węzeł „Dąbrowica" - węzeł „Lubartów" (wraz z węzłem) i odcinek drogi krajowej nr 19 klasy GP: węzeł „Lubartów" – granica administracyjna miasta Lublina. Warszawa, kwiecień 2011.
16 DHV POLSKA Sp. z o.o., Drogmost Lubelski Sp. z o.o., Drogprojekt Sp. z o.o., Projekt wykonawczy, Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski Zadanie nr 4: odcinek węzeł „Lubartów" – węzeł „Witosa" z włączeniem do drogi Lublin – Piaski. Podzadanie 4.1: od węzła „Lubartów" (bez węzła) do km 21+250,00. Warszawa, maj 2011.
17 DHV POLSKA Sp. z o.o., Drogmost Lubelski Sp. z o.o., Drogprojekt Sp. z o.o., Projekt wykonawczy, Budowa drogi ekspresowej S17 odcinek Kurów – Lublin – Piaski Zadanie nr 4: Odcinek węzeł „Lubartów" – węzeł „Witosa" z włączeniem do drogi Lublin – Piaski. Podzadanie 4.2: od km 21+250,00 do km 24+040,00. Lublin, marzec 2010.

Animal transitions on the section of S17 expressway between junctions "Kurów West" and "Lublin Felin"

Maciej Kowal, Sławomir Karaś

Department of Road and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: m.kowal@pollub.pl, s.karas@pollub.pl

Abstract: The article describes service parameters and effectiveness of the environmental elements of animal crossings on the S17 expressway. Animal transitions on the section of S17 expressway between junctions "Kurów West" and "Lublin Felin" were described. The requirements of environmental protection at the design stage and during the construction works were shown. Article gives an accunt of the works performed in order to protect the natural environment in areas adjacent to the route, and solutions provided to design objects and the basic functions of animal transitions. Paper summarizes the relevance of the applied solutions and their locations in the field.

Keywords: environmental protection, expressway S17, animals transitions.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 81-86

System odwodnienia dróg a prawna ochrona herpetofauny

Małgorzata Półtorak

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Katowicach,
e-mail: mpoltorak@gddkia.gov.pl

Streszczenie: Budowa dróg stanowi ingerencję w środowisko naturalne, powodując w nim szereg zmian ekologicznych. Znaczącą rolę w oddziaływaniu na środowisko mają również urządzenia towarzyszące obiektom drogowym, w tym system odwadniania pasa drogowego. Oddziałuje on na poszczególne elementy środowiska, powodując zmiany w dotychczasowych ekosystemach m.in. w zakresie wód powierzchniowych i podziemnych, powierzchni ziemi, krajobrazu, i świata żywego. W referacie zostanie przedstawiony wpływ systemu odwodnienia drogowego na świat zwierzęcy, głównie herpetofaunę. Przedstawione zostaną wyniki kontroli urządzeń odwodnienia pod kątem występowania w nich płazów dla wybranych odcinków dróg zrealizowanych w GDDKiA Katowice. W ramach referatu podane zostaną podstawowe problemy związane z czynną ochroną zwierząt na zrealizowanych inwestycjach drogowych oraz metody działań minimalizujących wpływ systemów odwodnienia na płazy.

Słowa kluczowe: herpetofauna, urządzenia odwadniające, monitoring obiektów drogowych.

1. Wstęp

Prawna ochrona płazów realizowana jest na mocy przepisów krajowych i międzynarodowych. Obejmuje głównie akty prawne związane z ochroną gatunkową oraz ochroną siedlisk. Gatunkowa ochrona zwierząt obejmuje z kolei ochroną konkretne gatunki zwierząt i wprowadza wobec nich określone zakazy, takie jak np. zakaz zabijania, okaleczania, i inne.

Zniszczenie lub zagrożenie zniszczenia siedlisk lub gatunków chronionych skutkować może także odpowiedzialnością karną zgodnie z art. 181 Kodeksu Karnego.

W okresie godowym płazy zmierzają do wody by złożyć skrzek (wyjątkiem jest salamandra, która odbywa gody na lądzie). Problem pojawia się, gdy z różnych przyczyn na ich drodze brak naturalnego środowiska wodnego (bardzo suche lato, zniszczenie zbiornika wodnego, i inne). W takiej sytuacji napotkawszy sztuczny zbiornik wodny (w tym zbiorniki retencyjne) lub inne elementy odwodnienia płazy przenikają do niego. Odpowiedzialny za ich ochronę staje się administrator systemu odwodnienia.

2. System odwodnienia drogi ekspresowej S1 na odcinku Podwarpie – Lotnisko w kontekście ochrony płazów

Droga ekspresowa S1 na odcinku Lotnisko-Podwarpie to eksploatowany od 2006 r. odcinek drogowy. Spływy deszczowe z odcinka trasy S1 zebrane są systemem wpustów z osadnikami, sączkami podłużnymi włączonymi do studzienek ściekowych ulicznych lub

do studzienek rewizyjnych na kanale deszczowym (wody z odwodnienia wgłębnego pasa drogowego) oraz systemem uszczelnionych rowów lub ścieków przyskarpowych poprzez studnie kontrolno-wpadowe z osadnikiem wstępnym do kanałów deszczowych. Z kanałów spływy deszczowe poprzez separator zintegrowany z piaskownikiem lub separator koalescencyjny odprowadzane są do zbiorników odparowującego lub retencyjno – oczyszczającego.

W 2012 roku Górnośląskie Towarzystwo Przyrodnicze zgłosiło do Prokuratury Rejonowej w Zawierciu zniszczenie w świecie zwierzęcym z powodu uwięzienia płazów w zbiornikach retencyjnych oraz separatorach. Jednocześnie zgłoszono wystąpienie szkody w środowisko do Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Katowicach.

W kwietniu 2012 r. dokonano wizji terenowej w celu weryfikacji obecności płazów w zbiorniach retencyjnych oraz separatorach. Okazało się, że z uwagi na brak naturalnych zbiorników wodnych w sąsiedztwie drogi płazy wykorzystują system odwodnienia. Zostały one stwierdzone we wszystkich zbiornikach, przy czym największe ilości występowały w zbiornikach retencyjno-oczyszczających.

Fot. 1-4. Płazy w zbiornikach przy S1 odc. Lotnisko-Podwarpie

W związku z koniecznością czynnej ochrony płazów jeszcze w kwietniu 2012 r w celu ułatwienia płazom swobodnego wyjścia ze zbiorników retencyjno-oczyszczających w narożnikach terasów zbiorników, w połowie odległości dłuższych krawędzi zbiorników oraz w rejonie wylotów usypano ziemne stożki. Natomiast na skośnych ścianach zbiorników oczyszczających zamontowano deski. Jednocześnie przystąpiono do systematycznych kontroli w zakresie występowania płazów w systemie odwodnienia drogi (separatory oraz zbiorniki) oraz ewentualnego wyłapywania płazów.

Fot. 5-8. Elementy ucieczkowe ze zbiorników, Zdj. 8 Ewakuacja płazów z separatora

W wyniku wytycznych pokontrolnych RDOŚ w Katowicach w roku 2013 przeprowadzono monitoring mający na celu określenie niezbędnych do podjęcia działań ułatwiających opuszczenie zbiorników przez płazy a także ograniczających przenikanie płazów do separatorów. W wyniku monitoringu stwierdzono, że tymczasowe stożki ziemne stanowią właściwy element ułatwiający płazom opuszczenie zbiorników. Niestety z uwagi na wahania wody w zbiornikach następowało ich wymywanie co rodziło konieczność dokonywania częstych kontroli i napraw. Mając na uwadze zalecenia z wystąpienia pokontrolnego RDOŚ zasadne stało się wykonanie docelowych elementów umożliwiających płazom opuszczenie zbiorników oraz zabezpieczenie studni wpadowych.

W 2014 r. na dziewięciu zbiornikach wykonano elementy ucieczkowe – rampy i stożki przy wykorzystaniu kruszywa naturalnego o frakcji od 5 mm do 60 mm. Dla lepszego związania kruszywo zalane zostało betonem klasy B10. Powierzchnię ramp i stożków, przed związaniem obsypano kruszywem naturalnym. Następnie całą powierzchnię ramp i stożków pokryto powłoką hydroizolacyjną. Jednocześnie szesnaście studni wpadowych wyposażono w spiralne rury drenażowe obciążone przy dnie tak, aby możliwe było ich wyjęcie w przypadku konieczności czyszczenia studni. Rury drenażowe zostały otwarte co około 150 cm na długości 20 cm, umożliwiając zwierzętom wyjście przy różnych poziomach stanu wody w studni. Obok elementów ucieczkowych ze studni, jako rozwiązanie kompromisowe pomiędzy wymaganiami ochrony płazów (im mniejsza średnica oczek, tym lepsze zatrzymywanie zwierząt) a wymaganiami hydrologicznymi (im mniejsze oczka, tym większe prawdopodobieństwo blokowania przepływu) na wlotach studni zastosowano kraty o odstępach między prętami co 2 cm.

Fot. 9-11. Docelowe elementy ucieczkowe ze zbiorników i studni wpadowych oraz przegęszczenie kraty wlotowej

Przeprowadzone w 2015 kontrole systemu odwodnienia trasy S1 wykazały, że płazy samodzielnie opuszczają zbiorniki i nie ma konieczności dokonywania ich ewakuacji. Natomiast liczba płazów w separatorach zmniejszyła się do kilku osobników (z kilkudziesięciu) przez cały rok obserwacji.

3. Płazy w systemie odwodnienia autostrady A1 odcinek Pyrzowice-Piekary Śląskie

Kontrole urządzeń i elementów infrastruktury autostradowej na odcinku autostrady A1 Pyrzowice - Piekary Śl. prowadzono w latach 2013-2015. W przypadku w którym zachodziło podejrzenie, iż mogą one stanowić zagrożenie dla fauny bytującej w sąsiedztwie drogi polegały one na przeglądzie zabezpieczeń elementów instalacji odwodnieniowej w tym: włazów na studzienkach, rowów odwadniających, separatorów oraz gdy było to możliwe komór, kanałów i kinet tych urządzeń, studzienek drenażu rolniczego, piaskowników, itp. W trakcie prowadzonych kontroli odławiano płazy, które znalazły się po wewnętrznej stronie wygrodzenia autostradowego lub/i herpetologicznego, oraz płazy uwięzione w systemie kanalizacyjnym.

Przenikanie młodocianych osobników płazów do zamkniętych separatorów najprawdopodobniej może wynikać z faktu, iż płazy wpadają do studni przez otwory technologiczne służące do otwierania włazu studzienek. Dotyczy to przede wszystkim separatorów, znajdujących się blisko zbiorników retencyjnych i które nie są wygrodzone płotkiem herpetologicznym. Liczba otworów w pojedynczym włazie wynosi zwykle 2. Same włazy rzadko wyniesione są ponad teren i wielu przypadkach pokrywy włazu usytuowane są bezpośrednio na powierzchni terenu lub znajdują się poniżej poziomu terenu w niewielkim

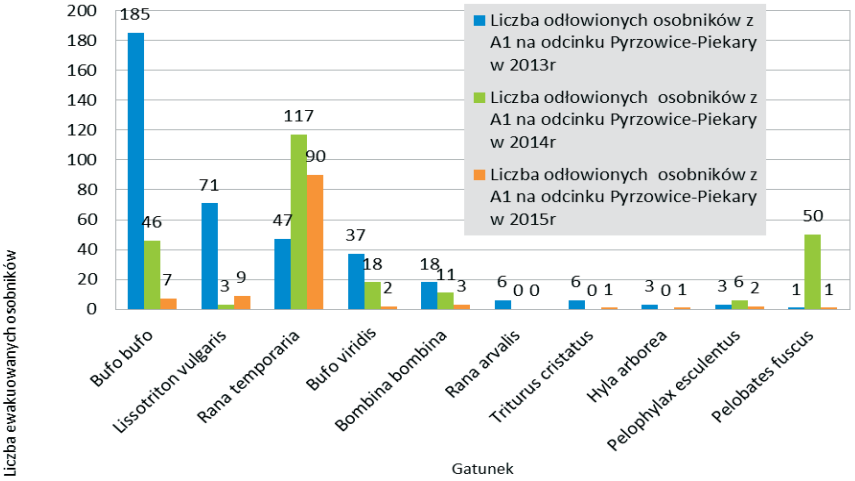
zagłębieniu. W takiej sytuacji płazy bez większej trudności mogą wchodzić na włazy. Szczeliny i otwory w pokrywach studzienek mogą więc być istotną przyczyną przypadkowego przedostawania się płazów do systemu kanalizacji.

Fot. 12-14. Miejsca przenikania płazów

Pomimo zastosowanych zabezpieczeń w tym szczelnych pokryw na studzienkach i wygrodzeń herpetologicznych do separatorów na analizowanym odcinku A1 przenikały płazy. Ma to związek z liczną populacja płazów w tym regionie oraz uszkodzeniami wygrodzeń, kradzieżami włazów, ich otwieraniem lub dewastacjami. Kontrola separatorów w 2015r. wykazała przedostawanie się do środka niewielkiej liczby płazów w stosunku do roku 2013.

Tabela 1. Liczba płazów odłowiona z pułapek antropogenicznych w sezonie 2013-2015 na odcinku autostrady A1 Pyrzowice-Piekary – Śląskie [1]

Polska i łacińska nazwa gatunku (Kod gatunku według Dyrektywy Siedliskowej)	Liczba odłowionych osobników z pułapek w 2013r.	Liczba odłowionych osobników z pułapek w 2014r.	Liczba odłowionych osobników z pułapek w 2015r.
Kumak niziny *Bombina bombina* (1188)	18	11	3
Ropucha szara *Bufo bufo*	185	46	7
Ropucha zielona *Pseudepidalea viridis* (1201)	37	18	2
Rzekotka drzewna *Hyla arborea* (1203)	3	0	1
Grzebiuszka ziemna *Pelobates fuscus* (1197)	1	50	1
Żaba wodna *Pelophylax esculentus* (1210)	3	6	3
Żaba moczarowa *Rana arvalis* (1214)	6	0	0
Żaba trawna *Rana temporaria* (1213)	47	117	90
Traszka zwyczajna *Lissotriton vulgaris*	71	3	9
Traszka grzebieniasta *Triturus cristatus (1166)*	6	0	1
Suma	377	251	117



Wykres 1. Liczba odłowionych żywych płazów z pułapek antropogenicznych w sezonach 2013-2015 na odcinku autostrady A1 Pyrzowice-Piekary Śląskie [1]

W wyniku prowadzonych monitoringów na odcinku Pyrzowice – Piekary Śląskie w 2014 r. zaprojektowano oraz wykonano dodatkowe działania, związane z zabezpieczeniem pułapek antropogenicznych. W ramach zadania zabezpieczono m.in. studnie i osadniki mogące stanowić pułapki antropogeniczne dla drobnej fauny wyposażając je w elementy, dzięki którym zwierzęta nie tylko nie powinny dostawać się do systemu odwodnienia (kraty, ogrodzenia itp.), a gdy się tam już dostaną, to za pomocą niwelacji progów i instalacji pochylni będą mogły samodzielnie wyjść. W głębokich studniach, w których wlot do osadników usytuowany jest na poziomie większym od 50 cm od dna studni, zastosowano pochylnie perforowane z tworzywa HD-PE. Natomiast w studniach płytkich, w których wlot do osadników jest na poziomie mniejszym od 50 cm od dna studni, zastosowano pochylnie betonowe.

Fot. 15-18. Pochylnia w studni wpadowej oraz spiralny element ucieczkowy i przegęszczenie prętów na studni wpadowej

Liczba odłowionych płazów w roku 2015 w stosunku do lat 2013-2014 na odcinku Pyrzowice-Piekary tzn. po zastosowaniu dodatkowych odcinków wygrodzenia oraz zabezpieczenia pułapek antropogenicznych, wyraźnie wskazuje, że podjęte działania mają istotne znaczenie dla zminimalizowania przenikania płazów do systemu odwodnienia.

4. Wnioski

Analiza zgromadzonych danych zarówno z monitoringów szczelności ogrodzeń autostradowych jak również analizy stanu zabezpieczeń pułapek antropogenicznych mogących

powodować uwięzienie zwierząt, umożliwia weryfikację skuteczności zastosowanych zabezpieczeń, a w razie konieczności daje możliwość zaproponowania, realnych do wykonania działań dodatkowych zwiększających funkcjonalność urządzeń ochronnych.

Pułapki antropogeniczne stwierdzone na omawianych odcinkach dróg związane były z urządzeniami odwadniającymi. W roku 2014 w większości zostały one wyposażone w system umożliwiający wydostawanie się zwierząt z studni wpadowych. Niestety kradzieże włazów, a tym samym zastępowanie ich kręgami betonowymi, kradzieże i dewastacje zabezpieczeń herpetologicznych, ma znaczenie dla przenikania płazów (zwłaszcza tegolatek) do studni. Tak samo przegęszczenie prętów na studniach wpadowych nie wyeliminuje w 100% możliwości przenikania płazów do systemu odwodnienia (zwłaszcza traszek i młodocianych osobników). Niemniej jednak, gdyby nie podjęte działania, liczba płazów przenikających do odwodnienia stale by rosła (obserwuje się np. powroty płazów, które podczas budowy odcinków nie były obserwowane np. grzebiuszka na odcinku Pyrzowice-Piekary Śl.) a niepodejmowanie kontroli systemu odwodnienia w konsekwencji doprowadziłoby do uśmiercenia płazów w odwodnieniu.

Literatura

1. Wyniki monitoringu szczelności ogrodzeń ochronnych wzdłuż A-1, monitoring śmiertelności zwierząt na drodze oraz monitoring obecności i stanu zabezpieczeń pułapek antropogenicznych mogących powodować uwięzienie zwierząt w obrębie pasa drogowego odcinka A-1 Pyrzowice – Piekary Śląskie km PB 475+327,65 – 490+427, km obecny odc. 1d 0+583 – 14+029 oraz odc. 1c 0+900 – 21+147, SEPO, Knurów 2015

The road drainage against the legal protection of herpetofauna

Małgorzata Półtorak

General Directorate for National Roads and Motorways, branch in Katowice, e-mail: mpoltorak@gddkia.gov.pl

Abstract: Construction of roads causes interference in the environment, resulting in number of ecological changes. Site facilities associated with road structures, including drainage system of a lane, play a significant role among environmental impacts. It affects particular elements of the environment, causing changes in existing ecosystems, in terms of, among others, surface and groundwater, soil, landscape and lively nature. The paper presents impact of a drainage system of a road on animal nature, mainly herpetofauna. Results of a control of a drainage system facilities for the presence of amphibians are shown for selected sections of roads commissioned by General Directorate for National Roads and Motorways Katowice Branch. Basic problems associated with active protection of animals on completed road investments and methods to minimize the impact of drainage system on amphibians are also presented in the paper.

Keywords: Herpetofauna, drainage facilities, monitoring of road objects.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 87-94

Protection of Ten-Eyed Bridge in Diyarbakır

Ibrahim Baran Karasin, Ercan Isik

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Bitlis Eren University, e–mail: ibkarasin@beu.edu.tr, eisik@beu.edu.tr

Abstract: Mesopotamia, which is one of the strategical regions of the Middle East, has hosted numerous communities and civilizations since the ancient times of human history. This situation made the region considerably prosperous in terms of historical and cultural heritage. Ten-Eyed Bridge, that is one of the most important historical and cultural symbols of Diyarbakir, having lasted till today, became an example of this prosperous heritage. However, various interventions and deteriorations have occurred in the construction within long time due to the impact of human and nature. Because of the considerable temperature difference arising due to continental climate of the region as well as damages like the change of conditions of use, amortizations in bearing constructional components in contact with water have emerged. In this study, with the purpose of ensuring further future existence of Ten-Eyed Bridge, adopted methods for structural and physical deteriorations and protection works were examined.

Keywords: Historic Ten-Eyed Bridge, Heritage Protection, Diyarbakır.

1. Introduction

Diyarbakir is located in the north of Mesopotamia called Al-Jazira and in Southeastern Anatolia Region of Turkey. It has a border with Malatya, Elazığ, Bingöl, Muş, Mardin, Şanlıurfa, Batman and Adıyaman cities. Ten-Eyed Bridge situated in Diyarbakir is a historical bridge that becomes one of the symbols of the city with way of construction, its size, high lancet arched niches passing long water span, pyramidal cone flood splitters. While the bridge is named as "Dicle Bridge" in some sources because of its position on Dicle River, it is termed with three different names like "Ten-Eyed Bridge" due to ten-span and "Silvan Bridge" due to its position being on the old road to Silvan. Dicle River is Turkish name of Tiger River. In spite of the fact that there are different opinions about the year of built of the bridge, there are notions Van Bercheh and Albert Gabriel support and claiming that there was a bridge in this region also in ancient period [1]. In Diyarbakir that came under the domination of Islam in 639, it is mentioned about epigraph reporting that Umayyad Caliph Hisham started to restore a demolished bridge in 742-743 years but with his death, bridge construction stopped. It is known that the armies of the North of Rum Empire surrounded Diyarbakir in 974 but retreated by failing and they had it demolished as they were going [2]. It is thought that when its location and year of built is considered, the bridge mentioned in the sources is Dicle Bridge.

The closest and most accurate date of built known as year of built of the bridge considered that it was demolished a few times partially or completely then it was rebuilt is understood from epigraph on the bridge. According to the epigraph, Emir Muayyad Devle Kasim Nasir, one of Mervanoglu Ahmed's sons, commanded the construction of bridge, had the Ubayd Bin Sacer do bridge by means of Kadı Ebu'l Hasan Abdulvahid bin Muhammad in 1065. As a result of this information reached with epigraphs, it is understood that the known earliest dated Islamic Bridge is Dicle Bridge [3].

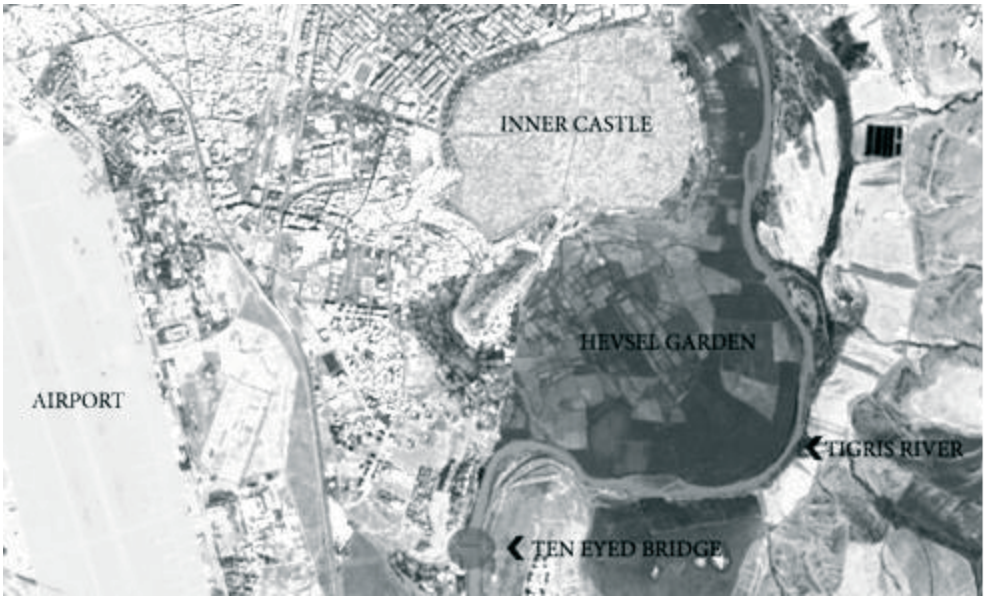


Fig. 1. Localization of the Ten-Eyed Bridge (by means of Google Maps)

The historical Ten-Eyed Bridge that connects many settlements into Diyarbakir in Southeastern Anatolia is located in 3 km far from city center, Fig. 1.

In the construction of bridge, masonry construction system is used to cross Dicle River. The bridge is 172 m long. The structure was built using basalt boulders and bricks taken from the quarry which was located of distant about 100 km.

Fig. 2. The Ten-Eyed Bridge view on quotations

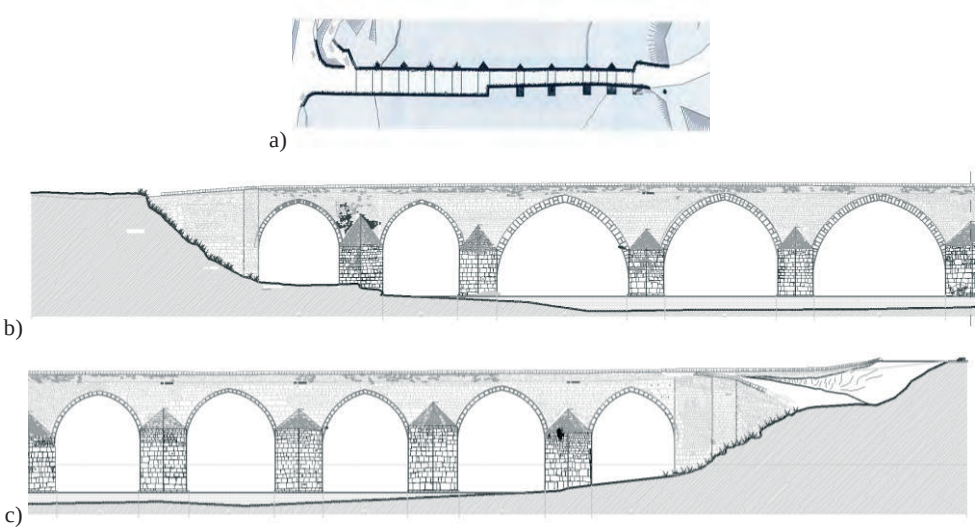


Fig. 3. Plane view on the bridge b-c) upstream elevation in two parts

The width of a bridge deck changes significantly. In the first five arches, it is between 9,69 m – 10,20 m while the other sector is of 5,45 m – 6,24 m breadth, see fig. 2. In the construction, arches and copings are made from clean cut stone. Spandrel surfaces and railings are made of smaller blocks or rubble manufacturing. The niches passing the spans are double centered and lancet arched. Its flood splitters on upstream face are triangle-cased, pyramidal cone. Railings whose significant part is genuine is covered by lancet copings. As it is seen in Fig. 2-3, in downstream face, there are four toes consisting of the remaining parts of abutments related to previous periods [4].

During the restoration of the bridge completed in 2009, scours in its abutments were filled, the plaster layer on arches was removed with scraper, bridge joints were renewed, the blanks in bridge texture emerging with the impact of water were filled with pozzolanic based material via injection method, flooring layer was renewed after asphalt coating on the bridge was removed [5].

Fig. 3. Upstream elevation of Bridge, [6]

It is not by mistake that arch bridges aesthetically dominate over other bridge shapes. The arch has a very important technical advantage. It is possible to construct a bridge arc so that the main element is in a dominated compressive state, with negligibly few remaining internal forces. This was the reason for building hundreds or even thousands ancient bridges erected mainly as road bridges or aqueducts.

The common availability of stone and brick contributed to an extensive construction of arched bridges in the Roman and Byzantine Empires. There is an arch bridge in Diyarbakir which can come from the period of the Persian Empire, therefore, it may be even older. It is obvious that brick and stone elements have always been perfect for compression, significantly weaker for tension and shearing, see Fig. 4.

The construction has undergone different repairs because of destructions in various periods. Visual integrity, material compatibility and original texture loss of the construction partially demolished due to wrong restorations are tried to be regained to the bridge with new intervention and applications.

2. Properties of the protection

For the protection of the construction and its transfer to future with confidence, it became inevitable to make some regulations that fit to its original historical role and intended use. With the works in this context, radical precautions were taken for example the removal of concrete manufactured later and the closing of bridge for pedestrian motor vehicle traffic in order to prevent abrasions due to vehicular traffic. Besides, for abrasions and deteriorations on abutments and arches, some improvement works were implemented.

It was also decided to avoid the use of hydro-isolation, simply because it would be a form of contemporary aggression to this historic monument, although small leakages are observed. This decision is a result of used in Turkey the concept of conservation which can be briefly evokes: bring the historic structure to the previous state and role. There are known other approaches to similar problems. An example is the use of hydro-insulation on the Charles Bridge (Karlův most in Czech tongue) in Prague. It is worth mentioning that many of historic bridges of historically different periods were refurbished in the manner.

2.1 Pedestrianization of the bridge

The first step towards the beginning of restoration works is the pedestrianization of the bridge. Afterwards, it was aimed that the bridge wasn't exposed to heavy live loads like car, truck, an alternative bridge was built and the restoration was completed in such a way that the existing bridge will be open only for touristic visits. Thus, deformations on the bridge that heavy live loads caused were prevented, Fig. 4.

a) b)

Fig. 4. Examples of moving loads before restoration a) side view b) longitudinal view

There are not preserved corner columns with lamps enlightenment. Designed to railing on the bridge, nowadays does not satisfy the conditions of serviceability, namely safety for users. The lack of stone strengthening of river embankments is observed at the bridge.

2.2 Restoration of abutment

On the ground where abutments are settled, non linear flow of river water causes their undulation, whirlpool and irregularity of water bed. This resulted a big scours on abutments, the bridge foundation was confronted with serious conveying problem.

Due to these scours, serious discharges occurred on the grounds of abutments, Fig.5.a. Besides, splits, cracks and partly breakages occurred on the lower arrays of abutments because of direct abrasion of water and the decrease and increase of its flow, Fig. 5.b. This issue reached to serious texture losses with the breakage of existing linking clips in some abutments. During restoration, first of all, grounds and its ambient were purified from loam and foreign elements. It was reinforced by basalt prepared in original size by means of staggering with a specific height. As in present, these stones are connected each other with iron clips. Clips settled in slotted hollows on each two stones with lead enabled both that stones resisted against water by interconnecting and the basic carrying system of structure strengthened. In this way, strengthening work was performed in abutment and flood splitters that both ground and scours caused, the complementation of texture and surface on abutments are carried out, Fig. 5.c.

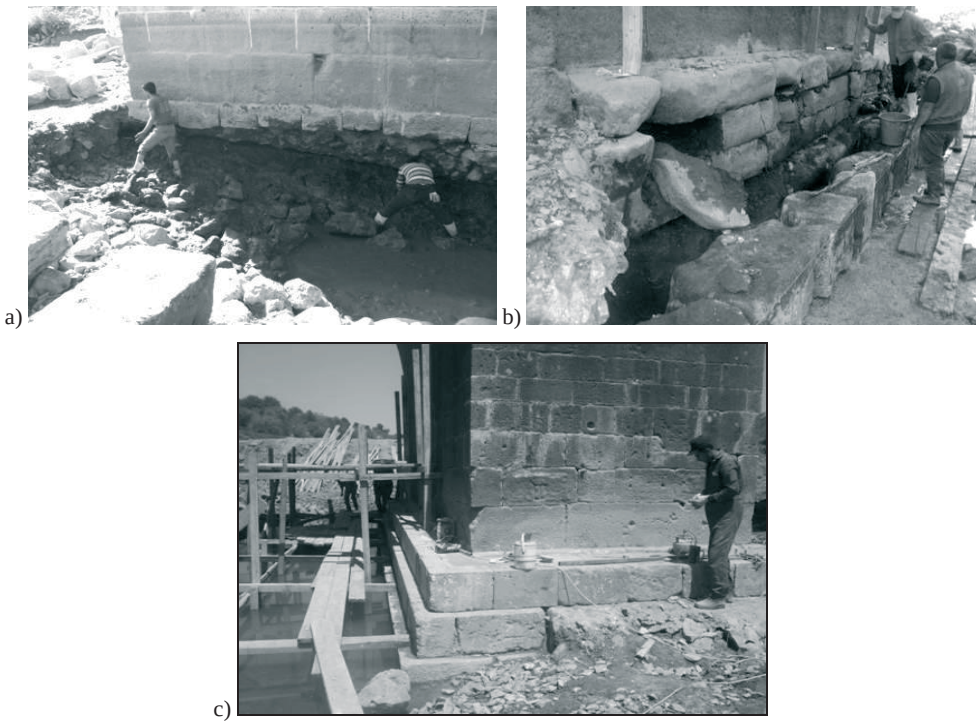


Fig. 5. Conservation works a) discharges on the grounds b-c) splits, cracks and breakages

2.3 Application on the arches

Arch and spandrel stones that had structural deteriorations were removed by being numbered; the sound ones were used again during reconstruction. Instead of decaying, melting and disconnecting stones, the complementation was carried out by being used the same type of stones. Cement based joints seen in spandrel and arches were cleaned by being scraped without detriment to the original texture with the help of small item chisels and wire brushing, Fig. 6.a. Plasters on the original brick surface inner side of arches were cleaned by pen plaster, original brick texture and brick barrel vault coverings braided on original square order were revealed, Fig. 6.b. Plaster parts between brick and joint were cleaned without detriment to the material by means of compressed air and fine-lead metal pen and with injection air, dusts on the surface were taken.

a) b)

Fig. 5. The cleaning process a) joints, by being scraped b) cleaning of plasters

2.4 Reveling of concrete layer

The reveling of non original concrete layer, Fig. 6, is a highly important step in terms of both esthetics and authenticity and engineering in the meaning of unnecessary distributed load. In fact, 39 cm thickness concrete layer, Fig. 7, creates a distributed load with about 0.96 ton/m^2 size on this historical bridge which has 172 m length and whose width varies from 10m to 6m. On the other hand, with the removal of concrete layer, the emergence of original flooring becomes quite happy and good issue in terms of the health of restoration, Fig. 8 - 10.

a)

b)

Fig. 6. a-b) revelling of concrete layer

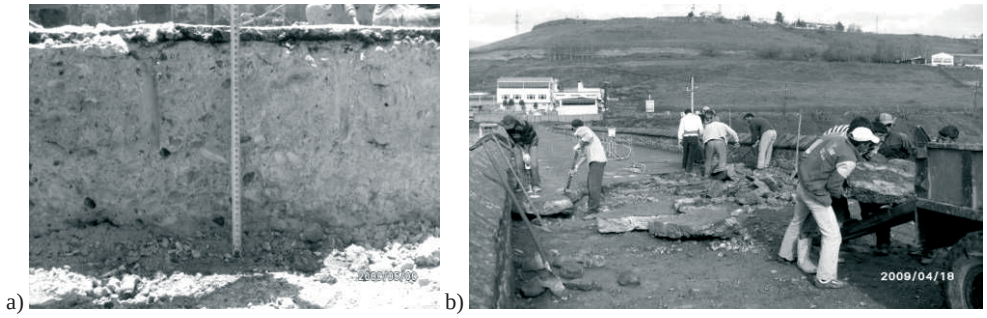


Fig. 7. a-b) 39 cm of concrete layer

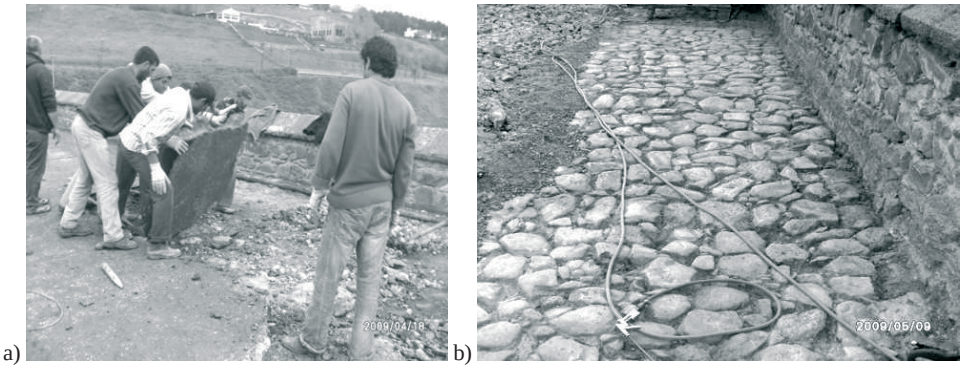


Fig. 8. a-b) The emergence of original flooring

Fig. 8. a-b) The restoration of original flooring in accordance with its original

3. Conclusion

In the region that has continental climate, summer-winter temperature difference (+45/-15) reaches to 60 centigrade degree, day-night temperature difference (+15/-5) reaches to 20 centigrade degree. The volume expansion and shrinkages that this condition causes are one of important reasons of deformation on abutments. On the other hand, if the dates when the Bridge was built are taken into consideration, it is obvious that the calculated loads didn't go beyond the caravans and people. However, until a long time ago

of the beginning of restoration works, it exposed to heavy live loads like truck, car and it became another factor deforming the carrying system of the bridge. Basically, the restoration work completed with the following steps such as the pedestratization of the bridge, the complementation of texture and surface losses on abutments, scraping of plasters on arch surfaces lose cohesiveness, become decomposition and the opening and reconstruction of non original joints, the reveling of non original texture and the reconstruction of texture with original size and order by depending on findings after this, the filling of internal slumps on the bridge formed based on time and external factors by means of injection method also showed a good protection model because it was pedestrianized with the construction of alternative bridge. The removal of the effects of unnecessary live and distributed load serves as a good model in terms of sustainability. All these works became an important step for the transfer of bridge to future with confidence.

References

1. Beysanoğlu, Ş., "Anıtları ve Kitabeleri ile Diyarbakır Tarihi", Ankara, 1996
2. Çulpan, C., "Türk Taş Köprüleri", Turkish Historical Society Publications, Ankara, 2002.
3. İlter, F., "Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri" Ankara, 1978.
4. https://www.google.com.tr/maps/@37.8872215,40.2265649,17z?hl=tr (access date: 04.01.2016)
5. Sert H., Halifeoğlu M., Dalkılıç N., Halifeoğlu Z., "Tarihi Diyarbakir Dicle (On Gözlü) Köprüsü'Nün Onarimi, Güçlendirilmesi Ve Yeniden Kullanimi", International Participation Strengthening of Historical Monuments and Safely Transferred to the Future Symposium-2 Diyarbakır, 2009.
6. Republic Of Turkey General Directore Of Highways http://www.kgm.gov.tr/SiteCollection Documents/KGMdocuments/MerkezBirimler/SanatYapilariDairesiBaskanligi/Calismalar/Tarihik %C3%B6pr%C3%BClercalismalar.pdf (access date: 04.01.2016)

Protection of Ten-Eyed Bridge in Diyarbakır

Ibrahim Baran Karasin, Ercan Isik

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Bitlis Eren University, e–mail: ibkarasin@beu.edu.tr, eisik@beu.edu.tr

Abstract: Ten-Eyed Bridge, that is one of the most important historical and cultural symbols of Diyarbakir, having lasted till today, became an example of this prosperous heritage. However, various interventions and deteriorations have occurred in the construction within long time due to the impact of human and nature. Because of the considerable temperature difference arising due to continental climate of the region as well as damages like the change of conditions of use, amortizations in bearing constructional components in contact with water have emerged. In this study, with the purpose of ensuring future existence of Ten-Eyed Bridge, adopted methods for structural and physical deteriorations and protection works were examined.

Keywords: Historic Ten-Eyed Bridge, Heritage Protection, Diyarbakır.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 95-103

Określanie poziomu tłumienia drgań w mostach i kładkach dla pieszych

Jacek Szulej[1], Paweł Ogrodnik[2]

[1] Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: j.szulej@pollub.pl
[2] Katedra Techniki Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, e–mail: pogrodnik@sgsp.edu.pl

Streszczenie: Projektując smukłe i wiotkie konstrukcje, takie jak mosty wiszące, podwieszone, łukowe oraz kładki dla pieszych wymagane są dane dotyczące dynamicznego zachowania konstrukcji. Jedna z głównych wielkości, uwzględniana w obliczeniach to parametr tłumienia drgań konstrukcji, którego odpowiednia wartość ma bezpośredni wpływ na prawidłowe zachowanie obiektu. Jednym ze stosowanych obecnie podejść w przypadku złożonych konstrukcji jest wykorzystanie metod, określających ekwiwalentny współczynnik tłumienia drgań, odnoszący się do danej postaci drgań własnych. Wśród tych metod wyróżnić można metodę kolokacyjną i metodę energetyczną. Metoda kolacyjna odnosi się do obiektów już istniejących i wymaga przeprowadzenia pomiarów drgań oraz obróbki widmowej przebiegów czasowych drgań. Metod energetyczna wymaga stworzenia modelu Mes konstrukcji i szacuje energię kinetyczną drgającego układu. Wyżej wymienione metody wykorzystano w obliczeniach poziomu tłumienia drgań dwóch konstrukcji, tj.: mostu łukowego im. Jana Pawła II w Puławach i wybranej kładki zlokalizowanej w Lublinie.

Słowa kluczowe: poziom tłumienia, konstrukcje wielomateriałowe, metoda kolokacyjna, metoda energetyczna.

1. Wstęp

Celem artykułu jest przedstawienie dwóch metod służących określaniu współczynników tłumienia drgań konstrukcji wielomateriałowych oraz wyznaczenie wartości współczynników tłumienia na przykładzie mostu łukowego i kładki pieszo-jezdnej.

2. Opis metod określających poziom tłumienia drgań

Metoda kolokacyjna wymaga przeprowadzenia badań, polegających na wzbudzeniu drgań na istniejącej konstrukcji, obróbki widmowej otrzymanych przebiegów czasowych i rozwiązaniu odpowiednich równań nieliniowych. W metodzie energetycznej wykorzystuje się model MES i obliczenia dynamiczne modelu konstrukcji. Obie metody pozwalają określić poziom tłumienia drgań konstrukcji wielomateriałowych w odniesieniu do różnych postaci drgań.

2.1. Metoda oparta na szacowaniu energii kinetycznej

Korzystając z podstawowych założeń metody energetycznej, wykorzystującej energię potencjalną wg [1, 2, 3], określić można wartości tłumienia drgań, opierając się na energii

kinetycznej układu [4]. Metoda szacująca energię kinetyczną pozwala na dokładniejsze określenie tłumienia, ponieważ uwzględnia również warstwy wypełniające. Warstwy te mają znaczną energię kinetyczną i właściwości tłumiące (np.: warstwy izolacyjne i jezdne w mostach).

Określanie współczynnika tłumienia drgań polega na uwzględnieniu energii kinetycznej E_{ij} drgającego układu, którą wyznacza się w następujący sposób:

$$E_{ij} = \frac{1}{2}\boldsymbol{\varphi}_i^{\,T}\mathbf{M}_j\boldsymbol{\varphi}_i\omega_i^2 \tag{1}$$

gdzie: $\boldsymbol{\varphi}_i$ – unormowane wektory własne i-tej postaci drgań, $\mathbf{M}_j$ – macierze mas j-tego materiału w konstrukcji (lub fragmentu konstrukcji), ω – częstości drgań własnych i-tej postaci drgań.

Postać wzoru na wartość logarytmicznego dekrementu tłumienia drgań jest następująca:

$$\delta_i = \frac{1}{2}\frac{\sum_j E_{ij}\psi_j}{\sum_j E_{ij}} \tag{2}$$

gdzie: E_{ij} – udział energii kinetycznej j-tego materiału w konstrukcji przy i-tej formie drgań, ψ_j – współczynnik pochłaniania (tłumienia właściwego) danego materiału wg [4, 5, 6, 7, 8, 9].

2.2. Metoda kolokacyjna

Metoda kolokacyjna opisana w pracach [4, 9], opiera się na analizie widmowej przebiegów czasowych drgań swobodnych, badanych konstrukcji, polega na doborze funkcji aproksymującej. Zastosowana funkcja pozwala na dokładne obliczenie poziomu tłumienia drgań (współczynnika tłumienia β).

Kolejność czynności przy określaniu tłumienia drgań, badanej konstrukcji, jest następująca:

- Pomiary drgań swobodnych konstrukcji (stosując: czujniki przemieszczeń, akcelerometry), dzięki którym uzyskuje się przebiegi czasowe $y(t)$;
- Przeprowadzenie analizy spektralnej przebiegów czasowych $y(t)$ za pomocą *FFT* (szybkiej transformacji Fouriera), na tej podstawie wyznacza się funkcję $F(t)=FFT\{y(t)\}$ oraz częstości kołowe drgań własnych ω_i, odpowiadające lokalnym ekstremom funkcji $F(t)$;
- Przyjęcie założenia, że drgania badanej konstrukcji są sumą tłumionych drgań harmonicznych o różnych częstościach kołowych (tłumienie opisane jest zastępczym modelem wiskotycznym), tak jak w poniższym wzorze:

$$\tilde{y}(t) = \sum_i \{A_i e^{-\beta_i t}\sin(\omega_i^* t) + B_i e^{-\beta_i t}\cos(\omega_i^* t)\},\ (\omega_i^*)^2 = (\omega_i)^2 - (\beta_i)^2 \tag{3}$$

gdzie: ω_i – i-ta częstość kołowa drgań własnych nietłumionych, A_i, B_i – ich amplituda, β_i – parametr tłumienia, odpowiadający i-tej częstości kołowej;

- Aproksymacja funkcji F^2 funkcją Y^2, opisana poniższą zależnością:

$$Y(f) = FFT\{\tilde{y}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{y}(t)\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-2\pi jfi}\,dt \tag{4}$$

- Wyznaczenie A_i, B_i, β_i (układ równań nieliniowych), gdzie najważniejszym jest ostatni parametr, opisujący poziom tłumienia drgań.

Postać wzoru na wartość logarytmicznego dekrementu tłumienia drgań odpowiadająca *i*-tej postaci drgań własnych jest następująca:

$$\delta_i = \beta_i \cdot T_i \tag{5}$$

gdzie: T_i – *i*-ty okres drgań własnych.

3. Weryfikacja metody kolokacyjnej i energetycznej

Omówione wyżej metody wykorzystano w obliczeniach poziomu tłumienia dwóch konstrukcji, tj.: kładki dla pieszych zlokalizowanej w Lublinie i mostu łukowego im. Jana Pawła II w Puławach.

3.1. Kładka nad rzeką Bystrzyca w Lublinie w sąsiedztwie ulicy Janowskiej

3.1.1. Opis pomiarów drgań własnych kładki

Kładka położona jest za istniejącym mostem kolejowym linii Warszawa Dorohusk w odległości około 50 m w górę rzeki, przy ul. Janowskiej. Jest to kładka pieszo – jezdna, o schemacie wolnopodpartym i konstrukcji stalowej z wypełnieniem pomostu w postaci żywicy epoksydowej o grubości 7 mm. Podstawowe wymiary kładki: długość całkowita 31.4 m, rozpiętość teoretyczna przęsła 25 m, szerokość użytkowa 4 m, wysokość dźwigarów stalowych 1.13 m, wysokość bariery stalowej 1.25 m. Głównym elementem kładki jest przęsło stalowe złożone z dwóch dźwigarów stalowych wykonanych z dwuteowych belek spawanych IKS 1100-11. Pomost składa się z części dolnej złożonej z ceowników C200 mocowanych do dźwigarów stalowych w rozstawie, co 1.25 m i części górnej składającej się z żeber podłużnych (ceowniki C50) w rozstawie, co 0,75 m i blach wierzchnich pomostu.

Rysunki 1a i 1b pokazują widoki badanej kładki.

Rys. 1. Kładka w sąsiedztwie ulicy Janowskiej w Lublinie: a) widok z perspektywy pieszego b) widok pomostu od dołu

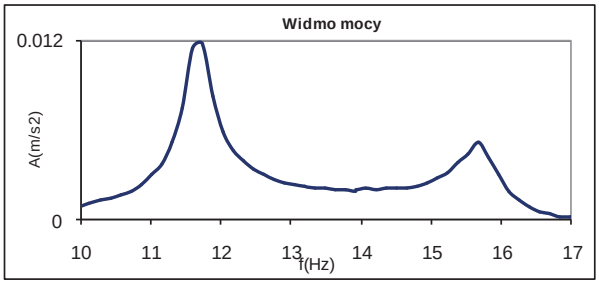
Badania drgań wiaduktu wykonano przy użyciu sprzętu HBM: akcelerometrów B200, analizatora Spider i programu sterującego Catman.

Wymuszenie realizowano przez skoki w sześciu punktach przęsła. W osi podłużnej kładki (1/2, 1/4, 1/8 długości) i w linii poręczy (1/2, 1/4, 1/8 długości)

Czujniki zostały rozmieszczone na pomoście kładki przy poręczach. Pierwszy zamocowano w połowie długości, drugi w 1/4 długości, trzeci w 1/8 długości kładki. Sygnał

próbkowano z częstotliwością 1200Hz. o szerokości pasma 150 Hz oraz przebiegi przemieszczeń drgań, uzyskane po obrobieniu przebiegów przyspieszeń drgań. Na podstawie tych przebiegów czasowych wykonano analizę widmową drgań, z której otrzymano częstotliwości drgań własnych.

Na rys. 2 zestawiono przykładowy wykres gęstości widmowej mocy przyspieszeń.



Rys. 2. Przykładowe widmo amplitudowe (wymuszenie; punkt 4, czujnik nr 3)

3.1.2. Drgania własne konstrukcji

W celu wyznaczenia zestawu postaci oraz częstotliwości drgań własnych posłużono się jednym pakietów MES, jakim jest system ALGOR. Stworzono model MES analizowanej kładki (rys. 3), a następnie wykonano liniową analizę modalną, który posługuje się metodą iteracji podprzestrzeni przy wyznaczaniu początkowych postaci i wartości drgań własnych. W wyniku analizy modalnej otrzymano zestaw dziesięciu pierwszych postaci drgań własnych odkształconych wokół ich położenia równowagi statycznej. Zestawienie częstotliwości oraz wybranych postaci drgań analizowanej konstrukcji przedstawiono w tablicy 1 i rysunkach 4 i 5.

Rys. 3. Model MES analizowanej kładki

Tabela 1. Częstotliwości oraz postacie drgań własnych analizowanej kładki

Nr post. drgań	Częstotliwość f_i [Hz] - Algor	Częstotliwość f_i [Hz] - badania	Opis formy drgań
1	3.995	-	Drgania skrętne antysymetryczne blachownic
2	4.019	3.957	Drgania skrętne symetryczne blachownic
3	4.277	-	Drgania skrętne antysymetryczne blachownic
4	4.328	-	Drgania skrętne antysymetryczne blachownic
5	4.790	5.127	Pierwsza giętna pionowa symetryczna

Rys. 4. Druga postać drgań własnych f_2= 4.019 Hz

Rys. 5. Piąta postać drgań własnych f_5= 4.790 Hz

3.1.3. Wyniki obliczeń parametrów tłumienia

Stosując metodę kolokacyjną otrzymano zbliżone wartości δ stosując wymuszenia drgań w różnych miejscach konstrukcji. Średnie wartości logarytmicznego dekrementu tłumienia drugiej i piątej postaci drgań przedstawiono w tabeli 2. Uzyskanie wartości tłumienia drgań wszystkich postaci wymaga przeprowadzenia wymuszeń drgań konstrukcji w kierunku poziomym.

W odniesieniu do metody energetycznej współczynniki pochłaniania dla poszczególnych materiałów ψ_j przyjęto z literatury, tj.: dla stali przyjęto δ_s = 0,01 a dla żywicy epoksydowej δ_z = 0,15. Stosując metodę energetyczną przy określaniu parametrów tłumienia otrzymano dużo niższe wartości δ, spowodowane to może być dużymi rozbieżnościami w wartościach składowych logarytmicznego dekrementu tłumienia dla poszczególnych materiałów i konstrukcji występujących w kładce.

Tabela 2. Wartości δ pięciu pierwszych postaci drgań

Nr post. drgań	Metoda energetyczna δ	Metoda kolokacyjna δ
1	0.0102	-
`2	0.0106	0.455
3	0.0101	-
4	0.0207	-
5	0.0189	0.110

3.2. Most im. Jana Pawła II w Puławach

3.2.1. Opis pomiarów drgań własnych mostu

Do badań wybrano most łukowy w Puławach (rys. 6a i 6b), składający się z następujących głównych części konstrukcyjnych: dwóch stalowych łuków, pomostu stalowo-żelbetowego, stalowych prętów podwieszających pomost. Pomost zaprojektowano jako wykonany ze stali i żelbetu, składający się z czterech stalowych podłużnych dźwigarów, rozstawionych symetrycznie względem osi jezdni i poprzecznic stalowych. Na konstrukcji

stalowej spoczywa pomost o całkowitej szerokości ok. 22 m. Warstwy części jezdnej to: mieszanka grysowo-mastyksowa SMA jako warstwa ścieralna (4 cm), beton asfaltowy modyfikowany (6 cm), izolacja (papa zgrzewalna 5 mm), płyta żelbetowa (27–36 cm).

Rys. 6. Widok mostu w Puławach: a) widok boczny, b) widok od dołu

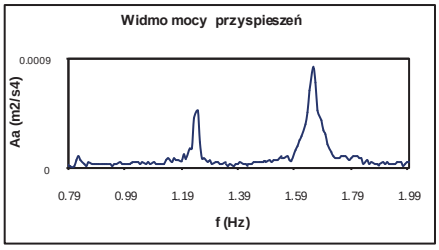
Badania drgań mostu wykonano przy użyciu sprzętu HBM: akcelerometrów B200, analizatora Spider i programu sterującego Catman.

Drgania wymuszano przy wykorzystaniu samochodu ciężarowego, przejeżdżającego przez drewniany próg, usytuowany w połowie, jednej czwartej i trzech ósmych rozpiętości przęsła mostu wzdłuż jego osi oraz w połowie rozpiętości i trzech ósmych na skraju pomostu.

Akcelerometry podczas badań zamocowane były w połowie, jednej czwartej i trzech ósmych rozpiętości przęsła mostu wzdłuż jego osi oraz jeden w połowie rozpiętości na skraju pomostu.

Wynikami pomiarów są przyspieszenia drgań w czasie, próbkowane z częstotliwością 1200 Hz o szerokości pasma 150 Hz oraz przebiegi przemieszczeń drgań, uzyskane po obrobieniu przebiegów przyspieszeń drgań. Na podstawie tych przebiegów czasowych wykonano analizę widmową drgań, z której otrzymano częstotliwości drgań własnych. Wykorzystywano przebiegi przyspieszeń i przemieszczeń w celu uzyskania jak najdokładniejszych wykresów gęstości widmowej mocy.

Na rys. 7 zestawiono przykładowy wykres gęstości widmowej mocy przyspieszeń.



Rys. 7. Przykładowa FFT bazująca na przebiegu przyspieszeń drgań

3.2.2. Drgania własne konstrukcji

Częstotliwości drgań własnych i związane z nimi postaci obliczono dla modelu pokazanego na rys. 8, uwzględniającego trzy przęsła mostu poza częścią łukową w kierunku Radomia, które mają rozpiętości odpowiednio, licząc od podpory łuku, 80 m, 64 m i 64 m, oraz dwa przęsła w kierunku Lublina o rozpiętościach, licząc od podpory łuku, 80 m i 44 m. W obliczeniach wykorzystano program Algor oparty na metodzie elementów skończonych.

W tabeli nr 3 zestawiono częstotliwości drgań własnych (z modelu MES i z badań opisanych wcześniej), a na rysunkach 9, 10, 11 pokazano trzy postaci drgań uzyskane z programu Algor.

Rys. 8. Model MES mostu w Puławach

Tabela 3. Częstotliwości i postacie drgań własnych analizowanego mostu

Nr post. drgań	Częstotliwość f_i [Hz] - Algor	Częstotliwość f_i[Hz] - badania	Opis formy drgań
1	0.676	0,805	Giętne pionowe
2	0.757	-	Giętne poziome
3	1.168	-	Giętne poziome (drgania pomostu i łuku)
4	1.274	1,245	Skrętne pomostu, giętne poziome łuku
5	1.338	-	Giętne pionowe
6	1.377	1.795	Giętne pionowe

Rys. 9. Pierwsza postać drgań f_1=0.676 Hz

Rys. 10. Czwarta postać drgań f_4=1.274 Hz

Rys. 11. Szósta postać drgań f_6=1.377 Hz

3.2.3. Współczynniki tłumienia drgań

Obliczając parametry tłumienia drgań metodą kolokacyjną brano pod uwagę maksymalnie trzy reprezentatywne, czyli bliskie „nieodseparowane" częstotliwości własne. W obliczeniach wykorzystano program Catman 4.0 i widmo mocy „Auto-power spectrum". Obliczono δ dla kilku reprezentatywnych postaci drgań własnych mostu.

Określając wartości współczynnika tłumienia drgań metodą energetyczną, wykorzystano macierze diagonalne mas i postacie drgań modelu. Współczynniki pochłaniania dla poszczególnych materiałów ψ_j przyjęto na podstawie logarytmicznych dekrementów tłumienia tych materiałów z literatury, tj.: dla stali przyjęto $\delta_s = 0{,}01$, dla żelbetu $\delta_{\dot{z}} = 0{,}2$ a dla betonu asfaltowego $\delta_b = 0{,}15$. Otrzymano wartości logarytmicznego dekrementu tłumienia dla sześciu pierwszych postaci drgań własnych.

Uzyskane wyniki δ w odniesieniu do dwóch metod, przedstawiono w tabeli nr 4.

Tabela 4. Wartości δ pięciu pierwszych postaci drgań

Nr post. drgań	Metoda Energetyczna δ	Metoda Kolokacyjna δ
1	0.041	0.115
2	0.072	-
3	0.046	-
4	0.075	0.066
5	0.079	-
6	0.094	0.082

4. Wnioski

Wykorzystując metodę kolokacyjną otrzymuje się dokładne parametry tłumienia drgań dla różnych częstości drgań mostu. Częstości drgań uzyskuje się dzięki badaniom przeprowadzanym na obiekcie. Do określenia wszystkich częstości własnych wymagane są wymuszenia drgań w różnych kierunkach i rozmieszczenie czujników w różnych punktach konstrukcji. Wyniki charakteryzują się dużą zgodnością, praktycznie bez większych rozrzutów wynikających z różnych miejsc gdzie dokonywano wmuszeń i miejsc pomiarów drgań. W metodzie kolokacyjnej uwzględniać można przebiegi przyspieszeń i przemieszczeń, dzięki którym można otrzymać większy zakres częstotliwości własnych (większą liczbę częstotliwości reprezentatywnych).

Stosując metodę energetyczną (wykorzystującą całkowitą energię kinetyczną drgającego układu), otrzymano wartości δ częściowo porównywalne z wartościami uzyskanymi stosując metodę kolokacyjną. Wyniki charakteryzują się zgodnością w przypadku rozpatrywanego mostu łukowego zaś wykazują duże rozbieżności w przypadku kładki pieszojezdnej. Otrzymane rozbieżności mogą mieć związek z różnym wpływem tłumienia konstrukcyjnego, które oprócz tłumienia materiałowego ma wpływ na ostateczny poziom tłumienia drgań różnych rodzajów konstrukcji. Nie bez znaczenia jest również stan techniczny analizowanej kładki, która jest już użytkowana wiele lat.

Podsumowując metoda energetyczna może stanowić prosty sposób na wyznaczenie parametru tłumienia drgań już na etapie projektowania konstrukcji. Wymagane są jednak jeszcze badania na wykonanych konstrukcjach, które pozwolą na dokładne określenie składowych współczynników tłumienia drgań odpowiednio różnych dla różnych typów mostów i kładek (np.: most, kładka: wisząca, podwieszona i łukowa).

Literatura

1 Yamaguchi H, Ito M (1995) „Mode-dependency of structural damping in cable-stayed bridges", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 72, 1997, 289-300,
2 Yamaguchi H., Adhikari R., „Energy-based evaluation of modal damping in structural cables with and without damping treatment", J. of Sound and Vibration 181, 1995, 71-83,
3 Jayawardena L., „Analytical estimation of vibration damping in cable system" Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand,1991,
4 Szulej J.: „Wyznaczenie ekwiwalentnego wiskotycznego tłumienia drgań w konstrukcjach wielomateriałowych", rozprawa doktorska, Lublin, 2009,
5 Dyląg Z. i inni „Wytrzymałość materiałów", tom 2, WNT, Warszawa, 1997,
6 Rakowski G. i in. „Mechanika budowli-ujęcie komputerowe", tom 2, Arkady, Warszawa, 1992,
7 Bachmann H. „Vibration problems in structures", Wien, Bulletin D'Information, No 209, 1991,
8 Flaga A. i in. „Analiza dynamicznego oddziaływania wiatru na wybrane konstrukcje wiszące w warunkach sprzężeń dynamicznych", Pr. bad. nr 7 T07E01212, Lublin, 1999,
9 Flaga A., Michałowski T. „Charakterystyki tłumienia drgań lekkich kładek wiszących i podwieszonych", Inżynieria i Budownictwo nr 9, 2000, 495-497.

Determining the level of damping vibration in bridges and footbridges

Jacek Szulej[1], Paweł Ogrodnik[2]

[1] Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: j.szulej@pollub.pl
[2] Department of Fire Technology, Faculty of Civil Safety Engineering, The Main School of Fire Service, e-mail: pogrodnik@sgsp.edu.pl

Abstract: While designing slim and slender structures such as cable-stayed, suspended and arch bridges and footbridges, data on the dynamic behavior of structure are required. One of the main quantities, included in the calculations, is the damping parameter of vibration of the structure whose corresponding value has a direct impact on the proper behavior of the facility. One of currently applied approaches in the case of complex constructions, is the use of methods defining the equivalent damping coefficient which refers to the given form of natural vibrations. Among these methods, the collocation method and energy method can be distinguished. The collocation method refers to the existing facilities and requires performing measurements of vibration and spectral processing of time course of vibrations. The energy method requires the creation of FEM model of construction and it estimates the kinetic energy of the vibrating system. The above-mentioned methods are used in the calculations of the damping level of vibration of two structures, i.e.: arch John Paul II Bridge in Pulawy and a footbridge located in Lublin.

Keywords: damping level, composite structures, the collocation method, the energy method.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 105-114

Stalowe ruszty jako innowacyjne nawierzchnie dróg tymczasowych

Artur Juszczyk, Adam Wysokowski

Zakład Dróg i Mostów, Instytut Budownictwa,
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski,
e–mail: arturjuszczyk@o2.pl, awysokowski@infra-kom.eu

Streszczenie: Potrzeby związane ze skróceniem czasu realizacji oraz jakości wykonywanych robót budowlanych determinują wprowadzanie nowych, zróżnicowanych technologii. Przykładem takich działań jest rozwój nawierzchni wykorzystywanych do budowy tymczasowych dróg, realizowanych głównie na potrzeby dostarczania sprzętu oraz materiałów w obszarze placu budowy. Ma to szczególne znaczenie w budownictwie komunikacyjnym, gdzie lokalizacja podyktowana jest szeregiem uwarunkowań lokalnych, przez co często mamy do czynienia z występowaniem niekorzystnych warunków gruntowych.

Powszechnie stosowane tradycyjne rozwiązania konstrukcji dróg tymczasowych w postaci nawierzchni gruntowej lub nawierzchni z betonowych płyt drogowych wymaga dobrych warunków gruntowych lub prawidłowego wzmocnienia podłoża, co w konsekwencji może skutkować znaczącym podniesieniem kosztów budowy.

Nowoczesne nawierzchnie tymczasowe nie tylko przekazują obciążenie na podłoże. Wykorzystują podłoże gruntowe, jako ośrodek współpracujący w rozkładzie obciążenia eksploatacyjnego, dzięki czemu istnieje możliwość realizacji dróg również na podłożu słabonośnym. Innowacyjnym rozwiązaniem w tym zakresie są przestrzenne stalowe ruszty współpracujące z podłożem gruntowym. W referacie opisane zostały wstępne badania modelowe tego typu konstrukcji nawierzchni.

Słowa kluczowe: nawierzchnie technologiczne, budowa dróg, stalowy ruszt drogowy, badania modelowe.

1. Wprowadzenie

Budowa nowego obiektu budowlanego lub jego rozbudowa pociąga za sobą konieczność przygotowania placu budowy. W tym początkowym etapie realizowane jest m.in. zaplecze budowy, geodezyjne wytyczenie obiektu, roboty związane z istniejącą zielenią i zdjęciem warstwy humusu. Jest to szczególnie utrudnione w przypadku budowli linowych takich jak drogi oraz linie kolejowe, gdzie teren objęty inwestycją jest bardzo rozległy, a warunki gruntowe mogą być bardzo zmienne. Aby powyższe działania przebiegały sprawnie, konieczne jest właściwe zaprojektowanie i realizacja tymczasowych drogowych ciągów technologicznych umożliwiających transport w obrębie inwestycji. Dobór odpowiednich rozwiązań technicznych oraz prawidłowa lokalizacja drogi technologicznej w terenie, przyczynia się bezpośrednio do minimalizacji skutków ingerencji w środowisko naturalne. W praktyce najczęściej stosowane są nawierzchnie gruntowe oraz z płyt betonowych. Tego typu rozwiązania wymagają przygotowania podłoża w celu uniknięcia nadmiernych kolein lub uszkodzeń elementów prefabrykowanych. Może zajść konieczność wykonania odpowiedniej podbudowy [1], a w przypadku posadowienia konstrukcji na gruntach słabono-

śnych również wzmocnienia [2]. Wykonanie dodatkowych robót oraz zużycie materiału we wstępnej fazie inwestycji pociąga za sobą nie tylko konsekwencje finansowe, ale również ekologiczne w całym cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assemssment* i LCC – *Life Cycle Cost*) [3], co nie jest w zgodzie z podstawowymi założeniami budownictwa zrównoważonego. Jeżeli liczymy koszty dróg w obrębie budowy i tym samym oddziaływanie na środowisko naturalne, musimy brać pod uwagę wszystkie czynniki zarówno cenotwórcze, jak i środowiskowe, uwzględniając w nich realizację, naprawy w okresie eksploatacji oraz rekultywację terenu po zakończeniu inwestycji.

Od kilku dekad intensywnie rozwijane są technologie nawierzchni drogowych, w tym również rozwiązania dla krótkiego okresu eksploatacji. W nawierzchniach tymczasowych zaczęto stosować różnego rodzaju stopy metali oraz tworzywa sztuczne. Wybór optymalnego systemowego rozwiązania nawierzchni tymczasowej wiąże się z wieloma istotnymi czynnikami, m.in. takimi jak: warunki gruntowe, ukształtowanie terenu oraz jego projektowane zagospodarowanie. Dobór odpowiednich rozwiązań technicznych oraz właściwa lokalizacja obiektu w terenie przyczynia się bezpośrednio do minimalizacji skutków ingerencji w środowisko naturalne.

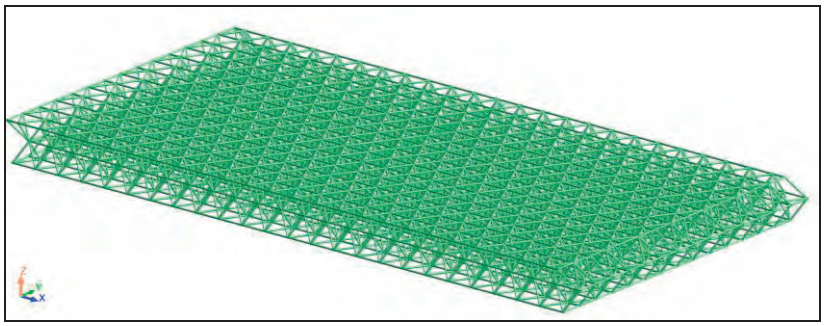
Aktualnie prowadzone są badania charakterystycznych parametrów nawierzchni drogowych ze stalowych rusztów, mających istotny wpływ na ich nośność. Mają one na celu dokładniejsze poznanie właściwości kluczowych dla pracy tego typu konstrukcji oraz ich optymalizację. Wyniki pierwszego etapu badań są przedmiotem niniejszego referatu.

2. Analiza techniczna rozwiązania

Innowacyjne nawierzchnie drogowe w postaci stalowych rusztów drogowych, pozwalają na realizację nawierzchni tymczasowej przystosowanej do prowadzenia ciężkiego ruchu w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych. Jest to technologia w pewnym stopniu podobna do mostów gruntowo-powłokowych, gdzie obciążenia głównie przenosi grunt. W przypadku nawierzchni prętowej, głównym zadaniem konstrukcji stalowej jest rozproszenie sił skupionych pochodzących od pojazdów i przekazanie ich na podłoże gruntowe. Ponieważ jest to nowa technologia, prowadzone są prace nad bezpiecznym jej wdrożeniem oraz optymalizacją dla zastosowań w różnych warunkach gruntowych. Od kilku lat stalowe ruszty jako nawierzchnie drogowe są przedmiotem prowadzonych badań i analiz w Zakładzie Dróg i Mostów Uniwersytetu Zielonogórskiego, w następstwie których powstały wstępne zalecenia do stosowania tego typu rozwiązań [4].

Współpraca konstrukcji budowlanych z podłożem gruntowym jest przedmiotem wieloletnich badań. Z uwagi na innowacyjny charakter stalowych rusztów drogowych brak jest danych o wcześniejszych pracach nad tego typu konstrukcjami. W założeniach zaplanowanych badań oparto się na dostępnych materiałach w zakresie fundamentowania bezpośredniego oraz obiektów inżynierskich gruntowo-powłokowych. Podstawowymi elementami w analizowanej konstrukcji są stalowe pręty oraz ośrodek gruntowy.

Aktualnie prowadzone badania zostały poprzedzone wstępnymi pracami związanymi z oceną rozwiązań konstrukcyjnych oraz praktycznymi możliwościami stosowania przedmiotowej technologii. Wykonano podstawowe analizy numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Przykład modelu obliczeniowego dla nawierzchni w postaci stalowego rusztu, który został wykorzystany we wstępnych analizach w pracy [4] przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Widok modelu numerycznego stalowego rusztu drogowego

Kolejnym etapem badań było stworzenie poligonu badawczego, gdzie prowadzone były obserwacje zachowania się stalowych rusztów pod działaniem rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych. Takie badania przeprowadzono m.in. na węźle betoniarskim w Boczowie, który produkował mieszankę betonową na potrzeby budowy autostrady A2 Świecko - Nowy Tomyśl. Widok stanowiska poligonowego w Boczowie przedstawiono na rys. 2. Odcinek doświadczalny zlokalizowano w miejscu wjazdu na teren węzła betoniarskiego Boczów II. Miejsce to charakteryzowało się bardzo intensywnym ruchem pojazdów ciężkich oraz złożonymi warunkami gruntowo-wodnymi. Przez cały okres prowadzonych badań terenowych tymczasowa nawierzchnia była poddawana dynamicznym obciążeniom eksploatacyjnym. Przez przedmiotową konstrukcję stalową w ciągu doby przejeżdżało prawie 800 samochodów ciężarowych, co w przeliczeniu stanowiło cykliczne obciążenie dziennie ponad 20 tysięcy Mg. Obserwacje terenowe zakończono po trzech miesiącach eksploatacji, w trakcie których nie stwierdzono występowania istotnych negatywnych zjawisk w zakresie pracy konstrukcji nawierzchni wykonanej z rusztów stalowych. Szczegółowy opis badań polowych przedstawiony został w artykule [5].

Rys. 2. Ogólny widok poligonowego stanowiska badawczego w Boczowie (budowa autostrady A2)

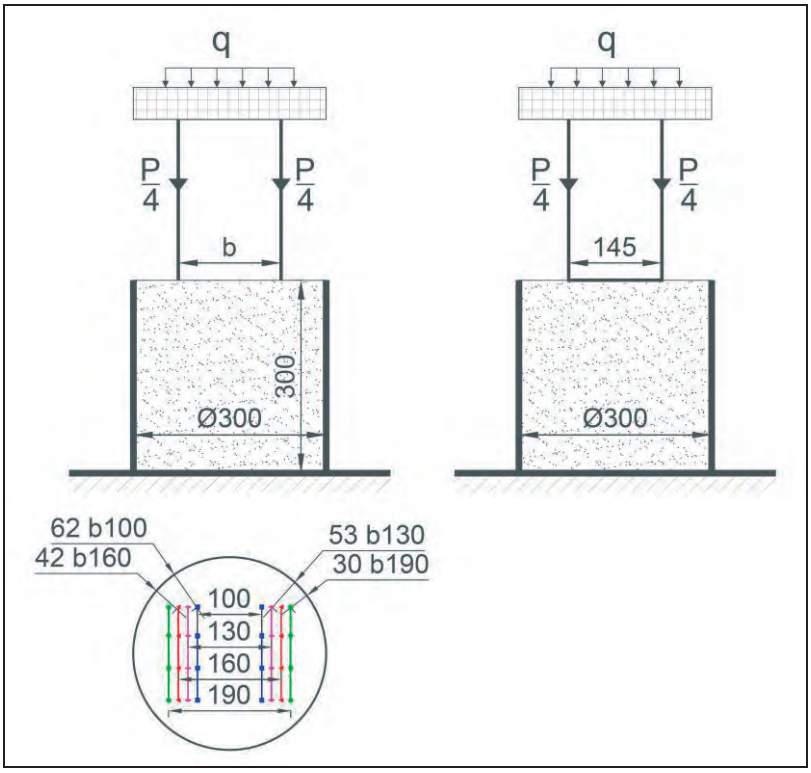
3. Badania modelowe

Badania konstrukcji prętowej przeprowadzone zostały w Laboratorium Instytutu Budownictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego. Przedstawione wyniki stanowią fragment realizowanego programu badawczego stalowych rusztów drogowych, jako nawierzchni tymczasowych. Opracowany program badań zakłada realizację dwóch etapów o zróżnicowanych parametrach stanowisk badawczych. Pierwszy faza to badania wstępne w małej skali, gdzie modelowe podłoże ograniczone jest rurą o średnicy 300 mm z wykorzystaniem obciążeń statycznych. Drugi etap obejmuje wykonanie dużego stanowiska o średnicy 1500 mm z uwzględnieniem obciążeń statycznych i dynamicznych. W niniejszym referacie przestawiono reprezentatywne wyniki uzyskane w pierwszym etapie przedmiotowych badań modelowych.

3.1. Realizacja badań

Ośrodek gruntowy, który wykorzystano w badaniach modelowych to eoliczny piasek średni. Materiał został pobrany w województwie lubuskim, około 15 kilometrów na północ od Zielonej Góry, z okolic miejscowości Nowy Świat. Piaski eoliczne (wydmowe) można zaliczyć do gruntów słabonośnych, ze względu na skład granulometryczny oraz stan gruntu. Charakteryzują się monofrakcyjnym uziarnieniem oraz obtoczonym kształtem ziaren. Brak naturalnej konsolidacji gruntu oraz trudność w zagęszczaniu sprawiają, że występują one najczęściej w stanie od bardzo luźnego do średnio zagęszczonego. W Polsce piaski eoliczne występują praktycznie na terenie całego kraju, szczególnie w pasie przymorskim, na nadzalewowych tarasach rzek lub na obszarach sandrowych [6].

Badania zrealizowano z wykorzystaniem stalowych prętów o przekroju okrągłym, średnicy 10 mm i długości poziomej l = 145 mm, ułożonych równolegle w różnych odległościach (rozstawach) b = 100, 130, 160, 190 mm. Te układy pojedynczych prętów mają za zadanie zamodelować w pierwszym etapie badań, w miarę „prosty", układ konstrukcyjny rusztu. Takie podejście ma na celu sprawdzenie zachowania się tej konstrukcji na podłożu bez dodatkowych wpływów, które mogłyby wystąpić przy bardziej skomplikowanych układach rusztowych (których badania planowane są w kolejnych etapach prac). Modelowe podłoże gruntowe wykonane zostało w cylindrze o średnicy i wysokości 300 mm. Nasypywanie materiału przeprowadzono zgodnie z amerykańską normą ASTM D4254-00 [7], efektem było uzyskanie podłoża w stanie luźnym – stopień zagęszczenia 26 %. Statyczne obciążenie układu prętów wykonano w sposób bezpośredni przy użyciu blach stalowych (P0) oraz elementów betonowych (P1÷P9), o masie jednostkowej ok. 4,3 kg. Schemat stanowiska badawczego wraz z podstawowymi wymiarami zamieszczono na rys. nr 3. Sumaryczne obciążenie w badaniu wynosiło ponad 45 kg. W obciążeniu wstępnym P0 został uwzględniony ciężar samej konstrukcji prętowej oraz elementów pomocniczych. Dla każdego rozstawu prętów wykonano pięć testów, podczas których rejestrowano osiadania modelu z wykorzystaniem laserowego przyrządu pomiarowego z dokładnością 0,1 mm. Pojedyncze badanie przeprowadzono dla jednego podłoża gruntowego, bez ingerencji zewnętrznej w stan gruntu, dla wszystkich testów. Pozycją początkową modelu prętowego w każdym teście była górna powierzchnia gruntu. Zmiany parametrów geometrycznych układu prętów poprzedzane były odtworzeniem początkowego stanu modelowego podłoża.

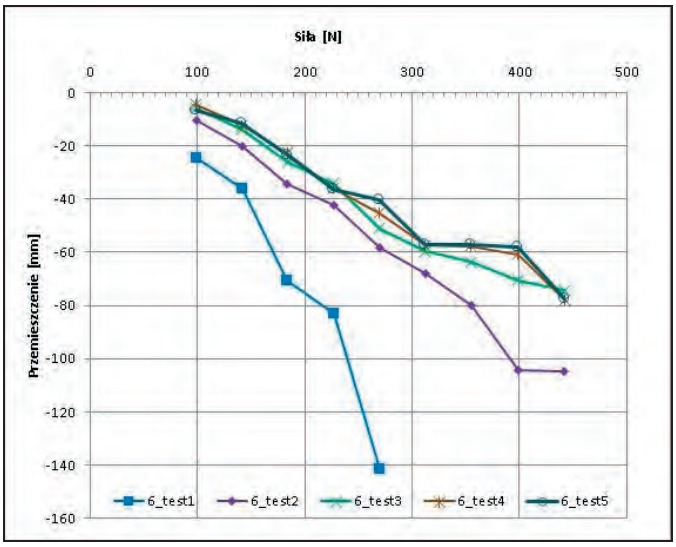


Rys. 3. Schemat laboratoryjnego stanowiska badawczego z użyciem układu prętowego

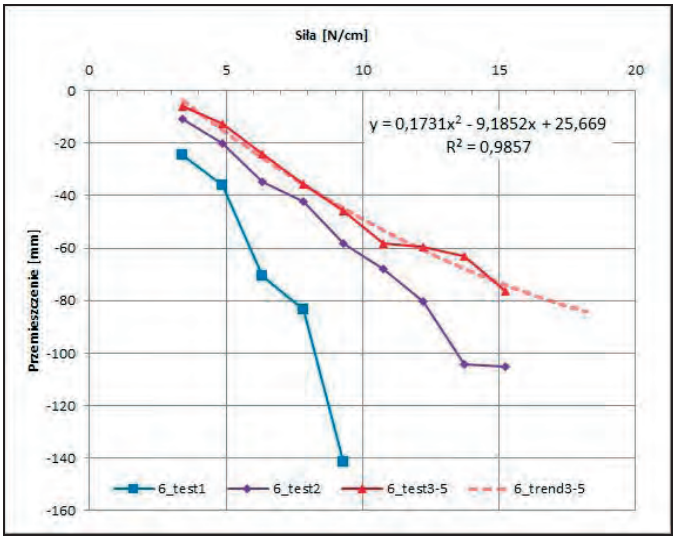
W realizowanych badaniach rozpatrywano zdolność przenoszenia obciążeń przez stalowe pręty ułożone poziomo. Dla uproszczenia analiz pominięto wpływ prętów pionowych.

3.2. Uzyskane wyniki badań

Przemieszczenie układu prętów pod wpływem działania obciążenia wstępnego P0, stanowi zerowy punkt odniesienia dla kolejnych pomiarów. Dla rozstawu prętów 160 mm, pierwszy test zakończono na obciążeniu P5, uzyskując łączną siłę 269,5 N. Dalsze zwiększanie obciążenia spowodowało przekroczenie zakresu możliwości rejestracji przemieszczeń, ze względu na zastosowaną wysokość konstrukcji modelowej. W kolejnych testach układ stawał się stabilniejszy, a sztywność modelowego podłoża wzrastała, co pozwalało na wykorzystanie pełnego zakresu obciążeń (442,0 N), stosowanego w badaniach. Porównując osiadania przy maksymalnym obciążeniu z testu 1, można zaobserwować znaczące ograniczenie przemieszczeń w kolejnych etapach, test 1 – 141 mm, 2 – 58 mm, 3 – 51 mm, 4 – 45 mm, 5 – 41 mm, odpowiednio 243 % dla drugiego obciążania i kolejno 276 %, 313 %, aż do 344 % podczas piątej próby. Szczegółowe wyniki badania zostały przedstawione na rys. nr 4. Uzyskane przemieszczenia dla testu 3 oraz kolejnych są zbieżne co do wartości oraz charakterystyki. Pod wpływem cyklicznego obciążenia grunt uległ zagęszczeniu a przemieszczenia następowały skokowo. Podobne zależności zaobserwowano w czasie realizacji badań dla innych rozstawów prętów.



Rys. 4. Wykres zależności przemieszczeń i obciążenia dla układu prętów w kolejnych testach

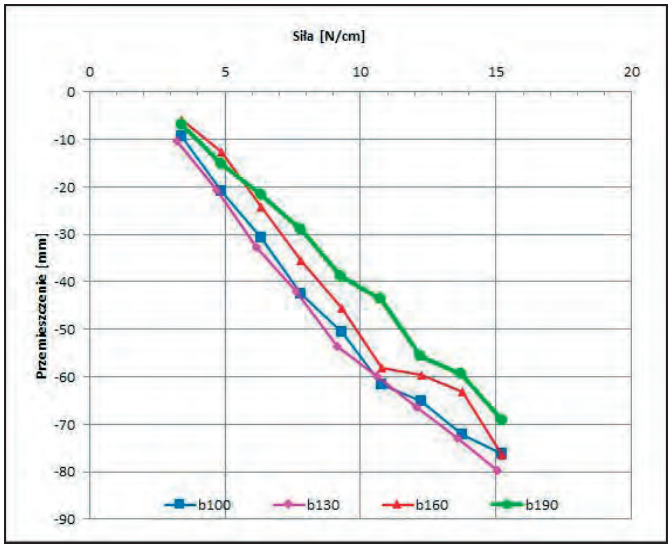


Rys. 5. Wykres zależności przemieszczeń i obciążenia dla układu prętów z uwzględnieniem rozkładu obciążenia na długości elementów poziomych

W celu łatwiejszej interpretacji oraz lepszego porównania uzyskanych wyników kolejnych badań na rys. nr 5 przedstawiono wykres przemieszczeń analizowanej konstrukcji prętowej o rozstawie 160mm z uwzględnieniem obciążeń działających na jednostkowy centymetr długości pręta poziomego. Pokazano wartości dla testu 1 i 2 oraz średnie osiadania uzyskane w testach 3÷5. Na podstawie średniej wyznaczona została linia trendu opisująca przemieszczenia konstrukcji przy dalszym zwiększaniu obciążenia. Wskazuje ona stopniowe ograniczanie osiadania układu prętowego. Próba opisu funkcji przemieszczeń w zależności od obciążenia za pomocą funkcji wielomianowej drugiego stopnia (rys. 5) charakteryzuje dużą zbieżność z uzyskanymi wynikami - korelacja wyrażona współczynni-

kiem R2 na poziomie blisko 99 %, pokazuje malejące przemieszczenia wraz ze wzrostem obciążenia w kolejnych testach.

W przedmiotowych badaniach wykonano cztery cykle, w których parametrem zmienności był rozstaw prętów „b". W każdej z prób zaobserwowano podobne zjawiska związane ze wzmocnieniem modelowego podłoża, szczególnie widoczne w pierwszych trzech testach. Do analizy porównawczej zdecydowano się rozpatrywać średnie wartości uzyskane w testach 3÷5 z uwzględnieniem obciążenia przypadającego na jednostkowy wycinek prętów poziomych. Szczegółowe wyniki przemieszczeń przedstawiono w postaci wykresu na rys. nr 6.



Rys. 6. Wykres zależności przemieszczeń i obciążenia dla modelu o różnych rozstawach prętów z uwzględnieniem rozkładu obciążenia na długości elementów poziomych

Badania powtórzono trzykrotnie w celu weryfikacji powtarzalności uzyskanych wyników. Podczas wygłoszenia referatu na konferencji oraz w kolejnych publikacjach przedstawione zostaną aktualne wyniki przeprowadzonych i opracowanych badań modelowych stalowej konstrukcji prętowej na gruncie. W ocenie autorów, uzyskane wyniki stanowią wiarygodną podstawę dla dalszych analiz.

3.3. Analiza wyników badań

Wielokrotne przeprowadzenie prób obciążeniowych pozwoliło na wyznaczenie poziomu ufności uzyskiwanych wyników, która wynosi ponad 95 % i wzrasta wraz z ilością cykli obciążeniowych.

Pierwszy test każdorazowo należy traktować jako „dopasowanie" konstrukcji nawierzchni z podłożem gruntowym. Kolejne obciążanie i odciążanie gruntu powodują stopniowe wzmocnienie podłoża. Podczas kolejnych prób, dla testów nr 3 i późniejszych, zarejestrowane wartości przemieszczeń kształtują się na podobnym poziomie, co świadczy o osiągnięciu maksymalnej sztywności przyjętego modelowego podłoża.

Istotne znaczenie w ocenie uzyskanych wyników badań ma zastosowana wielkość cylindra wypełnianego gruntem. Przeprowadzone badania wykazały wpływ warunków brzegowych na parametry modelowej konstrukcji, który będzie przedmiotem kolejnych badań.

Przedstawione wyniki badań pierwszego etapu można oceniać jedynie w odniesieniu do piasków eolicznych o zbliżonym stopniu zagęszczenia oraz stalowych prętów o średnicy 10 mm.

Przeprowadzone badania potwierdziły założenie, że pod wpływem działania obciążenia na konstrukcję prętową, grunt ulega zagęszczeniu na skutek ścinania. Efektem tego zjawiska jest stopniowy wzrost nośności podłoża. Należy przypuszczać, że podobnie będą zachowywać się inne grunty piaszczyste.

W oparciu o uzyskane wyniki układu prętów stalowych dokonano próby oszacowanie nośności dolnej warstwy rusztu analizowanego w ramach modelu numerycznego. Przy założeniu dopuszczalnego przemieszczenia na poziomie - 80 mm, nośność takiej warstwy wynosiłaby 266 kN (27,1 Mg), co w przypadku elementu o wymiarach 2 x 4 m jest wynikiem pozwalającym na bezpieczną eksploatację przez pojazdy ciężarowe. Wraz ze wzrostem zagłębienia rusztu w gruncie zaczną współpracować z podłożem również pręty ukośne, których wpływ na chwilę obecną jest trudny do oszacowania.

Z uwagi na zróżnicowaną budowę geologiczną Polski, optymalizacja stalowych rusztów jako konstrukcji nawierzchni dróg tymczasowych sprawia wiele trudności. Nieuniknionymi wadami prowadzenia przedmiotowych badań laboratoryjnych jest skala modelu oraz stan gruntu.

4. Podsumowanie

Wykorzystywanie nowych technologii w budownictwie, szczególnie infrastrukturalnym stają się nieodzowne i w określonych warunkach lokalnych mogą ułatwić realizację inwestycji lub poprawić docelowe parametry użytkowe. W drogownictwie stale prowadzone są poszukiwania nowych materiałów, w tym również z grupy odpadowych, które mogłyby zastąpić surowce naturalne. Dobór odpowiednich rozwiązań technicznych oraz właściwa lokalizacja obiektu w terenie przyczynia się bezpośrednio do minimalizacji skutków ingerencji w środowisko naturalne oraz korzystnie wpływa na parametry techniczne w projektowanym okresie eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań i obserwacji stanowiska poligonowego stalowych rusztów drogowych poznane zostały główne zalety tej technologii. Podstawowym atutem tego typu konstrukcji jest niewielka waga pojedynczego elementu, co ułatwia transport i montaż nawierzchni. Dzięki odporności na działanie obciążeń ruchomych oraz czynników zewnętrznych możliwe jest wielokrotne wykorzystywanie systemu przy jednoczesnym skróceniu czasu realizacji drogi tymczasowej. Przedmiotowa technologia pozwala na prowadzenie ruchu kołowego nawet w złożonych i trudnych warunkach gruntowo-wodnych jak również przy wyjątkowo dużych obciążeniach eksploatacyjnych. Przestrzenny ruszt daje możliwość swobodnej filtracji wody do gruntu, dzięki czemu nie występuje problem odwodnienia nawierzchni. Geometryczna struktura rusztu zapewnia dobrą odporność konstrukcji na manewry przejeżdżających pojazdów. Nawierzchnia tego typu umożliwia ograniczenie prac związanych z przygotowaniem podłoża pod tymczasową konstrukcję drogi oraz rekultywacją terenu po zakończeniu realizacji inwestycji. Realizacja nowoczesnych tymczasowych konstrukcji dróg technologicznych prowadzi do racjonalnego wykorzystania surowców i wpisuje się w tendencje zrównoważonego rozwoju w budownictwie. Niniejsza technologia jest głównie przeznaczona dla krótkiego okresu eksploatacji drogi technologicznej, a podczas demontażu powinna zostać dokładnie oczyszczona. Na etapie użytkowania we wstępnej fazie, na skutek działania obciążeń, nastąpi obniżenie poziomu niwelety.

Przeprowadzone badania dla układu pojedynczych prętów mają za zadanie zamodelować pierwszy etap pracy nawierzchni bez dodatkowych wpływów, które mogłyby wystąpić przy bardziej skomplikowanej geometrii. Potwierdzono skuteczność wykorzystywania stalowych rusztów, jako tymczasowej nawierzchni drogowej. Trwają prace mające na celu kontynuację badań z uwzględnieniem innych parametrów w postaci rozstawu prętów oraz ich średnicy. W przyszłości planowane jest również rozszerzenie programu badań w kierunku oddziaływań dynamicznych. Realizacja założonego programu badań pozwoli na uwzględnienie większego zakresu współpracy nawierzchni i podłoża gruntowego w przenoszeniu obciążeń od ruchu technologicznego. Może to przyczynić się do poprawy nośności takich dróg z korzyścią dla ich trwałości eksploatacyjnej.

Literatura

1 Rafalski L. Podbudowy drogowe. Studia i Materiały. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2007.
2 Stilger-Szydło E. Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria – Projektowanie – Realizacja. Dolnośląskie wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2005.
3 Graczyk M., Adamczyk J. Zastosowanie LCA do szacowania ekologicznych skutków działalności budowlanej. Kapitał - informacja - jakość. Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra (2005) 163—172.
4 Juszczyk A., Wysokowski A., Marcinowski J. Raport dotyczący oceny innowacyjnego rozwiązania kratownic „DURA-TRACK" do budowy tymczasowych nawierzchni drogowych, Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski 2011.
5 Juszczyk A., Wysokowski A. Badania doświadczalnego odcinka drogi tymczasowej przy realizacji autostrady A-2. Materiały Budowlane 4 (2014) 53-54.
6 Wiłun Z. Zarys geotechniki. WKŁ, Warszawa 2010.
7 ASTM D4254-00 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.

Steel gratings as an innovative temporary roads pavement

Artur Juszczyk, Adam Wysokowski

Department of Roads and Bridges, Institute of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, University of Zielona Gora, e–mail: arturjuszczyk@o2.pl, awysokowski@infra-kom.eu

Abstract: The needs related to reduction of lead time and quality of construction determines implementation of the new technologies. An example of such an activity is a development of pavements used to build temporary roads, carried out mainly for the needs of equipment and materials delivery to a construction site. This is especially important in civil engineering, where location is dictated by a number of local conditions, which often is associated with the occurrence of adverse groundwater conditions.

Commonly used traditional design solutions of temporary roads such as unpaved roads or roads made by concrete slabs require good ground conditions or proper stabilized subsoil, which may ultimately result in a significant increase of the cost of the construction.

Modern temporary paving structures not only transmit the exploitation load on the

subsoil. They use subsoil, as a an structure cooperating in load distribution, so it is possible to use such a construction of road on a low-bearing soil. An innovative solution in this case are three-dimensional steel grids cooperating with a subsoil. The paper describes the preliminary modeling studies of this type of pavement structures.

Keywords: temporary paving technology, road construction, road steel grating, model research.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 115-121

Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE) modyfikowane miałem gumowym

Jerzy Kukiełka, Marcin Dębiński

Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: jerzy.kukielka@pollub.pl, m.debinski@pollub.pl

Streszczenie: Mieszanki MMCE z dodatkiem miału gumowego były przedmiotem rozpoznawczych badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Politechnice Lubelskiej. Ustalono wstępnie na podstawie przeglądu literatury, dotyczącej stosowania miału gumowego do mieszanek związanych cementem, jego dodatek w ilości 2%, 4% i 6% w stosunku do kruszywa. Zaprojektowano mieszanki a następnie wykonano próbki i przebadano je pod kątem spełnienia wymagań w zawartych w Instrukcji [9].

Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić przydatność miału gumowego w mieszankach MCE i stanowi postawę do opracowana dalszych szczegółowych prac w celu ustalenia nowych wymagań ilościowych wykraczających poza wymagania zawarte w Instrukcji.

Słowa kluczowe: mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE), miał gumowy.

1 Wprowadzenie

W roku 2014 opracowano, w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej "Instrukcję projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych" [9], która po rekomendacji Dyrektora Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad zastąpiła dotychczasowe Warunki Techniczne [10].

Porównując wymagania odnoszące się do podbudów z betonów asfaltowych można zauważyć, że np. odporność na działanie wody według Wymagań Technicznych WT-2 [11] odpowiadać powinna $ITSR_{70}$ natomiast w Instrukcji z 2014 r. "pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie" powinna być większa od 70% lub 80% w zależności od obciążenia ruchem, jak w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania w odniesieniu do próbek z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych [9]

Cecha:	Wymagane wartości:	
	Ruch KR1-KR2	Ruch KR3-KR4
Zawartość wolnych przestrzeni	od 8 do 18 maks.14[1)]	od 8 do 15 maks. 12[1)]
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie T = + 5 ˚C, po 7 dniach, [MPa]	od 0,40 do 0,80	od 0,50 do 1,00
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie T = + 5 ˚C, po 28 dniach, [MPa]	od 0,60 do 1,40	od 0,70 do 1,60
Moduł sztywności IT-CY T = + 5 ˚C, po 28 dniach, [MPa]	od 1500 do 5000	od 2000 do 7000
Odporność na działanie wody (pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie), T = +5°C po 28 dniach, [%]	nie mniej niż 70	nie mniej niż 80

[1)] - Materiały rozbiórkowe zawierające smołę.

Badania zamieszczone w pracy doktorskiej [13] potwierdziły dużą zmienność wyników badań wodo- i mrozoodporności próbek i tylko jedna z mieszanek zawierająca 3% emulsji asfaltowej i 5% cementu spełniła kryterium ITSR≥70%. Pomimo dużej porowatości wykonywanych mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, do ok. 16% przy uziarnieniu 0/25 mm, ich nasiąkliwość zawiera się w przedziale 3,5÷5,1%. Próbki dojrzewające przez 3 miesiące charakteryzowały się wzrostem wytrzymałości próbek wysuszonych i znacznie mniejszym przyrostem wytrzymałości po ich nawilżeniu wodą skutkiem, czego było uzyskanie mniejszych od 70% wskaźników wodoodporności. Można, zatem wnioskować, że warunkiem zapewniającym wodo- i mrozoodporność mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych jest uzyskanie małej nasiąkliwości i porowatości poprzez dodatek odpowiedniego rodzaju i ilości miału gumowego.

Można przyjąć, że wykonywane dotychczas podbudowy z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych spełniały niekiedy warunki zwiększających się wymagań w zakresie wodo- i mrozoodporności, ale mogą ich nie spełnić w przypadku ruchu KR3 i KR4 według nowej Instrukcji z 2014 r.

Zasadnicza zmiana w Instrukcji z 2014 r., w stosunku wcześniejszych wymagań, polega na rezygnacji z oceny mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych na podstawie badań stabilności według Marshalla oraz ustaleniu wytrzymałości na pośrednie rozciąganie w granicach $0,7<R_r<1,6$ MPa po 28 dniach twardnienia, modułu sztywności w temperaturze 5˚C w granicach 2000 MPa$<E_s<$7000 MPa oraz odporności na działanie wody nie mniej niż 80% dla kategorii obciążenia ruchem KR3 i KR4.

Zastosowanie miału gumowego do wykonywania wzmocnień podłoża gruntowego opisano w patencie nr 391 572 z roku 2010 r. [14] Miał powinien posiadać uziarnienie najkorzystniej D<2 mm i być dodawany do piasku, żwiru lub pospółki w stosunku wagowym do 10%. Miesza się go z optymalną ilością wody tak, aby wskaźnik wodno-cementowy wynosił 0,4<w/c<0,8 a następnie zagęszcza się konwencjonalnymi metodami w temperaturze >5 ˚C, najkorzystniej >15 ˚C.

Kolejny patent z zastosowaniem miału gumowego przyznany w roku 2012 [15] dotyczy jego zastosowania w ilości do 4% wagowo do mieszanki składającej się z kruszywa po frezowaniu warstw asfaltowych nawierzchni w ilości 70÷80%, zaprawy cementowo-piaskowej w ilości ≥20%, wody w ilości optymalnej ustalonej metodą Proctora oraz zbrojenia rozproszonego w ilości do 5 % w stosunku do mieszanki. Mieszanki te zalecane są do stosowania np. w przypadku napraw pęknięć klawiszujących lub przełomów nawierzchni asfaltowych.

Analizując wyniki prac badawczych dotyczących stosowania miału gumowego można wnioskować, że wpływa on korzystnie np. na:

- zawartość wolnych przestrzeni, która w przypadku MMCE powinna być mniejsza od 15% przy obciążeniu ruchem średnim oraz 18% w podbudowach obciążonych ruchem lekkim,
- trwałość zmęczeniową podbudów w tym z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, która powinna być przedmiotem dalszych badań.

2 Miał gumowy

Zużyte opony samochodowe są pełnowartościowym materiałem możliwym do stosowania w różnych gałęziach gospodarki zgodnie z Konwencją Bazylejską Narodów Zjednoczonych pt. „Identyfikacja i postępowanie ze zużytymi oponami" (1998), w której stwierdzono, że nie są one materiałem ani niebezpiecznym, ani stwarzającym ryzyko, o ile przetwarza się je w odpowiedni sposób, transportuje i magazynuje. Do produkcji opon używa

się obecnie w większości kauczuki syntetyczne wytwarzane z surowców otrzymywanych z ropy naftowej. Charakteryzują się one odpornością na niektóre oleje, wiele rozpuszczalników, kwasy i inne chemikalia, ponadto są odporne na wilgoć, pleśń i wykazują bardzo wolny rozkład w środowisku naturalnym. Zużyte opony są w związku z tym uciążliwym odpadem, gdyż nie ulegają degradacji nawet przez okres 100 lat. Z tego powodu zostały zakwalifikowane do kategorii odpadów, które powinno się wykorzystywać przemysłowo i nie można pozostawiać ich na składowiskach. Zgromadzone w dużych ilościach w jednym miejscu stanowią potencjalne zagrożenie pożarowe. Opony można przetwarzać w 100% [7]. Własności opon samochodowych czynią je atrakcyjnym surowcem do zastosowania, w całości, czy też w postaci rozdrobnionej w budownictwie drogowym.

W Polsce ustawa z dnia 11 maja 2001 roku o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej [8] nałożyła na producentów opon obowiązek odzysku z rynku większości wyprodukowanych opon, a na przedsiębiorców z branży motoryzacyjnej obowiązek ewidencji, składowania i przekazywania do odzysku zużytych opon. Istotny wpływ na sposób wykorzystania gumy ma stopień jej rozdrobnienia, w wyniku którego otrzymujemy wg [2]:

- pył gumowy (< 0,2 mm)
- miał gumowy (0,2 – 1,0 mm),
- granulat gumowy (1,0 – 10,0 mm),
- grys (> 10 mm).

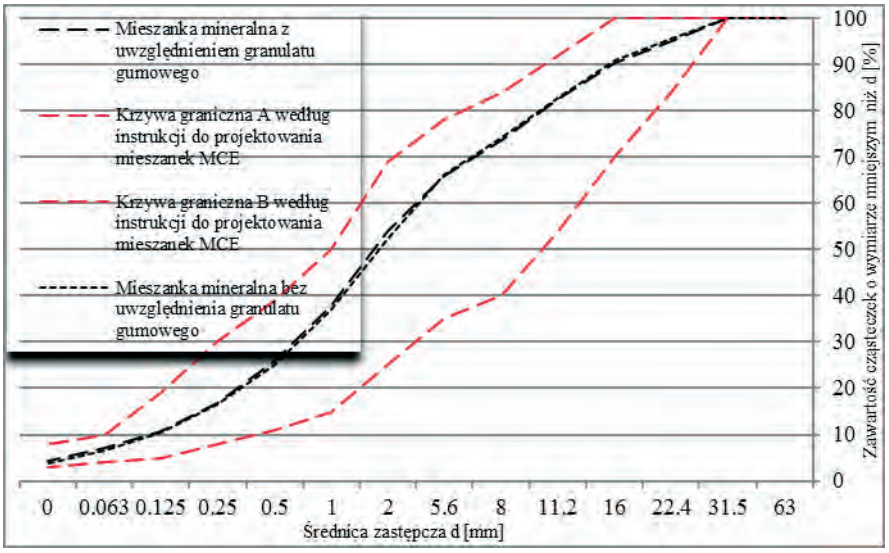
Przykładem powtórnego wykorzystania opon samochodowych w postaci rozdrobnionej jest ich zastosowanie także np. do produkcji betonu cementowego. Badania naukowe prowadzone w kilku ośrodkach wykazały, że obecność rozdrobnionych odpadów gumowych w betonie, niezależnie od ich ilości, pogarsza pewne właściwości mechaniczne betonu tradycyjnego. Badaniom wytrzymałościowym (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie) poddawano próbki różnych rozmiarów i kształtów. Najmniejsze spadki wytrzymałości, zarówno na ściskanie jak i na zginanie, zaobserwowano przy minimalnych zawartościach frakcji gumowych, co spowodowało, że autorzy [1], po przeprowadzonych doświadczeniach, zasugerowali by ilość gumy w betonie została ograniczona w stosunku do masy kruszywa. Obniżenie wytrzymałości mieszanek betonowych może być spowodowane słabą przyczepnością cząstek gumy do zaczynu cementowego. W literaturze nie ma jednoznacznych wyników dotyczących sczepności strefy stykowej i stopnia przyczepności zaczynu do cząstek gumowych. Obserwowano zarówno adhezję słabą, jak i bardzo silną. Obecność gumy w betonie, jak wykazały przeprowadzone badania [3] wpływa korzystnie na niektóre właściwości fizyczne betonów [4, 5].

3 Projektowanie MMCE z dodatkiem miału gumowego

Skład mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych ustalono na podstawie wymagań zawartych w Instrukcji [9]. Zaprojektowano skład granulometryczny, w którym destrukt o zawartości asfaltu 5,5% stanowił 50%, kruszywo doziarniające – 33%, cement 42,5–6%. Jako materiały stanowiące pozostały skald mieszanki MCE przyjęto emulsję asfaltową Jasbit C60 B5R w ilości 3% oraz wodę na podstawie badania Proctora w ilości 8%.

Zaprojektowano cztery receptury, w tym jedną niemodyfikowaną miałem gumowym jako referencyjną. Z doświadczeń badawczych wynika, że po dodaniu miału gumowego następuje spadek wytrzymałości betonu, w związku z tym przyjęto zwiększony dodatek cementu w ilości 6%.

Poprawna interpretacja analizy sitowej jest utrudniona w przypadku dozowania miału gumowego ze względu na jego odkształcalność. Miał gumowy pod wpływem zagęszczania zmienia swój kształt. Teoretycznie powinien on powrócić do swoich pierwotnych rozmiarów, jednak związany przez spoiwo może pozostać w odkształconej postaci.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia MMCE z dodatkiem 6% miału gumowego [12]

Na powyższym wykresie przedstawiono wpływ 6% dodatku miału gumowego na krzywą uziarnienia mieszanki mineralnej. Można zauważyć nieznaczny wzrost ilości frakcji drobnych, także poniżej 1 mm po dodaniu miału gumowego.

4 Wyniki badań próbek z MMCE z dodatkiem miału gumowego i ich analiza

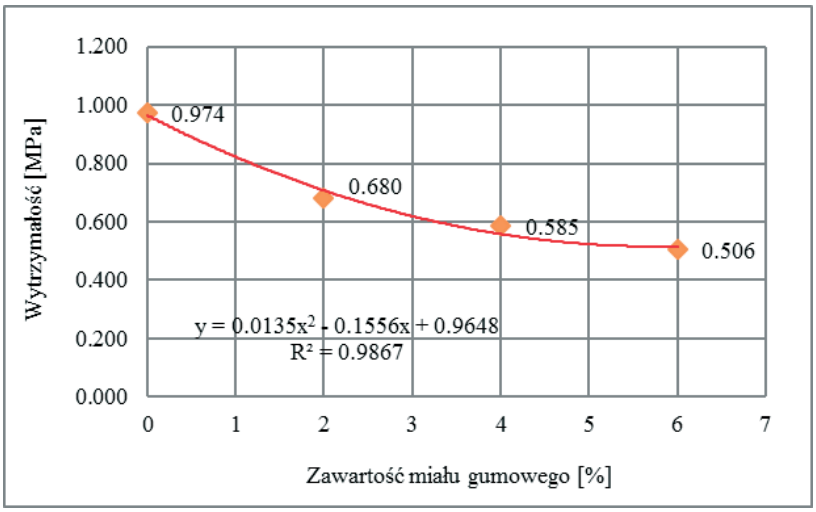
Jako miał gumowy przyjęto mieszankę trzech frakcji 2÷4 mm, 0,8÷2 mm i poniżej 0,8 mm w stosunku 1:1:1, dodawaną w ilości 2%, 4% i 6% do masy mieszanki mineralnej.

Tabela. 2. Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach MMCE w zależności od wielkości dodatku miału gumowego [12]

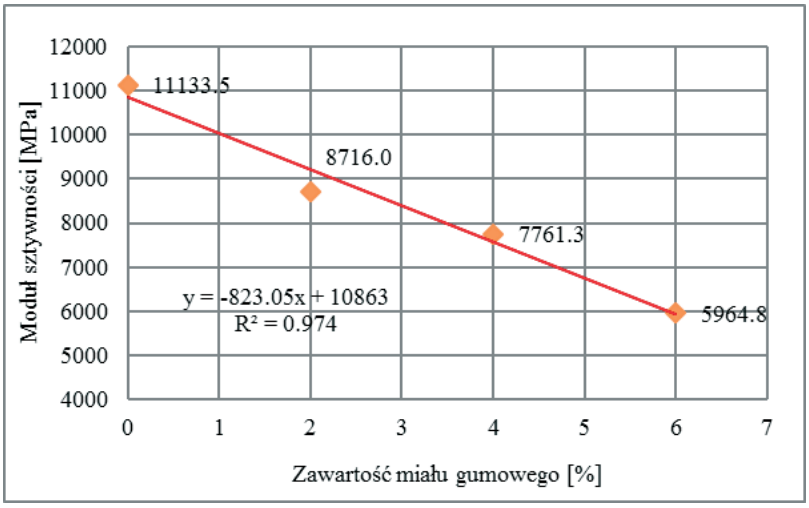
Miał gumowy [%]	6	4	2
Wolne przestrzenie w mieszane MCE [%]	2,94	3,14	3,69

Na podstawie wyników badań wywnioskować można, że zwiększenie dodatku miału gumowego z 4% do 6% nie zmieniło w istotny sposób zawartości wolnych przestrzeni w mieszance MCE.

Próbki według zaprojektowanych receptur poddano badaniom po 28 dniach dojrzewania w celu określenia wpływu dodatku miału gumowego na wytrzymałość na rozciąganie pośrednie według normy PN-EN 12697-23 i moduł sztywności mieszanek MCE badany metodą NAT zgodnie z procedurą podaną w Instrukcji [9] (rys. 2 i 3)



Rys. 2. Wpływ zawartości miału gumowego na wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z MMCE po 28 dniach twardnienia w temperaturze pokojowej [12]



Rys. 3. Wpływ zawartości miału gumowego na moduły sztywności próbek z MMCE badane w temperaturze 5^0C po 28 dniach twardnienia [12]

Analizując wymagania w odniesieniu do próbek z MMCE wg Instrukcji [9] można zauważyć potrzebę zapewnienia kompromisu pomiędzy minimalną wytrzymałością na pośrednie rozciąganie (0,6 MPa lub 0,7 MPa po 28 daniach twardnienia) i maksymalną wielkością modułu sztywności (5000 MPa lub 7000 MPa po 28 dniach dojrzewania). Zapewnienie minimalnej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie może być np. powodem przekroczenia dopuszczalnej wielkości modułu sztywności.

W praktycznych doświadczeniach uzyskiwano dawniej warstwy podbudowy z MMCE o względnie dużej sztywności z powodu potrzeby spełnienia wymagań odnoszących się do kryterium stabilności wg Marshalla. W Instrukcji [9] zastąpiono stabilność Marshalla wytrzymałością na rozciąganie pośrednie, która pozostaje w korelacji z modułem sztywności.

Dodatek miału gumowego do MMCE wpływa korzystnie na zmniejszenie modułu sztywności, ale jest też powodem zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie pośrednie.

Korzystnym efektem dodatku miału gumowego do MMCE może być zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej, którą badano w przypadku innych mieszanek [6].

Spełnienie wymagań Instrukcji [9] ułatwić może praktyczne zastosowanie miału gumowego do MMCE z możliwością wprowadzenia zmian ilościowych w wymaganiach po przeprowadzeniu dalszych badań.

W przypadku badanej mieszanki MMCE z dodatkiem 2% miału gumowego spełnione są wymagania dotyczące minimalnej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie dla ruchu KR3 i KR4, 4% dodatku może być stosowane tylko do dróg o ruchu KR1 i KR2 a w przypadku 6% nie jest spełnione to wymaganie.

Analizując wyniki badań modułów sztywności możemy zaobserwować, że dodatek 2% miału gumowego nie zapewnia spełnienia wymagania dotyczącego nie przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości 7000 MPa co oznacza, że jego dodatek powinien być większy. Możemy zaobserwować także, że dodatek 6% miału gumowego powoduje około 2-krotne obniżenie wielkości modułu sztywności próbek MMCE w stosunku do próbek referencyjnych bez jego dodatku.

5 Wnioski

Dotychczasowe badania stanowić mogą przesłankę do wykonania pełnego zakresu badań zalecanych w Instrukcji zwłaszcza dotyczących wodoodporności.

Dodatkowe badania zmęczeniowe mogą przyczynić się do korekty wymagań ilościowych w Instrukcji, gdy dodawany jest miał gumowy do MMCE.

Proponuje się dozowanie miału gumowego o drobniejszym uziarnieniu np. < 2 mm i zmniejszenie zawartości emulsji asfaltowej w mieszance MCE poniżej 3%.

Dozowanie cementu 42,5 w ilości 6% do próbek MMCE z dodatkiem miału gumowego wpłynęło znacząco na wielkość modułu sztywności. Z badań praktycznych podbudów z MMCE wiadomym jest, że ich sztywność początkowa często jest większa od wyników badań podanych w tej publikacji.

Literatura

1. Biel T.D., Lee H., 1996. Magnesium oxychloride cement concrete with recycled tire rubber. Transportation Research Record No. 1561, 6–12,
2. Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2002.
3. Kaloush K.E, Way G.B., Zhu H. 2005. Properties of crumb rubber concrete. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1914, 8–14., 10 Savas B.Z., Ahmad S., Fedroff D. 1996. Freeze-thaw durability of concrete with ground waste tire rubber. Transportation Research Record No. 1574, 80–88.
4. Ołdakowaska E: Ocena wybranych właściwości betonów zwykłych z rozdrobnioną gumą ze zużytych opon samochodowych Inżynieria Ekologiczna / Ecological Engineering. Vol. 43, 2015,
5. Radziszewski P., Ołdakowska E.: Właściwości betonów cementowych zawierających rozdrobnione odpady gumowe pochodzące ze zużytych opon samochodowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo nr. 32/2008
6. Sadowski T, Pietras D.: Description of degradation process of rubberized lean concrete. Solid State Phenomena Vol. 2016 (2014) pp 67-72. Trans Tech Publications, Switzeland 2014.

7. Stowarzyszenie Przemysłu Gumowego EKOGUMA: Wprowadzenie do recyklingu opon: 2004, Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL", Piastów, 2004
8. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej., Dz.U. 2001 nr 63 poz. 639;
9. Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. Politechnika Gdańska. Opracowanie na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. 2014 r.
10. Warunki Techniczne Wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej, Zeszyt 61, Wyd. II uzup., Warszawa 1999.
11. Wymagania techniczne WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych – Mieszanki mineralno-asfaltowe. Opracowane w IBDiM pod kierunkiem Sybilskiego D. do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 19 listopada 2010 r.
12. Dębiński M.: Praca magisterska - Właściwości mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE) z dodatkiem miału gumowego, Politechnika Lublin, 2014;
13. Kukiełka J. Praca doktorska - Trwałość podbudów z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych MMCE. Politechnika Lubelska, 2006 r.
14. P.391572 – Sposób wykonywania wzmocnień podłoża gruntowego – 21.06.2010 r. BUP 2012, vol. 40, 1 (992), s. 25-25
15. P.400999 – Mieszanka kompozytowa do nawierzchni drogowych– 10.04.2012 r. BUP 2014, vol. 42, 8, s. 36-36.

Mineral-cement-emulsion mixtures (MCEM) modified with fine rubber

Jerzy Kukiełka, Marcin Dębiński

Department of Road and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: jerzy.kukielka@pollub.p, m.debinski@pollub.p

Abstract: MCE mixtures fortified with fine rubber were the subject of research in laboratory tests in Lublin University of Technology. As a basic literature review shows, an amount of fine rubber in mixtures with cement in MCEM should be 2%, 4% and 6% of the aggregate. The mixtures were designed planned and prepared as samples for tests assessing the fulfillment of the requirements contained in the Manual [9].

Analysis of the results allows to assess the usefulness of fine rubber in MCE mixtures and is a basis for further detailed studies that are aimed at setting new quantitative requirements, going beyond the requirements included in the Manual.

Keywords: mineral-cement-emulsion (MMCE), fine rubber.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 123-132

Zastosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze zagęszczania z dodatkiem zeolitów w warunkach rzeczywistych

Agnieszka Woszuk[1], Wojciech Franus[2]

[1] Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: a.woszuk@pollub.pl
[2] Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: w.franus@pollub.pl

Streszczenie: Celem tej pracy jest ocena możliwości obniżenia temperatury zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) przez zastosowanie zeolitów na podstawie badań nawierzchni z odcinka doświadczalnego. W artykule przedstawiono zarówno wyniki badań laboratoryjnych jak i próbek z odcinka doświadczalnego dla AC 16 W 35/50 z dodatkiem zeolitu naturalnego – klinoptilolitu. Ilość dozowanego materiału zeolitowego wynosiła 1% w stosunku do masy mieszanki mineralnej oraz 0,4% – przy dodatkowym nasączeniu klinoptilolitu wodą. Na podstawie badań laboratoryjnych wykazano, iż możliwe jest obniżenie temperatury zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło (WMA) z dodatkiem zeolitu o 30ºC z 145ºC do 115ºC. Podczas wbudowywania mieszanki na odcinku doświadczalnym uzyskano obniżenie temperatury zagęszczania o 20–40ºC. Badania MMA z tego odcinka obejmowały: zawartość lepiszcza rozpuszczonego, zagęszczenie warstwy, odporność na deformacje trwałe oraz moduł sztywności metodą IT-CY.

Słowa kluczowe: zeolit, klinoptilolit, mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło, zagęszczalność.

1. Wprowadzenie

Zeolity są to glinokrzemiany o strukturze szkieletowej w których występują puste przestrzenie w postaci komór i kanałów. Cechą charakterystyczną zeolitów jest zdolność gromadzenia w nich tzw. wody zeolitowej, która może być usunięta przez podgrzewanie, a następnie ponownie pochłonięta lub zastąpiona przez inne substancje. Taka specyficzna budowa wewnętrzna nadaje zeolitom wiele cech fizykochemicznych, które są niezwykle korzystne dla różnego rodzaju zastosowań przemysłowych [1, 2, 3]. Jedna z możliwości praktycznego zastosowania jest dodanie zeolitu do mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA) w celu spienienia asfaltu i obniżenia temperatur technologicznych. W momencie dodania zeolitu do mieszanki mineralnej jednocześnie z asfaltem, woda gromadzona w porach molekuł zaczyna się uwalniać. W wyniku parowania wody zeolitowej dochodzi do ekspansji objętościowej spoiwa, efektem czego jest spienienie asfaltu i obniżenie jego lepkości [4, 5]. Dzięki temu zwiększa się urabialność MMA i przyczepność asfaltu do kruszywa w niższych temperaturach. Zjawisko to trwa przez około 2 godzin [6, 7], przez co efekt zwiększonej urabialności trwa zarówno w trakcie produkcji, transportu jak i wbudowywania MMA.

Dodany zeolit w recepcie MMA zastępuje wypełniacz i w badaniach powinien być dokumentowany jako wypełniacz [8, 9 10].Wyniki badań wskazują jednak, że nie jest

możliwe całkowite zastąpienie wypełniacza wapiennego zeolitem [11]. Produkcja MMA z dodatkiem zeolitu nie różni się od tradycyjnie produkowanych mieszanek. Problematyczne może być jedynie dozowanie zeolitu. Z uwagi na charakter swojego działania ważna jest kolejność dozowania poszczególnych składników mieszanki. Zeolit powinien być dozowany razem z wypełniaczem lub bezpośrednio po nim. Dozowanie automatyczne odbywa się z silosu lub przy użyciu dodatkowo zainstalowanego zasobnika wagowego. W przypadku niedużych ilości MMA możliwe jest ręczne dodawanie zeolitu w workach [12, 9]. Producent (Eurovia) deklaruje, że dodatek Aspha-Min może być stosowany dla wszystkich powszechnie znanych asfaltów i asfaltów modyfikowanych oraz każdego rodzaju kruszywa.

Podczas produkcji i wbudowywania MMA istotnym problemem są powstające gazy i opary. Badania wykazują, że emisje gazów i oparów asfaltu praktycznie nie istnieją przy temperaturze 80°C. Niewielkie ich stężenie występuje w temperaturze 150°C, a w 180°C stężenia osiągają już bardzo duże wartości [13]. Redukcja temperatury o 10°C zmniejsza o połowę emisji oparów i aerozoli [8]. Badania WMA z zeolitem przeprowadzone w Niemczech wykazały zmniejszenie emisji oparów o 75% przy spadku temperatury produkcji o 26°C. Podczas wbudowywania mieszanki odnotowano redukcję tych związków o 90% [12]. Wraz ze zmniejszeniem temperatury produkcji MMA następuje także redukcja emitowanego przez wytwórnie ditlenku węgla o ok. 40%, a innych związków niebezpiecznych – nawet o 70% [6, 14, 15, 16]. Zmniejszenie emisji wyziewów i aerozoli poprawia komfort pracy osób zatrudnionych przy produkcji i wbudowywaniu MMA, co przekłada się na wyższą wydajność i jakość wykonywanych prac. Lepsza urabialność mieszanki oraz niższa temperatura wbudowywania i zagęszczania WMA umożliwia wydłużenie drogi i czasu transportu gotowej mieszanki. Niższa temperatura wbudowywania pozwala także na wydłużenie sezonu robót drogowych oraz szybsze oddanie nawierzchni do ruchu [17, 18]. Intensywne badania WMA prowadzone są od ponad 20 lat. W tym okresie powstało wiele odcinków doświadczalnych [6, 19, 20]. Natomiast badania WMA z dodatkiem zeolitu naturalnego są w fazie badań laboratoryjnych. Dotychczas nie powstały odcinki doświadczalne w tej technologii.

Głównym celem pracy jest ocena możliwości zastosowania zeolitu naturalnego (klinoptilolitu) i jego odmiany modyfikowanej poprzez nasączenie wodą do produkcji MMA o obniżonej temperaturze zagęszczania w warunkach rzeczywistych na podstawie wykonanego odcinka doświadczalnego.

2. Materiały

W badaniach zastosowano, zeolit naturalny klinoptylolit pochodzący ze złoża Sokyrnytsya – Obwód Zakarpacki (Ukraina). Zeolit do MMA był dozowany w stanie powietrzno-suchym oraz po dodatkowym nasączeniu wodą. Nasycenie klinoptilolitu wodą wynosiło 25% wody wagowo w stosunku do masy suchego zeolitu.

Stosowane lepiszcze to: asfalt 35/50 dostarczony przez LOTOS Asfalt Sp. z o.o. Zastosowane kruszywa to: wypełniacz wapienny, kruszywo wapienne o ciągłym uziarnieniu, grysy granodiorytowe oraz dolomitowe. Tego typu materiały kamienne powszechnie stosowane są w budowie nawierzchni drogowych na terenie Polski Wschodniej. Mimo, że granodioryty są skałą kwaśną w prowadzonych badaniach zrezygnowano z dodatków adhezyjnych poprawiających przyczepność kruszyw do asfaltu. Ich zastosowanie mogłoby mieć wpływ na wyniki końcowe badań.

Materiałem referencyjnym była mieszanka mineralno-asfaltowa przeznaczona na warstwę wiążącą drogi obciążonej ruchem o kategorii KR 3–4 (AC 16 W 35/50), zaprojektowana zgodnie z polskimi standardami technicznymi WT 2 2010 [21].

3. Recepta mieszanki mineralno-asfaltowej

Uziarnienie kruszyw zbadano metodą przesiewu na sucho (PN-EN 933–1) [22], uziarnienie mączki wapiennej określono metodą przesiewu w strumieniu powietrza (PN-EN 933–10) [23]. Optymalna ilość dozowanego materiału zeolitowego określona w badaniu zagęszczalności wynosi 1,0% oraz 0,4% przy dodatkowym nasączaniu wodą [24]. Skład mieszanki mineralnej zaprojektowano metodą krzywych granicznych i przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład granulometryczny mieszanki mineralnej

Wymiar sita	Odsiew	Skrócony odsiew	dozowanie frakcji	Przesiew	Rzędne krzywych granicznych	
[mm]	%	[%]	[%]	[%]		
31,5	0,0	69,4	20,0	100,0	0	0
22,4	0,0			100,0	100	100
16	2,4			97,6	90	100
11,2	17,6			80,0	70	90
8	19,6		32,5	60,4	55	85
5,6	12,9			47,5	0	0
4	7,9		16,8	39,6	0	0
2	9,0			30,6	25	50
1	10,6	24,4	30,6	20,0	0	0
0,5	5,7			14,3	0	0
0,25	3,5			10,7	0	0
0,125	2,5			8,3	4	12
0,063	2,0			6,2	4	10
0	6,2	6,2				
razem	100,0	100,0	100,0			

Skład mieszanki mineralnej oraz mieszanki mineralno-asfaltowej, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Projektowany skład mieszanki mineralnej i mieszanki mineralno-asfaltowej 0/16 warstwy wiążącej z betonu asfaltowego AC 16 W, dla kategorii ruchu KR 3-4 wg WT 2 2010.

Lp.	Materiał	Skład [%]		
		MM	MMA	MMA
1.	Kruszywo grube 11/16 granodioryt kop. Vyrivsyj Karjer	20	19,1	19,1
2.	Kruszywo grube 8/11 dolomit kop. Piskrzyń	18	17,2	17,2
3.	Kruszywo grube 4/8 granodioryt kop. Vyrivsyj Karjer	24	22,9	22,9
4.	Kruszywo o c.u. 0/4 wapień kop. Trzuskawica	34	32,5	32,5
5.	Wypełniacz dodany (mączka wapienna) Bukowa	4	2,8 *	3,4 *
6.	Asfalt drogowy 35/50		4,6	4,6
7.	Zeolit naturalny klinoptilolit		1	0,4**

* ilość wypełniacza dodanego została pomniejszona o ilość dozowanego tufu zeolitowego
** dodatek zeolitu nasączonego wodą

4. Właściwości fizykomechaniczne WMA z zeolitem

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, za optymalną temperaturę zagęszczania próbek WMA z dodatkiem klinoptilolitu przyjęto 115ºC. Dla zaprojektowanej mieszanki AC 16 W z dodatkiem zeolitów wykonywano badania podstawowych właściwości fizykomechanicznych. Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Własności fizykomechaniczne WMA AC 16 W z dodatkiem zeolitu naturalnego klinoptilolitu

Właściwości	Wyniki badań mieszanki AC 16 W z dodatkiem zeolitu		Wymagania wg WT-2 2010
	1% CLIN	0,4% CLIN-nas.	
Gęstość MMA wg PN-EN 12697-5 [25] [kg/m^3]	2507	2517	
Gęstość objętościowa MMA wg PN-EN 12697-6 [26] [kg/m^3]	2357	2364	
Zawartość wolnych przestrzeni wg PN-EN 12697-8 [27] [%]	6,0	6,1	$V_{min\ 4,0}$ $V_{max\ 7,0}$
Odporność na deformacje trwałe wg PN-EN 12697-22 [28], metoda B w powietrzu, +60°C, 10 000 cykli			
WTS	0,15	0,11	$WTS_{AIR0,30}$
PRD	7,1	6,2	$PRD_{AIR\ Deklarowane}$
Odporność na działanie wody i mrozu wg PN-EN 12697-12 [29],przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w temp. +25°C	85	82	$ITSR_{80}$
Moduł sztywności [MPa] metodą IT-CY wg PN-EN 12697-26 [30] w temperaturze badania:			
23ºC	4954	4423	
10ºC	11675	9984	
-2ºC	17892	17133	

5. Wytwarzanie i wbudowywanie mieszanki mineralno-asfaltowej z zeolitem

Odcinek doświadczalny wykonano w m. Zamość, województwo lubelskie, na drodze gminnej Nr 110538 L, nr ewidencyjny działki 258/2, stanowiącej łącznik między ulicą Hrubieszowską, a Ciepłownią w Zamościu. Długość odcinka wynosiła 100 mb, szerokość – 5,5 m. Grubość warstwy po zagęszczeniu, zgodnie z projektem wynosiła 40 mm. Aby możliwe było pobranie próbek do badania odporności na deformacje trwałe, podczas wbudowywania mieszanki miejscowo zwiększono grubość wbudowywanej warstwy do 65 mm. Wykonawcą prac było Przedsiębiorstwo Robót Drogowych Spółka z o.o. w Zamościu. Wytypowany odcinek drogi podzielono na dwie części: prawą i lewą i oznaczono odpowiednio literami L i P. Prawa strona odcinka doświadczalnego została wykonana z mieszanki AC 16 W 35/50 z 1% dodatkiem klinoptilolitu w stosunku do masy MMA. Lewa część odcinka doświadczalnego została wykonana z mieszanki AC 16 W 35/50 z 0,4% dodatkiem klinoptilolitu nasączonego wodą.

Mieszankę mineralno-asfaltową wytworzono w otaczarce stacjonarnej. Temperatury wytwarzania mieszanki mineralno-bitumicznej wynosiły odpowiednio:

- temperatura asfaltu – 150 °C; ±3
- temperatura kruszywa – 180 °C;±5
- temperatura mieszanki – 160 °C;±5

Zdonie z WT 2 2010 temperatura produkcji MMA z asfaltem 35/50 powinna wynosić 155-195°C. Maksymalna temperatura MMA po wytworzeniu na wytwórni wynosi 195°C, natomiast 155°C to minimalna temperatura mieszanki wyładowanej do rozścielacza. Maksymalna temperatura asfaltu 35/50 w zbiorniku może wynosić 190°C. Biorąc pod uwagę powyższe temperatura WMA z zeolitem po wytworzeniu była niższa o 35°C od dopuszczalnej temperatury maksymalnej.

Dozowanie zeolitu odbywało się ręcznie, po wcześniejszym przygotowaniu worków z zeolitem (fot.1).

Fot. 1. Ręczne dozowanie zeolitu do Nasączanie zeolitu naturalnego klinoptilolitu wodą.

W czasie wbudowywania WMA z dodatkiem zeolitów panowały następujące, warunki atmosferyczne: temperatura otoczenia + 16 °C, pochmurno z przejaśnieniami, bez opadów atmosferycznych. Podłoże pod warstwę wiążącą zostało wyrównane mieszanką mineralno-asfaltową, czyste, bez pozostałości luźnego kruszywa, wyprofilowane, równe i bez kolein.

Transport mieszanki z wytwórni na miejsce wbudowania odbywał się za pomocą ciągnika siodłowego z naczepą samowyładowczą. Do rozkładania mieszanki użyto rozkładarki gąsienicowej. Zagęszczanie odbywało się przy użyciu walca stalowego gładkiego, bez wibracji o masie 11,6 t. (fot. 2).

Podczas zagęszczania HMA z dodatkiem asfaltu 35/50 początkowa temperatura zagęszczania może być równa temperaturze produkcji MMA wynoszącej ok. 160ºC. Natomiast. zaleca końcowa temperatura zagęszczania powinna być wyższa od 115**°C.** Zagęszczanie rozłożonej warstwy rozpoczęto przy 120°C, zakończono w 95–100°C. Uzyskano obniżenie temperatury zagęszczania o 40ºC w początkowej fazie. W końcowej fazie efektywnego zagęszczania temperatura rozkładanej warstwy była o ok. 20°C niższa od temperatury minimalnej zalecanej dla MMA na gorąco.

Fot. 2. a) Załadunek WMA z dodatkiem klinoptilolitu, przeznaczonej do wykonania odcinka doświadczalnego warstwy wiążącej z betonu asfaltowego AC 16 W. b) Zagęszczanie WMA z dodatkiem klinoptilolitu w czasie wykonywania nawierzchni warstwy wiążącej z betonu asfaltowego AC 16 W na odcinku doświadczalnym.

Otrzymana mieszanka AC 16 W z dodatkiem zeolitu wizualnie nie różniła od tradycyjnych mieszanek na gorąco. Wszystkie ziarna kruszywa zostały całkowicie otoczone asfaltem. Mieszanka jest czarna i lekko połyskująca, nie wykazuje cech rozsegregowania.

Produkcja, wbudowywanie i zagęszczanie przebiegało bez utrudnień. Przy niewielkiej ilości produkowanej masy sprawdziło się ręczne dozowanie zeolitu, ale przy produkcji na dużą skalę należałoby ten proces zautomatyzować. Niedogodnością było jedynie nasączanie zeolitu wodą i rozważanie odpowiednich porcji do worków. Z uwagi na szybki spadek temperatury rozłożonej mieszanki lepsze byłoby jednoczesne użycie przynajmniej dwóch walców, co przyśpieszy proces zagęszczania.

6. Badania właściwości fizykochemicznych WMA z zeolitem na próbkach pobranych z nawierzchni odcinka doświadczalnego

6.1. Zawartość lepiszcza rozpuszczonego

Podczas załadunku gotowej masy na samochód pobrano próbki luźnej WMA w celu wykonania ekstrakcję według PN-EN 12697-1[31] i oznaczenie zawartości asfaltu nierozpuszczonego.

Teoretyczną zawartość asfaltu rozpuszczonego określono na podstawie wzoru:

$$Bn = 0{,}14 \times F + 0{,}1 \ [\%] \quad (1)$$

gdzie: F – zawartość ziaren mniejszych od 0,063 mm w zaprojektowanej mieszance mineralnej, [%] (m/m).

W tabeli 4 przedstawiono zawartość lepiszcza rozpuszczego określonego w ekstrakcji WMA.

Tabela 4. Zawartość lepiszcza rozpuszczonego i nierozpuszczonego w mieszance mineralno-asfaltowej AC 16 W 35/50 z dodatkiem materiałów zeolitowych

Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego w mieszance gruboziarnistej	Wg recepty	Wynik badania	Odchyłka od recepty	Dopuszczalna odchyłka pojedynczego wyniku badania wg WT-2 2010
MMA +1% CLN	4,6%	4,5%	-0,1%	± 0,6%
MMA +0,4% CLN nas		4,4%	-0,2%	

Badania potwierdziły zgodność składu ilościowego materiałów w wykonanej na wytwórni mieszanki z zaprojektowaną receptą. Ilość rozpuszczonego lepiszcza jest mniejsza jedynie o 0,1–0,2% w stosunku do wartości zaprojektowanej i dodanej. Odchyłka ta jest zgodna z teoretyczną ilością lepiszcza nierozpuszczonego, która wynosi 0,2%. Uzyskane wyniki wskazują, że duża porowatości i chłonność zeolitów, w przypadku ich niewielkiego dodatku (w ilości 0,4–1,0% w stosunku do masy MMA) nie powoduje konieczności zwiększania ilości dozowanego lepiszcza.

6.2. Wskaźnik zagęszczenia warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Wyniki badań zagęszczalności warstwy nawierzchni WMA w dwóch przekrojach odcinka doświadczalnego zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zagęszczalność warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Właściwości	Wynik badania km		Wynik badania km		Wymagania
	P	L	P	L	
Gęstość objętościowa MMA [kg/m^3]	2300	2338	2301	2315	
Zawartość wolnych przestrzeni [%]	8,2	7,1	8,2	8,0	$V_{min\ 4}$, $V_{max\ 7}$
Wskaźnik zagęszczenia warstwy [%]	98	99	98	98	98

P – strona prawa odcinka doświadczalnego wykonanego z WMA z dodatkiem1% klinoptilolitu
L – strona lewa odcinka doświadczalnego wykonanego z WMA z dodatkiem 0,4% klinoptilolitu nasączonego wodą

Wskaźnik zagęszczenia warstwy wskazuje na bardzo dobrą zagęszczalność WMA z dodatkiem zeolitów. W stosunku do badań laboratoryjnych zwiększyła się zawartość wolnych przestrzeni o 1–2%. Wartości uzyskane z próbek wyciętych z nawierzchni przekraczają maksymalną dopuszczalną granicę. Na tak dużą zawartość wolnych przestrzeni wpływ miała głównie temperatura zagęszczania. Pierwotnie zakładano zagęszczanie w temperaturze 120–100ºC. Jednak rozpoczęcie zagęszczania w tak niskiej temperaturze powodowało bardzo szybki spadek temperatury mieszanki podczas wykonywania odcinka doświadczalnego i rzeczywista temperatura zagęszczania, miejscowo, mogła spaść nawet poniżej 90ºC. Mimo krótkiego odcinka (100 mb) w celu uniknięcia spadku temperatury zagęszczania mieszanki uzasadnione byłoby użycie dwóch walców.

6.3. Odporność na deformacje trwałe warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Wyniki badań odporności na deformacje trwałe dla próbek wyciętych z nawierzchni odcinka doświadczalnego zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Odporność na deformacje trwałe dla próbek wyciętych z warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Wyszczególnienie	Wynik badania	
	PRD_{AIR}	WTS_{AIR}
Wymagania według WT 2 2010	$PRD_{AIR\ Deklarowane}$	$WTS_{AIR\ 0,30}$
Wymagania według WT 2 2014	$PRD_{AIR\ 7,0}$	$WTS_{AIR\ 0,15}$
AC 16 W+ 1% CLIN	4,4	0,09
AC 16 W+0,4% CLINnas	5,1	0,1

Na podstawie otrzymanych wartości PRD_{AIR} i WTS_{AIR} należy stwierdzić, że nawierzchnia wykonana z AC 16W w technologii WMA z dodatkiem zeolitu naturalnego klinoptilolitu jest odporna na deformacje trwałe i spełniają wymagania zarówno według WT2 2010 jak i według WT2 20214. Zarówno przyrost głębokości koleiny (WTS_{AIR}) jak i proporcjonalna głębokość koleiny (PRD_{AIR}) w próbkach wyciętych z nawierzchni są niższe niż w próbkach referencyjnych i w próbkach z dodatkiem klinoptilolitu wykonanych w laboratorium. Przy zastosowaniu 1% klinoptilolitu nastąpił spadek PRD_{AIR} o 38% a WTS_{AIR} o 40% w stosunku do wyników badań na płytach wykonanych w zagęszczarce płytowej. Przy dodatku 0,4% klinoptilolitu nasączonego wodą PRD_{AIR} zmniejszyła się o 25% a WTS_{AIR} o 7%.

6.4. Moduł sztywności określony metodą rozciągania pośredniego na próbce cylindrycznej (IT-CY) warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Wyniki badań modułu sztywności określonego w aparacie NAT metodą IT-CY dla próbek wyciętych z nawierzchni odcinka doświadczalnego zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Modułu sztywności określony metodą IT-CY dla próbek wyciętych z warstwy nawierzchni WMA na odcinku doświadczalnym

Wyszczególnienie	Moduł sztywności [MPa] w temperaturze badania:		
	23ºC	10ºC	-2ºC
AC 16 W+ 1% CLIN	4327	9408	16206
AC 16 W+0,4% CLINnas	3598	8504	13801

Moduły sztywności próbek wyciętych z nawierzchni z dodatkiem 1% klinoptilolitu osiągają wartość porównywalną do wyników badań próbek referencyjnych wykonanych w laboratorium i są niższe o 10-20% od modułów sztywności uzyskanych na próbkach wykonanych w ubijaki Marshalla z takim samym dodatkiem, zależnie od temperatury badania. W przypadku zastosowania zeolitu nasączonego wodą spadek modułu sztywności wynosi od 15 do 20%.Wpływ na spadek modułu sztywności ma większa zawartość wolnych przestrzeni niż w próbkach wykonanych w laboratorium. Zarówno w badaniach laboratoryjnych jak i na próbkach wyciętych z nawierzchni moduły sztywności dla WMA z 0,4% dodatkiem klinoptilolitu nasączonego są niższe od wartości uzyskiwanych dla WMA z 1% klinoptilolitu.

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz badań próbek wyciętych z odcinka doświadczalnego można stwierdzić, że dodatek zeolitu naturalnego klinoptilolitu pozwala obniżyć temperaturę zagęszczania WMA o ok. 25–30ºC. Przy zastosowaniu optymalnej ilości dozowanego materiału zeolitowego zaprojektowana WMA spełnia wymagania dla MMA na gorąco według polskich Wymagań Technicznych. Wyniki badań próbek wyciętych z odcinka doświadczalnego są zbieżne z wynikami badań laboratoryjnych.

Proces produkcyjny WMA z zeolitem przebiegał prawidłowo i co istotne w istniejącej wytwórni mas bitumicznych bez żadnych modyfikacji. Dozowanie zeolitu odbywało się ręcznie przy zastosowaniu wcześniej odważonych i zapakowanych w foliowe worki porcji materiału zeolitowego. Jednak z uwagi na czasochłonność prac przygotowawczych oraz konieczność angażowania do dozowania zeolitu dwóch osób, przy masowej produkcji bardziej efektywne byłoby zautomatyzowanie tego procesu.

Wytworzona mieszanka nie różniła się wizualnie od MMA na gorąco. Mimo dużej ilości kruszyw kwaśnych (granodiorytów) oraz braku środka adhezyjnego wszystkie kruszywa zostały całkowicie otoczone asfaltem. Rozkładanie i zagęszczanie przebiegało prawidłowo. Ponieważ początkowa temperatura zagęszczania jest dość niska – 120ºC, spadek temperatury rozłożonej mieszanki jest szybszy niż w mieszankach tradycyjnych. Aby zapobiec nadmiernemu ochłodzeniu mieszanki należy użyć większej liczby walców zagęszczających.

Badania zawartości lepiszcza rozpuszczonego wskazują, że mimo dużej porowatości zeolitu, mała ilość dozowanego dodatku nie powoduje konieczności zwiększania ilości

asfaltu w MMA. Niższa temperatura zagęszczania nie miała negatywnego wpływu na odporność na deformacje trwałe.

Realna możliwość obniżenia temperatury zagęszczania pozwala na wydłużenie drogi transportu MMA, wydłużenie sezonu robót budowlanych, możliwość rozkładania mieszanek przy niższej temperaturze powietrza i podłoża, przy zachowaniu wymagań jakościowych jak dla mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco.

Niższa temperatura zagęszczania to efektywne zmniejszenie emisji gazów, oparów i aerozoli oraz poprawa bezpieczeństwa oraz komfortu osób pracujących przy budowie dróg.

Badania były finansowane z funduszy statutowych: S-50/II/B/2014

Literatura

1 Franus W. *Characterization of X-type zeolite prepared from coal fly ash*. Polish Journal of Environmental Studies 21/2 (2012) 337-343.
2 Wdowin M., Franus W., R. Panek. *Preliminary results of usage possibilities of carbonate and zeolitic sorbents in CO2 capture*. Fresenius Environmental Bulletin 21/12 (2012) 3726–3734.
3 Chałupnik S., Franus W., Wysocka M., Gzyl G. *Application of zeolites for radium removal from mine water*. Environmental Science and Pollution Research 20 (2013) 7900–7906.
4 Sengoz B., Ali Topal A., Gorkem C. *Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additive.* Construction and Building Materials 43 (2013) 242–252.
5 Woszuk A., Franus W. *Wpływ dodatku zeolitu NaP1 i klinoptilolitu na lepkość asfaltu.* Logistyka 4 (2015) 6819-6827.
6 D'Angelo J., Corrigan M., Harman T., Jones W., Newcomb D., Prowell B. i inni *Warm-Mix Asphalt: European Practice.* Report No. FHWA-PL-08-007, 2008
7 Vaiana R, Iuele T, Gallelli V. *Warm mix asphalt with synthetic zeolite: a laboratory study on mixes workability.* International Journal of Pavement Research & Technology,6(5) (2013) 562–569.
8 Deutscher Asphaltverband e.V. *Mieszanki mineralno asfaltowe o obniżonej temperaturze. Porady z praktyki do praktyki* (2009).
9 Materiały informacyjne firmy Aspha-min, dostępne na stronie http://www.aspha-min.com/98.html
10 Woszuk A. *Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło z dodatkiem zeolitu.* Budownictwo i Architektura 12(4) (2013) 41–49.
11 Woszuk A., Bandura L., Panek R. *Application of zeolites as fillers in mix asphalt.* Budownictwo i Architektura; 14(1) (2015) 127–134.
12 Barthel W., Marchand J., Von Devivere M. *Warm Mix Asphalt by Adding a Synthetic Zeolite.* Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands (2004) 1241-1249.
13 Rubio MC., Martínez G., Baena L., Moreno F. *Warm mix asphalt: an overview.* Journal of Cleaner Production 24 (2012) 76–84.
14 Vaitkus A., Cygas A., Laurinavicius A., Perveneckas Z. *Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania*. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 4(2) (2009) 80–86.
15 Bueche N. *Warm Asphalt Bituminous Mixtures with Regards to Energy, Emissions and Performance.* Young Researchers Seminar (YRS) LAVOC-CONF- 2010-002Torino, Italy (2009)
16 Larsen O.R. *Warm Asphalt Mix with Foam e WAM Foam.* IRF Partie B:Thèmes Techniques, S.00469. Kolo Veidekke, Norway (2001).
17 Zaumanis M. *Warm mix asphalt Investigation*. PhD Thesis, Riga Technical University, Kgs. Lyngby, Denmark (2010).
18 Button J.W., Estakhri C., Wismatt A. *A Synthesis of Warm-Mix Asphalt.* Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System (2007).

19 Bernier A., Zofka A., Josen R., Mahoney J. *Warm-mix asphalt pilot project in Connecticut.* Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2294 (2012) 106–116.
20 Kim Y.-R., Zhang J., Ban H., *Moisture damage characterization of warm-mix asphalt mixtures based on laboratory-field evaluation.* Construction and Building Materials 31 (2012) 204–211.
21 *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, Wymagania techniczne* WT2 2010 (2010)
22 PN-EN 933–1:2012. *Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego – Metoda przesiewania*.
23 PN-EN 933–10:2009. *Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 10: Ocena zawartości drobnych cząstek - Uziarnienie wypełniaczy (przesiewanie w strumieniu powietrza).*
24 Woszuk A., Franus W., *Wpływ dodatku zeolitu na obniżenie temperatury produkcji i zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych.* Barometr regionalny 2(13) (2015) 117 – 118.
25 PN-EN 12697–5: 2010 *Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 5: Oznaczanie gęstości*.
26 PN-EN 12697–6:2012 *Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej*.
27 PN-EN 12697–8. 2005 *Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni.*
28 PN-EN 12697–2+A1:2008 . *Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 22: Koleinowanie*.
29 PN-EN 12697–12:2008 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę.*
30 PN-EN 12697–26:2012. *Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztywność.*
31 PN-EN 12697–1:2012 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego.*

Use of mix asphalts with reduced compaction temperature and addition of zeolites in real conditions

Agnieszka Woszuk[1], Wojciech Franus[2]

[1] Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Department of Roads and Bridges, a.woszuk@pollub.pl
[2]Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Department Geotechnical Engineering, w.franus@pollub.pl

Abstract: The aim of this study is to evaluate the possibility of decreasing the mix asphalt compaction temperature through zeolites use, based on pavement analysis of the trial section (of road). The article contains results of laboratory tests and analysis of samples from trial section (of road)for AC 16 W 35/50 with addition of a natural zeolite – clinoptilolite. The amount of dosed zeolite material was 1% with regard to the mineral mix mass and 0,4% – with additional clinoptilolite infusion with water. Basing on laboratory tests, it was proved that it is possible to decrease the compaction temperature of warm mix asphalt (WMA) with zeolite addition by 30ºC (from 145ºC to 115ºC). Compaction temperature decrease of 20–40ºC was obtained during incorporation of the mix in the trial section (of road). The MMA analysis of this section (of road)included: soluble binder content, compactibility, resistance to permanent deformation and stiffness modulus using a IT-CY method.

Keywords: zeolite, clinoptilolite, warm mix asphalt, compactibility.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 133-142

Dobór sprzętu budowlanego koparek i samochodów samowyładowczych w aspekcie minimalizacji emisyjności CO_2 z wykorzystaniem metod prognostycznych

Magdalena Rogalska

Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: mada.rogalska@gmail.com

Streszczenie: W pracy podjęto próbę prognozowania emisyjności CO_2 przez zestaw maszyn koparka i samochód samowyładowczy. Emisyjność dwutlenku węgla maszyn do wykonania określonego zadania roboczego zależy od wydajności maszyn. W etapie pierwszym pracy prognozowano wydajność koparek. Zebrano dane techniczne i organizacyjne mające hipotetyczny wpływ na wydajność koparek takie jak: pojemność łyżki, rodzaj narzędzia roboczego, kategorię gruntu, ładowność środka transportowego, rodzaj drogi dojazdowej, lata pracy operatora, wilgotność gruntu, odległość wywozu gruntu, temperatura powietrza, awaryjność. Zakodowano zmienne lingwistyczne, przekształcono dane tak by uzyskać najlepsze wyniki. Prognozowano wydajność koparek. Wykorzystano metodę prognozowania regresji wielorakiej. Przeprowadzono analizę autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt oraz analizę wrażliwości. Obliczono błędy MAPE prognoz. Na podstawie otrzymanego modelu prognostycznego wykonano przykład obliczeniowy doboru maszyn w aspekcie emisyjności dwutlenku węgla. Sformułowano wzór obliczeniowy do kwantyfikacji liczby kilogramów dwutlenku węgla powstającego w czasie wykonywania robót ziemnych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że kryterium minimalizacji emisji dwutlenku węgla jest wprost proporcjonalne do pojemności łyżki koparki i ładowności środka transportowego.

Słowa kluczowe: wydajność koparek, emisyjność CO_2, metoda regresji wielorakiej.

1. Wprowadzenie

Planując wykorzystanie maszyn do robót ziemnych jednym z czynników wyboru może być poziom emisyjności dwutlenku węgla. Proponuje się obliczenie liczby kilogramów emitowanego dwutlenku węgla, podczas wykonywania robót ziemnych, przez zestaw maszyn koparkę i samochody samowyładowcze zgodnie ze wzorem (1).

$$D_{CO2} = \frac{Q \cdot d_1 \cdot dk_{CO2}}{W_e} + \frac{Q \cdot \rho \cdot s \cdot d_2 \cdot ds_{CO2}}{Ł} \quad \text{[kg]} \tag{1}$$

gdzie: D_{CO2} – emisja dwutlenku węgla powstająca w wyniku pracy koparki i samochodów wyładowczych [kg], Q – liczba m^3 wykopu, d_1 – zużycie paliwa przez koparkę [l/m-g], dk_{CO2} – współczynnik przeliczeniowy emisji dwutlenku węgla ze spalania 1 litra paliwa przez koparkę, ds_{CO2} – współczynnik przeliczeniowy emisji dwutlenku węgla ze spalania 1 litra paliwa przez samochód samowyładowczy, W_e – prognozowana wydajność eksploatacyjna koparki z uwzględnieniem warunków technicznych i organizacyjnych, ρ – gęstość gruntu [T/m^3], s – liczba kilometrów przejazdu samochodu, d_2 – zużycie paliwa przez samochód samowyładowczy [l/km], $Ł$ – ładowność samochodu [T]

Kluczowym zadaniem jest wyznaczenie wydajności eksploatacyjnej koparek W_e. Tradycyjnie wydajność tą można wyznaczać na podstawie metody opisanej w punkcie 2 artykułu lub tez bezpośrednio z Katalogów Norm Rzeczowych. Metody te nie uwzględniają warunków organizacyjnych prowadzenia prac. Proponuje się zastosowanie metody prognostycznej do wyznaczania wydajności koparek. Metoda ta uwzględnia szereg czynników organizacyjnych mających wpływ na postęp robót. Obliczenia metodą prognostyczną przedstawiono w punkcie 3 artykułu.

2. Określenie wydajności eksploatacyjnej koparek metodą tradycyjną

Określenie wydajności eksploatacyjnej koparki jednonaczyniowej [4] W_e tradycyjnie wykonuje się zgodnie ze wzorem (2):

$$W_e = 60 \cdot n \cdot Q \cdot S_n \cdot S_s \cdot S_t \cdot S_{w1} \cdot S_{w2}\, R_x \quad [\mathrm{m^2/h}] \tag{2}$$

gdzie: W_e – wydajność eksploatacyjna koparki [m^3/h], n – liczba cykli roboczych na minutę [1/min], Q – pojemność geometryczna naczynia (łyżki)[m^3], S_n – współczynnik napełnienia naczynia (łyżki) zależny od jej wielkości, kategorii i rodzaju gruntu, S_s – współczynnik spoistości gruntu, równy odwrotności współczynnika spulchnienia $S_s = 1/S_{sp}$, S_t – współczynnik trudności odspojenia gruntu, S_{w1} – współczynnik wykorzystania czasu roboczego, wprowadzony w celu uwzględnienia przerw technologicznych przy załadunku na środki transportowe oraz zmiany stanowisk pracy koparki, S_{w2} – współczynnik wykorzystania czasu roboczego koparki w okresie zmiany roboczej: przy bezpośrednim załadunku urobku na wozy dostawcze S_{w2}=0,80, przy pracy na odkład poza krawędź wykopu S_{w2}=0,87, R_x – współczynnik wpływu zdarzeń losowych; prawdopodobieństwo sprawnej pracy maszyny.

Współczynnik napełnienia naczynia roboczego S_n przyjmowany jest w zależności od rodzaju osprzętu (przedsiębierny, podsiębierny, zbierakowy, chwytakowy) oraz kategorii gruntu od I do V. Wartości współczynnika S_n zestawiono w tab.1. Wartości współczynników S_t trudności odspojenia gruntu oraz S_{w1} wykorzystania czasu roboczego zestawiono w tab.2.

Tabela 1. Wartości współczynnika napełnienia naczynia roboczego S_n

Kategoria gruntu	Współczynnik napełnienia naczynia roboczego S_n			
	Osprzęt przedsiębierny	Osprzęt podsiębierny	Osprzęt zbierakowy	Osprzęt chwytakowy
I	0,95	0,90	0,80÷0,90	0,50÷0,70
II	0,80	0,80	0,75÷0,90	0,55÷0,70
III	0,75	0,75	0,50÷0,55	0,41÷0,50
IV	0,65	0,65	0,65÷0,80	0,40÷0,60
V	0,65÷0,90	0,65÷0,80	0,35÷0,50	0,25÷0,35

Tabela 2. Wartości współczynników S_t trudności odspojenia gruntu oraz S_{w1} wykorzystania czasu roboczego

Kategoria gruntu	I	II	III	IV
współczynnik S_t	1,00	0,95	0,80	0,70
współczynnik S_{w1}	0,90	0,92	0,95	0,96

3. Określenie wydajności koparek metodą prognostyczną

Celem obliczeń jest określenie wzoru regresyjnego do wyznaczenia wydajności eksploatacyjnej koparek przedsiębiernych, podsiębiernych, chwytakowych i zbierakowych, przy różnych uwarunkowaniach gruntowych, sprzętowych, zasobowych i awaryjności sprzętu. Dane do obliczeń pozyskano podczas budowy autostrady A4, analizowano 95 przypadków obliczeniowych. Jako zmienną zależną przyjęto v1, zmiennymi niezależnymi są zmienne od v2 do v12. Zmienne zestawiono w tablicy 3.

Tabela 3. Zestawienie zmiennych do obliczeń prognostycznych

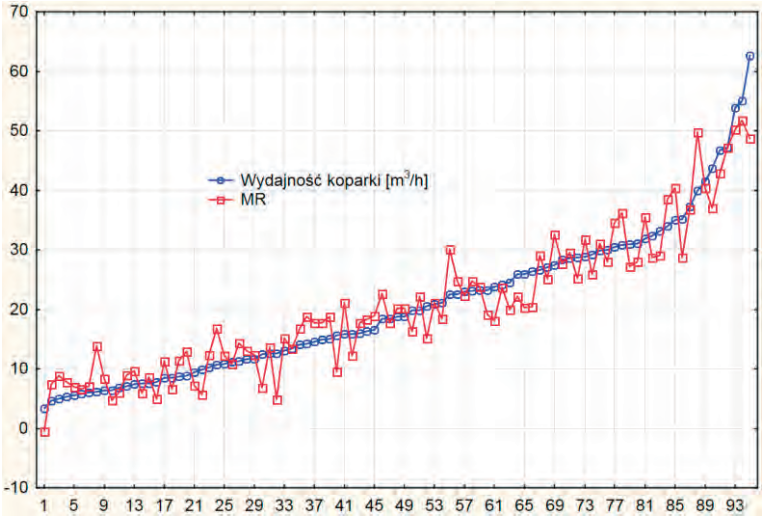
Lp	Zmienna	Opis zmiennej	Uwagi
1	v1	Wydajność koparki	m^3/h
2	v2	Rodzaj łyżki koparki	przedsiębierna – 101; podsiebierna- 102; chwytakowa – 103; zbierakowa - 104
3	v3	Pojemność łyżki koparki	m^3
4	v4	Ładowność środka transportowego	T
5	v5	Rodzaj drogi	gruntowa – 101; utwardzona - 102
6	v6	Lata pracy operatora	jako operator koparki
7	v7	Liczba godzin pracy w dniu roboczym	
8	v8	Wilgotność gruntu	grunt suchy-101; grunt mokry-102; grunt oblepiający-103
9	v9	Kategoria gruntu	I-101; II-102; III-103; IV-104
10	v10	Odległość wywozu gruntu	km
11	v11	Temperatura	^0C
12	v12	Awaryjność/naprawy	% czasu efektywnej pracy koparki

Do wyznaczenia modelu regresyjnego zastosowano metodę [1,2,3] regresji wielorakiej MR. Do obliczeń zastosowano metodę regresji wielorakiej wstecznej. W toku obliczeń uzyskano 6 predyktorów v2, v3, v6, v8, v9 i v11 – zmienne niezależne v4, v5, v7 i v10 nie są predyktorami równania regresji. Otrzymano równanie regresyjne postaci (3), podsumowanie regresji zmiennej zależnej v1 zamieszczono w tabeli 4, wykres zależności zmiennej zależnej v1 i prognozy MR przedstawiono na rysunku 1. Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano obliczenia funkcji autokorelacji reszt i autokorelacji cząstkowej reszt, rysunek 2 i 3. Nie stwierdzono występowania autokorelacji reszt, zatem można uznać, że równanie (3) jest równaniem regresji oraz że szereg resztowy modelu jest białym szumem. Obliczono błąd MAPE [%], wynosi on dla analizowanego modelu 20,14 %. Wynik można uznać za dostatecznie dobry, uwzględniając występowanie zmiennych lingwistycznych oraz pomiary w terenie.

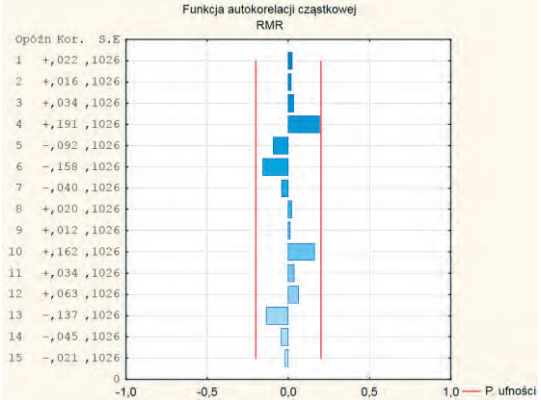
Tabela 4. Podsumowanie regresji zmiennej zależnej

N=95	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: Wydajność koparki [m3/h] R= ,94965421 R^2= ,90184312 Popraw. R2= ,89515061 F(6,88)=134,75 p<0,0000 Błąd std. estymacji: 4,0542					
	b*	Bł. std. z b*	b	Bł. std. z b	t(88)	p
W. wolny			378,6623	71,16112	5,32120	0,000001
v2-Rodzaj łyżki	-0,128231	0,034697	-1,5490	0,41912	-3,69572	0,000380
v3-Pojemność łyżki	0,854513	0,035129	13,3083	0,54710	24,32497	0,000000
v6-Lata pracy operatora	0,231111	0,034439	1,7623	0,26260	6,71084	0,000000
v8-Wilgotność gruntu	-0,128172	0,033969	-2,0725	0,54927	-3,77324	0,000292
v9-Kategoria gruntu	-0,276851	0,034220	-4,2776	0,52872	-8,09036	0,000000
v11-Temperatura	0,123337	0,034789	0,1538	0,04339	3,54531	0,000631

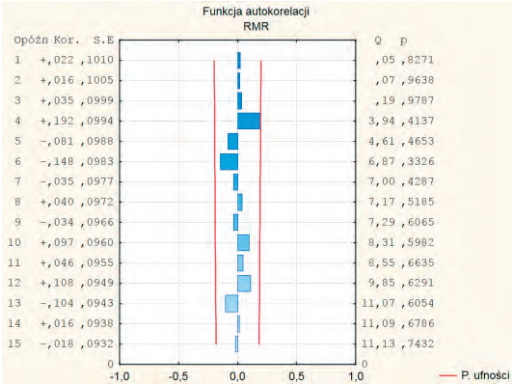
$$v1= 378{,}6623\text{-}1{,}5490 \cdot v2 + 13{,}3083 \cdot v3 + 1{,}7623 v6 - 2{,}0725 \cdot v8 - 4{,}2776 \cdot v9 + 0{,}1538 \cdot v11 \quad (3)$$



Rys. 1. Wykres zależności zmiennej zależnej v1 i prognozy otrzymanej z modelu MR



Rys. 2. Funkcja autokorelacji cząstkowej reszt modelu MR



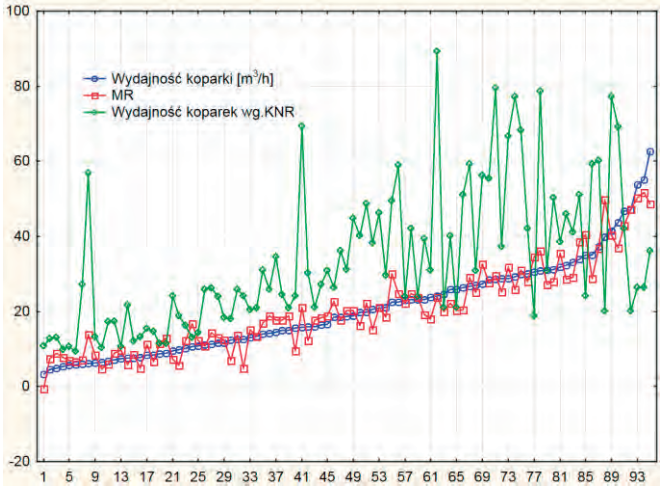
Rys. 3. Funkcja autokorelacji reszt modelu MR

Równanie (1) określające emisję dwutlenku węgla przez zespół maszyn przyjmuje postać (4):

$$D_{CO2} = \frac{Q \cdot d_1 \cdot dk_{CO2}}{378{,}6623\text{-}1{,}5490 \cdot v2 + 13{,}3083 \cdot v3 + 1{,}7623 \cdot v6 - 2{,}0725 \cdot v8 - 4{,}2776 \cdot v9 + 0{,}1538 \cdot v11} + \frac{Q \cdot \rho \cdot s \cdot d_2 \cdot ds_{CO2}}{Ł} \quad (4)$$

gdzie: v2, v3, v6, v8, v9 i v11 zgodnie z oznaczeniami tab.3.

Porównując wyniki obliczeń metodą prognostyczną z wynikami przeprowadzonych pomiarów oraz danymi z KNR można zauważyć, że wydajność koparek z KNR jest znacznie zawyżona. Zobrazowano to na rysunku 4. Zależności tej nie można potraktować w sposób uogólniony. Metoda prognostyczna dotyczy wyznaczania wydajności zespołów wykonawczych w określonych warunkach realizacyjnych. Dokładność szacowania parametrów prowadzonych prac ma bezpośredni wpływ na terminowość realizowanych kontraktów, a więc i na kondycję finansową przedsiębiorstw. Przyjmując uproszczone dane z KNR zamiast prowadzenia pomiarów i obliczeń, może doprowadzić do przeszacowania wartości.



Rys. 4. Wykres zależności zmiennej zależnej v1, prognozy otrzymanej z modelu MR oraz wydajności koparek wg. KNR

4. Przykład obliczeniowy

Należy ustalić, który zestaw maszyn koparka i samochód samowyładowczy będzie powodował mniejszą emisję CO_2 przy wykonywaniu robót ziemnych.
Wykop wielkości 3670 m^3 należy wykonać w gruncie kategorii trzeciej, określony jako oblepiający. Transport urobku przewidziano na odległość 1 km. Dane koparek oraz samochodów samowyładowczych podano poniżej:

- Koparka A – Komatsu HB215 LC Hybrid, pojemność łyżki 1,36 m^3, podsiębierna, zużycie paliwa 19,6 l/m-g, operator 3 letni staż pracy,
- Koparka B – Komatsu PC 210 LC/NLC-8, pojemność łyżki 1,68 m^3, przedsiębierna, zużycie paliwa 21,2 l/m-g, operator 5 letni staż pracy,
- Samochód samowyładowczy Mercedes Actrosa , ładowność 15,5 T, zużycie paliwa 39 l/100 km,
- Samochód samowyładowczy STAR 25 , ładowność 4 T, zużycie paliwa 26 l/100 km.

Przewidywana średnia temperatura 15^0C.
Rozwiązanie:

- Wyznaczenie wydajności koparek A i B przy wykorzystaniu modelu prognostycznego (3)

Tabela 5. Obliczenie wydajności koparki A

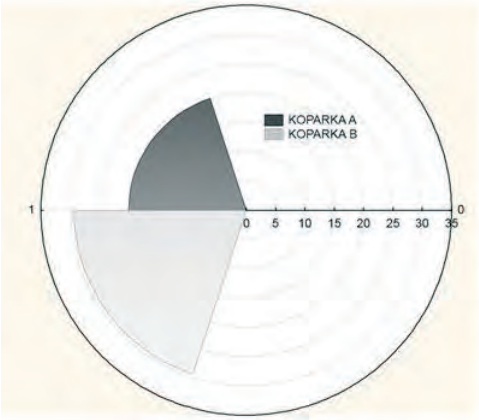
Lp	Zmienna	Koparka A Komatsu HB215 LC HYBRID	Dane	Współczynniki regresji
1		W. wolny		378,6623
2	v2	Rodzaj łyżki	102*	-1,549
3	v3	Pojemność łyżki	1,36	13,3083
4	v6	Lata pracy operatora	3	1,7623
5	v8	Wilgotność gruntu	103*	-2,0725
6	v9	Kategoria gruntu	3	-4,2776
7	v11	Temperatura	15	0,1538
8		Wydajność koparki [m-g/m^3]		20,057188

*Wartości przypisanych kodów przyjęto z tabeli 3

Tabela 6. Obliczenie wydajności koparki B

Lp	Zmienna	Koparka B Komatsu PC210 LC/NLC-8	Dane	Współczynniki regresji
1		W. wolny		378,6623
2	v2	Rodzaj łyżki	101*	-1,549
3	v3	Pojemność łyżki	1,68	13,3083
4	v6	Lata pracy operatora	5	1,7623
5	v8	Wilgotność gruntu	103*	-2,0725
6	v9	Kategoria gruntu	3	-4,2776
7	v11	Temperatura	15	0,1538
8		Wydajność koparki [m-g/m^3]		29,389444

*Wartości przypisanych kodów przyjęto z tabeli 3



Rys. 5. Wykres porównawczy wydajności koparek.

- Obliczenie liczby kilometrów niezbędnych do transportu urobku

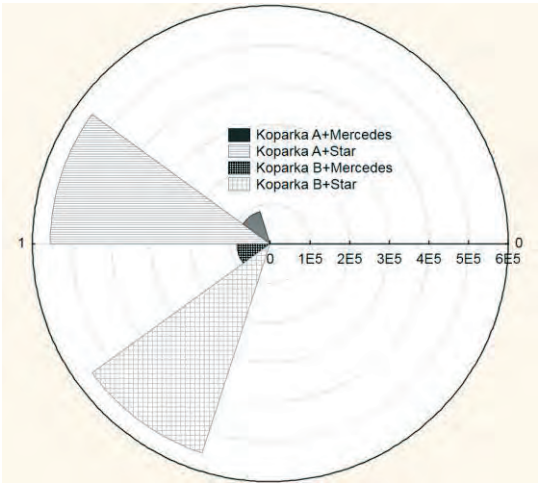
Tabela 7. Obliczenie liczby kilometrów niezbędnej do przejechania podczas realizacji przedsięwzięcia

Lp	Samochód	Ładowność	Liczba kursów	Liczba kilometrów
1	Mercedes Actrosa	15,5 [T]	3670 [m^{3}]·1,8[T/m^3] / 15,5 [T] = 427	427
2	STAR25	4 [T]	3670 [m^{3}]·1,8[T/m^3] / 4 [T] = 1652	1652

- Obliczenie liczby kilogramów emitowanego dwutlenku węgla przez zestawy maszyn

Tabela 8. Obliczenie liczby kilogramów emitowanego dwutlenku węgla przez zestawy maszyn

Lp	Dane	Jednostka	Koparka A + Mercedes	Koparka A + Star	Koparka B + Mercedes	Koparka B + Star
1	Q	m^3	3670	3670	3670	3670
2	d_1	l/m-g	19,6	19,6	21,2	21,2
3	dk_{CO2}	kg/l	0,58	0,58	0,63	0,63
4	ds_{CO2}	kg/l	1,17	0,78	1,17	0,78
5	W_e	m-g/m^3	20,057188	20,057188	29,389444	29,389444
6	ρ	T/m^3	1,8	1,8	1,8	1,8
7	s	km	427	1652	427	1652
8	d_2	l/1km	0,39	0,26	0,39	0,26
9	$Ł$	T	15,5	4	15,5	4
10	EMISJA CO_2	kg	85066	555321	84707	554962
11	EMISJA CO_2	T	85,1	555,3	84,7	554,9



Rys. 6. Wykres porównawczy liczby kilogramów emitowanego dwutlenku węgla przez zestawy maszyn koparka i samochody samowyładowcze.

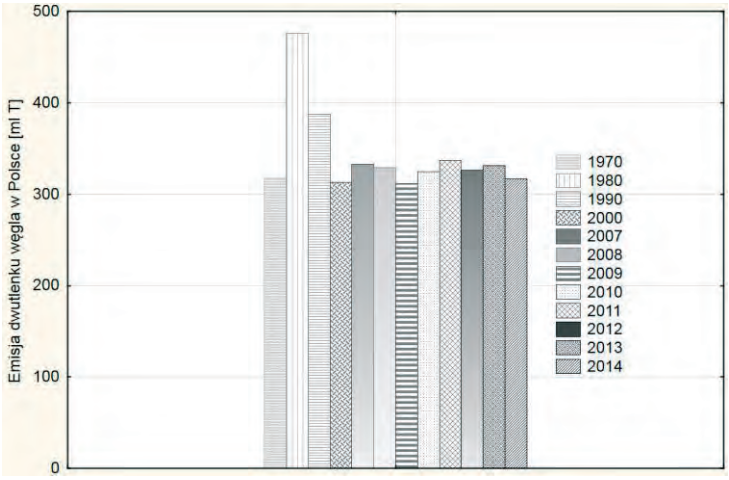
Wnioski:

- najbardziej korzystnym zestawem maszyn do wykonania zaplanowanego przedsięwzięcia pod względem minimalizacji emisyjności dwutlenku węgla jest zestaw Koparka B Komatsu PC210 LC/NLC-8 i samochód samowyładowczy Mercedes Actrosa,
- emisja dwutlenku węgla, podczas realizacji inwestycji, jest wysoka i w najkorzystniejszym przypadku wynosi 84707 kg,
- różnica wielkości emisji CO2 w przypadku doboru samochodów samowyładowczych o nośności 4T jest 6,5-krotnie wyższa niż w przypadku samochodów o ładowności 15,5T,
- wpływ doboru koparki w odniesieniu do środków transportu na emisję dwutlenku węgla jest niewielki, mniejsza emisyjnością charakteryzuje się koparka o większej pojemności łyżki.

5. Podsumowanie

Emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych w Polsce jest bardzo wysoka. Zajmujemy pod tym względem 22 miejsce na świecie. W latach 80 i 90 XX wieku (rys.7) nastąpił znaczny spadek emisji CO_2, nadal jednak zajmujemy niechlubne miejsce w czołówce światowej, generując 0,9% produkcji światowej.

Bardzo istotne jest aby ograniczyć emisję dwutlenku węgla w każdym możliwym aspekcie. W pracy przedstawiono sposób doboru maszyn do robót ziemnych w aspekcie minimalizacji emisyjności dwutlenku węgla. Wykazano celowość obliczania wydajności koparek z uwzględnieniem czynników technicznych i organizacyjnych. Sformułowano wzór obliczeniowy do kwantyfikacji liczby kilogramów dwutlenku węgla powstającego w czasie wykonywania robót ziemnych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że kryterium minimalizacji emisji dwutlenku węgla jest wprost proporcjonalne do pojemności łyżki koparki i ładowności środka transportowego. Zatem im koparka ma większą pojemność łyżki a samochód samowyładowczy większą pojemność, tym z punktu widzenia minimalizacji emisji CO_2 rozwiązanie jest lepsze.



Rys. 7. Wykres porównawczy emisji dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych w Polsce

Literatura

1 Aczel A.D., Statystyka w zarządzaniu, PWN, Warszawa 2000.
2 Kot S., Jakubowski J., Sokołowski A., Statystyka. Difin, Warszawa 2007.
3 Podręcznik internetowy STATISTICA, http://www.statsoft.pl /textbook/sttimser. Htm
4 Martinek W.,Nowak P.,Woyciechowski P., Technologia robot budowlanych, OWPW, Warszawa 2010.

Selection of construction equipment – excavators and dump trucks in terms of minimizing the emission of CO2 by using forecasting methods

Magdalena Rogalska

Department of Construction Project Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: mada.rogalska@gmail.com

Abstract: The article predicted CO_2 emission by a set of machines: excavator and dump trucks. The emissivity of carbon dioxide during the execution of a specific work task depends on the performance of the machines. In the first stage, work performance of excavators was projected. The following technical and organisational data having a hypothetical influence on the performance of excavators were collected: bucket capacity, type of working tool, category of land, load capacity of a mean of transport, type of access road, work experience of an operator, humidity of the soil, distance of the soil disposal, air temperature, failure frequency. The linguistic variables were coded, the data was transformed in a way that ensures that the best results were obtained. The method of multiple regression were used for forecasting. Analysis of the autocorrelation and partial autocorrelation residues and sensitivity analysis was done. MAPE errors forecasts were calculated. On the basis of a predictive model, an example of calculation of selection of machines in

terms of carbon dioxide emission was made. The calculation formula to quantify the number of kilograms of carbon dioxide produced during earthworks was formulated. Analyses showed that the criterion of minimizing carbon dioxide emissions are directly proportional to the excavator's bucket capacity and capacity of means of transport.

Keywords: performance of excavators, CO_2 emission, the method of multiple regression.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 143-148

Przeobrażanie się przestrzeni miasta i osiedli związane ze zmianami stylu życia mieszkańców

Olga Skoczylas

Samodzielna Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: o.skoczylas@pollub.pl

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały problemy miasta i jego mieszkańców związane ze zmianami sposobu życia oraz podane przykłady rozwiązań tych problemów. Przytoczono rozwiązania oddolne, spontaniczne i planowane, zagraniczne i z polskiego „podwórka". Artykuł dotyka też problemu rozlewania się miasta i zachęca do powstrzymania lub ograniczenia tego zjawiska przez kompleksowe, przemyślane przekształcenia istniejących osiedli prefabrykowanych. Zwłaszcza, że te osiedla są i będą nieodłącznym elementem krajobrazu polskich miast. Bagatelizowanie tego fragmentu i spychanie go w działaniach planistów, urbanistów, architektów i naukowców na margines działań może rozpocząć proces podziału społecznego, który jest bardzo trudny do zatrzymania i ma też wpływ na obniżenie konkurencyjności mieszkań w skali miasta.

Słowa kluczowe: osiedla prefabrykowane, przekształcenia osiedli, rewitalizacja, przestrzenie sąsiedzkie, parkingi

1. Wstęp

W Polsce pod koniec roku 2014 było 14 mln mieszkań, z czego w miastach 9,4 mln. Stanowi to ponad 67% ogólnej liczby mieszkań [1]. Zarówno w skali globalnej jak i poszczególnych państw można zauważyć wzrost liczby osób zamieszkujących miasta. Również prognozy dla Polski przewidują większy procentowy udział mieszkańców miast w ogóle społeczeństwa. Może to wywołać problemy związane z różnymi potrzebami mieszkańców – np. problem między chęcią mieszkania w otoczeniu zieleni, a parkowaniem samochodu blisko domu.

Na przestrzeni ostatnich 50 - 60 lat pojawiło się dużo znaczących ulepszeń w technologii i przemyśle budowlanym. Przyniosło to zmiany w życiu przeciętnego człowieka. Wydaje się jednak, że te zmiany nie ulepszyły osiedli mieszkaniowych lub wręcz nawet spowodowały ich degradację.

2. Zmiany w życiu ludzi i ich wpływ na otoczenie

Obecnie prawie każda rodzina posiada samochód, a często nawet 2 lub więcej. Samochód jest jednym z głównych sposobów przemieszczania się, ponieważ pozwala na niezależność i umożliwia szybkie dotarcie do każdego miejsca. W związku ze wzrostem zamożności Polaków w przyszłości przeciętna rodzina może posiadać jeszcze więcej samochodów. W miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego uchwalanych w ostatnich latach przewiduje się nie mniej niż 1 miejsce parkingowe (często 1,3, 1,5 lub nawet 2) na mieszkanie przy zagospodarowaniu terenu funkcją mieszkalną. W chwili, kiedy

budowane były osiedla prefabrykowane przewidywano jeden samochód na 2 rodziny i na taką liczbę pojazdów projektowano miejsca parkingowe na osiedlach. Wzrost ilości samochodów jest widoczny w każdej przestrzeni sąsiedzkiej. Mieszkańcy chcą parkować jak najbliżej domu [2], by jak najszybciej móc dostać się do innego miejsca. Wynikiem tego jest wzrost liczby samochodów w pobliżu bloków, zdegradowana lub zniszczona zieleń, tworzenie nowych dróg wewnątrz osiedla.

Kolejna zmiana widoczna jest w warstwie społecznej i zaczęła się już po II wojnie światowej. Obecnie najbardziej pożądane jest mieszkanie rodziców wspólnie z dziećmi, bez innych członków rodziny (np. rodziców któregoś z małżonków czy ich rodzeństwo). Dzięki temu wzrasta zapotrzebowanie na mieszkania, szczególnie w wyposażonych w różne funkcje osiedlach lub dobrze skomunikowanych z innymi częściami miasta. Jednak nadal bardzo często podstawowym czynnikiem warunkującym wybór mieszkania jest jego cena, a w zasadzie zdolność kredytowa ustalona przez bank. Mieszkania położone bliżej centrum miasta są droższe, niż te położone na obrzeżach. Często kupujący decydują się na lokal usytuowany dalej, ale o trochę większym metrażu za tę samą cenę. Średnia cena mieszkania z rynku wtórnego o powierzchni 60 m2 (+/- 5 m^2) położonego na osiedlu Skarpa w dzielnicy Czuby w Lublinie wynosi 299 163 zł, czyli 4 986 zł/m2 [7], a cena mieszkania z rynku pierwotnego o podobnym metrażu, ale położonego na obrzeżach Lublina (Węglinek, 63 m^2) wynosi 292 000, czyli 4 619 zł/m^2 [6], to jest 7,36% powierzchni więcej za taką samą kwotę. Jednak nie tylko samo mieszkanie jest ważne, ale również infrastruktura osiedla, bliskość przedszkola, szkoły, poczty, sklepów, przychodni, kościoła, czy przystanków komunikacji miejskiej.

3. Rozwiązania spontaniczne

Wymienione wyżej zmiany rodzą problemy, z którymi architekci, urbaniści i mieszkańcy musza się mierzyć w dzisiejszych czasach.

Wzrost liczby samochodów w istniejących osiedlach wymusza znalezienie dodatkowych miejsc parkingowych. Niestety często odbywa się to kosztem terenów rekreacji i odpoczynku, boisk sportowych, placów zabaw dla dzieci lub pieszych ścieżek. Tereny wcześniej użytkowane przez ludzi zostają zajęte przez czterokołowe maszyny, a powierzchnia biologicznie czynna zostaje zabetonowana. Przykłady takich działań są w każdym osiedlu.

Nie jest to tylko polski problem. Podczas rewitalizacji osiedla Grotte-Rolland we Francji i dogęszczeniu osiedla prawie zupełnie zniknęły tereny zielone między budynkami na rzecz parkingów. [4]

Budowanie obiektów wielorodzinnych przez deweloperów na obrzeżach miast w zasadzie pozbawia mieszkańców tych budynków bliskiego dostępu do publicznych przedszkoli, szkół podstawowych, gimnazjów, liceów, kościołów, domów kultury czy świetlic przez przynajmniej kilka – kilkanaście kolejnych lat. Powoduje to też „rozlewanie się" miasta podczas, gdy zostaje jeszcze dużo niewykorzystanych przestrzeni wewnątrz. Napędza to spiralę wzrostu liczby samochodów, braku miejsc parkingowych, tworzenia nowych dróg dojazdowych i wewnętrznych, iluzorycznej łatwości dojazdu do dalej położonych miejsc, budowania jeszcze dalej od centrum, kolejnych samochodów itd. Gdzie w osiedlach prefabrykowanych, już istniejących, jest cała potrzebna infrastruktura.

Fot. 1. Parking przy przedszkolu i blokach mieszkalnych wyznaczony w miejscu istniejącego do niedawna trawnika. Obok widoczny budynek garaży, a jeszcze wyżej kolejny parking.. Również z prawej strony widać blaszane garaże i plac manewrowy. Lipsko, grudzień 2015 (źródło: fot. własna)

Fot. 2. Część boiska sportowego w środku osiedla przekształcona na parking. Lublin, styczeń 2016 (źródło: fot. własna)

Fot. 3. Osiedle Grotte-Rolland (źródło: www.maps.google.com, Zdjęcia @2014 Google, Dane mapy @2014 Google, data dost. 15.03.2014)

4. Przekształcenia kompleksowe

Istnieją też dobre przykłady rozwiązań. W odróżnieniu od spontanicznych przykładów pokazanych na zdjęciach powyżej, są one przemyślane kompleksowo i długoterminowo.

Społeczeństwo osiedla Markisches Viertel w Berlinie [4], budowanego w latach 1963-74 i zajmującego 280 ha powierzchni, przewidzianego dla ok. 50 000 osób, już w latach 80. zaczęło odczuwać problemy zbyt dużej intensywności zabudowy i zbyt dużej ilości powierzchni utwardzonej. W ramach procesu „uzdrawiania" osiedla przeprowadzono szereg działań społecznych i politycznych. Rozwiązania nie ograniczają się tylko do doraźnych środków „przeciwbólowych", ale eliminują źródło „choroby". Wybudowano podziemną linię kolei, by połączyć osiedle z miastem, usunięto parkingi z przestrzeni sąsiedzkich (paradoksalnie) i przebudowano sieć ulic. W miejsce dawnych wybetonowanych powierzchni urządzono parki i tereny rekreacyjne, zorganizowano place zabaw dla dzieci.

Projekt koncepcyjny rozbudowy osiedla w Lipsku (stamtąd pochodzi przykład zagarniania terenów zielonych pod parkingi) stworzyłam pod impulsem uchwalenia i w oparciu o zapisy planu miejscowego dla tej części miasta. Niestety planiści zbagatelizowali część społeczną, a zachowali się dokładnie jak deweloperzy, którym zależy na jak największym zwrocie z inwestycji. Nie przewidzieli funkcji kulturalnych, a część łączącą istniejące osiedle z planowanym, czyli w przyszłości sam środek osiedla, przeznaczyli pod urządzenia komunikacji (drogi, parkingi, garaże i stanowiska mycia ręcznego samochodów osobowych). Zachowując ustalenia planu miejscowego, ale jednak starając się stworzyć w tym miejscu serce osiedla zaproponowano stworzenie wielofunkcyjnego obiektu z parkingiem wielopoziomowym, ale również z basenem i świetlicą dla mieszkańców, patrz fot. 4 [3]. Dzięki temu nie tylko byłyby miejsca dla nowych mieszkańców, ale także można by zlikwidować część blaszanych garaży.

Fot. 4. Przerywaną linią zaznaczono propozycję rozbudowy osiedla i ulokowania w centrum budynku wielofunkcyjnego z parkingiem wielopoziomowym (opracowanie własne)

5. Podsumowanie

Osiedla prefabrykowane są i przynajmniej jeszcze przez długi czas będą nieodłącznym elementem krajobrazu polskich miast. Nie wolno bagatelizować tego elementu miasta w działaniach i twórczych rozważaniach planistów, urbanistów, architektów i naukowców. „Raz rozpoczęty proces podziału społecznego jest bardzo trudny do zatrzymania nawet przy dużych nakładach finansowych, ma to także wpływ na inwestycje prywatnych inwestorów i obniża konkurencyjność mieszkań w skali miasta." [5] Należy już teraz zacząć myśleć o przyszłości tych osiedli, w których jeszcze poziom życia jest zadawalający [2, 3], bo rewitalizacja osiedli z wielkiej płyty jest powrotem do integracji społecznej - ożywienia życia społecznego, rodzinnego, kulturalnego, procesem powracania odpowiedzialności w relacjach „dobro sąsiedzkich". [8]

Literatura

1 Główny Urząd Statystyczny, Gospodarka mieszkaniowa w 2014 r. Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa, 2015 r., publikacja dostępna na: http://www.stat.gov.pl
2 Ostańska, A., Podstawy metodologii tworzenia programów rewitalizacji dużych osiedli mieszkaniowych wzniesionych w technologii uprzemysłowionej na przykładzie osiedla im. St. Moniuszki w Lublinie, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2009
3 Skoczylas O., Rewitalizacja i rozbudowa osiedla z prefabrykatów, praca dyplomowa, promotor: dr inż. arch. M. Siestrzewitowska, Politechnika Lubelska 2013
4 Skoczylas O., Przekształcać, ale jak?, Budownictwo i Architektura vol.13, Lublin, 2014, s.333-340
5 Schümer-Strucksberg M., Die Berliner Strategie: Erfahrungen bei der Weiterentwicklung der GroBsiedlungen in Plattenbauweise

6 Strona Internetowa, Gęsia II – nowe mieszkania na sprzedaż Lublin, https://rynekpierwotny.pl/; data dostępu: 20.01.2016
7 Strona Internetowa, Wyszukiwarka nieruchomości, https://homebroker.pl/; data dostępu: 20.01.2016
8 Wrana J., Skoczylas O., Rewitalizacja osiedla z wielkiej płyty w mieście Lipsko – uzupełnienie funkcji o budynek wielofunkcyjny, Budownictwo i Architektura vol. 13, Lublin, 2014, 349-354

Transformation of city space and housing estates associated with changes in lifestyle of inhabitants

Olga Skoczylas

Independent Laboratory of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail:o.skoczylas@pollub.pl

Abstract: The article presents difficulties of the city and its inhabitants related to changes of lifestyle. It also provides examples of solutions for these problems. Grass roots, spontaneous solutions as well as planned ones, foreign and from the Polish "backyard" were shown. Article presents also the problem of urban sprawling and encourages to prevent or to reduce this phenomenon through a comprehensive thoughtful transformation of existing prefabricated housing estates built during 70's and 80's. Limited area of neighborhood spaces between 30 meters height buildings makes social activity, providing services and taking a rest difficult for the inhabitants. It is even more important due to the fact that the parking places involve significant consumption of estates' space. These areas are an inseparable element of Polish urban landscapes and there is no perspective for a change. Underestimation of this issue and the fact that urban planners, architects and scientists tend to ignore it can begin the process of social division which is very difficult to stop. It also has a negative impact causing decline in real estate values in the cities. On the basis of the analysis, social and architectural research proposals were given.

Keywords: prefabricated housing estates, transformation of settlements, revitalization, neighborhood spaces, car parks.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 149-156

Ekologiczne, estetyczne i ekonomiczne aspekty konstrukcji gruntowo-powłokowych na przykładzie przebudowy mostu drogowego w Żórawinie

Grzegorz Antoniszyn

Instytut Budownictwa, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e–mail: grzegorz.antoniszyn@up.wroc.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia związane z przebudową mostu drogowego w miejscowości Żórawina. Istniejący obiekt został wymieniony na nowy, o konstrukcji gruntowo-powłokowej. Przyjęte rozwiązania, spełniając wytyczne ochrony konserwatorskiej, pozwoliły na wykonanie estetycznej i zarazem efektywnej ekonomicznie konstrukcji mostowej. Bardzo ważnym czynnikiem, decydującym o końcowych rozwiązaniach konstrukcyjnych, był także czas niezbędny do realizacji inwestycji.

Słowa kluczowe: konstrukcje gruntowo-powłokowe, przebudowa mostu, estetyka, ekologia, Konserwator Zabytków.

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach budowa typowego obiektu inżynierskiego, bądź też przebudowa (całkowita rozbiórka istniejącego i budowa nowego), nie nastręcza większych trudności i to nawet w przypadku konstrukcji o znacznych rozpiętościach – kilkanaście bądź kilkadziesiąt metrów długości. Także niesprzyjające warunki gruntowo-wodne nie stanowią większego problemu. Pewne komplikacje pojawiają się w momencie konieczności prowadzenia robót budowlanych przy obiektach wpisanych do rejestru zabytków lub znajdujących się na terenach objętych ochroną konserwatorską, zgodnie z postanowieniami określonych przepisów, np. [1]. W takich przypadkach ważną, jeśli nie decydującą rolę, odgrywają wytyczne lub wymagania stawiane przez Konserwatora Zabytków czy też zapisy ujęte w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego terenu (MPZP), na którym będzie prowadzona dana inwestycja. Przykładem takim jest przebudowa mostu drogowego nad rzeką Żurawką w miejscowości Żórawina, na łączniku pomiędzy ulicą Małowiejską i Aleją Niepodległości. Przedmiotowy obiekt, choć sam nie był zabytkiem i nie posiadał żadnych walorów architektonicznych, został objęty ochroną konserwatorską poprzez ustanowienie na przyległym terenie ścisłej strefy archeologiczno-konserwatorskiej [2]. W związku z tym przyjęte rozwiązania konstrukcyjne (rodzaj i kształt ustroju nośnego) a także ostateczny wygląd mostu musiał być uzgodniony z Dolnośląskim Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków (DWKZ). Pozostałe uzgodnienia z właścicielami sieci (teletechniczna i elektryczna) czy też zarządcami ulicy i cieku wodnego podlegały standardowym procedurom.

2. Obiekt istniejący

2.1. Informacje ogólne o obiekcie

Ustrój nośny istniejącego mostu wykonany był w postaci jednoprzęsłowej, swobodnie podpartej płyty żelbetowej, wspartej na stalowych belkach. Rozpiętość w świetle podpór wynosiła ~5,0 m. Grubość płyty oszacowano na 35 cm (razem z nawierzchnią wysokość konstrukcyjna ustroju to 55 cm). W przekroju poprzecznym przęsła rozmieszczono 7 elementów stalowych w średnim rozstawie osiowym ~88 cm. Szerokość stopki równa 120 mm wskazywała na IPN 280. Przęsło oparto na masywnych, kamiennych podporach. Długość przyczółków odpowiadała szerokości przęsła (5,85 m). Od strony górnej wody (GW) wykonano betonowe mury łączące różne poziomy kamiennych murów oporowych rzeki i przyczółków. Od strony dolnej wody (DW) występowały skośne skrzydełka (~45°) o długości 3,80 i 4,20 m. W ramach wcześniejszej przebudowy kamienne skrzydełka zostały uzupełnione i przedłużone z wykorzystaniem betonu. Grubości skrzydeł zmieniały się w zakresie 50-55 cm. Obiekt posadowiony był bezpośrednio na gruncie, bez dodatkowych umocnień fundamentów.

Nawierzchnię na obiekcie wykonano z granitowej kostki o wymiarach 9-11 cm. Izolacja z papy uległa degradacji, o czym świadczyły liczne zawilgocenia i wapienne wykwity na spodzie płyty pomostu. Woda opadowa poprzez spadki poprzeczne i podłużne nawierzchni była odprowadzana bezpośrednio na przyległy teren. Brak normatywnych krawężników skutkował zawilgacaniem bocznych powierzchni przęsła, co dodatkowo wzmacniało procesy korozyjne. Balustrady o wysokości tylko 80 cm i słupkach rozmieszczonych co ~3,0 m nie zapewniały należytego bezpieczeństwa pieszym (zdeformowane i skorodowane elementy oraz brak stosownego wypełnienia).

Od strony GW zamontowano rurę stalową o średnicy 90 mm, w której znajduje się kabel energetyczny (eNA) zasilający latarnie uliczne, natomiast od strony DW wbudowano sześć rur średnicy 130 mm, w których prowadzone są kable teletechniczne (światłowody).

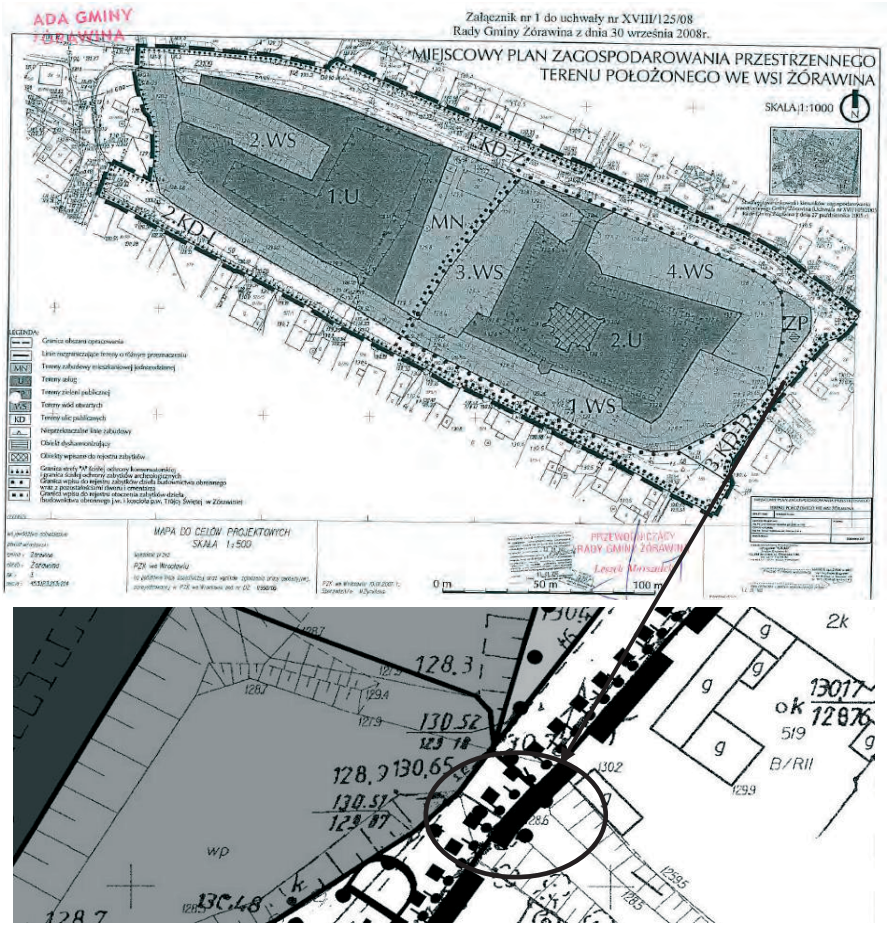
Rys. 1. Stan obiektu przed przebudową

Stan techniczny mostu był przedawaryjny. Częściowe podmycia podpór, znaczne ubytki elementów kamiennych, rozluźnienia i spękania a także destrukcja i abrazja betonowych fragmentów podpór stwarzały zagrożenie i nie pozwalały na bezpieczną eksploatację mostu. Liczne spękania i wykwity wapienne na betonowej płycie oraz zaawansowana korozja stalowych kształtowników świadczyły o złym stanie technicznym przęsła oraz uszkodzeniu lub braku izolacji. Uwzględniając stan techniczny obiektu oraz jego wyeksploatowanie Inwestor podjął decyzję o całkowitej przebudowie obiektu. Nowy most miał zapewnić dalszą, wieloletnią i bezproblemową eksploatację, przy stosunkowo niskich kosztach utrzymania.

2.2. Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego (MPZP)

Zapisy zwarte w MPZP [2] stanowiły, że teren, na którym znajdował się przedmiotowy obiekt został zaliczony do obszaru:

- objętego wpisem do rejestru zabytków;
- strefy „A" ścisłej ochrony konserwatorskiej;
- ścisłej strefy ochrony zabytków archeologicznych.



Rys. 2. Załącznik graficzny do [2] – w dolnej części rysunku powiększony fragment planu z zaznaczonym mostem

Powyższe zapisy wynikają z objęcia ochroną konserwatorską Kościoła p.w. Trójcy Świętej, który został wpisany do rejestru zabytków pod numerem 88 z dnia 29.03.1949 r. (Rys. 3).

Rys. 3. Kościół p.w. Trójcy Świętej w Żórawinie

Dodatkowo w MPZP ustalono, że ulica, w ciągu której znajdował się most jest „ulicą klasy dojazdowej" i stanowi teren przeznaczony na realizację celu publicznego. Pozostałe zapisy planu nakazywały zachowanie historycznego układu przestrzennego okolicy, zwłaszcza poszczególnych elementów tego układu (tj. historyczne nawierzchnie ulic – kamienną nawierzchnię ul. Małowiejskiej, placów i chodników).

Tak sformułowane warunki brzegowe mocno ograniczyły swobodę przy wyborze układu konstrukcyjnego mostu oraz jego wyposażenia.

Na etapie sporządzania dokumentacji projektowej uzyskano od DWKZ wytyczne, z których wynikało, że warunkiem niezbędnym przebudowy jest usunięcie bądź ukrycie rur osłonowych urządzeń obcych (teletechnika i energetyka).

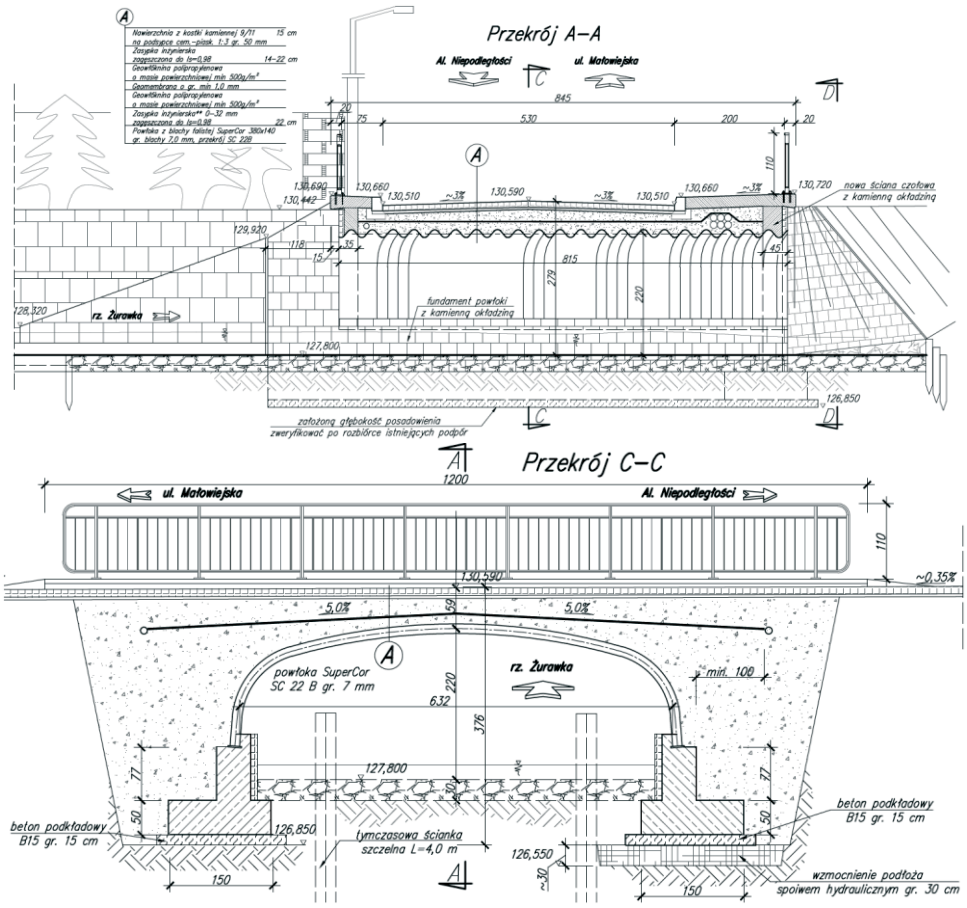
3. Most po przebudowie

3.1. Założenia projektowe

Przystępując do opracowywania wstępnej koncepcji przebudowy mostu założono, że konstrukcją najlepiej wpisującą się w historyczny układ obszaru będzie ustrój łukowy lub o kształcie do niego zbliżonym (łukowo-kołowy, eliptyczny, itp.). Wymóg zachowania kamiennej nawierzchni jezdni oraz konieczność ukrycia rur osłonowych wskazywał na konieczność zastosowania zasypki gruntowej, w której będzie można umieścić urządzenia obce. Aby dowiązać się do już istniejących kamiennych murów oporowych rzeki oraz sąsiednich ogrodzeń przyjęto, że podpory mostu oraz jego ściany czołowe zostaną obłożone okładziną kamienną. Dodatkowym wymogiem, nałożonym przez Dolnośląski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych, było zachowanie niezmniejszonego światła (przekroju poprzecznego) mostu.

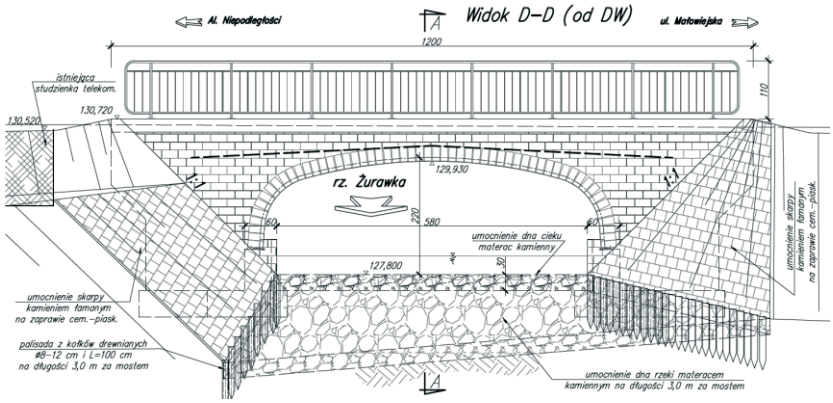
3.2. Przyjęte rozwiązania konstrukcyjne

Uwzględniając powyższe założenia i wymagania przyjęto, że ustrój nośny o konstrukcji gruntowo-powłokowej pozwoli na wykonanie estetycznej i efektywnej ekonomicznie budowli. Ramowa konstrukcja nośna w postaci stalowej powłoki z blachy falistej typu SuperCor SC22B o grubości 7 mm zapewniła wystarczającą nośność (przyjęto klasę C obciążeń taborem samochodowym według [3], jako wystarczającą dla ulicy dojazdowej, klasy technicznej D, zgodnie z załącznikiem nr 2 zawartym w [4]). Poniżej przedstawiono przekrój poprzeczny i podłużny projektowanego mostu.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny i podłużny projektowanej konstrukcji

W celu dowiązania nowych podpór do istniejących kamiennych murów oporowych rzeki Żurawka zaprojektowano żelbetowe korpusy z kamienną okładziną. Podobne rozwiązanie przyjęto na ścianach czołowych mostu, które są widoczne od strony zabytkowego kościoła. Po przebudowie mostu urządzenia obce wraz z rurami osłonowymi zostały ułożone w warstwie zasypki po wewnętrznej stronie ścian czołowych. Dzięki temu zostały spełnione wymagania DWKZ. Skarpy od strony DW umocniono kamieniem łamanym na podbudowie cementowo-piaskowej, co także podkreśla charakter kamiennej obudowy ściany czołowej (Rys. 5 i 6).



Rys. 5. Widok z boku

4. Aspekty ekonomiczne, estetyczne i ekologiczne przyjętych rozwiązań

Znajdujące się w literaturze przykłady analiz ekonomicznej efektywności konstrukcji gruntowo-powłokowych (np. w [5]) wskazują, że zastosowanie technologii „grunt-stal" może zredukować koszt wykonania obiektu nawet do 40% w stosunku do technologii tradycyjnej (betonowe bądź stalowe konstrukcje belkowe). W analizowanym przypadku bardzo ważnym czynnikiem był także krótki czas wykonania i oddania do eksploatacji mostu, co wynikało z przyznanych funduszy na odbudowę szkód popowodziowych. Z tego względu nieprzekraczalnym terminem ukończenia inwestycji był koniec roku 2015. Uwzględniając wszelkie procedury związane z przygotowaniem dokumentacji projektowej oraz uzyskaniem uzgodnień i pozwoleń na wykonanie wszystkich robót budowlanych wykonawca przebudowy miał tylko trzy miesiące. Drugim, nie mniej ważnym, czynnikiem wyboru prezentowanych rozwiązań była konieczność ukrycia urządzeń obcych, jednak bez zmiany ich lokalizacji. Kalkulacja kosztów przebudowy sieci teletechnicznej wykazała, że tylko ta branża pochłonęłaby 25% funduszy przeznaczonych na realizację całej inwestycji. Pozostawienie sieci w pierwotnej lokalizacji wiązało się tylko z wykonaniem tymczasowego zabezpieczenia na czas prowadzenia robót – budowa fundamentów i montaż powłoki.

Ocenę estetycznych czy też architektonicznych efektów przebudowy pozostawiono Czytelnikowi, gdyż jest to bardzo subiektywna opinia. Bez wątpienia przydatnym będzie przedstawienie wyglądu obiektu przed i po przebudowie (Rys. 6).

Aspekty ekologiczne mostowych budowli inżynierskich wiążą się z ich trwałością, rodzajem wykorzystanych materiałów a także sposobem utrzymania w okresie eksploatacji. Na tym polu mosty gruntowo-powłokowe charakteryzują się znaczną trwałością (ponad 100 lat), która wynika z zastosowania do ich budowy materiałów i technologii o dużej trwałości oraz odpowiednich zabezpieczeń antykorozyjnych. Wykorzystanie zasypki gruntowej, jako głównego elementu konstrukcyjnego, pozwala na ograniczenie ilość stali konstrukcyjnej w stosunku do uzyskiwanej rozpiętości. Do walorów eksploatacyjnych należy także zaliczyć ciągłość podbudowy nawierzchni drogowej, brak łożysk czy dylatacji – na obiekcie występuje identyczne podłoże pod nawierzchnią, jak na dojazdach. Wymienione cechy pozwalają na bezproblemową eksploatację przy stosunkowo niewielkich zabiegach utrzymaniowych. Skutkuje to tym, że konstrukcje mostów gruntowo-powłokowych są niedrogie w utrzymaniu oraz przyjazne dla środowiska.

Rys. 6. Most drogowy w Żórawinie – przed i po przebudowie

5. Podsumowanie

Konstrukcje gruntowo-powłokowe znane są na świecie od ponad stu lat. W Polsce większe zainteresowanie nimi rozpoczęło się w latach 80-tych XX wieku. Od tego czasu wzniesiono wiele takich obiektów, a obecnie buduje się ich coraz więcej. Jest to niewątpliwie wynikiem wielu zalet, takich jak:

- znaczna redukcja kosztów wykonania związana z minimalnym użyciem materiałów konstrukcyjnych (stal, beton);
- szybkość i prostota wykonania (nieznaczne koszty robocizny);
- niewielkie koszty społeczne wywołane krótkim zamknięciem drogi;

- praktycznie bezobsługowa eksploatacja (brak łożysk, dylatacji);
- duża nośność i trwałość obiektu (nawet do 120 lat [6]).

Przedstawiona w referacie przebudowa mostu potwierdza pełną przydatność konstrukcji gruntowo-powłokowych do wznoszenia obiektów o małych rozpiętościach. Znaczna dowolność w kształtowaniu ścian bocznych (czołowych) obiektu jak i jego przekroju podłużnego pozwala na stosowanie tych konstrukcji w dowolnym terenie – obszary leśne, niezabudowane, zabudowane a także objęte ścisłą ochroną konserwatorską. Wskazane aspekty sprawiają, że obiekty gruntowo-powłokowe są coraz częściej wykorzystywane w mostownictwie i na stałe wpisały się już w nasz krajobraz.

Autor artykułu jest projektantem opisanej przebudowy mostu oraz pełnił funkcję Inspektora nadzoru inwestorskiego w trakcie realizacji inwestycji.

Literatura

1 Tekst jednolity Ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz. U. z 2014 r. Nr 0, poz. 1446 z późn. zm.).
2 Uchwała nr XVIII/125/08 Rady Gminy Żórawina z dnia 30 września 2008 roku w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego terenu położonego we wsi Żórawina.
3 PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.
4 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30.05.2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2000 r. Nr 63, poz. 735 z późn. zm.)
5 Janusz L. *Zastosowanie konstrukcji stalowych i rur podatnych ze stali i polietylenu do budowy przepustów, mostów i tuneli*, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym", Poznań 1998.
6 Janusz L., Madaj A., Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo. WKŁ, Warszawa 2009.

Reconstruction of the road bridge in Żórawina as the example of ecological, aesthetic and economic values of soil-steel structures

Grzegorz Antoniszyn

Institute of Building, The Faculty of Environmental Engineering and Geodesy, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, e–mail: grzegorz.antoniszyn@up.wroc.pl

Abstract: The article presents issues related to the reconstruction of the road bridge in the village Żórawina. An existing bridge was replaced by a new soil-steel structure. The adopted solutions, which fulfill the guidelines of conservator's protection, allowed making aesthetic and simultaneously economically efficient bridge structure. The time needed to carry out the investment was also a very important factor in determining the final design solutions.

Keywords: soil-steel structure, bridge reconstruction, aesthetics and ecology, Conservator of Monuments.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 157-167

Wykorzystanie destruktu asfaltowego – konieczność i innowacja

Wojciech Bańkowski[1], Dariusz Sybilski[1], Jan Król[2], Karol Kowalski[2], Piotr Radziszewski[2], Piotr Skorek[3]

[1] *Instytut Badawczy Dróg i Mostów, email: wbankowski@ibdim.edu.pl, d.sybilski@ibdim.edu.pl*
[2] *Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, e–mail: j.krol@il.pw.edu.pl, k.kowalski@il.pw.edu.pl, p.radziszewski@il.pw.edu.pl*
[3] *Budimex S.A., e–mail: piotr.skorek@budimex.pl*

Streszczenie: Racjonalny recykling nawierzchni asfaltowych jest bardzo ważny zarówno ze względów ekonomicznych jak i ekologicznych związanych z ochroną surowców naturalnych takich jak asfalt czy kruszywo mineralne. Kraje przodujące w dziedzinie drogownictwa dążą do maksymalnego powtórnego użycia granulatu asfaltowego w produkcji nowych mieszanek mineralno-asfaltowych. Niestety w Polsce sytuacja jest zupełnie odmienna, a wykorzystanie destruktu asfaltowego w Polsce jest bardzo ograniczone. Najczęściej sprowadza się do utwardzania poboczy lub wykonania warstwy podbudowy MCE. Zastosowanie materiału z recyklingu do mieszanek mineralno-asfaltowych często ogranicza się do dozowania na zimno w niewielkich ilościach. Ograniczenia te wynikają z wielu czynników, jak na przykład: braku doświadczenia wykonawcy i wyposażenia wytwórni mas w odpowiednią instalację, braku przyzwolenia inwestora, warunków przetargowych, obawy o niejednorodność materiału i wielu innych. Artykuł poświęcony jest projektowi badawczemu InnGA, którego podstawowym celem jest opracowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o możliwie maksymalnej zawartości granulatu przy zachowaniu odpowiednich właściwości mieszanki. Realizacja projektu i publikacja jego wyników ma na celu upowszechnienie wiedzy w tym zakresie wśród inwestorów, projektantów i wykonawców.

Słowa kluczowe: recykling, nawierzchnie asfaltowe, destrukt, granulat asfaltowy.

1. Wprowadzenie

Mieszanki mineralno-asfaltowe są najpowszechniej stosowanym materiałem do budowy nawierzchni drogowych na całym świecie. Materiał asfaltowy ze zużytej nawierzchni drogowej (RAP - Reclaimed asphalt pavement) z powodzeniem może zostać poddany recyklingowi i być powtórnie wykorzystany do budowy warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych [1]. Materiał z nawierzchni asfaltowych może zostać powtórnie wykorzystany stosując metodę recyklingu na zimno, na ciepło lub na gorąco. Proces recyklingu starej nawierzchni asfaltowej może odbywać się na drodze za pomocą recyklerów lub w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych [2]. Recykling na gorąco można wykonywać zarówno w wytwórni jak i na drodze. Jednakże w drugim przypadku może być to tylko recykling płytki. Wady technologii recyklingu na gorąco na drodze, polegające na trudnościach z utrzymaniem jednorodności składu i grubości warstwy, spowodowały, że zastępuje się ją coraz częściej recyklingiem na gorąco w wytwórni. Wytwarzanie mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem granulatu asfaltowego pozwala na lepszą kontrolę składu, jak również umożliwia wykonanie recyklingu głębokiego [1,3]. Recykling na zimno

jest wykonywany z wykorzystaniem lepiszczy asfaltowych takich jak emulsje asfaltowe i asfalty spienione. Ze względu na ograniczenia technologiczne ta technologia stosowana jest głównie do wykonywania spodnich warstw konstrukcyjnych nawierzchni takich jak podbudów z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE) oraz podbudów z asfaltu spienionego [4,5,6].

W polskiej terminologii materiał pozyskany z frezowania nawierzchni asfaltowych, rozbiórki starej nawierzchni lub pochodzący z nadwyżki produkcyjnej nazywamy destruktem asfaltowym. Przetworzony i rozdrobniony destrukt asfaltowy o udokumentowanej jakości i właściwościach nazywamy granulatem asfaltowym [7].

Z punktu widzenia zasad zrównoważonego rozwoju, najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie całości pozyskiwanego destruktu do budowy nawierzchni asfaltowych. Doświadczenia wielu krajów pokazują, że jest to możliwe. Takie rozwiązanie niesie ze sobą korzyści finansowe i ekologiczne wynikające ze zmniejszonego zapotrzebowania na nowy materiał, zmniejszone zużycie surowców nieodnawialnych, mniejszych potrzeb transportowych, itp. Podstawowym uzasadnieniem do stosowania materiału asfaltowego pochodzącego z recyklingu jest możliwość zmniejszenia ilości nowego materiału stosowanego do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych [8]. Wykorzystanie destruktu asfaltowego w Polsce jest bardzo ograniczone. Najczęściej sprowadza się do utwardzania poboczy czy do wykonania warstwy podbudowy w technologii MCE (mieszanka cementowo-emulsyjna). Zastosowanie materiału z recyklingu do mieszanek mineralno-asfaltowych często ogranicza się do dozowania na zimno, bezpośrednio do mieszalnika destruktu asfaltowego w niewielkich ilościach. Ograniczenia te wynikają z wielu czynników, jak na przykład: braku doświadczenia wykonawcy i wyposażenia wytwórni mas w odpowiednią instalację, braku przyzwolenia inwestora, warunków przetargowych, obawy o niejednorodność materiału i wielu innych.

W lutym 2015 roku rozpoczęty został projekt badawczy pt. „Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej" realizowany przez konsorcjum naukowo-przemysłowe: Instytut Badawczy Dróg i Mostów (Lider), Politechnika Warszawska i BUDIMEX S.A. Projekt jest dofinansowany ze środków Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach programu „INNOTECH" w ścieżce programowej IN-TECH. Podstawowym celem projektu jest opracowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o możliwie maksymalnej zawartości granulatu asfaltowego przy zachowaniu odpowiednich właściwości mieszanki. Osiągnięcie takiego celu będzie poprzedzone badaniami laboratoryjnymi, pozyskaniem i przygotowaniem granulatu asfaltowego oraz technicznym przystosowaniem wytwórni mas bitumicznych.

2. Recykling na gorąco na świecie

Recykling nawierzchni asfaltowych jest niewątpliwie potrzebny i konieczny. Analiza doświadczeń światowych wskazuje na dążenie do możliwie maksymalnego powtórnego zagospodarowania destruktu asfaltowego w optymalny sposób. Wiąże się to nie tylko z posiadaniem odpowiednich możliwości technicznych wykonawców czy dobrymi właściwościami odzyskiwanego materiału, ale również z odpowiednią polityką państwa i przygotowaniem stosownych dokumentów technicznych i prawnych.

W Niemczech w roku 1996 wprowadzono Akt Zamkniętego Cyklu Materiału i Zarządzania odpadami (The Closed Substance Cycle and Waste Management Act), który wymusił na producentach odpowiedzialność za cały cykl stosowanego materiału wraz z jego

wykorzystaniem po zużyciu. Cykl kończy się ponownym zastosowaniem (recykling) produktu lub gdy nie jest to możliwe, składowaniem na wysypisku. Ustanowione w 1998 r. prawo zakłada recykling 90% materiałów stosowanych w budownictwie drogowym. Wykonawcom bardzo trudno jest obecnie uzyskać pozwolenie na składowanie odpadów, w szczególności destruktu asfaltowego, co z kolei wymusza zastosowanie go do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych [9].

Polityka rządu Holandii wobec materiałów odpadowych ustanowiona w 1997 r. stawia na zrównoważony rozwój gospodarczy rozumiany jako połączenie wzrostu ekonomicznego z jednoczesnym zmniejszeniem szkodliwego wpływu na środowisko. W przypadku budownictwa drogowego zrównoważony rozwój polega na [9]:

- opracowaniu jasnych i jednoznacznych norm dotyczących materiałów możliwych do recyklingu,
- stosowania certyfikowanych programów kontroli jakości materiałów z recyklingu,
- określeniu jasnej polityki planowania i stosowania, pozwalająca producentom i wykonawcom przygotować się do nowych warunków rynkowych,
- inicjatywach rządowych, np. podatki od składowania materiałów odpadowych, nadających się do ponownego zastosowania.

We Francji o zastosowaniu materiałów z recyklingu w budownictwie drogowym zadecydować może zarządca drogi, określając zalecenia techniczne z dopuszczeniem materiałów z recyklingu. Natomiast wykonawca może zgłosić ofertę kontraktową zawierającą użycie materiałów z recyklingu, jest to możliwe nawet jeśli nie przewiduje tego specyfikacja kontraktowa. Największy efekt dało jednak ustanowione w 2002 r. prawo, które ogranicza składowanie materiałów nadających się do recyklingu [9].

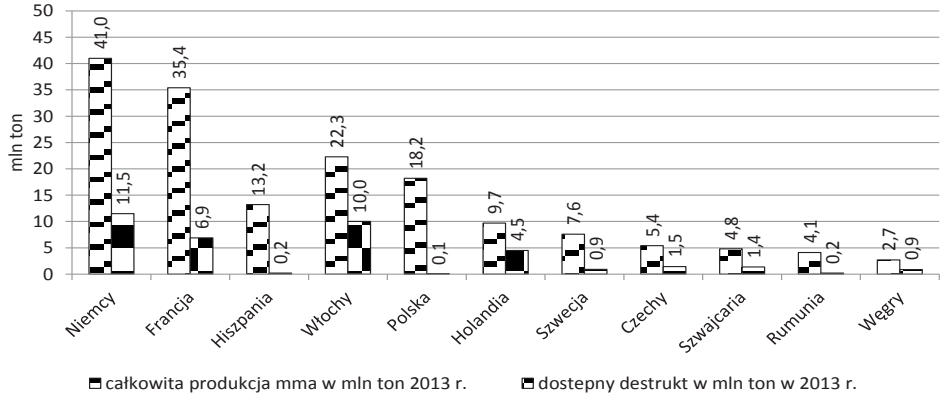
W Szwecji i Danii wzrost zainteresowania recyklingiem wymuszono przez wprowadzenie wysokich podatków za składowanie odpadów. W Szwecji opłaty te w przeliczeniu na złotówki wynoszą około 100 zł za tonę materiału odpadowego i około 2 zł za tonę materiału naturalnego. Podobna sytuacja jest w Danii, gdzie ceny składowania materiałów wynoszą około 250 zł za tonę w przypadku materiałów odpadowych i 3 zł za tonę materiałów naturalnych [9].

Na podstawie badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych Ameryki w ramach programu National Cooperative Highway Research Program [11] ustalono, że dodatek destruktu w ilości 20% do mieszanki mineralno-asfaltowej nie powoduje znacznej zmiany właściwości w produkowanej mieszance. Stwierdzono, że produkowane mieszanki zawierające dodatek około 40% materiału pochodzącego z recyklingu wykazują zwiększoną odporność na koleinowanie, natomiast charakteryzują się pogorszonymi właściwościami w zakresie spękań niskotemperaturowych oraz trwałości zmęczeniowej [11,12]. Usztywnienie asfaltu wynikające z postarzenia lepiszcza [13] w mieszance mineralno-asfaltowej podczas jej eksploatacji powoduje zmniejszenie odporności na powstawanie spękań oraz jest przyczyną ograniczonej ilości wprowadzonego materiału z recyklingu do nowej mieszanki [14]. Zdanie w zakresie wpływu ilości materiału asfaltowego pochodzącego z recyklingu na usztywnienie mieszanki jest jednak podzielone. Badania prowadzone w stanie Virginia w USA wykazały negatywny wpływ materiału z recyklingu na właściwości niskotemperaturowe niezależnie od jego zawartości (poniżej i powyżej 20%). Zmianę właściwości takich jak odporność na koleinowanie, działanie wody oraz zmęczenie zaobserwowano proporcjonalnie do zawartości materiału z recyklingu [15]. Badania prowadzone w stanie Indiana w USA również nie wykazały znaczącego wpływu dodatku destruktu asfaltowego w ilości 15-25% na właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej. Wprowadzenie do mieszanki mineralno-asfaltowej nawet 40% asfaltowego materiału z recyklingu nie spowodo-

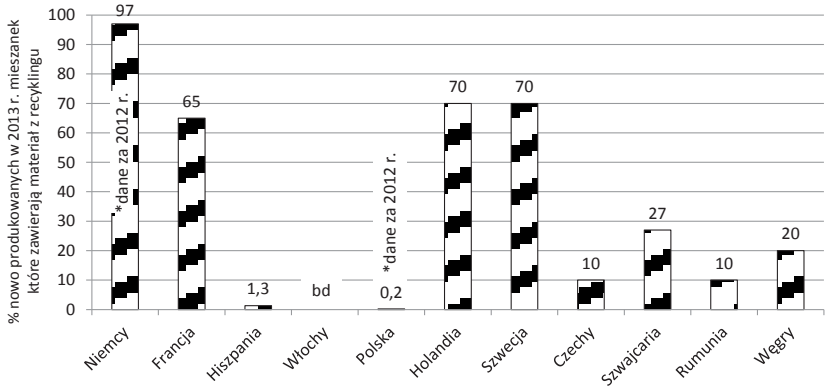
wało dużej zmiany właściwości. Badacze w swojej pracy wskazują konieczność dalszych badań nad stopniem usztywnienia mieszanki mineralno-asfaltowej w wyniku stosowania zestarzonego destruktu asfaltowego [16].

Technologia recyklingu nawierzchni asfaltowych w różnym stopniu rozwija się na świecie. Ma na to wpływ wiele czynników takich jak niedostosowanie przepisów prawnych lub obawa przed pogorszeniem właściwości nowej mieszanki zawierającej materiał z recyklingu. Obecnie prowadzone prace naukowo-badawcze są zorientowane na ocenę wpływu zastosowania destruktu asfaltowego o podwyższonych parametrach np. zawierających asfalt modyfikowany [17] lub stosowaniem substancji chemicznych odświeżających postarzone lepiszcze w materiale z recyklingu (asphalt rejuvenators) [18,19]. Ze względu na szybki rozwój technologii produkcji mieszanek asfaltowych w obniżonej temperaturze „na ciepło" (WMA), również w tej technologii upatruje się jednej z możliwości zwiększenia ilości wprowadzanego destruktu do mieszanek mineralno-asfaltowych w ilości nawet 90% [20]. Powodzenie w stosowaniu recyklingu w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni (warstwy wiążąca i podbudowy) powoduje również zainteresowanie badaniami nad zastosowaniem technologii recyklingu w warstwie ścieralnej [21] oraz wpływ zastosowania tej technologii na właściwości eksploatacyjne nawierzchni [22].

W Europie co roku produkuje się około 50 mln ton destruktu asfaltowego (rysunek 1). Są kraje które w znacznym stopniu wykorzystują ten materiał do produkcji nowych mieszanek. Jednak zarówno Unia Europejska jak i Europejskie Stowarzyszenie Nawierzchni Asfaltowych (EAPA) wskazują konieczność maksymalnego, nawet 100% wykorzystania destruktu. Aby osiągnąć ten cel konieczne jest wdrażanie technologii z jak największym udziałem materiałów z recyklingu. Udział w rynku nowych mieszanek mineralno-asfaltowych, w których zastosowano destrukt w poszczególnych krajach UE jest bardzo zróżnicowany (rysunek 2). O ile w krajach takich jak Niemcy, Francja, Holandia czy Szwecja technologia ta jest rozwinięta i szeroko popierana przez rząd i urzędy odpowiedzialne za nadzór nad drogami, istnieją także kraje, w których recykling nawierzchni asfaltowych musi być zwiększony (np. Hiszpania, Polska). Holandia jest jedynym krajem w Europie gdzie prawie wszystkie wytwórnie mas bitumicznych (95%) są przystosowane do stosowania granulatu (wg. EAPA). W Polsce udział ten wynosi 1%.



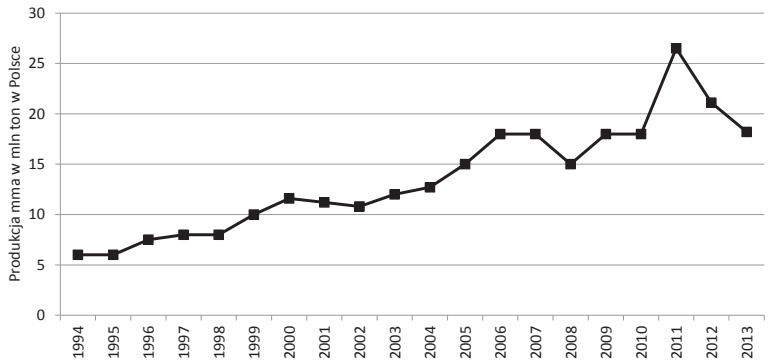
Rys. 1. Porównanie produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych i dostępnego destruktu asfaltowego uzyskanego z remontowanych nawierzchni (w mln ton, dane EAPA z 2013 r.)



Rys. 2. Procent nowo produkowanych w Europie mieszanek mineralno-asfaltowych, które w swoim składzie zawierają materiał z recyklingu (%, dane EAPA z 2013 r.)

3. Recykling nawierzchni asfaltowych w Polsce

Obecnie w Polsce częściowo jest on wykorzystywany jako jeden ze składników przy remontach lub budowie nowych nawierzchni, jednak najczęściej składowany jest na hałdach jako odpad lub wykorzystywany do formowania poboczy lub wykonywania nieutwardzonych dróg [9,10]. Obecnie w Polsce dopuszcza się stosowanie do 30% granulatu przy produkcji nowych mma w zależności od rodzaju i przeznaczenia produkowanej mieszanki. Głównym celem projektu jest opracowanie technologii pozwalającej na zwiększenie tego udziału z 30% do 90% m/m w zależności, od jakości dostarczonego destruktu i produkowanego z niego materiału końcowego. Jest to szczególnie istotne z punktu ochrony środowiska i ochrony naturalnych zasobów surowcowych Polski. Z analiz prowadzonych przez EAPA wynika, że Polska jest obecnie jednym z większych producentów mieszanek mineralno-asfaltowych w Europie (rysunek 1) z poziomem produkcji zbliżonym do takich krajów jak Włochy czy Hiszpania (dane wg EAPA za 2013 rok) choć w Hiszpanii w ostatnich latach produkcja mieszanek znacznie spadła.



Rys. 3. Produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych w mln ton wg w Polsce (dane EAPA z lat 1994-2013)

Z danych gromadzonych od 1994 roku wynika, że w Polsce istnieje trend wzrostowy produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych utrzymujący się od prawie 20 lat (rysunek 3). Niestety jednak rozwojowi technologii nawierzchni asfaltowych nie towarzyszy stosowanie

recyklingu. Najnowsze dane EAPA z roku 2013 nawet nie podają danych statystycznych odnośnie zagospodarowania destruktu, czy recyklingu na gorąco. Znamienna jest również informacja, że z spośród 300 wytwórni w Polsce, zaledwie 3 są przystosowane do recyklingu na gorąco [23]. Świadczy to o braku zaplecza technicznego do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco.

4. Założenia i cele projektu InnGA

Projekt badawczy pt. „Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej" pod akronimem InnGA jest realizowane przez konsorcjum naukowo-przemysłowe w skład, którego wchodzi Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska i BUDIMEX S.A.

Podstawowym celem projektu jest opracowanie technologii mieszanek mineralno-asfaltowych o możliwie maksymalnej zawartości granulatu asfaltowego przy zachowaniu odpowiednich właściwości mieszanki. Osiągnięcie takiego celu będzie poprzedzone m.in. badaniami laboratoryjnymi, pozyskaniem i przygotowaniem granulatu asfaltowego oraz technicznym przystosowaniem wytwórni mas bitumicznych.

Stosowanie wysokich zawartości granulatu w nowych mieszankach mineralno-asfaltowych będzie wymagało opracowania szczegółowych procedur związanych z jego pozyskaniem (ocena jakości i jednorodności) oraz przygotowaniem jako pełnowartościowego składnika mma. Procedury takie będą określały niezbędne działania związane z rozbiórką istniejących nawierzchni oraz segregacją pozyskanego z nich destruktu. Dzięki temu możliwe będzie jego maksymalne wykorzystanie w procesie produkcji nowych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Zastosowanie wysokich ilości granulatu będzie także wymuszało zastosowanie specjalnej aparatury produkcyjnej, która umożliwi uzdatnienie granulatu poprzez obróbkę cieplną i ewentualną aplikację środków regenerujących. Do obróbki cieplnej planuje się wykorzystać odrębny tzw. czarny bęben, przeznaczony tylko i wyłącznie do podgrzewania i suszenia granulatu asfaltowego oraz do dozowania środków regenerujących. Zadaniem środków regenerujących będzie przede wszystkim poprawa właściwości przygotowanego granulatu. Ponadto ich działanie ma na celu zwiększenie urabialność przygotowywanego granulatu bez potrzeby oddziaływania wysokiej temperatury (wyższej niż 140°C). W ten sposób ograniczone zostanie przyspieszone starzenie granulatu i „przepalanie" mastyksu. W ramach projektu zostaną przetestowane różne dostępne na rynku środki regenerujące, z których zostaną wybrane najbardziej optymalne.

W projekcie przewiduje się prace badawcze umożliwiające opracowanie procedur pozyskiwania i zarządzania destruktem asfaltowym oraz technologii stosowania destruktu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych. Prace rozwojowe będą dotyczyły opracowania określonych wymagań i procedur w aspekcie efektywności procesów produkcyjnych. Planuje się opracowanie modyfikacji oprzyrządowania istniejącej wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych, tak by możliwe było dozowanie przetworzonego destruktu asfaltowego zgodnie z nową technologią.

W pierwszej części projektu, przedmiotem działań będzie ocena i charakterystyka różnych rodzajów destruktu asfaltowego. Przeprowadzenie szczegółowych badań destruktów różnego pochodzenia pozwoli na określenie ich przydatności do nowych mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco oraz umożliwi wskazanie niezbędnych dodatków i materiałów potrzebnych do uzyskania mieszanek o odpowiednich właściwościach. Ostatecznie, zostaną opracowane procedury pozwalające na efektywne zarządzanie destruktem od

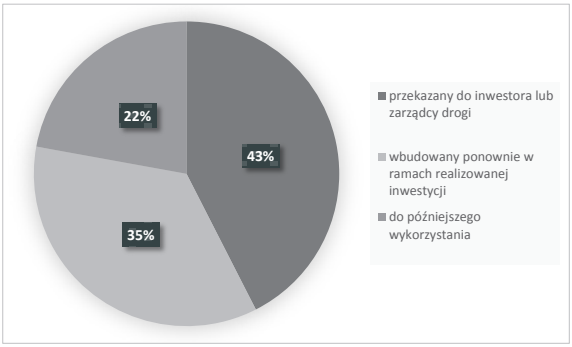
momentu jego pozyskania przez frezowanie do segregacji i przygotowania / przetworzenia, jako pełnowartościowego składnika nowych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Istotną częścią projektu będzie opracowanie metod projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym z jednoczesnym zapewnieniem wysokiej jakości i trwałości nowego materiału. W tej części zostaną podjęte działa nad doborem niezbędnych dodatków odnawiających (regenerujących) umożliwiających stosowanie dużych zawartości granulatu w mma. Przewiduje się zastosowanie środków regenerujących w postaci dodatków chemicznych i miękkich asfaltów oraz określenie wpływu stopnia starzenia się lepiszczy na właściwości wynikowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zaprojektowanie mieszanek w pierwszej fazie projektu posłuży do oceny ich właściwości w odniesieniu do mieszanek wykonanych z nowych materiałów bez użycia granulatu asfaltowego. Kolejne działania będą ukierunkowane na wykonanie w skali laboratoryjnej serii badań mieszanek mineralno-asfaltowych z różną ilością granulatu asfaltowego z uwzględnieniem procesu starzenia i dodatków odnawiających (regenerujących).

W następnym etapie, po wykonaniu serii badań laboratoryjnych i ustaleniu możliwych do zastosowania ilości granulatu asfaltowego, zostaną podjęte działania mające na celu opracowanie technologii produkcji mma z granulatem. Rezultatem prac będzie modyfikacja istniejącej wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych, tak by pozwalała ona na efektywne wykorzystanie destruktu.

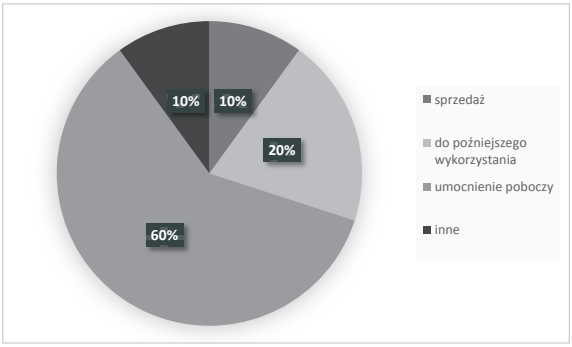
5. Wstępne badania rynku w Polsce

Jak wynika z informacji podanych w punkcie 2 i 3 niniejszego artykułu wykorzystanie destruktu asfaltowego do budowy nowych lub wzmacniania istniejących nawierzchni w Polsce jest niewielkie i dalece odbiega od standardów w krajach przodujących w tym zakresie. Z jednej strony przyczyn można doszukiwać się w braku doświadczenia oraz odpowiedniego sprzętu, szczególnie w zakresie technologii na gorąco. Można też powiedzieć, że Polska dopiero wchodzi w okres gdzie remontowane będą drogi wybudowane w ostatnich 20 latach, tj. w okresie największego boomu w drogownictwie. Wówczas należy się spodziewać, że pozyskiwany materiał będzie dużo lepszej jakości i jednorodności niż ten pochodzący z dróg wybudowanych w latach 70 czy 80-tych. Oczywiście, aby móc efektywnie zagospodarować destrukt asfaltowy w nadchodzących latach należy nie tylko przygotować się do tego pod względem technicznym, ale również formalnym. Konieczne jest przygotowanie wytycznych stosowania destruktu i granulatu asfaltowego z ukierunkowaniem na mieszanki na gorąco. Istnieje również potrzeba wypracowania dobrych praktyk gospodarowania destruktem oraz jego selektywnego pozyskiwania i składowania. Ważne jest również rozpowszechnienie wiedzy i przekonanie do jego stosowania zarządców dróg i projektantów. Obecnie dość często spotykana jest praktyka, w której destrukt traktowany jest jako odpad nienadający się do zastosowania. W ramach realizowanego projektu przewidziane są badania rynku i praktyk postępowania z destruktem w Polsce. W ten sposób pozyskane zostaną informacje, które mogą być pomocne w planowaniu przedsięwzięć mających na celu opracowanie polityki gospodarowania destruktem asfaltowym w Polsce. Już wstępna analiza przeprowadzonej wśród zarządców i wykonawców ankiety w interesującym stopniu przedstawia sytuację w Polsce. Po pierwsze destrukt praktycznie nie podlega odsprzedaży – po frezowaniu albo pozostaje w dyspozycji inwestora albo wykonawcy. Wykorzystywany jest albo w ramach tej samej inwestycji, albo gromadzony jest do późniejszego użycia. Średnio około 40% destruktu wykonawca oddaje do inwestora, a resztę w większości stara się wykorzystać na realizowanej budowie (rysunek 4).

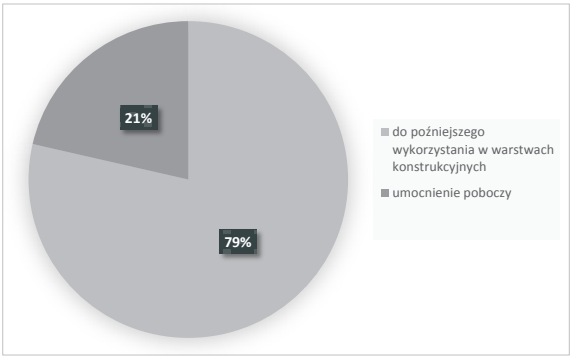


Rys. 4. Zagospodarowanie destruktu

Destrukt czy też granulat asfaltowy nie jest materiałem dostępnym na rynku. Jego zastosowanie w istotnej mierze zależy od tego w czyim jest posiadaniu (rysunek 5 i 6). W przypadku zarządców 60% destruktu zagospodarowywane jest do umacniania poboczy, a jedynie 20-30% do warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej. Proporcje te są zupełnie inne jeżeli materiał jest w dyspozycji wykonawcy. W takim przypadku 79% materiału trafia do warstw konstrukcyjnych nawierzchni, a tylko 21% jest wykorzystywane do umacniania poboczy. Niewątpliwie bardziej wskazane jest wykorzystanie destruktu do budowy warstw konstrukcyjnych. W ten sposób powtórnie wykorzystywane są wartościowe surówce nieodnawialne w najbardziej optymalny sposób.



Rys. 5. Sposób wykorzystania destruktu przez zarządcę lub inwestora



Rys. 6. Sposób wykorzystania destruktu przez wykonawcę

6. Podsumowanie

Racjonalne zagospodarowanie destruktu asfaltowego jest koniecznością z przyczyn ekonomicznych i ochrony zasobów naturalnych. Kraje przodujące w dziedzinie drogownictwa dążą do maksymalnego powtórnego użycia granulatu asfaltowego w produkcji nowych mieszanek mineralno-asfaltowych. W ostatnich 10-20 latach w Polsce nastąpił dynamiczny rozwój sieci drogowej. Po takim okresie eksploatacji drogi te w sposób naturalny poddawane są zabiegom odnowy lub przebudowy. Przy tej okazji należy dążyć do maksymalnego wykorzystywania destruktu asfaltowego, najlepiej w technologii na gorąco. W celu zwiększenia recyklingu na gorąco konieczne jest upowszechnienie wiedzy w tym zakresie wśród inwestorów, projektantów i wykonawców. Konieczny jest rozwój odpowiedniej bazy sprzętowej oraz stworzenie polityki zagospodarowania destruktu. Zakłada się, że projekt InnGA przyczyni się do rozwoju stosowania recyklingu mma na gorąco w Polsce. Efekt taki będzie uzyskany przez udowodnienie, że w naszych warunkach jest możliwe stosowania destruktu i granulatu w większych ilościach niż to dopuszczają przepisy techniczne. W związku z tym niezbędne jest szerokie rozpowszechnianie wyników projektu.

Podziękowania

Artykuł powstał w ramach projektu pt. „Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej" w ramach działania INNOTECH, ścieżka programowa In-Tech i jest współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka pod hasłem „Fundusze Europejskie – dla rozwoju innowacyjnej gospodarki".

Literatura

1 Piłat J., Radziszewski P. Nawierzchnie asfaltowe, WKŁ, Warszawa 2010.
2 Kossakowski M. Recykling jako wyzwanie techniczne i ekonomiczne przyszłości, Drogownictwo 9/2005.
3 Rolla S. Recykling po polsku, Drogownictwo 4/2000.
4 Iwański M. Chomicz A. Właściwości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym. Drogownictwo 9/2011.
5 Iwański M. Chomicz-Kowalska A. Experimental study of water and frost resistance of foamed bitumen mixes in the cold recycling technology. Paper No. P5EE-357. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul, 2012.
6 Iwański M, Buczyński P. Zastosowanie pyłów mineralnych w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym. Drogownictwo 5/2013.
7 Wymagania techniczne – WT-2 „Mieszanki mineralno-asfaltowe 2014", GDDKiA, Warszawa 2014.
8 Scholz T.V. Preliminary Investigation of RAP and RAS in HMAC. Oregon Department of Transportation. 2010.
9 Sybilski D. O potrzebie stosowania destruktu asfaltowego w Polsce, Drogownictwo 1/2011.
10 Sybilski D. Konstruktywny destrukt, Polskie drogi 5/2010.
11 NCHRP No. 253. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Methods: Guidelines. TRB National Academies, Washington 2001.
12 Król, J., Włodarski, P., Jackowski, Ł. Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych ze zwiększoną ilością granulatu asfaltowego. Drogownictwo 11/2014, str. 373-379.

13 Radziszewski P. Zmiany właściwości lepkosprężystych lepiszczy modyfikowanych i mieszanek mineralno-asfaltowych w wyniku procesu starzenia. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2007.
14 Al-Qadi I.L., M. A. Elseifi, and S. H. Carpenter, Reclaimed Asphalt Pavement – A Literature Review, Research Report FHWA-ICT-07-001, Illinois Center for Transportation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, 2007.
15 Maupin, G.W., Jr., S. D. Diefenderfer, and J. S. Gillespie, Evaluation of Using Higher Percentages of Recycled Asphalt Pavement in Asphalt Mixes in Virginia, Report No. VTRC 08-R22, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA, June 2008.
16 McDaniel R.S., Shah A., Huber G.A., Gallivan V.L. Investigation of Properties of Plant-Produced RAP Mixtures. Paper No. 07-2855. TRB Annual Meeting 2007.
17 Kim, S., Sholar G. A., Byron T., Kim J. Performance of Polymer Modified Asphalt Mixture with Reclaimed Asphalt Pavement. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol 2126. 2009. Pp. 109-114.
18 Gaweł I., Jerzykiewicz W., Niczke Ł. Dodatki zwiększające odporność asfaltów na starzenie. Zagadnienia materiałowo-technologiczne infrastruktury i budownictwa. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej Białystok 2008, str. 17-22.
19 Tran N., Taylor A., Willis R. Effect of rejuvenator on performance properties of HMA mixtures with high RAP and RAS contents. NCAT Report 12-05. Alabama 2012.
20 Arnold J.C., Nölting M., Riebesehl G., Denck C. Unlocking the full potential of reclaimed asphalt pavement (RAP) – high quality asphalt courses incorporating more than 90% RAP; A case study. Paper No. O5EE-187. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul, 2012.
21 McDaniel R.S., Kowalski K., and Shah A., "Evaluation of Reclaimed Asphalt Pavement for Surface Mixtures", Publication FHWA/IN/JTRP-2012/03. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2012. doi: 0.5703/1288284314665, 43 pages.
22 Kowalski K. J., McDaniel R. S, and Olek J. "Influence of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) on Surface Friction", Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Washington D.C., January 2010.
23 Asphalt in figures 2013, EAPA 2014, www.eapa.org

Use of reclaimed asphalt pavement – necessity and innovation

Wojciech Bańkowski[1], Dariusz Sybilski[1], Jan Król[2], Karol Kowalski[2], Piotr Radziszewski[2], Piotr Skorek[3]

[1] Road and Bridge Research Institute, email: wbankowski@ibdim.edu.pl, d.sybilski@ibdim.edu.pl
[2] Warsaw University of Technology, e–mail: j.krol@il.pw.edu.pl, k.kowalski@il.pw.edu.pl, p.radziszewski@il.pw.edu.pl
[5] Budimex S.A., e–mail: piotr.skorek@budimex.pl

Abstract: A responsible recycling of asphalt pavements is crucial in terms of economic and ecological measures related to preservation of non-renewable resources of bituminous binders and aggregates. Leading countries in road industry endeavour to maximise reclaimed asphalt pavement (RAP) application in production of new asphalt mixtures. Unfortunately, RAP re-using in Poland is limited and often results in construction works related to verge tabilization or construction of a subbase in mineral-cement-emulsion (MCE) technology. Application of RAP in asphalt mixture production, if happened, would

be restricted to cold RAP addition in a limited amount only. The aforementioned situation is mostly related to lack of contractor's experience, HMA plants not equipped with the necessary installation, agencies restrictions, tender conditions, problems with RAP homogeneity and others.

This paper presents InnGA research project in which the main goal was to develop the asphalt mixtures with as high as possible RAP content without compromising mixture performance. Project and its dissemination should provide necessary know-how to road authorities, agencies, design offices and contractors.

Keywords: recycling, asphalt pavement, reclaimed asphalt pavement, asphalt granulate.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 169-176

Estetyka rozwiązań mostowych Santiago Calatravy

Jan Wrana

Samodzielna Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: j.wrana@pollub.pl

Streszczenie: Mosty i wiadukty to nie tylko obiekty inżynierskie, zapewniające możliwość pokonania przeszkody i komunikację – to także elementy przestrzenne, widoczny w krajobrazie miasta. Mostom od wieków starano się nadać interesujący kształt; były one również niekiedy swoistymi bramami do miast – przykładem może być tu słynny most w Avignon. Także współcześnie są one wyrazem stylów i trendów w architekturze, nierzadko projektowane są przez uznanych twórców. Mosty to także coraz częściej dominanty przestrzenne, budowle wyraźnie rysujące się na tle zieleni lub tkanki miejskiej, współczesne symbole miast.

Santiago Calatrava, jeden z czołowych hiszpańskich architektów i projektant m.in. Miasta Sztuki i Nauki w Walencji, jest twórcą nie tylko obiektów kubaturowych. Jego dziełem są również liczne mosty, wiadukty i kładki, między innymi most „Puente De La Mujer" w Buenos Aires, most „Sundial" w Redding oraz kładka „Katehaki Bridge" w Atenach. Tworzy on rzeźbiarskie dzieła w żelbecie, łącząc wysublimowane poczucie estetyki z wyrafinowaną inżynierią. Lekkie, ażurowe, białe konstrukcje są zarówno praktyczne, jak i niezwykle estetyczne.

Słowa kluczowe: architektura, estetyka[1], mosty, Santiago Calatrava.

> *Jeśli uznamy jedność inżynierii i sztuki, a ja uważam, że taka istnieje i jeśli wrócimy do czasu, kiedy nie było różnicy między sztuką architektury i sztuką inżynierii, wtedy możemy przyjąć, że inżynieria sztuki jest w nas samych. Jest ona nie tylko naszym dziedzictwem, ale również jego źródłem, dlatego w ramach naszych zdolności musimy to dziedzictwo kontynuować i wzbogacać.*
>
> *Santiago Calatrava*[2]

1. Wstęp

Santiago Calatrava – mistrz wysublimowanej estetyki rozwiązań mostowych, światowej sławy architekt-konstruktor urodził się w Walencji w 1951 r. Po ukończeniu szkoły Sztuk i Rzemiosł, a także Escuela Técnica Superior de Arquitectura ze specjalnością architektury, oraz podyplomowego kursu na wydziale urbanistyki w Walencji, zdecydował się

[1] W. Tatarkiewicz, *Historia estetyki*, t. 3, Warszawa 1999, s. 380. Cyt.: *„(...) Zasady estetyczne w historii rozwoju architektury były związane z rozwojem myśli estetycznej i wartościami uniwersalnymi, które sprawiają, że niektóre dzieła architektury uważamy za wybitne. Z artystycznego, estetycznego punktu widzenia istnieje nieograniczona ilość zróżnicowanych form, które dzielimy na różne typy, zbiory zgodne z bieżącą potrzebą wypływającą z praktyki projektowania. Formy te zgodnie z zasadami percepcji wzrokowej człowieka i interakcji optycznych skłaniają nas do przeżyć estetycznych. Procesy te mają związek z psychiką człowieka, a ujmując problem ogólniej architektura ma związek z psychologią i psychiką człowieka."*

[2] www.nbi.compl/assets-pdf/2009/3-24-2009/pdf/12-dabrowiecki.pdf, s.41 [dostęp: 29.01.2016]

w roku 1975 na studia podyplomowe w Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) w Zurychu, które ukończył z tytułem doktora. Konieczność pogłębiania wiedzy inżynierskiej tłumaczył:

„Było we mnie niezwykle silne pragnienie, aby rozpocząć od zera. Zdecydowany byłem odłożyć na bok wszystko, nad czym pracowałem w szkole architektonicznej i nauczyć się rysować jak inżynier, a także myśleć jak inżynier. Fascynowało mnie pojęcie siły ciężkości i miałem nieodparte poczucie, że trzeba posługiwać się prostymi formami. Mogę powiedzieć, że moje upodobanie do prostoty w inżynierii wzięło się po części z obserwacji dzieł szwajcarskiego inżyniera Roberta Maillarta[3]. Jego proste formy dowodzą, że możliwe jest zawarcie w nich silnej treści i wywołania reakcji emocjonalnej. Dzięki właściwej kombinacji siły i masy można stworzyć uczucie" [4].

Santiago Calatrava od wczesnej młodości wykazywał zainteresowanie sztuką oraz wielką wrażliwość na estetykę i piękno ożywionej materii[5], a także świadomość przekazu idei w swoich pracach. Od pierwszych lat twórczych potwierdza w realizacjach współistnienie w jego przekazie: sztuki – architektury i inżynierii. Jednocześnie wnosi do własnej definicji architektury fascynację ruchem, przypominając:

„W sztuce XX wieku obecny jest element kinetyczny. Artyści tacy jak Alexander Calder, Naum Gabo czy Moholy-Nagy tworzyli rzeźby, które się ruszały. Ich prace zachwycają mnie i wywołują silne emocje...Po przemyśleniu tych kwestii, zobaczyłem rzeźbę starożytną w innym świetle. Dzieła takie jak Dyskobol Myrona tworzą napięcie oparte na momencie ruchu i to właśnie doprowadziło mnie do zainteresowania się problemem czasu jako zmiennej... Druga zasada dynamiki Newtona stwierdza, że przyspieszenie ciała zależy od dwóch zmiennych; siły działającej na ciało i masy ciała. Masa i przyspieszenie są ze sobą związane, zatem działa tu czas"[6],

oraz preferując w swoich szkicach koncepcyjnych przed projektowych rzeźb i architektury metafory z *„niezwykłą ideą powtarzalnego ruchu."*

Wręczając w 2005 r. Santiago Calatravie Złoty Medal przewodniczący American Institute of Architects, oświadczył: *„Santiago Calatrava w swej pracy dotarł do istoty architektury. Jego architektura wykracza poza wizję i wyraża energię ludzkiego ducha, porywa wyobraźnię i zachwyca nas cudownością jaką może osiągnąć rzeźbiarska forma i dyna-*

---

[3] C. Siegel, *FORMY STRUKTURALNE w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa 1964, s.146, *Mosty Mai- llarta w Szwajcarii należą do najpiękniejszych przykładów nowoczesnej sztuki inżynierskiej. Uchodzą one za wzorzec przy artystycznej ocenie dobrej formy technicznej. Znamienne jest to, że znajdują one uznanie raczej wśród ludzi interesujących się sztuką niż wśród inżynierów."*

[4] P. Jodido, *CALATRAVA*, TASCHEN/TMC Art, 2008 TASCHEN GmbH, ISBN 978-83-89192-52-3. s.7.

[5] U. Eco, *Historia piękna,* Dom wydawniczy REBIS, Poznań 2007, I, Rozdział XVI, s. 401, *„Od form abstrakcyj- nych do głębi materii, 1. Szukać posągów wśród kamieni, Sztuka współczesna odkrywa wartość i płodność mate- rii. Nie znaczy to oczywiście, że artyści innego czasu nie byli świadomi, że pracują nad pewnym materiałem i nie rozumieli, jak z owego materiału wywodzą się ich konstrukcje, niejedna twórcza podpowiedź, przeszkoda i wyz- wolenie. Już Michał Anioł utrzymywał, rzecz powszechna znana, iż rzeźba jawiła mu się jako już jako potencjal- nie zawarta w bloku marmuru, tak że artyście nie pozostawało nic innego, jak od kuć z kamienia to, co zbędne, aby wydobyć na światło ową formę, jaką materia już zawierała.",* s. 402. *„2.Współczesne przewartościowanie materii. W reakcji na to przekonanie estetyka współczesna przewartościowała materię. Inwencja, która miałaby się całkowicie mieścić w domniemanych głębiach Ducha i nie mieć nic wspólnego z wyzwaniami fizycznej i kon- kretnej rzeczywistości, jest bladym fantazmatem. Piękno, prawda, inwencja, kreacja nie stanowią jedynie części jakiejś anielskiej duchowości, ale mają także do czynienia ze światem rzeczy, których można dotknąć, które wydzielają zapach, przy upadku robią hałas, za sprawą grawitacji ciążą ku dołowi i poddane są zużyciu i prze- mianom, upadkowi oraz rozwojowi....I tak dla większej części sztuki współczesnej materia staje się już nie tylko ciałem dzieła, ale także jego celem, przedmiotem dyskursu estetycznego."*

[6] P. Jodido, *CALATRAVA, op.cit.*, s.10-11.

miczna konstrukcja. Santiago Calatrava w pełni zasługuje na Złoty Medal. Jego wizja wzmacnia ludzkiego ducha poprzez tworzenie otoczenia, w którym mieszkamy, bawimy się i pracujemy.[7]*"*

W przeprowadzonym wywiadzie z Santiago Calatravą opisującym prace nad nowym projektem węzła komunikacyjnego World Trade Center w Nowym Jorku, ten „geniusz przestrzeni" nadaje idei utrwalenia tej „tragicznej dla amerykanów najnowszej historii" aurę świętości, poruszając emocje nowojorczyków pomysłem – formy szklanego dachu – który według autora ma „wyobrażać ptaka ulatującego z dziecięcych dłoni". „*Stalowe żebra utrzymujące konstrukcję są przedłużone w górę, tworząc parę osłon przypominających rozpostarte skrzydła i osiągają maksymalną wysokość 51 metrów... Przy dobrej pogodzie każdego 11 września dach będzie mógł być otwarty na niebo"*[8].

Joseph Seymour, były dyrektor wykonawczy Zarządu Nowojorskiego Zespołu Portowego (Port Authority of New York and New Jersey) budującego stację powiedział *„Dla nas jest on Leonardem da Vinci naszych czasów (...). Łączy światło, powietrze i elegancję konstrukcji z siłą'"*[9]. Otwierając zrealizowany projekt Michael Blomberg, burmistrz Nowego Jorku, powiedział doniosłe słowa: *„Dziś odsłaniamy projekt nowego śródmiejskiego dworca PATH (Port Authority Trans-Hudson) i wyobrażamy sobie, że przyszłe pokolenia widzieć będą w tym budynku wierny zapis naszego dzisiejszego życia i odbudowy naszego miasta. Co zobaczą w ekscytującym dziele Santiago Calatravy? Zobaczą nowatorstwo projektu i siłę konstrukcji... I zobaczą optymizm – budynek zdaje się zrywać się do lotu – tak jak jego otoczenie, któremu służy"*[10].

2. Triada witruwiańska

W ponadczasowym dziele *O architekturze ksiąg dziesięć* sporządzonym przez Witruwiusza podczas wypraw z cesarzem Oktawianem do Aleksandrii w I-szym wieku p.n.e., sformułowana została przez mistrza triada pojęć: *utilitas, firmitas, venustas* (użyteczność, trwałość, piękno). Do dzisiaj zachowała ona swój przekaz w realizowanych dziełach Santiago Calatravy -utrwalając współcześnie przekazywane przekonanie o koniecznej jedności i harmonii oraz wywodzącej się z niej syntezy trzech czynników: formy, funkcji i konstrukcji, przyjmowanej przy ocenie wartości dzieła architektonicznego. Realizacje Calatravy są zarówno piękne, jak i trwałe oraz użyteczne – jest to osiągalne dzięki połączeniu architektury z inżynierią. Architektura odwołuje się do piękna, inżynieria – do użyteczności i trwałości.

Od XIX wieku trwa w środowisku dyskusja na temat roli inżynierii oraz związku – lub oddzielenia – osoby inżyniera i architekta. W swoim dziele *Przestrzeń, czas, architektura* Sigfried Giedion opisał konkurs na najlepszą pracę omawiającą wyżej wymieniony problem, który odbył się w 1877 roku w Akademii Francuskiej. Główną nagrodę zdobył Davioud, jeden z architektów Trocadéro, za odpowiedź: *„Nigdy nie nastąpi zgoda prawdziwa, całkowita i owocna, aż do dnia, w którym inżynier, artysta i naukowiec nie zostaną zespoleni w jednej osobie (...)*[11]. Przez dłuższy czas połączenie takie wydawało się nierealne, architektom zarzucano „kapryśną fantazję", inżynierom -przedkładanie aspektów technicznych nad estetykę.

---

[7] Tamże.
[8] Tamże, s. 87.
[9] Tamże, s. 11.
[10] Tamże, s. 18.
[11] Tamże,, s. 12, za: S. Giedion, *Przestrzeń, czas, architektura,* Warszawa 1968.

Santiago Calatrava jest jednak przykładem, iż artysta, inżynier i naukowiec mogą zawierać się w jednej osobie. Harmonijnie łączy zmysł artystyczny architekta i ścisły umysł inżyniera-konstruktora, dzięki czemu jest w stanie w pełni realizować założenia triady Witruwiusza.

W katalogu wystawy Calatravy w nowojorskim Museum of Modern Art znalazły się te znaczące słowa: *„Calatrawa jest częścią znamienitego dziedzictwa inżynierii XX wieku. Tak samo jak ci należący do poprzednich pokoleń – Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja i Felix Candela – Calatrava wykracza poza podejście ograniczające się do rozwiązywania problemów technicznych. Dla tych inżynierów konstrukcja jest równowagą pomiędzy naukowym kryterium efektywności a nowatorstwem form. Calatrava uważa inżynierię za 'sztukę możliwą' i poszukuje nowego języka formy opartego na technicznym know - how, a zarazem nie będącego hymnem na cześć techniki".*

Realizacje Calatravy - zarówno budynki, jak i konstrukcje inżynierskie – to wyważone połączenie finezji architektury i stabilności konstrukcji. Cechują się one charakterystyczną, rozpoznawalną na pierwszy rzut oka architekturą – są lekkie, delikatne, strzeliste, zwykle białe. Sprawiają wrażenie, że unoszą się nad ziemią i właściwie nic nie ważą. Smukłości i lekkości nadają im ażury i przeszklenia. Jednocześnie, wszystkie te obiekty są znakomicie rozwiązane konstrukcyjnie i funkcjonalnie. Dzięki unikatowemu stylowi architekta są także słynne i łatwo rozpoznawalne; niektóre z nich stały się wręcz symbolami swoich miast – np. Walencji.

3. Wybrane przykłady mostów

3.1. Most „Puente De La Mujer" Buenos Aires, 1998-2001

Rys. 1. Most „Puente de la Mujer" – widok nocą. Źródło: www.pinterest.com [dostęp: 25.01.2016]

Most „Puente de la Mujer" („Most Kobiet"), oddany do użytku w 2001 roku, zlokalizowany jest w dzielnicy Puerto Madero - rejonie portowym Buenos Aires. Łączy on Dok 3 z miastem. Obiekt ma jest konstrukcję podwieszaną (wantową), jest przeznaczony wyłącznie dla pieszych. Składa się z trzech części: dwóch stałych – po stronie nabrzeży i środkowej – oraz ruchomej. Głównymi elementami mostu są 35-metrowy pylon w kształcie iglicy

oraz horyzontalny pokład, podwieszony do 19 lin wieszaków (kabli wantowych)[12]. Konstrukcja pylonu jest asymetryczna w stosunku do osi mostu. Jest ona osadzona na jednej podporze, która obraca się o 90 stopni, umożliwiając swobodną żeglugę. Całkowity ciężar mostu to 800 ton, długość – 160 metrów, a koszt jego powstania – 6 mln dolarów.

Calatrava nadał mostowi formę przestrzennej, dynamicznej rzeźby. Zarys mostu ma symbolizować parę tańczącą tango – jest to wyraźne nawiązanie do kultury i tradycji miasta, słynącego z właśnie tego tańca. Strzelisty pylon odchylony jest od horyzontu o 39 stopni i ma obrazować pochylonego w tangu mężczyznę, podtrzymującego kobietę. Biały kolor podkreśla smukłość konstrukcji, wyraźnie rysującej się na ciemnym tle wody i budynków portowych. Całość zdecydowanie wyróżnia się na tle przemysłowego, „technicznego" otoczenia – jest prosta i wręcz ascetyczna, ale zarazem wyrazista i elegancka.

Most Calatravy jest jednym z projektów związanych z rewitalizacją dzielnicy portowej, która realizowana jest w oparciu o plan generalny z 1989 roku autorstwa Corporación Antiguo Puerto Madero[13].

3.2. Most "Sundial", Redding, stan Kalifornia, USA, 2004

Most „Sundial" jest pierwszą realizacją Calatravy na terenie Stanów Zjednoczonych. Został oddany do użytku w 2004 roku po trwającej dwa lata budowie, umożliwia pokonanie rzeki Sacramento pieszym i rowerzystom.

Podobnie jak most w Buenos Aires, „Sundial" został zaprojektowany jako konstrukcja podwieszana. Pylon, mierzący 66 metrów, został odchylony od pionu o 41 stopni[14]. W odróżnieniu od „Puente de la Mujer", nie pochyla się on nad mostem, lecz w przeciwnym kierunku. Dzięki temu zabiegowi pylon rzuca niewiele cienia na wodę i nie zakłóca naturalnego środowiska rzeki. Pylon pełni także funkcję zegara słonecznego – rzuca cień na tarczę, umieszczoną w niewielkiej odległości od konstrukcji.

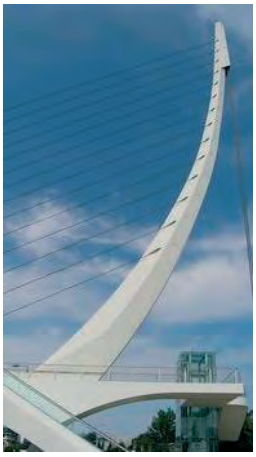
Całkowity ciężar mostu to 1600 ton, długość – ponad 213 metrów, a koszt budowy – 23,5 mln dolarów.

Potężna konstrukcja (sam pylon waży 580 ton) jest niezwykle lekka i elegancka. Biała, strzelista iglica wyraźnie odcina się od ciemnej zieleni drzew i błękitu wody, tworząc wyrazistą, lecz zarazem spokojną kompozycję. Forma mostu jest podobna do obiektu z Buenos Aires, diametralnie różne jest jednak jego otoczenie – zamiast portowych zabudowań, w sąsiedztwie „Sundial" znajduje się zielona dolina rzeki Sacramento. Charakterystyczna sylwetka mostu jest mocnym znakiem w przestrzeni, można określić ją mianem inżynierskiej rzeźby.

Rys. 2. Most „Sundial" na tle krajobrazu okolic Redding. Źródło: voda-mag.com/calatrava/ [dostęp: 25.01.2016]

[12] K. Dąbrowiecki., *Santiago Calatrava – poeta szkła i stali,* „Nowoczesne budownictwo inżynieryjne", maj-czerwiec 2009, s. 42.
[13] P. Jodido, *CALATRAVA, op.cit.*, s.69.
[14] K. Dąbrowiecki., *Santiago Calatrava – poeta szkła i stali, op.cit*, s. 42.

3.3. Kładka “Katehaki Bridge”, Ateny, Grecja. 2004.



Rys. 3, 4. Kładka w kierunku terenów Olimpiady w Atenach – widok ogólny i zbliżenie na pylon. Źródło: www.structurae.net/structures/katehaki-bridge [dostęp: 26.01.2016]

Kładka „Katehaki” jest jednym z symboli Igrzysk Olimpijskich w Atenach w 2004 roku, a jednocześnie jubileuszowym, 50. mostem w dorobku Calatravy. Cały kompleks olimpijski, zlokalizowany w Marousi, na północnym przedmieściu Aten, jest dziełem właśnie tego architekta.

Kładka, podobnie jak poprzednie przykłady, jest konstrukcją podwieszaną. W tym przypadku pylon - o wysokości 50 m – otrzymał organiczną, zakrzywioną formę, zwężającą się ku górze. Smukła iglica sprawia wrażenie, jakby wbijała się prosto w niebo. Pomost również jest asymetryczny – został on podwieszony tylko z jednej strony, co wzmacnia wrażenie lekkości konstrukcji. Inspiracją dla architekta była starożytna Grecja, a w szczególności słynne ateńskie statki. Kładka ma 94 metry długości. Niestety, z powodu dość niekorzystnej lokalizacji utrudnione jest podziwianie dzieła w całej okazałości.

Wzniesiona została w pobliżu stacji metra o tej samej nazwie. Stacja ta – jako jedyna w Atenach - z przyczyn technicznych nie posiada wyjść po dwóch stronach ulicy, co znacznie utrudniało komunikację pasażerów, zmuszonych pokonywać ruchliwą Mesogion Avenue. Wzniesienie kładki umożliwiło bezkolizyjny dostęp do metra.

4. Podsumowanie

Santiago Calatrava jest geniuszem, doskonale łączącym pracę architekta i inżyniera-konstruktora. W swoich realizacjach harmonijnie łączy intrygującą, piękną „skórę” architektoniczną i trwałą, użyteczną konstrukcję, a efektem są obiekty spełniające witruwiańską triadę *utilitas, firmitas, venustas.* Jego konstrukcje mostowe to nie tylko inżynierskie rozwiązanie umożliwiające pokonanie przeszkody. To równocześnie przestrzenne rzeźby o dużej skali, element z daleka widoczny w krajobrazie – naturalnym lub miejskim. Łączą one wysublimowane poczucie estetyki z wyrafinowaną inżynierią. Lekkie, ażurowe, białe konstrukcje są zarówno praktyczne, jak i niezwykle estetyczne.

Architekt projektuje swoje obiekty kompleksowo: począwszy od szkiców koncepcyjnych – często inspirowanych naturą, poprzez formę i konstrukcję, na detalach kończąc. Przykładem dbałości o detale może być wykończenie mostu „Sundial” z zastosowaniem

estetycznych, przeciwpoślizgowych szklanych paneli, które dają wrażenie lekkości, wyznaczeniem ścieżki rowerowej kawałkami granitu, pokryciem podparć i zakotwiczeń drobno potłuczoną białą ceramiką. Zróżnicowano również kształt i profile barierek, dzięki czemu podkreślono dynamikę konstrukcji. Most jest dziełem dopracowanym w najdrobniejszych szczegółach, a tendencja ta dotyczy wszystkich dzieł Calatravy.

Rys. 5, 6. Detale mostu „Sundial" w Redding. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Sundial_Bridge [dostęp: 28.01.2016]

„Rzeźbiarz w żelbecie" w swoich dziełach łączy pozornie przeciwstawne cechy: stosuje beton, materiał pozornie ciężki, formując z niego jak z plasteliny delikatne, miękkie kształty.

„Calatrava jest bowiem, według słów Manuela Blasco, „niezwykłym twórcą pomników – łączy swe prace ze środowiskiem, przekształca obraz świata, w którym żyjemy, czyniąc go zarówno jego własnym jak i naszym własnym, tworząc przestrzenie nowej ery i symbole naszego społeczeństwa". (Marco Tagliatori)

Calatrava należy do wąskiego grona twórców, którym udało się powiązać współczesne osiągnięcia inżynierii z formami organicznymi.[15] Charakterystyczne, wyrafinowane projekty Hiszpana stały się już jego znakiem rozpoznawczym i zdążyły zapisać się w historii architektury współczesnej.

Literatura

1 Agnoletto M., Boccia F., Cassara S., Di Marco A., Rosso G., Yagliarori M., *Dzieła nowoczesnej architektury,* Karmar S.A. Warszawa2007.
2. Dąbrowiecki K., *Santiago Calatrava- poeta szkła i stali,* „Nowoczesne budownictwo inżynieryjne", maj-czerwiec 2009, s. 40-43.
3. Eco U., *Historia piękna,* Dom wydawniczy REBIS, Poznań 2007.
4. Jodido P.,*CALATRAVA*, TASCHEN/TMC Art, Köln 2008.
5. Janowska D., *Spojrzenie inżynierskie na dorobek Santiago Calatravy w dziedzinie mostownictwa wraz z analizą mechaniczną wybranych konstrukcji,* praca dyplomowa, Wydział Inżynierii Lądowej PK 2010.

[15] A. Prokopska, *Jedność formy i konstrukcji w architekturze mostów*, „Drogi i Mosty", nr 4/2007, s. 40.

6. Kozłowski D., *Metafory Santiago Calatravy*, Cement Polski, styczeń/luty 1999.
7. Prokopska A., *Jedność formy i konstrukcji w architekturze mostów*, „Drogi i Mosty", nr 4/2007, s. 33-40.
8. Siegel C., *FORMY STRUKTURALNE w nowoczesnej architekturze*, Arkady, Warszawa 1964.
9. Tatarkiewicz W., *Historia estetyki*, Warszawa 1999.
10. Witruwiusz M., *O architekturze ksiąg dziesięć* (M. Pollio Vitruvius ~ 70 p.n.e., Rzym), Warszawa 1952.
11. Wrana J., *Santiago Calatrava – rzeźbiarz w żelbecie,* „Inżynieria i Budownictwo", nr 8/2010, s. 413-414.
12. Wysocka S., *Most w Wenecji do poprawki. Calatrava zapłaci za swoje błędy?,* bryla.pl 13.01.2014 [dostęp: 24.02.2015]

Aesthetics of bridging solutions of Santiago Calatrava

Jan Wrana

Independent Architectural Lab, Faculty of Building and Architecture,
Lublin University of Technology, e–mail: j.wrana@pollub.pl

Abstract: Bridges and viaducts are not only engineering solutions, ensuring the possibility to overcome obstacles and communication – they are also a spatial elements, visible in the city landscape. For centuries, it was attempted to give the bridges an interesting shape; they were sometimes specific gates to the cities, too – the example here can be the famous bridge in Avignon. Also today they are the expression of styles and trends in architecture, often designed by renowned artists. Additionally, bridges increasingly often become the spatial dominants, constructions clearly silhouetted against the greenery or urban tissue, the contemporary symbols of the cities.

Santiago Calatrava, one of the leading Spanish architects and designer of, among others, the City of Arts and Sciences in Valencia, is the creator of not only enclosed structures. His works also include numerous bridges, viaducts and walkways, among others: "Puente De La Mujer" in Buenos Aires, the "Sundial" bridge in Redding and the "Katehaki Bridge" footbridge in Athens. He creates sculptural works in reinforced concrete, combining the sublime sense of aesthetics with sophisticated engineering. Light, openwork, white constructions are both practical and extraordinarily appealing.

Keywords: architecture, aestethics, bridges, Santiago Calatrava.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 177-189

Analiza statyczna i modalna Mostu Solidarności w Płocku

JarosławBęc[1], Michał Jukowski[2]

[1] Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: j.bec@pollub.pl
[2] Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: m.jukowski@pollub.pl

Streszczenie: Mosty podwieszone to piękne konstrukcje, które dzięki swoim gabarytom oraz kształtom wprawiają w zachwyt nie jednego obserwatora. Zaprojektowanie takiego obiektu jest nie lada wyzwaniem dla projektantów. Konstrukcje te muszą przenosić duże siły wynikające z obciążeń eksploatacyjnych, zmian temperatury oraz pochodzących z parcia wiatru. W dzisiejszych czasach, każdy most podwieszony i wiszący musi zostać poddany specjalnym analizom, które zagwarantują jego bezpieczne użytkowanie. Projektant nie może dopuścić do sytuacji, która miała miejsce 7 listopada 1940 r. w północno-zachodniej części Stanów Zjednoczonych Ameryki w miejscowości Tacoma, gdzie doszło do katastrofy budowlanej mostu wiszącego. Konstrukcja uległa zniszczeniu w wyniku zbieżności częstotliwości drgań własnych giętnych i skrętnych przęsła oraz zbyt małej sztywności przęsła. Autorzy poniższego artykułu dokonują analizy modalnej Mostu Solidarności w Płocku. Wspomniana konstrukcja jest najdłuższym obiektem podwieszonym w Polsce oraz jednocześnie najdłuższym mostem podwieszonym na świecie z przęsłem podwieszonym w jednej osi do pylonów kolumnowych zamocowanych w pomoście. Dodatkowo autorzy przeprowadzili analizę statyczną w celu weryfikacji przemieszczeń pionowych i poziomych konstrukcji, wynikających z różnych kombinacji obciążeń zmiennych.

Słowa kluczowe: MES, analiza statyczna, drgania własne konstrukcji.

1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy autorzy podjęli się przeprowadzenia analizy Mostu Solidarności w Płocku. Opracowanie ma na celu weryfikację zachowania się konstrukcji pod wpływem różnego rodzaju oddziaływań, tzn.: ciężaru własnego konstrukcji, obciążenia taborem samochodowym oraz oddziaływania wiatru. Dokonywanie tego typu analiz jest bardzo ważnym aspektem społecznym oraz środowiskowym. Każdy uczestnik ruchu poruszający się po takim obiekcie musi odczuwać bezpieczeństwo oraz komfort jazdy. Mosty podwieszone i wiszące często określanesą mianem "ikon" miast, w których się znajdują, bądź do których umożliwiają dojazd. Konstrukcje te przyciągają rzeszę turystów, pasjonatów, inżynierów czy też konstruktorów z całego świata, dlatego też muszą być wkomponowane w otoczenie oraz dostosowane do istniejących warunków środowiskowych. Te ogromne obiekty umożliwiają pokonywanie tras, które kiedyś były nie do przekroczenia. Są bardzo ważnym punktem w rozwoju komunikacji, przełamywaniu wszelkich barier etnicznych, społecznych, kulturowych. Umożliwiają rozwój miast pod kątem gospodarczym, turystycznym, naukowym. Stają się nieodłączną, integralną częścią miasta, która jest bezpośrednio z nim utożsamiana.

W pracy przeprowadzono dwie analizy: statyczną, dzięki której otrzymano wartości naprężeń i przemieszczeń konstrukcji oraz modalną, uzyskując dziesięć częstości i postaci

drgań własnych. Dzięki wyżej wspomnianym analizom możliwy jest odpowiedni dobór parametrów oraz gabarytów przekrojów poszczególnych elementów mostu. Ma to bardzo duży wpływ na optymalne wykorzystanie materiałów konstrukcyjnych. Zredukowanie ilości materiałów zużytych na wybudowanie mostu nawet o kilka procent, wpływa pozytywnie na środowisko. Co więcej końcowy efekt estetyczny odnośnie konstrukcji mostu wynika bezpośrednio z powyższych analiz, które potwierdzają, iż bezpieczne użytkowanie mostu w takiej formie jest możliwe.

Na podstawie otrzymanych wyników sprawdzono stan graniczny użytkowalności oraz nośności w zależności od zastosowanej kombinacji obciążeń. Analizę przeprowadzono w programie AutodeskSimulationMultiphysics 2012. Na potrzeby analizy stworzono sześć scenariuszy obliczeniowych, które zostały opisane w rozdziale 2.1.1.

2. Opis konstrukcji

Most Solidarności w Płocku jest obiektem inżynierskim o konstrukcji podwieszonej. Na etapie projektowania został on podzielony na dwie części: most główny o długości 615,00 m oraz most inundacyjny (dojazdowy), nad terenami zalewowymi o całkowitej długości 585,00 m. Poniższa analiza dotyczy tylko mostu głównego.

Przekrój poprzeczny mostu stanowi stalowa, trójkomorowa skrzynia o stałej wysokości względem blachy dolnej i górnej. Szerokość całkowita przekroju wynosi 27,50 m, z czego 16,50 m stanowi górna część skrzynki oraz dwa wsporniki o długości 5,50 m każdy. Szerokość dolnej płyty wynosi 13,00 m. Na użytkowej szerokości przekroju możemy wyróżnić [2]:

- dwie jezdnie rozdzielone pasem rozdziału, każda o szerokości 8,80 m,
- obustronne chodniki o szerokości 2,50 m każdy,
- pas rozdziału o szerokości 2,50 m.

Górny pas stanowi płyta ortotropowa, wzmocniona żebrami podłużnymi o przekroju zamkniętym w strefach występowania jezdni oraz żebrami podłużnymi otwartymi z płaskowników, w miejscach występowania chodników i pasa centralnego.

Pylony typu kolumnowego zostały w całości wykonane ze stali. Posiadają zmienny przekrój na całej swojej wysokości – najszerszy w miejscu jego zamocowania w przęśle. Wysokość pylonów nad poziomem jezdni wynosi 63,67 m.We wnętrzu pylonów zostały przewidziane drabinowe ciągi komunikacyjne, dzięki którym możliwa jest ciągła kontrola stanu zakotwień.

Przekrój podłużny składa się z pięciu przęseł: głównego podwieszonego o długości 375,00 m oraz czterech bocznych o długościach 60,00 m każde. Most posiada spadek podłużny wynoszący 0,50 %.

W Moście Solidarności zastosowano niesymetryczny układ podwieszenia, zwany wachlarzowym. Przęsło główne podwieszono dzięki zastosowaniu czternastu par cięgien, po 7 wychodzących z każdego pylonu. Cięgna podwieszające zostały zakotwione w przęśle głównym w modularnym rozstawie wynoszącym 22,50 m, z wyjątkiem pierwszegoodległego od pylonu o 41,25 m. Przęsła boczne podwieszono cięgnami w rozstawie równym 15,00 m, również z wyjątkiem pierwszego, które zamocowano w odległości 30,00 m od pylonu.

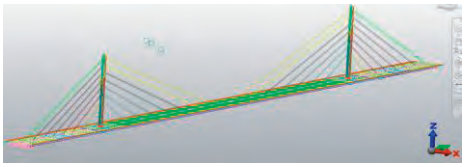
2.1. Opis modelu obliczeniowego mostu

W celu wykonania modelu obliczeniowego wykorzystano program Autodesk Simulation Multiphysics 2012 Student Version. Stworzony model geometrii mostu został zakwalifikowany do klasy (e^1+e^2; p^3), zgodnie z [1]. Symbole e^1 i e^2 oznaczają

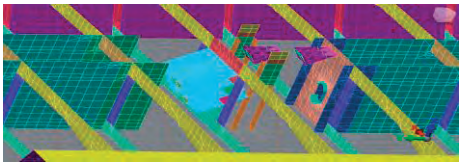
wymiar zastosowanych elementów, zaś symbol p^3 oznacza wymiar przestrzeni w jakiej został wykonany model. Na etapie tworzenia modelu wykorzystano następujące elementy:

- Shell / plate– płytowe,
- Beam– ramowe,
- Truss– kratowe.

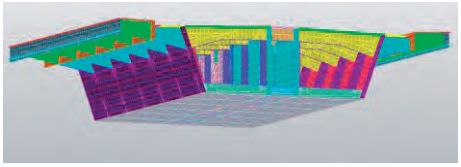
Opracowany model składa się z 893 694 elementów, z czego 643 257 to elementy płytowe (Plate), 250 381 elementy ramowe (Beam) oraz 56 elementy kratowe (Truss). W modelu występuje bardzo dużo elementów, które nie są połączone osiowo. W celu zamodelowania takich połączeń, autorzy posłużyli się opcją OFFSET, umożliwiającą rzeczywiste odwzorowanie połączenia danych elementów, poprzez przesunięcie osi łączących środki ciężkości przekrojów elementów we wskazaną lokalizację. Poniżej na rysunkach 1 ÷ 6, przedstawiono opisywany model.



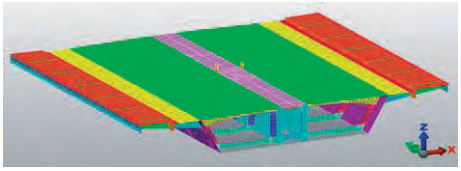
Rys. 1. Widok aksonometryczny modelu obliczeniowego



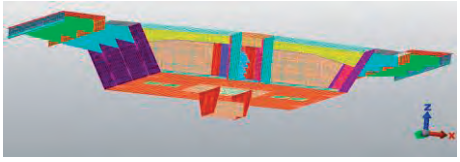
Rys. 2. Widok bloków kotwiących



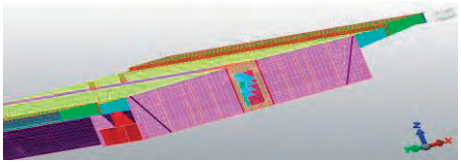
Rys. 3. Jedna z jednostek montażowych przęsła nurtowego



Rys. 4. Widok na jednostkę montażową przęsła nurtowego



Rys. 5. Widok segmentu nad podporą nr 2 z widocznymi elementami kotwiącymi przęsło w podporze, poprzez zastosowanie cięgien sprężających



Rys. 6. Jednostka montażowa nr 1 ze specjalnie dobudowanym wspornikiem, kotwiącym segment do podpory

W programie Autodesk Simulation Multiphysics na etapie analizy liniowej (Static Stress with Linear Material Models), nie jest możliwe dodanie sił wstępnego naciągu do cięgien. Operacja ta jest możliwa tylko w analizie nieliniowej (Static Stress with Non Linear Material Models). Niestety, ze względu na bardzo obszerny model, analiza nieliniowa była niemożliwa do przeprowadzenia. Nadanie wantom wstępnego naciągu w analizie liniowej było możliwe poprzez obciążenie cięgien temperaturą. Autorzy wykorzystując prawo Hooke'a oraz prawo rozszerzalności termicznej, uzyskali związek pomiędzy naprężeniami, a temperaturą. Następujące wzory opisują wyżej wspomnianą zależność.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \,, \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}, \tag{2}$$

$$\Delta t = \frac{F}{E \cdot A \cdot \alpha}. \tag{3}$$

gdzie: E – moduł Younga [MPa], α – współczynnik rozszerzalności termicznej [1/K], F – wartość siły naciągu cięgna [kN], A – pole przekroju poprzecznego cięgna [m^2].

2.1.1. Kombinacje obciążeń

Wpowyższym opracowaniu zastosowano cztery scenariusze obliczeniowe, które według autorów mogą mieć istotny wpływ na wartości sił wewnętrznych w konstrukcji. Obciążeniem wiodącym (stałym) jest ciężar własny, który występuje w każdej kombinacji. Dodatkowo uwzględniono obciążenia zmienne wywołane obciążeniem od pojazdów oraz wiatru, a także obciążenie pochodzące od ciężaru nawierzchni. Kombinację obciążeń w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych zgodnie z rozdziałem 6 normy [3] wyznacza się za pomocą wzoru $\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j} + \gamma_{Q,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$ w sytuacji, gdy sprawdzamy Stan Graniczny Nośności (SGN) oraz wzoru $\sum_{j\geq 1}G_{k,j} + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i}$ w przypadku sprawdzenia Stanu Granicznego Użytkowalności (SGU).

Preferowane kombinacje Stanu Granicznego Nośności (SGN) to:

- ciężar własny + obciążenie ruchome według normy PN-EN 1991-2:

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k + \gamma_q q_k, \tag{4}$$

- ciężar własny + obciążenie ruchome według normy PN-85/S-10030:

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k + \gamma_q q_k, \tag{5}$$

- ciężar własny + obciążenie wiatrem:

$$\gamma_G G_k + \gamma_w Q_{kw}, \tag{6}$$

- ciężar własny + obciążenie ciężarem nawierzchni:

$$\gamma_G G_k + \gamma_G G_{kn},$$

Preferowane kombinacje Stanu Granicznego Użytkowalności (SGU) to:

- ciężar własny + obciążenie ruchome według normy PN-EN 1991-2:

$$G_k + \Psi_{1,1} Q_k + \Psi_{1,2} q_k, \tag{7}$$

- ciężar własny + obciążenie ruchome według normy PN-85/S-10030:

$$G_k + \Psi_{1,1} Q_k + \Psi_{1,2} q_k, \tag{8}$$

- ciężar własny + obciążenie wiatrem:

$$G_k + \Psi_{1,1} Q_{kw}, \tag{9}$$

- ciężar własny + obciążenie ciężarem nawierzchni:

$$G_k + G_{kn}, \tag{10}$$

W powyższych kombinacjach nie uwzględniono towarzyszących oddziaływań zmiennych. Każda kombinacja składa się z obciążenia ciężarem własnym i dominującym oddziaływaniem zmiennym.

gdzie: γ_G – współczynnik częściowy dla oddziaływań stałych, uwzględniający niepewność modelu i zmiany wymiarów, γ_Q – współczynnik częściowy dla oddziaływań zmiennych, uwzględniający niepewność modelu i odchyłki wymiarów, γ_q – współczynnik częściowy dla oddziaływań zmiennych, uwzględniający niepewność modelu i odchyłki wymiarów, γ_w – współczynnik częściowy dla oddziaływań wiatru, G_k – wartość charakterystyczna oddziaływania stałego, G_{kn} – wartość charakterystyczna ciężaru nawierzchni, Q_k – wartość charakterystyczna oddziaływania zmiennego, $\Psi_{1,1}$ – współczynnik dla wartości częstej oddziaływania zmiennego 1, $\Psi_{1,2}$ – współczynnik dla wartości częstej oddziaływania zmiennego 2.

2.1.2. Modelowanie obciążenia

Wykonane zostały analizy statyczne z uwzględnieniem następujących modeli:

- Model obciążenia ciężarem własnym konstrukcji,
- Model obciążenia ciężarem własny konstrukcji i ciężarem nawierzchni,
- Model obciążenia przęsła nurtowego obciążeniem zmiennym według normy PN-EN 1991-2 (Model LM1),
- Model obciążenia przęsła nurtowego obciążeniem zmiennym według normy PN-85/S-10030 (Model K+q),
- Model obciążenia przęsła nurtowego trzydziestoma dwoma pojazdami Tatra T-815,
- Model obciążenia wiatrem zgodnie z normą PN-EN 1991-1-4.

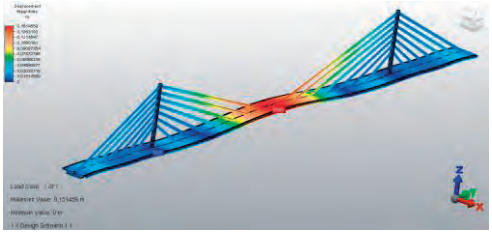
Poniżej opisano w sposób bardziej szczegółowy każdy z modeli oraz zamieszczono wyniki analizy statycznej.

1) Model 1 i 2 - obciążenie ciężarem własnym i ciężarem własnym z nawierzchnią.

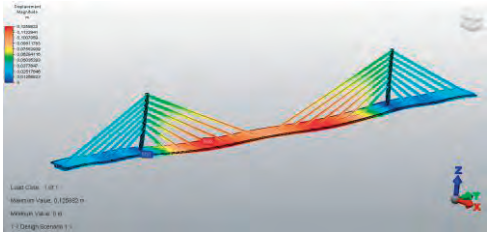
Wartość obciążenia ciężarem własnym została automatycznie uwzględniona przez program, na podstawie nadanych charakterystyk geometrycznych i materiałowych elementów wchodzącym w skład modelu. Ze względu na brak szczegółowych informacji dotyczących grubości warstw nawierzchni, autorzy przyjęli, iż:

- przęsło główne (nurtowe) zostało obciążone nawierzchnią z asfaltu lanego o gr. 55 mm,
- przęsła boczne zostały obciążone warstwą asfaltu lanego o grubości 70 mm.

Poniżej na rysunku 7 pokazano bitmapę obrazującą wypadkowe przemieszczenia konstrukcjiod obciążenia ciężarem własnym, a na rysunku 8 bitmapę przemieszczeń przęsła od obciążenia ciężarem własnym z konstrukcją nawierzchni. W tabeli 1zestawiono wyniki przemieszczeń w kierunku osi *X*, *Y* i *Z*.



Rys. 7. Przemieszczenia wypadkowe od obciążenia ciężarem własnym



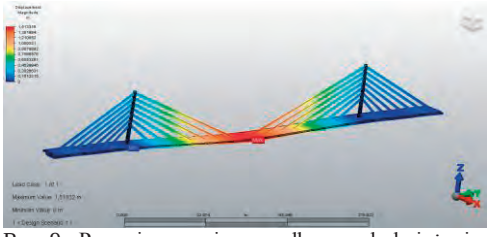
Rys. 8. Przemieszczenia wypadkowe od obciążenia ciężarem własnym i ciężarem nawierzchni

Tabela 1. Wyniki przy obciążeniu ciężarem własnym (G) oraz ciężarem własnym i ciężarem nawierzchni $(G+G_n)$

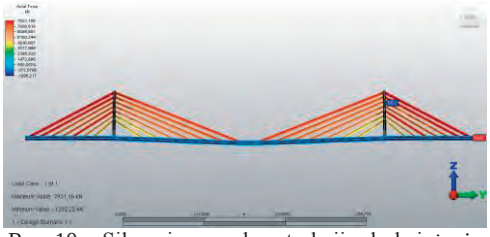
	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Y*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Z*[m]	Maksymalna siła osiowa w cięgnach [kN]
G	0,020	0,151	4478,340
$G + G_n$	0,044	-0,126	5003,660

2) Model obciążenia przęsła nurtowego obciążeniem zmiennym wg normy PN-EN 1991-2 (Model LM1)

Norma [5] dotyczy obciążeń zmiennych na mostach o maksymalnej rozpiętości przęsła wynoszącej 200 m. Przęsło nurtowe Mostu Solidarności stanowi 187,5 % tej wartości. Głównym modelem obciążeniowym w tej normie jest tzw. model LM1. Ze względu na wartość rozpiętości przęsła nurtowego, można stwierdzić, iż nie powinno obciążać się tym modelem, tak długich przęseł. Pomimo tego, autorzy zdecydowali się na przyłożenie wartości sił odpowiadających modelowi LM1, na całej długości przęsła nurtowego, w celu analizy zachowania się konstrukcji, pod wpływem tak ekstremalnego obciążenia. Całe przęsło nurtowe zostało obciążone obciążeniem pochodzącym od układu UDL (obciążeniem równomiernie rozłożonym o wartości 9 i 2,5 kN/m^2 - w zależności od numeru pasa umownego) oraz układem tandemowym TS (obciążenie w postaci sił skupionych) w środku rozpiętości przęsła.Na rysunku 9 zobrazowano wartości przemieszczeń wypadkowych konstrukcji pod wpływem przyłożonego obciążenia, a na rysunku 10 wartości sił osiowych. Tabela 2, przedstawia maksymalne wartości przemieszczeń konstrukcji na poszczególnych kierunkach.



Rys. 9. Przemieszczenia wypadkowe od obciążenia modelem LM1



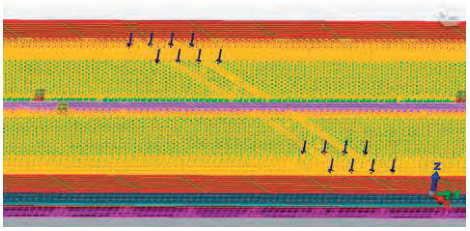
Rys. 10. Siły osiowe w konstrukcji od obciążenia modelem LM1

Tabela 2. Wyniki przy uwzględnieniu obciążenia modelem LM1

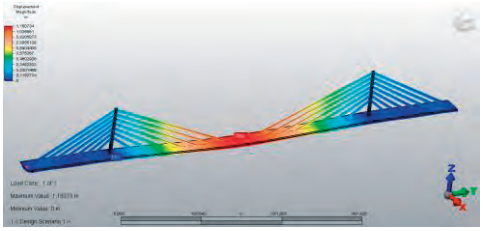
	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Y*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Z* [m]	Maksymalna siła osiowa w cięgnach [kN]
Model LM1	0,289	-1,513	7931,160

3) Model obciążenia przęsła nurtowego obciążeniem zmiennym według normy PN-85/S-10030 (K+q)

Model Mostu Solidarności w Płocku został obciążony również obciążeniem zgodnym z normą [7]. W owej normie, również nie ma zapisów określających w jaki sposób obciążać, tak duże obiekty mostowe. Autorzy postanowili obciążyć model, w analogiczny sposób, w stosunku do modelu LM1. Schemat przyłożenia sił pokazano na rysunku poniżej (Rys. 11), a zestawienie zbiorcze wartości przemieszczeń, w tabeli 3.



Rys. 11. Schemat obciążenia modelem K + q



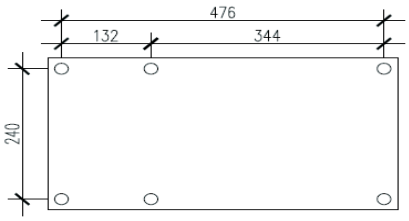
Rys. 12. Przemieszczenia wypadkowe od obciążenia schematem nr 2

Tabela 3. Wyniki przy uwzględnieniu obciążenia modelem K+q

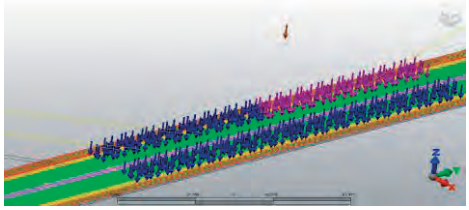
	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Y*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Z*[m]	Maksymalna siła osiowa w cięgnach [kN]
Model K+q	0,231	-1,151	7234,243

4) Model obciążenia przęsła nurtowego trzydziestoma dwoma pojazdami Tatra T-815.

Wzorując się na książce [2], model został obciążony w środku rozpiętości przęsła, dodatkowo trzydziestoma dwoma pojazdami typu Tatra T-815. Ze względu na brak danych, dot. wartości obciążeń, jakimi został obciążony model stworzony przez zespół Politechniki Gdańskiej oraz dokładnej lokalizacji przyłożenia sił, autorzy przyjęli sposób obciążenia modelu, pokazany na poniższych rysunkach.



Rys. 13. Rozstaw osi pojazdu Tatra T-815



Rys. 14. Wizualizacja obciążenia przęsła Mostu Solidarności

Ze względu na brak szczegółowych informacji o wartościach obciążeń, model przedstawiony w powyższym opracowaniu obciążono, poprzez zestaw trzech par sił skupionych o wartościach policzonych na podstawie poniższego wzoru:

$$F = \frac{m \cdot g}{6} = \frac{30000\text{kg} \cdot 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{6} = 50\text{kN} \tag{11}$$

gdzie: m – dopuszczalna masa całkowita pojazdu Tatra T-815, g – przybliżona wartość przyspieszenia grawitacyjnego.

W tabeli 4 zestawiono wartości przemieszczeń konstrukcji, na poszczególnych kierunkach.

Tabela 4. Wyniki przy uwzględnieniu obciążenia pojazdami

	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Y*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Z*[m]	Maksymalna siła osiowa w cięgnach [kN]
32xTatra T-815	0,287	-1,517	7947,690

5) Model obciążenia wiatrem według PN-EN 1991-1-4.

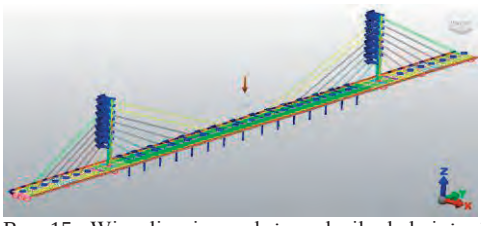
Obciążenie wiatrem jest jednym z podstawowych obciążeń działających na mosty podwieszone. W omawianej analizie, autorzy uwzględnili obciążenie wiatrem na kierunku prostopadłym do przekroju podłużnego (oś X) oraz prostopadłym do płaszczyzny poziomej przęsła (oś Z). W celu obliczenia wartości sił działających na most, niezbędnym było policzenie wartości [4]:

- bazowej prędkości wiatru v_b,
- bazowego ciśnienia wiatru q_b,
- współczynnika terenu k_r,
- współczynnika chropowatości terenu c_r,
- średniej prędkości wiatru v_m,
- wartości intensywności turbulencji I_v,
- szczytowego ciśnienia prędkości wiatru q_p,
- przyjęcie współczynników aerodynamicznych c_x, c_z,
- obliczenie wartości współczynnika konstrukcyjnego $c_s c_d$,
- obliczenie wartości siły wywieranej na konstrukcję przez wiatr F_w.

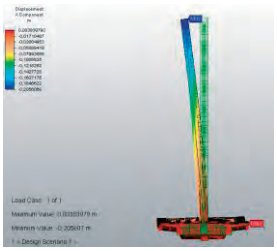
$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z_e) A_{ref} \tag{12}$$

gdzie: A_{ref} jest polem powierzchni, na które działa siła wiatru.

Lokalizację miejsc przyłożenia sił w pomoście oraz wizualizację przemieszczenia wierzchołka pylonu pod wpływem obciążenia wiatrem, pokazano na rysunkach poniżej.



Rys. 15. Wizualizacja przyłożonych sił od obciążenia wiatrem



Rys. 16. Przemieszczenia konstrukcji

W tabeli 5, zostały przedstawione zbiorcze wyniki dla modelu obciążonego ciężarem własnym wraz z nawierzchnią oraz obciążeniem wiatrem.

Tabela 5. Wyniki przy uwzględnieniu obciążenia ciężarem własnym wraz z ciężarem nawierzchni ($G+G_n$) oraz obciążeniem wywołanym przez wiatr W_d

	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *X*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Y*[m]	Maksymalne przemieszczenie w kierunku *Z*[m]	Maksymalna siła osiowa w cięgnach [kN]
$G+G_n + W_d$	0,206	0,021	-0,051	4658,260

2.1.3. Analiza wyników

Otrzymane wyniki z każdego modelu obciążeniowego zostały porównane z dopuszczalnymi wartościami granicznymi. Stan Graniczny Użytkowalności (SGU) sprawdzono dla przęsła nurtowego oraz pylonów, a Stan Graniczny Nośności (SGN) dla cięgien podwieszających. W tabeli 6 zestawiono otrzymane wyniki oraz dokonano analizy stanu SGU.

Tabela 6. Sprawdzenie Stanu Granicznego Użytkowalności - zbiorcze zestawienie

	Lokalizacja	Dopuszczalne przemieszczenia normowe [m]		Otrzymana wartość przemieszczenia [m]
		Wzór	Wartość [m]	
G	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	0,151
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,020
G + G_n	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	0,126
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,044
LM1	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	1,513
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,289
K + q	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	1,151
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,231
32xT-815	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	1,517
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,287
Wiatr	Środek rozpiętości przęsła	L/300	1,250	-0,051
	Wierzchołek pylonu	H/300	0,223	0,206

Stan Graniczny Nośności (SGN) sprawdzono zgodnie z normą [6] dotyczącą konstrukcji cięgnowych. Cięgna podwieszające zakwalifikowano do grupy C. Warunek nośności dla tej grupy cięgien ma postać [6]:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \le 1, \tag{13}$$

gdzie: F_{Ed} - wartość obliczeniowa siły podłużnej w elemencie, F_{Rd} - wartość obliczeniowa nośności przy rozciąganiu. Obliczeniową nośność przy rozciąganiu F_{Rd} , określa się zgodnie z poniższym wzorem:

$$F_{Rd} = min(\frac{F_{uk}}{1,5\gamma_R}, \frac{F_k}{\gamma_R}), \tag{14}$$

gdzie: F_{uk} - wartość charakterystyczna siły zrywającej, F_k - wartość charakterystyczna umownej nośności przy rozciąganiu, γ_R - współczynnik częściowy. Wartość siły F_{uk} obliczono na podstawie wzoru (15):

$$F_{uk} = A_m f_{uk}, \tag{15}$$

gdzie: A_m - pole przekroju metalowego, f_{uk} - wartość charakterystyczna wytrzymałości na rozciąganie prętów, drutów lub splotów wg odpowiedniej normy wyrobu.

Autorzy założyli, że jeżeli nośność cięgna o najmniejszym przekroju dla maksymalnej siły nie zostanie przekroczona, to wówczas stan graniczny nośności zostanie spełniony dla każdego cięgna. Poniżej w tabeli 7 przedstawiono zbiorcze zestawienie analizy SGN dla cięgien podwieszających w zależności od modelu obciążeniowego.

Tabela 7. Sprawdzenie Stanu Granicznego Nośności cięgien podwieszających - zestawienie zbiorcze

Model	Nr cięgna	F_k [kN]	F_{uk} [kN]	F_{Rd} [kN]	F_{Edmax} [kN]	SGN
G + Gn	W7G/D	10331	12009	8006	5004	62%
LM1					7931	99%
K + q					7234	90%
32xT-815					7945	99%
Wiatr					4716	59%

Według [1] naprężenia w cięgnach podwieszających muszą spełniać dodatkowy warunek nośności, tzn.:

$$\sigma_{ck} \leq 0,45 R_{pk}\,, \tag{16}$$

gdzie: σ_{ck} - naprężenia w cięgnie od obciążeń charakterystycznych, R_{pk} - wytrzymałość charakterystyczna cięgien. Dobrze zaprojektowany system podwieszenia powinien spełniać warunek opisany wzorem (17):

$$\Delta\sigma_{ck} \leq 200MPa \div 300MPa\,, \tag{17}$$

Tabela 8 zawiera sprawdzenie SGN ze względu na naprężenia występujące w cięgnach dla różnych modeli obciążeniowych.

Tabela 8. Sprawdzenie Stanu Granicznego Nośności cięgien podwieszających - zestawienie zbiorcze

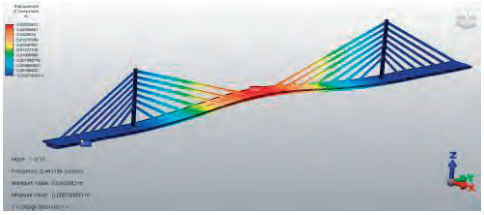
Model	σ_{ck} [MPa]	$0,45 \cdot R_{pk}$ [MPa]	SGN	$\Delta\sigma_{ck}$ [MPa]
G + Gn	473,0	837	57%	364,0
LM1	749,8		90%	87,2
K + q	592,3		71%	244,7
32xT-815	751,3		90%	85,7
Wiatr	440,0		53%	397,0

2.2. Analiza modalna

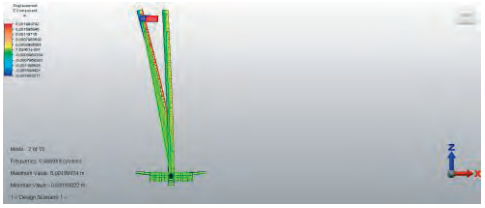
Analizę modalną przeprowadzono w celu uzyskania dziesięciu postaci częstotliwości drgań własnych Mostu Solidarności w Płocku. Dzięki wykonanej analizie, możliwe było określenie niezbędnych wartości współczynników, na podstawie których określono wartości sił odzwierciedlających obciążenie wiatrem. Poniżej w tabeli 9 zestawiono zbiorcze wartości dziesięciu częstotliwości drgań własnych mostu, a na rysunkach 17-22, wybrane postaci drgań własnych.

Tabela 9. Postaci i wartości częstotliwości drgań własnych Mostu Solidarności w Płocku

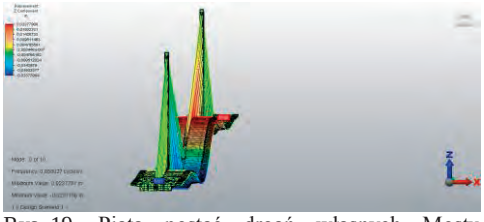
Lp.	Postać drgań	Wartość częstotliwości [Hz]
1.	Pierwsza giętna pionowa pomostu	0,445
2.	Pierwsza giętna pylonu	0,487
3.	Druga giętna pylonu	0,487
4.	Pierwsza giętna pozioma pomostu	0,581
5.	Druga giętna pionowa pomostu	0,658
6.	Pierwsza skrętna pomostu	0,979
7.	Trzecia giętna pionowa pomostu	0,988
8.	Czwarta giętna pionowa pomostu	1,417
9.	Druga skrętna pomostu	1,592
10.	Trzecia skrętna pomostu	1,959



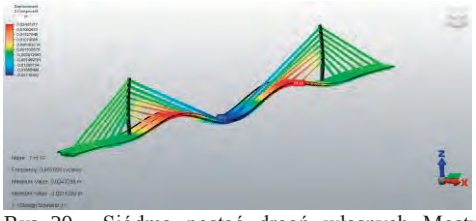
Rys. 17. Pierwsza postać drgań własnych Mostu Solidarności – giętna, częstotliwość równa 0, 445 Hz



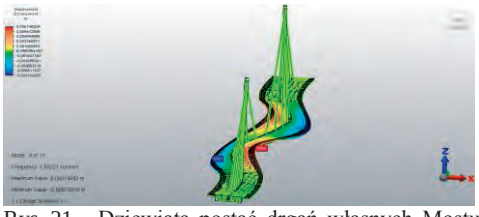
Rys. 18. Druga postać drgań własnych Mostu Solidarności – giętna pylonu, częstotliwość równa 0,487 Hz



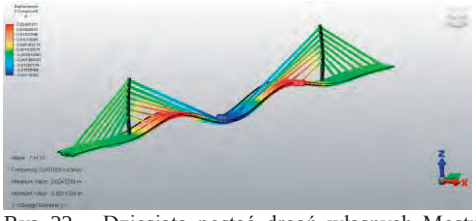
Rys. 19. Piąta postać drgań własnych Mostu Solidarności – giętna pionowa przęsła, częstotliwość równa 0,658 Hz



Rys. 20. Siódma postać drgań własnych Mostu Solidarności – giętna pionowa przęsła, częstotli-wość równa 0,988 Hz



Rys. 21. Dziewiąta postać drgań własnych Mostu Solidarności – skrętna pozioma przęsła, częstotliwość równa 1,592 Hz



Rys. 22. Dziesiąta postać drgań własnych Mostu Solidarności – skrętna pozioma przęsła, częstotliwość równa 1,959 Hz

Na podstawie częstotliwości drgań własnych można dokonać oceny podatności konstrukcji mostu na wpływ zjawiska aerodynamicznego, zwanego flatterem. Niebezpieczeństwo wystąpienia zjawiska flatteru jest niskie, gdy stosunek pierwszej częstotliwości giętnej do pierwszej częstotliwości skrętnej jest większe lub równe od 1,5. W analizowanym moście pierwsza częstotliwość giętna przyjmuje wartość 0,979 Hz, natomiast pierwsza częstotliwość skrętna 0,445 Hz. Stosunek obu tych wartości wynosi 2,2, co oznacza, iż prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska flatteru na analizowanym moście jest bardzo małe.

3. Wnioski

Dzięki przeprowadzonej analizie Mostu Solidarności w Płocku, uzyskano wyniki odpowiedzi konstrukcji na różne modele obciążeniowe. Zadanie było trudne, gdyż żadna norma nie podaje szczegółowego sposobu obciążania takich konstrukcji. Dzięki stworzeniu kilku modeli obciążeniowych, możliwe było porównanie otrzymanych wyników. Stan Graniczny Użytkowalności przęsła nie został spełniony dla modelu obciążeniowego 3 i 5. Model 3 odzwierciedla model LM1 zgodnie z [5]. Należy zwrócić uwagę, iż obciążenie równomiernie rozłożone zostało przyłożone na całej długości przęsła głównego. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiego obciążenia na moście jest bardzo małe, jednak główną ideą przyświecającą autorom w tym przypadku była analiza zachowania się konstrukcji pod wpływem tak ekstremalnych obciążeń. Szczególną uwagę należy również zwrócić na bliskie sobie wartości przemieszczeń uzyskanych w modelu 3 i 5. Niestety ze względu na brak szczegółowych informacji o sposobie i wartościach przyłożenia sił odzwierciedlających obciążenie pojazdu Tatra T-815 w analizach przeprowadzonych przez zespół Politechniki Gdańskiej, niemożliwe było dokonanie analizy porównawczej wyników, wspomnianych w streszczeniu powyższego opracowania.

Na podstawie otrzymanych wyników, można wywnioskować, iż obciążenia według starej, polskiej normy [7], są mniej rygorystyczne w stosunku do nowych proponowanych przez eurokody[5].

Zaprojektowany układ podwieszenia wykazał dostateczną nośność cięgien. Stan Graniczny Użytkowalności (SGU), jak i Nośności (SGN) został spełniony dla każdego modelu obliczeniowego.

Stan Graniczny Użytkowalności dla modelu 6 (oddziaływanie wiatru) został spełniony. Odchylenie wierzchołka pylonu, mieści się w zakresie wartości dopuszczalnych [4].

Postacie i wartości częstości drgań własnych konstrukcji, wykazały, iż wystąpienie zjawiska flatteru na Moście Solidarności w Płocku jest niskie.

Literatura

1 Biliszczuk, J. (2005). *Mosty Podwieszone Projektowanie i Realizacja.* Warszawa: Arkady.
2 Biliszczuk, J. (2007). *Podwieszony most przez Wisłę w Plocku.* Płock, Warszawa, Łódź, Wrocław: DWE.
3 PN-EN 1990 Eurocod 0. Podstawy projektowania konstrukcji.
4 PN-EN 1991-1-4: Oddziaływania na konstrukcję. Oddziaływania ogólne - oddziaływania wiatru. PKN Warszawa 2005.
5 PN-EN 1991-2 Eurocod 1 Oddziaływania na konstrukcję Część 2 Obciążenia ruchome mostów.
6 PN-EN 1993-1-11 Eurocod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych. Konstrukcje Cięgnowe. PKN Warszawa 2008,
7 PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.

Static and modalanalysis of Solidarity Bridge in Płock

Jarosław Bęc[1], Michał Jukowski[2]

[1] Department Dróg i Mostów, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: j.bec@pollub.pl
[2] Department Dróg i Mostów, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: m.jukowski@pollub.pl

Abstract: Cable-stayed bridges are stunning structures, which thanks to their dimensions and shapes fascinate not a single observer. Designing such an object is awesome challenge for designers. These structures must transfer forces resulting from dead load, operational loads, temperature changes and coming from wind pressure. Nowadays, each cable-stayed bridge and suspension bridge must be subjected to special analysis to guarantee safe usage. Designers cannot allow the situation, which took place on November 7th,1940 in north-western part of the United States of America near the town Tacoma, where the collapse of the suspension bridge occured. The structure was destroyed as the result of coincidence of natural vibrations and the dynamic wind action. Authors of the paper undertake the task to provide dynamic analysis of Solidarity Bridge in Płock exposed to the wind action. The mentioned structure is the longest cable-stayed bridge in Poland and at the same time, the longest in the world with the arch suspended at one axis to the columnar pylon fixed to a platform. Additionally static analysis is made in order to verify horizontal and vertical displacements as the result of combined variable loads.

Keywords: FEM, modal analysis, natural frequency.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 191-199

Study of spatial development around the Lutoslawski bridge in Kalinowszczyzna, Lublin

Sofya Matskevich[1], Sławomir Karaś[2]

[1] Architecture and Design department (undergraduate), Faculty of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, e–mail: s_matskevich@mail.ru
[2] Bridge and Road Chair, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: s.karas@pollub.pl

Abstract: This paper discusses the problem of reviving the Bystrzyca River in Lublin in the vicinity of the historic M. Lutosławski Bridge in the disctrict of Kalinowszczyzna. Historically, this area was an outer part of the city. The north-estern tract turnpike was located there. Until the twentieth century, there was a wooden bridge which was replaced by a reinforced concrete (RC) one. Currently, the space around the bridge is undeveloped. Moreover, there are no parks, recreational areas or cultural venues there. The bridge itself is a technical monument of great value. Despite general awareness of the importance of the bridge, not enough is done to protect it for posterity. The current technical assessment of the bridge indicates its grave condition resulting from rapidly developing corrosion of the carrying RC elements. The paper describes the surroundings of the bridge and contains some suggestions regarding the use of the bridge as a park avenue and as a stage for music concerts.

Keywords: historic RC bridges, Hennebique, technical heritage.

1. Introduction

The bridge is located on the street Kalinowszczyzna, which originally was the initial part of the historic route from Lublin to Vilnius. On the basis of a Hennebique company project, engineer Marian Lutosławski constructed an RC bridge as a frame of five spans. It was commissioned in 1908. At that time the reinforced concrete bridge was a major technical achievement due to the progress resulting from the use of RC technology [1].

Fig. 1. Localization of the First Lutoslawski Bridge in Kalinowszczyzna, Lublin a) Red Inn b) Graf Manor (by means of Google Maps)

The green area around the bridge is surrounded on three sides by oppressively busy and noisy streets. For this reason a quiet zone covering the whole area in question should be established. Technically, it is a simple solution that can be achieved by means of transparent or semi-transparent noise barriers of a rather significant height i.e. ca 4 m to 5 m. This height should provide the acoustic shadow zone covering the whole area. Transparent screens enable eye contact and at the same time the physical separation of the area from noisy surroundings.

In all architectural variations presented below, the way the final appearance of the bridge depends on fulfilling the prerequisite of its renovation. The current technical assessment of the bridge structure, in all technical aspects, is negative.

For various causes, the bridge has never been properly maintained (Fig. 2). This results now in the extensive corrosion of reinforced concrete of virtually all the carrying elements, especially the outer beams in extreme spans. This concentration of the reinforcing steel and concrete corrosion results from the bridge static scheme. The framework has spans of equal lengths. Nowadays, it is commonly known that this results in overloading of the continuous beam sector [3]. Also, the frame pillars show some worrying effects of corrosion, e.g. cracks caused by overload. At the same time the reinforcing steel corrosion can be noticed. As a result of the on-going destructive processes the concrete cover spalling is observed. It regards areas more than one meter long. Despite repeated negative assessments recorded during periodic technical reviews, the bridge administrator has not made any attempt to slow the corrosion processes. Now it is the last moment to take action before the bridge beam collapses. Thus, as has already been said, the renovation of the bridge is a prerequisite for further architectural planning of the bridge surroundings.

a)

b)

c)

Fig. 2. The 1. Lutosławski Bridge in Kalinowszczyzna, Lublin a) side view b) outer beam corrosion c) *fresh* peeling of concrete cover of reinforcement *(photos b-c were taken on 03.03.2016)*

For the purposes of the reconstruction work, the original technical overall drawing of the bridge, archived in the State Archive of Lublin, is much required (Fig. 3).

Comparing the image of the bridge with the photographs (Fig 1a) and the design drawing, significant omissions and deficiencies become immediately visible.

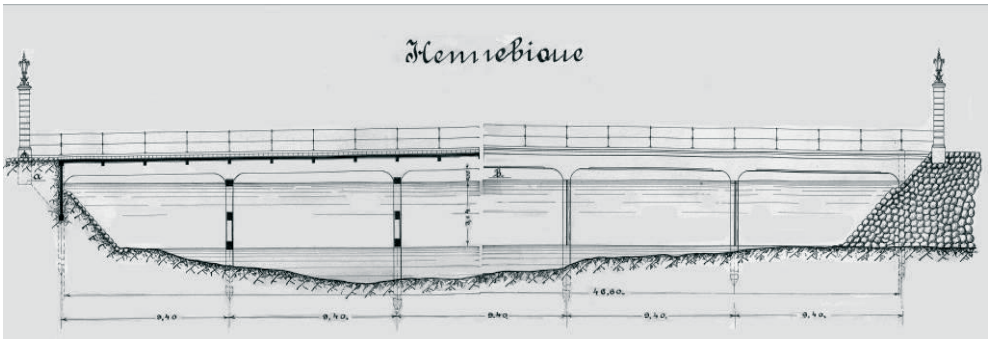


Fig. 3. The *longitudinal section* (left) and *side view* (right)

The corner lamps are no longer there. From the original railing only some insignificant parts remain. In fact, even if it survived, it would nor meet the safety requirements of today. Also, the river embankments around the bridge are not strengthened.

2. Reconstruction proposal

The reconstruction proposal consists of two parts: simple reconstruction and reconstruction combined with renovation. It is important to make several models to compare their advantages and disadvantages since even at this sketchy stage of works there are various possible solutions.

2.1. Simple reconstruction

The main problems to solve on the level of the master plan scheme are: crossing of a busy street with increasing mixed traffic, the moral and physical obsolescence of the bridge, the lack of a parking zone. The general scheme (Fig. 4) contains such zones as a recreational area, transit zone (for bicycles and pedestrians), a small parking lot, a playground for children.

On the basis of a simple reconstruction two options can be proposed: restoration of the original form of the bridge (Fig. 5) or its restoration with added modern elements (Fig. 6–8). In the first case, the reconstruction of the bridge can be based on the surviving drawing (Fig. 3), however, the original metal railing would be replaced by a balustrade for safety reasons. The height of lampposts would be increased in order to create vertical lines in the composition and also a number of lanterns would be added.

In the second case, as additional modern elements tent structures forming the entrances to the bridge would be used. Tent constructions resemble sailing ships or a water splash, which is aesthetically attractive with regard to the location of the object (Fig. 6). Tent structures became especially popular in the 1950-60s thanks to the works of the German architect and engineer Frei Paul Otto (e.g. the West German pavilion at *Expo 1967* in Montreal), [4].

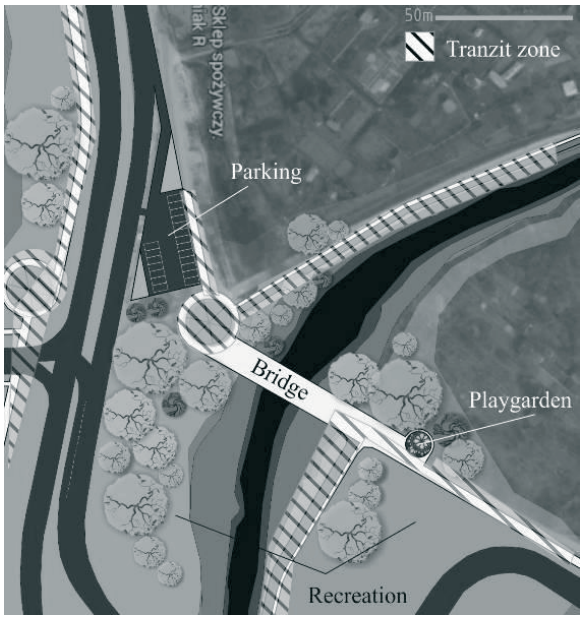


Fig. 4. General plan scheme for simple reconstruction

Different shapes shades set a different mood to the bridge. In the second variant, the tents look like the structural elements of the *Magere brug* in Amsterdam.

Fig. 5. Simple reconstruction: Restoring the original appearance

Fencing of the bridge is made of glass with sandblasted drawings. The pattern on the glass is a stylistic reference to the period when the bridge was constructed. Glass fencing would make the bridge appear lighter.

Paving in the both cases is provided in two types: basic gray-stone and colored paving connected with the directions of movement.

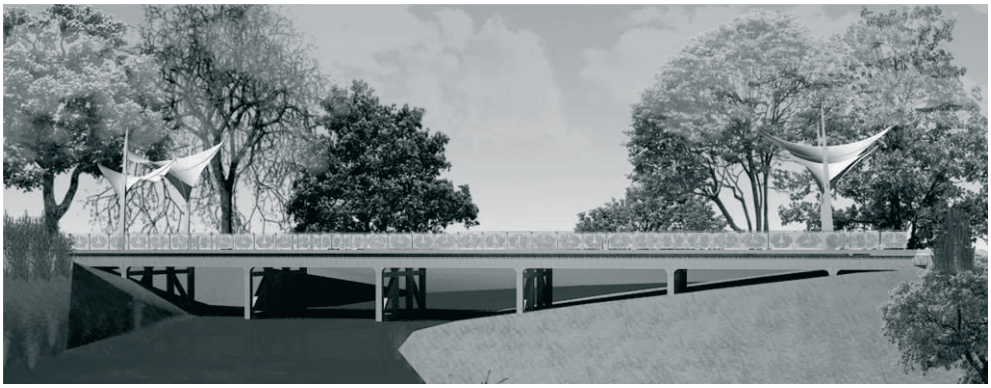


Fig. 6. Simple reconstruction: Adding modern elements: flanking awning as a water splash

Fig. 7. Simple reconstruction: Adding modern elements: flanking awning as structural elements of *Magere brug*

Fig. 8. Simple reconstruction: Adding modern elements: view on the bridge

The bridge is only used for crossing the river now, therefore to attract people as a free time facility some seating places – which would turn the passage into a park alley – should be offered.

In the case of the simple reconstruction, the bridge could also be used an urban space for events. A scene and other necessary objects could be constructed and temporary mobile objects (tents, temporary venues) added, should need arise.

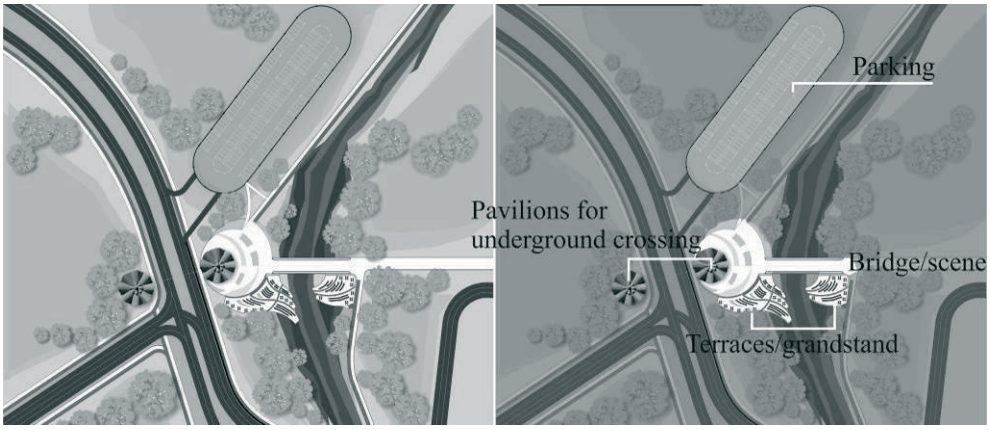
The main advantages of this proposal are: the consideration of the architectural context, a relatively low cost, the appropriate scale of the object.

2.2. Reconstruction and renovation

The next part of the proposal is based on the contrast with the existing architectural environment. In the context of sustainable urban development, it becomes necessary to include a number of modern facilities into the landscape of the city, even if the basic method of relevant urban development is conservation. At the same time, sustainable development implies the possibility of concentration of several functions in one place.

This proposal could be classified as event architecture – creation of a space that can be used for various events, including music concerts. This approach greatly enlivens the environment of the city and leads to the intensification of the space use.

The basic motif in the plan design was the water lily: terraces as leaves and a pavilion at the subway as the lily (Fig. 9). The shape of the pavilion echoes the work of Santiago Calatrava (L'Oceanogràfic in Valencia). Compositionally, this element is very important. The proposed radial and symmetrical shape in architectural semiotics denotes the solemnity of space. The pavilion is located on the bridge axis and constitutes a dominant feature on the pedestrians' way.



a) b)

Fig. 9. Reconstruction and renovation: a) general plan scheme, b) explication of general plan scheme

In this variant the additional space is planned in the form of terraced slopes descending toward the river. On everyday basis they can be used as a recreational area, such as a park or playground, and for the period of music concerts or other events accommodate the audience. The bridge is to function as a scene. The audience seating is planned to be located only on one side, because with the scene on the bridge it is important to secure a passage for traffic.

On the bridge flanking columns with lanterns are foreseen, but their form of will be more modern. Also, the glass fencing mentioned above, bearing a pattern stylistically similar to the patterned fences of the restored bridge on Zamojska Str.

To increase the number of seats it is necessary to enlarge the space in front of the bridge as well as create a parking zone. The future users of the area are passers-by and active observers. That is why a subway under the street has been designed marked by architectural pavilions at the entrance and exit. The pavilions may serve as shops, be used to store concert equipment etc. [5], [6].

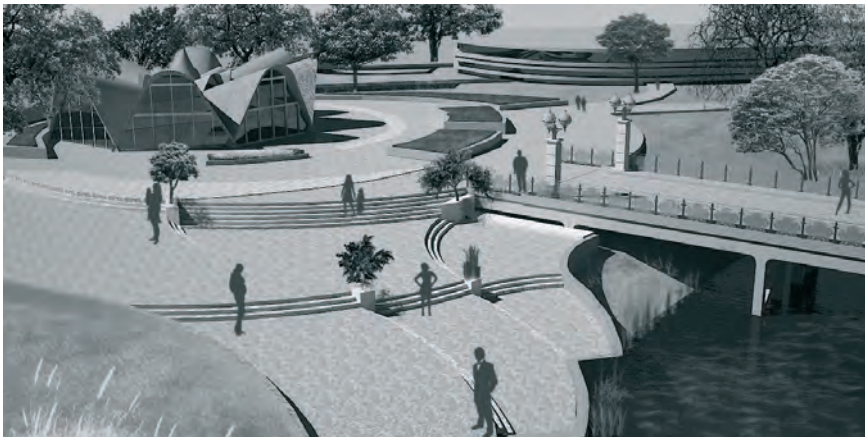


Fig. 10. Reconstruction and renovation: view on terraces and pavilion

The area next to the bridge is foreseen as an ordinary recreational ground easily adapted to the needs of the audience during concerts [7], [8]. The design principle of combining two functions of the bridge, its everyday use and the use during concerts, in the open is similar to analogous cases regarding enclosed spaces [9].

In order to make the space more intimate, on one side of the bridge an entrance arch, decorated with stained glass, could be raised.

Fig. 11. Reconstruction and renovation: entrance gate with stained glass

An important question in the case where the bridge is used as a concert venue is sound isolation. Partly, it could be achieved by landscaping, but along the Gen. Wł. Anders Avenue some additional noise screens are needed.

3. Conclusion

Event architecture contributes to intensification of urban environment as a result of creating centres of attraction for people. Multipurpose spaces tend to become elements of the urban landscape, maintaining its value for a long time. The inclusion of commercial and other functions can accelerate the return on the investment in the project. The reconstruction of the bridge in Kalinowszczyzna will extend its use for at least 30 years in terms of the bridge structure toughness.

The next step is the development of a greenery zone, including existing and planned trees. This falls into the range of tasks regarding the stylistic concept of the future garden. It would allow to make the bridge more architecturally similar to the surrounding objects (Red Inn, Graf Manor).

Considering very positive experiences with the Bridge of Culture (Lutosławski's Bridge on Zamojska Str.) we can expect analogous results in the case of the bridge on Kalinowszczyzna Str. Therefore here, already from the beginning, a correlation between the renovation of the historical bridge and its new social role, including its green surroundings, has been assumed. That is why the cooperation of architecture and bridge engineering has occurred in the first place.

References

1. Karaś S. Mosty inżyniera Mariana Lutosławskiego w Lublinie. PWN. Warszawa. 2014. 138 s.
2. Karaś S., Skoczylas.O. Pierwszy most inż. M. Lutosławskiego w Lublinie. Budownictwo i Architektura 13(1) (2014). s. 113–125.
3. Leventis P. The Urban Space of Conflict and Its Reconstruction, University of California, Los Angeles – Architecture., 1996, p. 54 .
4. http://www.freiotto-architekturmuseum.de/index2.html: (03.01.2016)
5. Krier R. Urban spaces – Academy Editions, 1991, p. 175 p.
6. Реконструкция зданий и сооружений. Учебное пособие для студентов строительных специальностей ВУЗов. Под редакцией д.т.н., профессора Шагина А.Л.,Москва, Высшая школа, 1991г. стр. 352.
7. Reconstruction of buildings. Textbook for students of construction specialties. Under the editorship of Prof. Shagina A.L., Moscow, Higher School, 1991, p. 352.
8. Глазычев В.Л., Егоров М.М., Ильина Т.В. Городская среда. Технология развития. – М.: Ладья. 1995. стр. 128.
9. Glazichev VL, Egorov MM, T. Ilyina Urban environment. Technology development. – M .: Rook. 1995. p. 128.

Studium zagospodarowania przestrzennego wokół mostu Lutosławskiego na Kalinowszczyźnie w Lublinie

Sofya Matskevich[1], Sławomir Karaś[2]

[1] Katedra Architektury i Planowania Przestrzennego, Wydział Inżynierii Wschodniego Kazachstanu, Państwowy Uniwersytet Techniczny, e–mail: s_matskevich@mail.ru
[2] Bridge and Road Chair, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: s.karas@pollub.pl

Streszczenie: W artykule są rozpatrywane trzy warianty remontu mostu Mariana Lutosławskiego w Lublinie na Kalinowszczyźnie. Jego obecny stan techniczny można uznać za graniczny, ze względu na postępującą korozję żelbetu. Most został wybudowany w 1908 roku. Ze względu na jego historyczną i techniczną wartość, obecnie biegnie proces wpisania tego obiektu na listę chronionych dóbr kultury. Kolejne terminy podjęcia prac renowacyjnych są odsuwane na przyszłość. Jednocześnie zgłaszane są różne propozycje jego przyszłej roli w Lublinie. Odrestaurowany w 2011 roku most Lutosławskiego z 1909 roku został zawłaszczony przez środowiska kulturotwórcze miasta. Most jest nazywany *Mostem Kultury*. Mając to na względzie, w niniejszym artykule opisana jest analogiczna rola mostu. Tym razem proponuje się by tereny zielone wokół mostu przekształcić w park z główną aleją biegnącą przez most. Poza zwykłą parkową rolą most miałby być również sceną, na której będą organizowane koncerty muzyczne, a zieleń parkowa wokół mostu mogła być łatwo dostosowywana do audytorium. Na rysunkach zaprezentowano kilka możliwych wariantów aranżacji mostu, które obejmują jego projektowaną formę zwykłą i koncertową. W bezpośrednim sąsiedztwie jest usytuowana arteria miejska. Podano przykład separacji ruchu przez wybudowanie podziemnego tunelu. Wejścia/wyjścia z tunelu mają formę niewielkich interesujących form architektonicznych. Zaplanowano również miejsca parkingowe, które mogą być na terenie lub parkingami wielopoziomowymi, podziemnymi.

Słowa kluczowe: zabytkowe mosty żelbetowe, Hennebique, dziedzictwo techniczne.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 201-211

Space Syntax w strukturze komunikacyjnej Lublina

Wojciech Kocki, Bartłomiej Kwiatkowski

Katedra Architektury, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: w.kocki@pollub.pl, b.kwiat@pollub.pl

Streszczenie. Układy urbanistyczne miast są jednymi z najbardziej złożonych struktur na świecie zależnych od wielu czynników nieprzerwanie je tworzących i przekształcających. Wśród wielu narzędzi badawczych wykorzystywanych przy m.in. projektowaniu struktur miejskich istnieje metoda oparta na teorii Space Syntax. Metoda ta pozwala na przeanalizowanie danej struktury pod względem wielu współczynników np.: integracji lub łączności przestrzeni jako obszaru badawczego. Do wykonania analiz przestrzennych wykorzystano tkankę miejską miasta Lublina. Wyniki badań pozwalają określić słabe i problematyczne obszary układu miejskiego a także są wstępem do dalszych badań.

Słowa Kluczowe: space syntax, urbanistyka, Lublin, komunikacja, przestrzeń.

1. Wprowadzenie

1.1. Analizowany model miasta

Struktura komunikacyjna miasta jest od wieków głównym obiektem badań wielu naukowców, których celem jest m.in. znalezienie najbardziej optymalnego powiązania ulic uwzględniając ich funkcję oraz natężenie ruchu samochodowego i pieszego. Niezwykle istotnym elementem w tkance urbanistycznej miasta jest fizyczna przestrzeń ulicy warunkująca różnorodne zachowania jej użytkowników. Wśród wielu codziennych działań mieszkańców miasta można wyróżnić podział na dwie najważniejsze grupy: *działania konieczne* i *działania opcjonalne* [1]. Bardzo ważna dla urbanistyki jest grupa działań koniecznych ponieważ są związane bezpośrednio z codziennym życiem, codziennymi zadaniami (przemieszczanie się, korzystanie z usług m. in. bank poczta itp.) jak i rekreacją, aczkolwiek nie jest bardzo zależna od fizycznej przestrzeni, są to zadania konieczne do wykonania. Aby usprawnić przemieszczanie się użytkowników miast prowadzone są analizy dostępności poszczególnych ulic, ich możliwości komunikacyjnych i przepustowości samochodowej zależnej w największym stopniu od synchronizacji sygnalizacji świetlnej oraz połączeń pomiędzy najważniejszymi punktami w mieście odpowiadającymi spełnianiu działań z grupy koniecznych.

W celu uzyskania informacji o wzajemnej relacji ulic w strukturze miejskiej wybrano metodę analizy Space Syntax – wprowadzonej przez zespół naukowców z Bartlett University College London na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku, prowadzony przez jego głównych autorów prof. Bill Hillier oraz prof. Julienne Hanson.

Lublin jest największym miastem we wschodniej części Polski województwa lubelskiego. Powierzchnia miasta liczy 147 km^2 a liczba mieszkańców to 343598, na 1 km^2 przypada 2330 mieszkańców [2]. Analizie poddano centralną część miasta Lublina, w której występuje największa ilość budynków użyteczności publicznej m.in. szkół, banków, hoteli, restauracji, muzeów, teatrów itp.

2. Space Syntax

2.1. Opis metodologii i zastosowanie, inspiracje

Teoria badań nad przestrzenią według Space Syntax odnosi się w głównej mierze do logiki w projektowaniu niezależnie czy jest to projekt filiżanki, mostu, czy przyrządu chirurgicznego [3]. Funkcjonalne właściwości projektu i jego prawidłowe działanie są stawiane na pierwszym miejscu w procesie tworzenia. Najważniejszym elementem w teorii jest przestrzeń pomiędzy elementami danej struktury, w mieście jest to przestrzeń pomiędzy elementami kubaturowymi w największym stopniu takimi jak budynki. Charakterystyka społeczności miasta jest związana z powiązaniami przestrzennym danej struktury względem różnych czynników m.in. takich jak jej integralność (ang. integration) oraz łączność (ang. connectivity). Dzięki takim analizom jest możliwe zrozumienie powiązań pomiędzy użytkownikami miasta a konfiguracji przestrzeni z zabudowie miasta. Przeprowadzenie analizy Space Syntax rozpoczyna się od utworzenia mapy osiowej (ang. axial map) danej struktury.[4]. Konstrukcja danej mapy opiera się na utworzeniu rysunku linearnego, w którym linia odpowiada najkrótszemu połączeniu pomiędzy ulicami. Utworzenie takiego połączenia tworzy się poprzez przecięcie się linii odpowiadających ulicom. Kolejnymi etapami jest wprowadzenie danej mapy do programu obliczeniowego generującego odpowiednie wyniki. Do analizy struktury komunikacyjnej Lublina wykorzystano możliwości programu Depthmap v. 0.3b, w którym wygenerowano wyniki uwzględniające współczynniki *Integration HH* oraz *Connectivity* a także utworzono diagramy rozproszenia (ang. scattergram) pomiędzy tymi dwoma współczynnikami.

Spektrum zastosowań algorytmów obliczeniowych metody Space Syntax jest niezwykle szerokie. Projektowanie z uwzględnieniem wzajemnych zależności przestrzennych można stosować nie tylko dla układów urbanistycznych np. usprawniających połączenie przestrzeni publicznych w centrum Londynu pomiędzy Trafalgar Square i Parliament Squere, które wykorzystano w planach rozwoju przestrzennego w 1996 roku ale także dla projektów kubaturowych obiektów np. analiza pomieszczeń wystawowych w Tate Gallery w Londynie [5].

Przykładowym projektem badawczym mającym wpływ na strategię rozwoju miasta i decyzji projektowych w odniesieniu do planowania przestrzennego jest analiza przestrzenna miasta Ljubljana w Słowenii (Rys. 1).

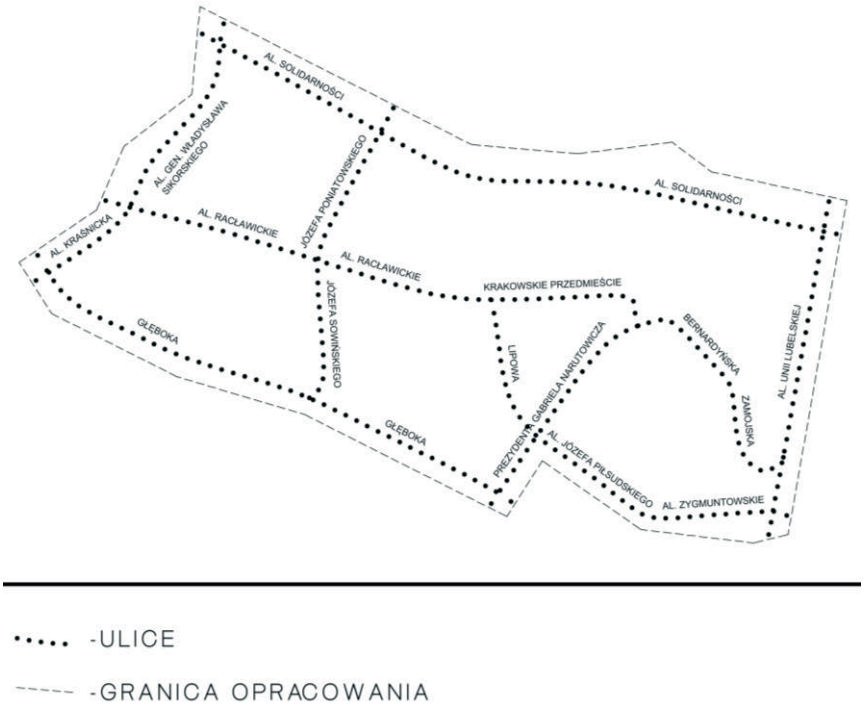
Rys. 1. Propozycja dla głównego planu rozwoju miasta Ljubljany. Rysunek po lewej stronie ilustruje analizę dotychczasowej struktury urbanistycznej miasta, rysunek po prawej stronie ilustruje strukturę urbanistyczną zaprojektowaną uwzględniając zasadę modelu Space Syntax [6]

Obowiązujący układ przestrzenny Słoweńskiego miasta posiadał problemy dotyczące sprecyzowaniu centrum i jego prawidłowego połączenia z częścią starego miasta. Propozycja rozwiązania tych problemów (rysunek po lewej stronie Rys. 1) wynikała z zastosowania metody Space Syntax i próbie odblokowania potencjału przestrzennego w globalnym układzie przestrzennym całego miasta. Opracowywano projekt z uwzględnieniem powiększenia w jak największym stopniu współczynnika *Connectivity* poprzez lepsze skomunikowanie dróg o największym natężeniu ruchu samochodowego z poszczególnymi dzielnicami.

3. Struktura komunikacyjna miasta Lublina – Space Syntax

3.1. Zakres opracowania

Analizie poddano centralną część miasta Lublina, w której występuje największe zagęszczenie obiektów użyteczności publicznej. Obszar ograniczony jest ulicami o wysokim natężeniu ruchu samochodowego, od północy Aleją Solidarności, od południa ul. Głęboką, od wschodu Aleją Unii Lubelskiej, od zachodu Aleją Kraśnicką i Aleją im. Generała Władysława Sikorskiego (Rys. 2).



Rys. 2. Granica analizowanego obszaru miasta Lublina

Wybór tej części miasta jest ściśle związany również z największym natężeniem przestrzeni publicznych zarówno parkowych, Ogród Saski, obszary zieleni miejskiej usytuowanej wzdłuż ul. Głębokiej a także przestrzeni publicznych części starego miasta, Krakowskiego Przedmieścia, okolic zamku, Placu Litewskiego oraz dworca autobusowego usytuowanego po przeciwnej stronie wzgórza zamkowego przy Alei Solidarności. Istotnym elementem w tym układzie urbanistycznym są Aleje Racławickie przy których usytuowano

największą ilość budynków użyteczności publicznej, tworzą one także centralny, główny trzon komunikacyjny. Przestrzeń publiczna stała się najważniejszym elementem pracy nad analizą układu ponieważ jej wzajemne relacje ściśle wiążą się z codziennym przemieszczaniem się ludzi ze środowiska prywatnego do środowiska publicznego. Integralność tych przestrzeni i sposób ich połączenia ma wpływ na łatwość przemieszczania się i dostęp do nich, zarówno psychologiczny, wizualny jak i fizyczny.

Wstępem do badań była analiza zabudowy wybranego obszaru w syntetyczny sposób ukazana na rysunku 3. Widoczne jest we wschodnio-północnej części wzgórze zamkowe oraz stare miasto wyraźnie różniące się układem urbanistycznym jak i szerokością ulic i sposobem ich połączenia układu osiedli wielorodzinnych w zachodniej części miasta. Rysunek ten ukazuje również proporcje ulic z większym natężeniem ruchu samochodowego zamykających układ z czterech stron a także trzon układu Aleje Racławickie. W syntezie tkanki urbanistycznej wzięto pod uwagę również dwie rzeki występujące w mieście jako istotny element współtworzący miejsca publiczne przeznaczone dla rekreacji.

Rys. 3. Synteza struktury komunikacyjnej Lublina z zaznaczeniem zabudowy analizowanego obszaru

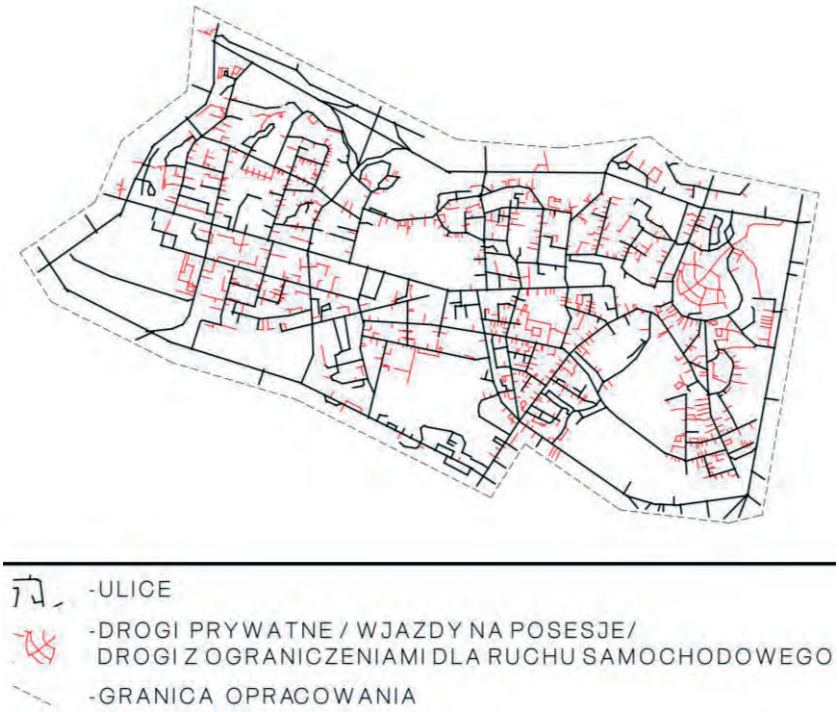
Współczynniki występujące w analizie Space Syntax uwzględniają korelacje pomiędzy poszczególnymi przestrzeniami. W układzie urbanistycznym można traktować taką współzależność pomiędzy przestrzeniami komunikacyjnymi ulic z wyłączeniem budynków.

Rys. 4. Synteza przestrzeni pomiędzy budynkami

Rysunek 3 ilustruje syntetyczne ukazanie takiej przestrzeni. Wyraźnie widoczny jest podział na dwie części w strukturze zabudowy zabudowy – wschodnią oraz zachodnią. W centralnej części analizowanego obszaru wyraźnie kontrastują dwie duże powierzchniowo przestrzenie; są to w północnej części Ogród Saski a w południowej cmentarz przy ul. Lipowej. We wschodnio – południowej części obszaru występuje również większa cześć niezabudowanej przestrzeni, w której znajdują się ogródki działkowe, trawiaste boiska sportowe oraz zieleń publiczna.

3.2. Model badawczy

Wykonanie analizy w programie Depthmap v. 3.0b wymaga przygotowania mapy osiowej (ang. axial map) wybranego układu (Rys. 5). Badania podzielono na dwie części (Rys. 5). Pierwsza uwzględnia tylko połączenia ulic o swobodnym dostępie dla ruchu samochodowego – kolor czarny, druga uwzględnia również ruch samochodowy ulicami, w których wprowadzono dla niego ograniczenia a także w tej części uwzględniono drogi prywatne oraz wjazdy na posesje – kolor czerwony. Podział struktury na dwie warstwy o odmiennych współzależnościach przestrzennych został wdrożony ze względu na odmienny charakter obu przypadków. Ulice dostępne dla wszystkich użytkowników miasta są przestrzeniami użytkowanymi z odmienną częstotliwością i stopniem natężenia przemieszczania się jej użytkowników niż układ z uwzględnieniem ulic o mniejszym znaczeniu używanych w znacznie mniejszym stopniu. Teoria Space Syntax odnosi się do zależności pomiędzy wszystkimi połączeniami na mapie osiowej, w dalszej części pracy zostanie wyjaśnione jakie współczynniki wykorzystano dla analizowanego modelu. Ulice z częściowym ograniczeniem ruchu samochodowego oraz wjazdy na posesje mają znaczny wpływ na wyniki badań i ich charakter. Każde, nawet najmniejsze połączenie ma wpływ na cały układ [7]. Model poddano w analizie dwóm współczynnikom dostępnym w programie Depthmap v. 3.0b, współczynnikowi integracji *Integration HH* oraz łączności *Connectivity.*



Rys. 5. Model połączeń ulic oraz dróg prywatnych, wjazdów na posesje oraz dróg z ograniczeniami dla ruchu samochodowego mapa osiowa (ang. axial map)

3.3. Analiza Integration HH

Jednym ze współczynników analizowania przestrzeni według teorii Space Syntax jest współczynnik integracji – *Integration HH*. Określa stopień wzajemnego powiązania przestrzeni określonych przez mapę osiową, w jakiś sposób są zorganizowane i jak bardzo zintegrowane ze sobą. Kreowanie przestrzeni zamkniętej poprzez budynki ma bezpośredni wpływ na kreowanie najbliższej przestrzeni poza nimi, w której ludzie przemieszczają się i mieszkają [8]. Teoria Space Syntax skupia się na określeniu typologii relacji pomiędzy przestrzeniami aczkolwiek nie poprzez ich rozmiar lub kształt ale według Hiller'a i Hanson poprzez globalne wzajemne ich współdziałanie oraz poszukiwania wzorów organizacji przestrzeni i przemieszczania się poprzez nią społeczności, jak łatwo dana ulica jest dostępna w odniesieniu do całego układu. Wartość tego współczynnika określa ile razy należy zmienić kierunek przemieszczania się (zakręty, skrzyżowania) aby dotrzeć do danego miejsca. Wysoki poziom współczynnika *Integration HH* (Rys. 6 i Rys. 7) świadczy o dobrej integracji danej przestrzeni w całej strukturze.

Niski poziom tego współczynnika świadczy o gorszej integracji danej przestrzeni w całej strukturze co wiąże się z trudniejszą dostępnością takiej przestrzeni. Zarówno model uwzględniający warstwę mapy osiowej jedynie z ulicami (Rys. 6) jak i model uwzględniający dodatkowo wjazdy na posesje, prywatne drogi i ulice z ograniczeniami dla ruchu samochodowego ukazują problemy we wschodniej części układu urbanistycznego. Wyniki tych analiz potwierdzają tezę, że przestrzenie ulic najlepiej zintegrowanych w tkance urbanistycznej to przestrzenie, w których zlokalizowano największą ilość usług a także występuje w nich największe stopień natężenia przemieszczającego się społeczeństwa.

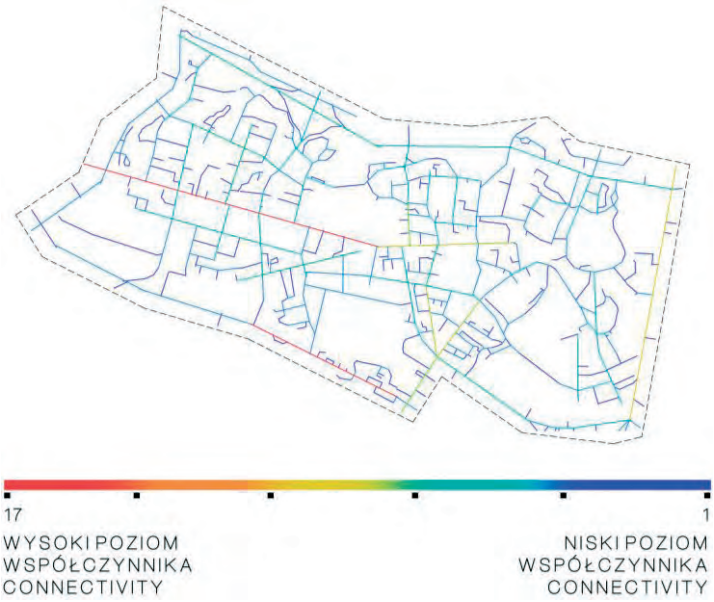
Rys. 6. Wynik analizy Integration HH programu Depthmap v. 0.3b - ulice

Rys. 7. Wynik analizy Integration HH programu Depthmap v. 0.3b – ulice z uwzględnieniem wjazdów na posesje, dróg prywatnych i dróg z ograniczeniami dla ruchu samochodowego

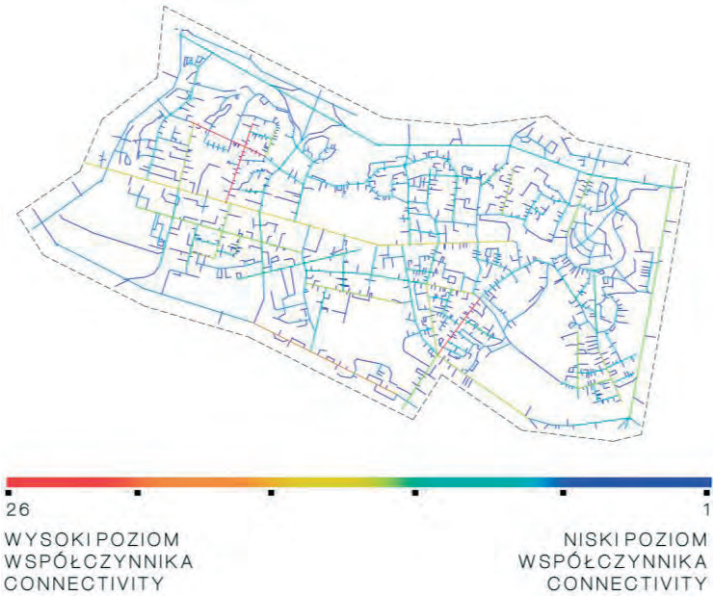
3.4. Analiza *Connectivity*

Analiza modelu poprzez współczynnik *Connectivity* ukazuje ile razy dana przestrzeń ulicy jest powiązana z innymi przestrzeniami. Program Depthmap v. 3.0b liczy przecięcia się linii mapy osiowej. Analiza modelu z warstwą wyłącznie z ulicami (Rys. 8) ukazuje trzy najbardziej wyróżniające się przestrzenie pod względem połączeń; są to Aleje Racławickie,

fragment ul. Głębokiej oraz Aleje Unii Lubelskiej. Model z uwzględnieniem wjazdów na posesje (Rys. 9), ulic z ograniczeniami dla ruchu samochodowego oraz dróg prywatnych również ukazuje większy stopień pod względem połączeń w tych trzech przestrzeniach aczkolwiek wskazuje na największe zgęszczenie we wschodniej części układu, osiedlach z zabudową mieszkaniową, wielorodzinną.



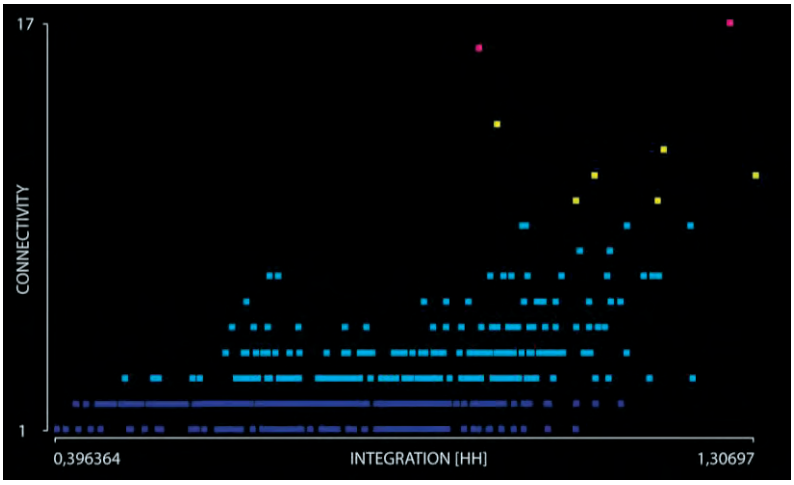
Rys. 8. Wynik analizy Connectivity programu Depthmap v. 0.3b – ulice



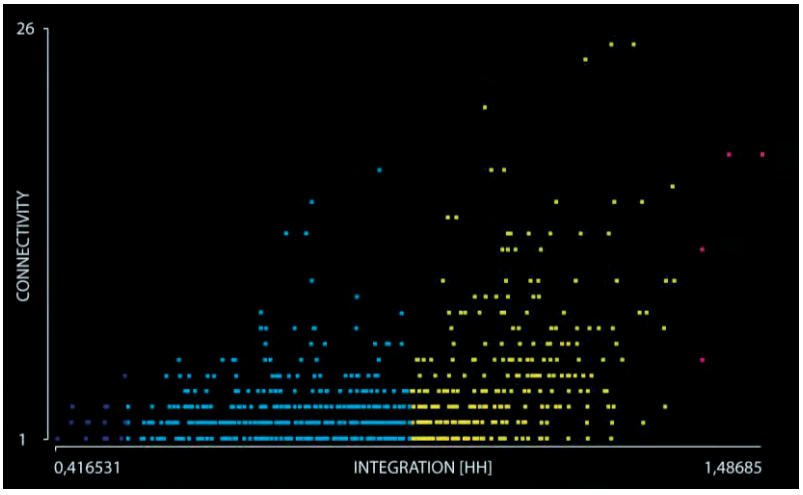
Rys. 9. Wynik analizy Connectivity programu Depthmap v. 0.3b – ulice z uwzględnieniem wjazdów na posesje, dróg prywatnych i dróg z ograniczeniami dla ruchu samochodowego

3.5. Współzależność czynników Integration HH i Connectivity diagramy rozproszenia

Diagramy rozproszenia (ang. Scattergram) są generowane przez program Depthmap v. 3.0b. Ukazują wzajemne relacje pomiędzy współczynnikiem *Integration HH* a współczynnikiem *Connectivity*. W obu przypadkach zarówno w modelu wyłącznie z warstwą ulic (Rys. 10) jak i w modelu z warstwą uwzględniającą wjazdy na posesje prywatne, drogi z wyłączonym ruchem samochodowym jak i drogi prywatne (Rys. 11) diagramy wykazują duże rozproszenie i znaczącą niespójność pomiędzy tymi dwoma współczynnikami. Wyniki te wskazują na problemy analizowanych przestrzeni w stosunku do całego układu, szczególnie w przestrzeniach o wysokim stopniu *Integration HH* i niskim poziomie współczynnika *Connectivity*.



Rys. 10. Diagram rozproszenia (ang. Scattergram) współczynników Integration HH i Connectivity programu Depthmap v. 0.3b – ulice



Rys. 11. Diagram rozproszenia (ang. Scattergram) współczynników *Integration HH* i *Connectivity* programu Depthmap v. 0.3b – ulice wraz z wjazdami na posesje, drogami prywatnymi oraz drogami z ograniczeniami dla ruchu samochodowego

4. Wnioski

Teoria wzajemnego powiązania przestrzeni Space Syntax jest jednym z wielu narzędzi parametrycznych wykorzystywanych do badań nad układami urbanistycznymi miast. W strukturze miasta Lublina można zauważyć niespójność pomiędzy dwoma głównymi współczynnikami określającymi korelacje przestrzeni według teorii Hillier'a i Hanson. Diagramy uwzględniające współczynniki *Integration HH* oraz *Connectivity* ukazują występowanie znacznej ilości przestrzeni o niskim stopniu parametru *Connectivity* i posiadających duży stopień parametru *Integration HH* co w myśl teorii Space Syntax nie jest prawidłowym rozwiązaniem – prawidłowy stosunek tych parametrów jest wprost proporcjonalny, jeżeli wartość jednego rośnie to i drugiego rośnie podobnie.

Powyższe wyniki analiz są wstępem do badań nad układem struktury komunikacyjnej miasta Lublina w odniesieniu do teorii modelu zależności pomiędzy przestrzeniami – Space Syntax. Jest to jedno z wielu rozwiązań badawczych układów urbanistycznych i jedną z wielu metod, które mogą przyczynić się do polepszenia jakości połączeń komunikacyjnych w miastach. Założenia Space Syntax są ciągle ulepszane i rozwijane w taki sposób aby umożliwić uzyskanie coraz dokładniejszych wyników.

Literatura

1 Gehl J., *Życie Między Budynkami Użytkowanie Przestrzeni Publicznych*, II wydanie, wydawnictwo RAM, 2013.
2 Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014, s. 176.
3 Hillier B., Hanson J., *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, 1984.
4 Hillier B., *Space is The Machine*, University of Cambridge, 2007.
5 Dursun P., *Space Syntax in Architectural Design*, Proceedings 6th International Space Syntax Symposium, Istanbul 2007.
6 Czerkawer – Yamu C., Voigt A., *Strategic Planning and Design with Space Syntax*, Respecting Fragile Places: 29th eCAADe Conference Proceedings, 125-133, eCAADe: Conferences.,2011, s. 131.
7 Haq S., Luo Y., *Space Syntax in Healthcare Facilities Research A Review*, Herd Journal 5(4) (2012), s 98–117.
8 Ortega – Andeane P., Jimenez – Rosas E., Mercado – Domenech S., Estrada – Rodriguez C., *Space Syntax as a determinant of spatial orientation perception, International Journal of Psychology*, 40(1), (2005), s.11–18.

Space Syntax in communication structure of Lublin

Wojciech Kocki, Bartłomiej Kwiatkowski

Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: w.kocki@pollub.pl, b.kwiatkowski@pollub.pl

Abstract. Urban structures of the cities are one of the most complicated structures in the whole world. It depends on many factors, that continuously change and develop them. Among many research tools which can be helpful in understanding urban structure designing, there is a Space Syntax method. This method of analyzing grid structures provides a lot

of information about connectivity and integration of urban space as a research area. This method was used to perform an analysis of the urban tissue of the city of Lublin. Conclusions resulting from those analysis help identify weaknesses and problematic areas on urban layout of Lublin, especially related to integration and connectivity of streets and may be used as a basis for further research.

Keywords: space syntax, urban planning, Lublin, communication, space.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 213-221

Wpływ oddziaływań środowiskowych na obiekty zabytkowe – na przykładzie mostku nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach

Beata Klimek

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: b.klimek@pollub.pl

Streszczenie: Niszczenie obiektów zabytkowych wynika najczęściej ze zużycia fizycznego, które może następować w miarę upływu czasu, jak również ze zużycia funkcjonalnego (użytkowego) i środowiskowego. Zużycie środowiskowe zabytków związane jest z dokonującymi się zmianami w otoczeniu obiektu, które powoduje uciążliwości w eksploatacji i niekorzystne zmiany ekologiczne. Czynniki środowiskowe mające wpływ na obiekty budowlane można podzielić na trzy podstawowe grupy: zagrożenia zewnętrzne otoczenia (uciążliwe sąsiedztwo), zagrożenia losowe i zagrożenia ekologiczne wewnętrzne. W artykule przestawione zostały czynniki środowiskowe mające wpływ stan zachowania zabytkowego mostku w zespole pałacowo-parkowym księżnej Izabeli Czartoryskiej w Puławach.

Słowa kluczowe: oddziaływania środowiskowe, obiekty zabytkowe, mosty.

1 Wprowadzenie

Całość obiektu, jak i jej poszczególne elementy jest narażona na oddziaływanie otaczającego ją środowiska. Wpływy te mają zazwyczaj złożony charakter i powodują uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową ich degradację. Oddziaływanie środowiska na budowle mogą mieć charakter bezpośredni (obciążenia) lub pośredni (środowisko agresywne, wilgotność, skutki deformacji). W zależności od czasu trwania i sposobu działania, mogą przyjąć formę stałą, zmienną oraz wyjątkową. W zależności od rodzaju, charakteru i lokalizacji budowli, formy oddziaływań środowiskowych mogą przyjmować zróżnicowany charakter.

Trwałość murów ceglanych zależy od jakości materiałów i warunków, w jakich się znajdują, ulegają szybszemu lub wolniejszemu zniszczeniu. Tempo tego procesu zależy oczywiście od wielu czynników, a przede wszystkim od odporności ich składników na działanie czynników agresywnych. Ich trwałość jest zależna głównie od właściwości cegieł i spajających je zapraw wapiennych [3].

1.1 Historia powstania założenia parkowego i mostku

Fot. 1. Mostek nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach, przed 1914. [1]

Mostek zlokalizowany jest w ciągu chodnika pomiędzy biblioteką a parkiem Czartoryskich, nad dawną ulicą Głęboką w Puławach.

Początki ogrodów puławskich związane są z powstaniem w latach 1671-1677 rezydencji Stanisława Herakliusza Lubomirskiego. Prace restauracyjne i związane z rozbudową rezydencji przez Izabelę Czartoryską były prowadzone w latach 1782-1831. Księżna Izabela postanowiła przekształcić swoją posiadłość w pamiątkę minionej wielkości Polski. W tym też celu (w latach 1798-1801) zbudowała Świątynię Sybilli z przeznaczeniem na zbieranie i przechowywanie tam pamiątek. W 1809 r. powstał Domek Gotycki, pierwotnie przeznaczony na gromadzenie pamiątek zagranicznych, a w latach 1778-1791 Domek Grecki ongiś będący oranżerią, (od 1966 r.) pełniący funkcje Biblioteki Miejskiej [2].

Kierując się od Domku Greckiego w stronę Pałacu przechodzimy mostkiem nad „Głęboką Drogą" (zwanym też Mostkiem Zakochanych) [Fot.1].

Mostek zachował się jako przykład architektury stanowiącej uzupełnienie założenia parkowego. Ze względu na wyjątkową wartości zespół został wpisany do rejestru zabytków woj. lubelskiego pod nr A/150 na mocy decyzji znak: KL.V-7/10/67 z 16 stycznia 1967 r. w ramach części obszaru miasta Puławy, a także decyzji znak: KL.IV-5349/1/80 z 21 stycznia 1980 r. Dodatkowo „mostek nad Głęboka Drogą" położony na działce nr 1416/1, został wpisany indywidualnie do rejestru zabytków woj. lubelskiego pod nr A/150 na mocy decyzji znak: KD/4401/76/5225/09 z 17 grudnia 2009 r. [4].

1.2 Opis obiektu i ocena stanu technicznego

Mostek posiada konstrukcję łukową (jedno przęsło sklepione, ceglane, otynkowane). Podporę od strony parku Czartoryskich obejmuje brama portalowa łukowa. Dawna ulica Głęboka nad którą położony jest mostek, biegnie w wykopie umocnionym (po obu stronach ulicy) ceglanym murem oporowym. Mur oporowy dochodzi do podpór mostka dla pieszych (Krasnowski A., Karaś Ś., Klimek B., *Kładka dla pieszych nad dawną ulicą Głęboką w Puławach.* Ekspertyza techniczna, Puławy 2015; Krasnowski A., Śpiewak R., *Remont zabytkowej kładki dla pieszych nad „starą ulicą Głęboką" w miejscowości Puławy*. Projekt architektoniczno-budowlany, Puławy 2015).

Konstrukcję kładki-mostka stanowi łuk jednoprzęsłowy o kształcie krzywej koszowej, wykonany z cegły. Grubość konstrukcji łukowej w sklepieniu wynosi około 80 cm. Łuk przechodzi w przyczółki ceglane (Tab.1).

Tabela.1. Parametry geometryczne mostku nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach (Krasnowski A., Karaś Ś., Klimek B., 2015).

Nazwa elementu	Wymiary
Długość całkowita (ze spocznikami przed kładką)	11.00 m;
Rozpiętość teoretyczna przęsła	~5.70 m;
Szerokość przęsła	2.00 m;
Szerokość skrajni dla pieszych na kładce	1.40 m < 1.50 m;
Szerokość całkowita z bramą portalowa	4.05 m;
Światło poziome	4.90 m;
Światło pionowe	3.50 m.

Fot. 2. Mostek nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach, 2016 r. a) widok ogólny b) widok z poziomu dawnej ul. Głębokiej.

Głównym elementem zdobniczym mostku jest brama portalowa ukształtowana w formie łuku i obejmująca jedną z podpór. Ceglaną konstrukcję mostku pokrywają warstwy tynków i wymalowań [Fot. 2].

Na pomost z obu stron prowadzą kamienne schody, ograniczone na podejściach kamiennymi cokołami. Dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników na mostku i na podejściach zamontowana została stalowa balustrada, którą utwierdzono w ceglanej konstrukcji przęsła łukowego. Między słupkami balustrady zamontowano profilowane, kamienne gzymsy. Dodatkowo (w późniejszym czasie) w sąsiedztwie obiektu wykonano barierki kierujące w stronę mostku. Formą i zdobieniami, znacznie różnią się od historycznej balustrady.

Również zdecydowanie późniejsza jest biegnąca na dojściach do mostku powierzchnia chodnika, wykonana z płyt z prasowanego betonu. Nie nawiązuje w żaden sposób (ani materiałem, ani formą) do historycznej kamiennej nawierzchni schodów i podestów mostku. Oryginalny podkład ustroju nośnego stanowią płyty kamienne. Każdy pojedynczy element nawierzchni (stopień schodów lub spocznik) stanowi jedna płyta. Schody wykonane z piaskowca (o trepie 40 cm i wysokości 15 cm) [Fot. 3].

Cała konstrukcja usytuowana jest pomiędzy ścianami oporowymi wykopu (dawną ulicą), w którym znajdują się proste w formie, kamienne ławki.

Nieznane jest posadowienie mostku, brak również informacji o występowaniu izolacji przeciwwilgociowych. Jako odprowadzenie wody z pomostu przewidziano podłużne spadki chodnika, dlatego prawdopodobnie większości wody odprowadzana jest bezpośrednio pod obiekt.

Fot. 3. Mostek nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach, 2016 r. a) brama portalowa i pomost, b) kamienne schody i chodnik na podejściu do mostku.

W 2015 r. i na początku 2016 r. przeprowadzono wizje lokalne na przedmiotowym mostku, w celu: inwentaryzacji, oceny stanu technicznego i poboru próbek do badań laboratoryjnych (Krasnowski A., Karaś Ś., Klimek B., 2015; Krasnowski A., Śpiewak R., 2015). Na podstawie wyników obserwacji stwierdzono, że:

- stan techniczny mostku jest awaryjny i wymaga natychmiastowego remontu, (w tym celu została wykonana ekspertyza techniczna, a następnie projekt architektoniczno-budowlany) (Krasnowski A., Karaś Ś., Klimek B., 2015, Krasnowski A., Śpiewak R., 2015),
- obiekt wskazuje na zaniedbania w zakresie bieżącego utrzymania,
- po pierwszej wizji lokalnej 2015 r. zalecono (ze względów bezpieczeństwa) wykonanie tymczasowego zabezpieczenia portalu. Jeszcze przed wykonaniem oceny stanu technicznego u zarządzającego obiektem istniała pełna świadomość powstałej sytuacji awaryjnej, o czym świadczą zatasowane zabezpieczenia łuku portalu. Postępujące zagrożenie katastrofą budowlaną, wymusiło wykonanie w trybie natychmiastowym doraźnego dodatkowego zabezpieczenia od spodu łuku w postaci np. krążyny podpartej na dodatkowych słupach,
- w narożach połączeń ustroju nośnego mostku i muru oporowego widoczne są miejscowe znaczne ubytki cegieł,
- w miejscach połączenia ustroju nośnego mostku i muru oporowego, z głębokich ubytków muru, występują wycieki wody zza obudowy,
- na całej długości mostku zaobserwowano znaczne ubytki (historycznej) wapiennej spoiny, rozwarstwiają się i osypują pozostałości tynków,
- wszystkie powierzchnie (wtórnych) tynków cementowych, na ustroju nośnym mostku są mocno zawilgocone, spękane,
- odcinkowo w strukturze ustroju nośnego kładki występują lokalne ubytki kamiennych profilowanych gzymsów oraz spękania mocującej je zaprawy,
- gzymsy, które zachowały w miejscach swojego pierwotnego montażu mają liczne rysy i uszkodzenia. Na całej długości gzymsów widoczne są zniszczenia, spowo-

dowane przez korozję biologiczną. Elementy piaskowca są pokryte zielonym nalotem, świadczącym o obecności glonów, porostów wywołujących rozkład powierzchni,
- w szczelinach obudowy kamiennej ustroju nośnego obserwuje się lokalnie, przerastające korzenie, pochodzące od rosnącej w pobliżu roślinności,
- na odcinkach kamiennych stopni schodów i płyt spoczników widoczne są liczne rysy i spękania.
- na całej długości stalowych balustrad obserwuje się silną powierzchniową korozję kształtowników. Duża część pochwytów oraz słupków balustrad jest zardzewiała. Niektóre elementy balustrad są pogięte. W celu zapewnienia stabilizacji elementów zastosowano tymczasowe prymitywne wzmocnienie przez dospawanie do istniejących balustrad dodatkowych słupków,
- na powierzchniach i strukturach murowych portalu aktualnie zasłoniętych tymczasowym zabezpieczeniem, struktura muru jest silnie skorodowana i wykazuje oznaki zniszczenia,
- w bramie portalowej występuje inny objaw zniszczeń tynków i cegły, związany z krystalizacją soli, przejawia się, krystalicznymi wykwitami na powierzchniach zewnętrznych.

W trakcie wizji lokalnej w 2015 r. pobrano próbki do badań w celu określenia stopnia obciążenia rozpuszczalnymi solami budowlanymi murów mostka.

Otrzymane wyniki nie wskazują na istotne obciążanie solami. Sytuacja jednak może ulec zmianie w czasie wysychania murów, istnieje wtedy prawdopodobieństwo krystalizacji soli w warstwach przypowierzchniowych. Wyniki badań próbek wykazują jedynie na średnie obciążenia siarczanami, które może być związane z warstwami wtórnych tynków zastosowanych do napraw, które w swoim składzie mogły zawierać gips (Krasnowski A., Karaś Ś., Klimek B., 2015).

Przeprowadzone wizje lokalnych i badania wskazują, że jednym z głównych czynników mających wpływ na stopień zużycia technicznego mostku są niekorzystne oddziaływanie otaczającego środowiska.

Czynnikiem inicjującym procesy destrukcyjne jest wilgoć, która wnika w elementy konstrukcji poprzez różnego rodzaju szczeliny, mikropęknięcia i rysy.

Wśród pozostałych czynników wpływających na stopień zużycia technicznego można wymienić: niską jakość materiałów historycznych zastosowanych do budowy, złe rozwiązania naprawcze w tracie poprzednich prac remontowych, wynikające z nieprzeanalizowania rzeczywistych warunków pracy elementu konstrukcyjnego mostku oraz brak działań w zakresie jej bieżących konserwacji i napraw.

Właściwości cegieł zależą od jakości gliny, sposobu jej przygotowania, stosowanych celowo domieszek lub obecności gruboziarnistych domieszek naturalnych (żwir, kamienie) zawartych w glinie, od formowania plastycznego, warunków suszenia i magazynowania surówki przeznaczonej do wypalania, temperatury i czasu suszenia, wypalania w odpowiednich temperaturach, od dostępu powietrza do wypalanych wyrobów, a następnie od warunków chłodzenia [3].

Nie mamy wpływu na jakość stosowanych historycznie materiałów, dlatego wszelkie działania dotyczące ochrony i napraw obiektów zabytkowych skupiają się na zabezpieczeniu i niwelowaniu pozostałych czynników korozyjnych.

1.3 Formy oddziaływania środowiska na obiekty zabytkowe - niszczenie spowodowane czynnikami zewnętrznymi

Mostek, jak każda konstrukcja inżynierska, narażony jest na oddziaływanie czynników środowiskowych, które z biegiem czasu powodują uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową jej degradację. Formy oddziaływania środowiska mogą przyjmować różny charakter, w zależności od czynników je wywołujących.

Spośród licznych czynników niszczących budowle ceglane należy wymienić wodę i sole w niej rozpuszczalne, substancje agresywne zanieczyszczające atmosferę, mikroorganizmy, zmiany temperatury i czynniki mechaniczne [3].

Jednym z głównych czynników niszczących jest woda, w przypadku murów ceglanych im bardziej porowaty czerep danego wyrobu ceramicznego tym groźniejszy jest jej wpływ.

Podczas zamarzania woda zwiększa swoją objętość i wywiera nacisk na ścianki porów. O mrozoodporności wyrobów ceramicznych decyduje liczba i kształt kapilar, na które ma wpływ skład mineralny surowców i temperatura wypału. Surowce zawierające minerały ilaste z grupy kaolinitu i illitu wykazują po wypaleniu większą mrozoodporność od wyrobów wyprodukowanych z glin zasobnych w materiały ilaste z grupy smektytów (m.in. montmorylonitu). Na odporność mrozową wypływa uziarnienie surowców, pory o średnicy powyżej 200μm można uznać za bezpieczne, gdyż tworzący się lód może się do nich przemieszczać. W porach mniejszych istnieje niebezpieczeństwo zamarzania wody.

Równie niebezpieczne co samo zamarzanie jest gwałtowny wzrost temperatury, zwłaszcza w miejscach połączenia materiałów o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej, np. połączenie słabej cegły ze szczelną zaprawą cementową. Nagrzana powierzchnia rozszerza się powodując spękania i złuszczenia równoległe do powierzchni.

Dodatkowo obiekt, który wykonano z zasolonych surowców lub miał kontakt z gruntem (brak izolacji) zawiera sole rozpuszczalne w wodzie. W murach ceglanych zasolona woda podciągana kapilarnie z gruntu może być transportowana na wysokość nawet kilku metrów, krystalizujące sole powodują obniżenie wytrzymałości mechanicznej w efekcie kruszenie się i pękanie.

Stan zachowania obiektów ceglanych uzależniony jest zwłaszcza od obecności w materiałach budowlanych związków siarki. Związki te mogą być wprowadzane do wyrobów ceramicznych wraz z surowcami. Wśród tych związków należy wyróżnić siarczany sodu i potasu oraz trudniej rozpuszczalny siarczan wapnia [5].

1.4 Wpływ warunków środowiskowych na mostek

Mostek jest przykładem obiektu, na którym można obserwować oddziaływanie wszystkich wymienionych powyżej czynników.

Najbardziej niebezpieczne dla konstrukcji mostka są ubytki spowodowane przemarzaniem materiału w okresie zimowym, zwłaszcza w obrębie połączeń ustroju nośnego mostku i muru oporowego, co skutkuje głębokimi (do 20 cm) ubytkami cegły w podporach oraz w konstrukcji łukowego sklepienia. Odspojenia i odpadanie tynku obejmujące 30÷60% powierzchni, rysy i spękania dotyczą powierzchni bocznych mostka W miejscach połączenia obserwuje się, również lokalne wycieki wody zza obudowy ceramicznej, co przy działaniu niskich temperatur, zwiększa intensywność procesów korozyjnych [Fot.4].

Lokalizacja mostku i brak izolacji przeciwwilgociowej skutkuje ciągłym napływem wody przez większą cześć roku, bezpośrednio w otoczenie obiektu.

Charakterystyczny przykład oddziaływania czynników atmosferycznych można zaobserwować na wszystkich elementach kamiennych i tynkach. Brak (około 50%) i uszkodze-

nia kamiennych profili. Deformacje powierzchni, spękania i znaczne ubytki w kamiennych schodach i płytach spocznikowych, są spowodowane brakiem prawidłowego odwodnienia pomostu. Poprzez spadki nawierzchni woda odprowadzona jest bezpośrednio pod obiekt.

Fot. 4. Mostek nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach, 2016 r. Miejsca połączeń ustroju nośnego mostku i muru oporowego. Zniszczenia cegły i zaprawy spowodowane przemarzaniem

Wyróżnia się trzy typy agresywnego oddziaływania wody na konstrukcje ceglane i zaprawy [5]:

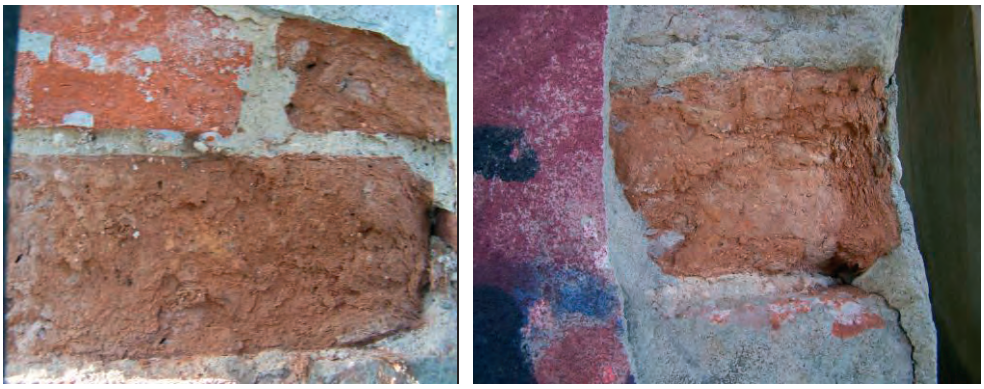
- I typ korozji związany jest z rozpuszczaniem i ługowaniem składników zapraw,
- II typ korozji dotyczy procesów reakcji chemicznych pomiędzy składnikami tworzyw cementowych, a związkami środowiska agresywnego, co prowadzi do powstawania wtrąceń w strukturze zapraw pozbawionych własności wiążących i wytrzymałościowych,
- III typ korozji obejmuje proces krystalizacji słabo rozpuszczalnych soli w porach i kapilarach zapraw, które zwiększając swoją objętość, prowadzą do powstawania naprężeń wewnętrznych w elementach konstrukcyjnych, co z biegiem czasu powoduje ich pęcznienie i rozkruszanie.

Na mostku obserwuje się zazwyczaj III typ korozji zapraw, związany z krystalizacją soli (rys. 5). Źródłem soli mogą być zarówno składniki zapraw (zaprawy cementowe), które zostały zastosowane do wykonania napraw, jak również grunt, w którym ta konstrukcja jest posadowiona. Istotnym czynnikiem niezbędnym do przebiegu korozji tego typu jest nie tylko obecność wody w otoczeniu, ale również jej ciągły ruch. Wspomniany już brak izolacji i ciągły napływ wody stymuluje te procesy korozyjne.

Obserwuje się również liczne strefy niejednorodności struktury zaprawy związane z segregacją i sedymentacją kruszywa. Powoduje to obniżenie spójności zaprawy, a co za tym idzie spadek jej własności mechanicznych. Obszary te są również miejscami potencjalnego zagrożenie korozyjnego np. ubytki zaprawy między cegłami.

Obecność wody w materiałach i strukturze muru, znacznie wzmaga intensywność procesów korozyjnych w miejscach montażu stalowej barierki. Poczynione w trakcie wizji lokalnej obserwacje wykazały silną, powierzchniową korozję pochwytów oraz słupków balustrady.

Oddziaływanie czynników biotycznych wiąże się głównie z przerastaniem przez obudowę korzeni pochodzących od rosnącej w pobliżu roślinności oraz korozją biologiczną na elementach piaskowca.



Fot. 5. Mostek nad dawną „Głęboką Drogą" w Puławach, 2016 r. Brama portalowa, zniszczenia cegły i spoiny spowodowane krystalizacją soli budowlanych

1.5 Możliwości ograniczenia oddziaływania czynników środowiskowych

Uwzględniając stopień zużycia obiektu oraz dbałość o jego utrzymanie i dalsze udostępnianie dla ruchu pieszego, konieczne jest podjęcie systemowych działań dla poprawy warunków utrzymania mostku.

Przed przystąpieniem do działań naprawczych, których celem będzie doprowadzenie stanu technicznego obiektu do stanu jego bezpiecznego użytkowania, należy ograniczyć oddziaływanie głównego czynnika korozyjnego jakim jest woda. Dalego należy w pierwszej kolejności wykonać wszystkie działania zmierzające do:

- poprawy warunków zabezpieczających przed wodą napływową z terenu wokół mostka, przez opracowanie projektu i wykonanie prawidłowego systemu zabezpieczenia przeciwwilgociowego, a w szczególności ograniczenie dopływu wody do ustroju nośnego przez wykonanie prawidłowo funkcjonującego odwodnienia, które zapewniłyby utrzymanie w konstrukcji mostku właściwych warunków wilgotnościowych, co w znacznym stopniu ograniczy korozję materiałów,
- do ograniczenia dopływu wody do terenu sąsiadującego z mostkiem, należy przeprowadzić prace stabilizujące grunt i wykonać niezbędny drenaż odwadniający grunt (i redukujący zawilgocenie tylnych ścian przyczółkowych),
- należy sprawdzić czy występuje jeszcze osiadanie fundamentów kładki oraz bramy portalowej, w tym celu należy założyć po cztery punkty pomiarowe na każdej podporze kładki,
- należy wykonać ocenę wpływu roślinności porastającej w sąsiedztwie mostka oraz podjąć ewentualne działania wycinkowe w najbardziej zagrożonych miejscach,
- należy wziąć pod uwagę wymianę (najbardziej zniszczonych) kamiennych elementów profili, schodów i obudowy zaatakowanych przez korozję biologiczną.

2 Podsumowanie

Jedną z głównych przyczyn zużycia technicznego mostku jest niekorzystne oddziaływanie otaczającego środowiska. Oddziaływanie to przyjęło złożony charakter, powodując uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową jej degradację. Do głów-

nych czynników wpływających na przebieg zużycia technicznego obiektu, poza nieprawidłowo wykonanymi pracami remontowymi, można zaliczyć czynniki atmosferyczne, wodne i biotyczne. Ich oddziaływanie omówiono na przykładzie zabytkowego mostku w Puławach.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i analiz stwierdzono, że oddziaływanie to wiąże się głównie z przemarzaniem i korozją, niszczeniem zapraw oraz destrukcyjnym działaniem korozji biologicznej na elementy kamienne.

Zaproponowano możliwości ograniczenia oddziaływania czynników środowiskowych na obiekt przez poprawę warunków zabezpieczających przed wodą napływową, wykonanie prawidłowego systemu zabezpieczenia przeciwwilgociowego, stabilizacje gruntu, oraz wycinkę roślinności wokół obiektu.

Literatura

1 Zob: http://dawnepulawy.pl/Galeria91 [dostęp 02.02.2016]

2 Zob: http://mojepulawy.cba.pl/index.php [dostęp 02.02.2016]

3 Domasłowski W., *Zasady konserwacji murów ceglanych i kamiennych detali architektonicznych*, Ochrona zabytków, tom 1, (2005) s.97-112

4 Rejestr zabytków woj. lubelskiego nr A/150 znak: KL.V-7/10/67 z 16 stycznia 1967 r. w ramach części obszaru miasta Puławy, znak: KL.IV-5349/1/80 z 21 stycznia 1980 r. „Mostek nad Głęboką Drogą" nr A/150 znak: KD/4401/76/5225/09

5 *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna*, Pod red. Wiesława Domasłowskiego, UMK Toruń 2011

Environmental impacts on historical buildings – an example of the bridge over the former "Głęboka Droga" in Puławy

Beata Klimek

Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: b.klimek@pollub.pl

Abstract: The destruction of historical buildings most often results from the physical wear that may occur over time, as well as wear of functional (utility) and environmental nature. Environmental wear of the monuments is related to the changes in the vicinity of a facility, which causes a nuisance in operation and adverse ecological changes. Environmental factors affecting the building structures can be divided into three basic groups: external threats to the environment (neighborhood nuisance), random threats and internal environmental threats. The article presents environmental factors affecting the condition of the historical bridge in the palace and park complex of Princess Izabela Czartoryska in Puławy.

Keywords: environmental impacts, historical buildings, bridges.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 223-234

Skrzyżowania z wyspą centralną – przepustowość, warunki ruchu oraz wpływ na klimat akustyczny

Marek Motylewicz

Zakład Inżynierii Drogowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, e–mail: m.motylewicz@pb.edu.pl

Streszczenie: Skrzyżowania z wyspą centralną są rozwiązaniem proponowanym w wytycznych projektowania dróg głównie z uwagi na występowanie dużych, wewnętrznych powierzchni akumulacji dla pojazdów skręcających w lewo, które odpowiednio zaprojektowane zapewniają wysoką przepustowość całego rozwiązania. W ostatnich latach, z uwagi na dynamiczny wzrost ruchu i pogorszenie jego warunków, w wielu polskich miastach, w tym również w Białymstoku, obserwuje się przebudowę istniejących skrzyżowań na skrzyżowania z wyspą centralną. Poprawne funkcjonowanie tych skrzyżowań zależy od parametrów programu sygnalizacji świetlnej oraz przepustowości wewnętrznych powierzchni akumulacji, która powinna być większa od natężeń relacji skrętu w lewo. W artykule zaproponowano sposób sprawdzania przepustowości tych powierzchni w przypadku wielofazowych programów sygnalizacji świetlnej a przykładowe obliczenia poparto wynikami mikrosymulacji ruchu. Wykonano również obliczenia porównawcze przepustowości skrzyżowań z wyspą centralną, rond i skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. W artykule zamieszczono również analizę wpływu skrzyżowań z wyspą centralną na hałas w ich otoczeniu w odniesieniu do wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w otoczeniu innych typów skrzyżowań.

Słowa kluczowe: skrzyżowanie, wyspa centralna, rondo, przepustowość, hałas.

1. Wprowadzenie

Skrzyżowania drogowe są nieodłącznym i newralgicznym elementem każdej sieci drogowej. Natężenie ruchu pojazdów, które jest większe od przepustowości skrzyżowania powoduje nie tylko pogorszenie warunków ruchu w jego obrębie ale przekłada się również na pogorszenie funkcjonowania większego obszaru sieci drogowej. Skutkuje to wzrostem średnich strat czasu ponoszonych przez pojazdy oraz zwiększeniem liczby zatrzymań i długości kolejek co z kolei prowadzi do wzrostu emisji spalin oraz wzrostu poziomów hałasu [1, 2]. Z tych powodów ważnym jest odpowiednie „dopasowanie" rozwiązania geometrii i organizacji ruchu skrzyżowania względem prognozowanego natężenia ruchu pojazdów jakie skrzyżowanie będzie musiało przenieść. W przypadku dużych natężeń ruchu osiągających wartość około 8000 P/h, skrzyżowaniem, które zapewnia tak wysoką przepustowość jest skrzyżowanie z wyspą centralną [3]. Jego zaletą jest również możliwość przeniesienia dużych natężeń relacji skrętu w lewo.

Skrzyżowanie z wyspą centralną jest jednym z rodzajów skrzyżowań skanalizowanych funkcjonujących w oparciu o sterowanie sygnalizacją świetlną. Powstaje ono poprzez rozsunięcie jednokierunkowych jezdni w obszarze krzyżujących się ulic i wybudowanie owalnej lub kołowej wyspy centralnej o średnicy w zakresie przeważnie od 30 do 60 m.

Duże rozmiary wyspy centralnej powodują utworzenie wewnątrz skrzyżowania czterech powierzchni akumulacji dla pojazdów skręcających w lewo. Cechuje je duża przepustowość wynosząca zwykle od 250 do 600 P/h, która zależy głównie od średnicy wyspy centralnej, liczby pasów ruchu poprowadzonych dookoła tej wyspy oraz długości cyklu sygnalizacji świetlnej [4]. Rzeczywista przepustowość powierzchni akumulacji może zostać zwiększona dzięki odpowiednim modyfikacjom programu sygnalizacji świetlnej (wydłużenie długości światła zielonego na przebiegu dominujących relacji skrętu w lewo) [5, 6, 7] lub znacznie ograniczona w wyniku przebiegu linii tramwajowej przez skrzyżowanie [8, 9] lub poprzez niewłaściwą organizację ruchu i zachowania kierowców [10].

Pod względem organizacji ruchu, skrzyżowania z wyspą centralną są porównywane do zespołu czterech skoordynowanych ze sobą sub-skrzyżowań jednokierunkowych jezdni zlokalizowanych na niewielkiej przestrzeni [11]. Ich sprawne funkcjonowanie oraz brak zatłoczenia wewnętrznych powierzchni akumulacji, gwarantują wysoką przepustowość całego układu. Standardowym rozwiązaniem jest wyposażenie tego typu skrzyżowań w 2-fazową sygnalizację świetlną lecz w przypadku dużych natężeń ruchu, w szczególności na relacjach skrętu w lewo, stosuje się wielofazowe programy sygnalizacji świetlnej. Pozwala to na poprawę przepustowości krytycznych relacji oraz umożliwia elastyczne sterowanie grupami kołowymi i pieszymi na wlotach, wylotach oraz zatokach akumulacji skrzyżowania. 2-fazowe programy sygnalizacji świetlnej zasadniczo pozwalają jednak na uzyskanie największych przepustowości skrzyżowania z wyspą centralną ale przy stosunkowo równomiernym rozkładzie ruchu na skrzyżowaniu i braku zatłoczenia wewnętrznych powierzchni akumulacji. W tym przypadku powstaje również konflikt pomiędzy możliwością zapewnienia jednorazowego przejścia pieszego przez wlot i wylot i jego długością a przepustowością wewnętrznych powierzchni akumulacji [3]. Powiększanie wyspy centralnej i skracanie długości cyklu sygnalizacji prowadzi do wzrostu przepustowości zatok akumulacji ale jednocześnie wydłuża drogę przejścia pieszego przez wlot i wylot skrzyżowania i uniemożliwia przejście w jednym cyklu sygnalizacji.

Biorąc pod uwagę kształt wyspy centralnej, geometrię wlotów i organizację ruchu, skrzyżowania z wyspą centralną charakteryzują się dużą różnorodnością rozwiązań, odznaczających się wieloma zaletami oraz pewnymi wadami [12, 13, 14]. Uzyskanie wysokiej przepustowości i dobrych warunków ruchu uwarunkowane jest jednak często dość rozbudowanym rozwiązaniem geometrii w planie co powoduje, że skrzyżowania z wyspą centralną zajmują dużo większą powierzchnię terenu niż inne typy skrzyżowań. Powoduje to przybliżanie pasów ruchu, a tym samym źródeł hałasu, w kierunku zabudowy co jest niepożądanym efektem wyboru tego typu skrzyżowania. Z uwagi na możliwość przeniesienia bardzo dużych natężeń ruchu, przy których na innych typach skrzyżowań zostanie przekroczona przepustowość i wystąpią złe warunki ruchu, skrzyżowanie z wyspą centralną może okazać się jednak lepszym rozwiązaniem pod względem wpływu na środowisko i klimat akustyczny otoczenia.

2. Przepustowość skrzyżowań z wyspą centralną

Przepustowość skrzyżowania (C_{sk}) jest definiowana jako suma natężeń ruchu na wszystkich wlotach skrzyżowania w sytuacji, gdy na jednym z nich osiągnięto stan nasycenia (tzw. wlot krytyczny). Zależy ona od wielu czynników związanych z drogą, ruchem pojazdów, zachowaniami i decyzjami kierowców oraz pieszych, różniących się w zależności od kultury, kraju, warunków lokalnych [15]. Skutkuje to między innymi wieloma metodami określania przepustowości, różnymi w zależności od typu skrzyżowania,

np.: amerykański HCM [16], niemiecki HBS [17], metoda kanadyjska [18], metoda polska [19, 20, 21]. Nowe formy geometrii i organizacji ruchu skrzyżowań (np. ronda turbinowe, skrzyżowania z przemieszczonym skrętem w lewo (ang. *DLT* lub *CFI*), skrzyżowania z wyspą centralną sterowane wielofazowym programem sygnalizacji) oraz zmiany w parku samochodowym skutkują ciągłą potrzebą aktualizacji istniejących metod [15]. Polska metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną z 2004 roku [19] podaje sposób określania przepustowości i oceny warunków ruchu skrzyżowania z wyspą centralną. Zasadnicze obliczenia powinny być jednak poprzedzone sprawdzeniem warunku wystarczającej przepustowości wewnętrznych powierzchni akumulacji względem natężeń relacji skrętu w lewo. Brak spełnienia tego warunku skutkuje w praktyce przepełnieniem wewnętrznych powierzchni akumulacji co prowadzi do zakłóceń w ruchu i znacznego ograniczenia przepustowości wlotów oraz całego skrzyżowania. W takiej sytuacji dalsze stosowanie metody obliczeń podanej w instrukcji [19] jest niepoprawne.

2.1. Przepustowość wewnętrznych powierzchni akumulacji

Zgodnie z instrukcją [19] przepustowość pasów na wprost w obrębie wewnętrznych powierzchni akumulacji (obliczona jako iloczyn ich pojemności wyrażonej liczbą pojazdów oraz liczby cykli w godzinie) powinna być większa od natężenia ruchu pojazdów relacji skrętu w lewo korzystających z tych pasów (1):

$$F_a \cdot \frac{3600}{T} \geq Q_L \cdot \left(1 + U_c\right) , \qquad F_a = \frac{L_{akum}}{L_{poj}} \cdot n \tag{1}$$

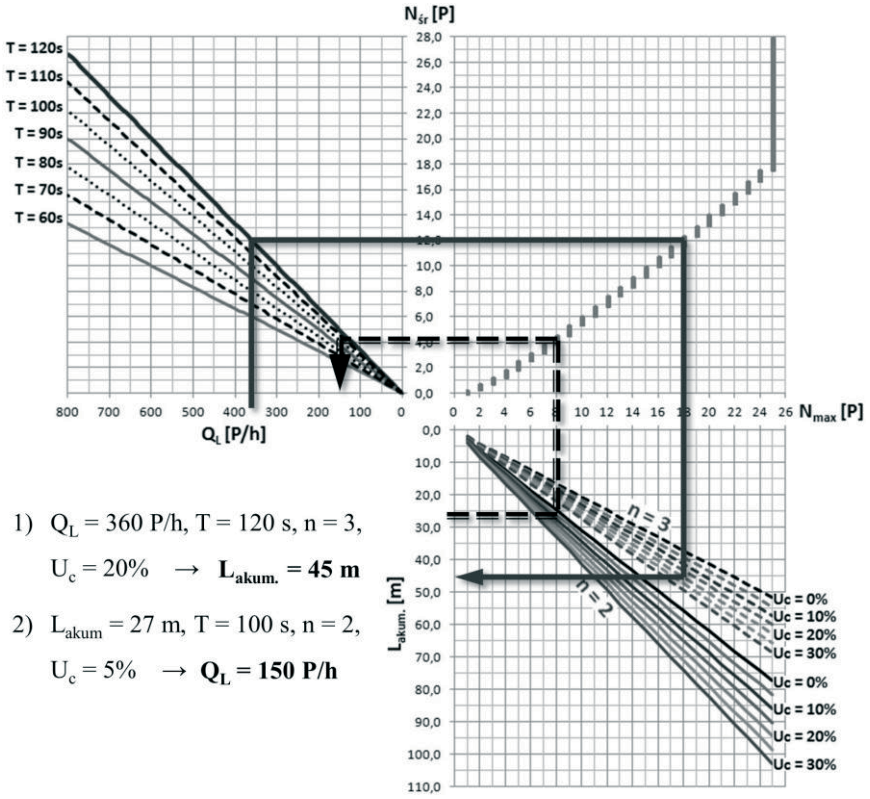
gdzie: F_a – pojemność wewnętrznej zatoki akumulacji [P] obliczana jako iloraz długości pasów na wprost w obrębie wewnętrznej zatoki akumulacji (L_{akum}) i długości stanowiska pojazdu (L_{poj}) zależnej od U_c wymnożony przez liczbę pasów ruchu na wprost (n) w obrębie powierzchni akumulacji; T – długość cyklu sygnalizacji [s]; Q_L – natężenie relacji skrętu w lewo korzystającej z zatoki akumulacji [P/h]; U_c – udział procentowy pojazdów ciężarowych w relacji skrętu w lewo [-].

Dodatkowo obliczając średnią liczbę pojazdów skręcających w lewo z wlotu skrzyżowania na cykl sygnalizacji, należy określić prawdopodobną maksymalną ich liczbę (korzystając z tabeli zamieszczonej w instrukcji [19]), która powinna być mniejsza od pojemności wewnętrznej powierzchni akumulacji (2).

$$N_{śr} = \frac{Q_L \cdot T}{3600} \qquad \Rightarrow \qquad N_{max} \leq F_a \tag{2}$$

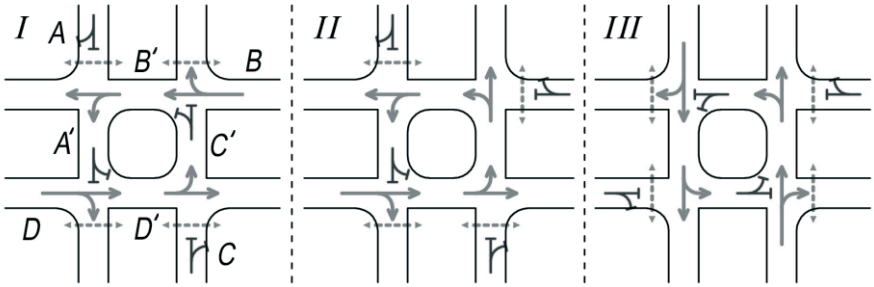
gdzie: $N_{śr}$ – średnia liczba pojazdów skręcających w lewo z wlotu skrzyżowania w czasie cyklu sygnalizacji, [P]; N_{max} – maksymalna liczba pojazdów skręcających w lewo z wlotu skrzyżowania w czasie cyklu sygnalizacji (określona z 95% prawdopodobieństwem), [P].

Na podstawie warunków (1) i (2) oraz pracy [4] sporządzono nomogram, który może być pomocny przy optymalizowaniu wielkości wyspy centralnej i długości cyklu sygnalizacji względem natężenia relacji skrętu w lewo – Rys. 1.



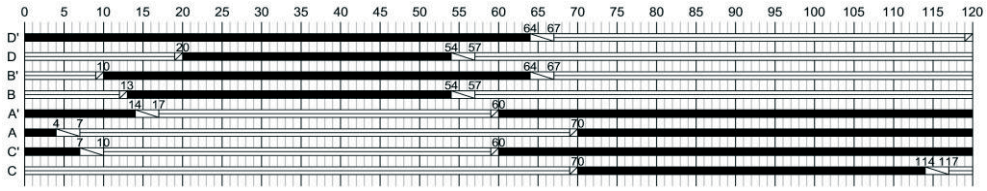
Rys. 1. Nomogram do ustalania wielkości wyspy centralnej z uwagi na wymagania relacji skrętu w lewo

Spełnienie obu warunków (1) i (2) jest konieczne do prowadzenia dalszych obliczeń przepustowości wlotów skrzyżowania z wyspą centralą. Należy jednak zauważyć, że zapis warunku (1) odpowiada sytuacji 2-fazowych programów sygnalizacji świetlnej i nie uwzględnia możliwego wzrostu przepustowości powierzchni akumulacji w wyniku zastosowania programu wielofazowego i wydłużenia długość światła zielonego na przebiegu dominującej relacji skrętu w lewo (np. otwarcie zjazdu z wewnętrznej powierzchniach akumulacji przy jednocześnie otwartym zasadniczym wlocie i zamkniętym kolizyjnym wlocie – Rys. 2). Taka sytuacja powoduje, że znacznie większa liczba pojazdów relacji Q_L może przejechać skrzyżowanie podczas jednego cyklu sygnalizacji niż wynikałoby to z samej pojemności F_a powierzchni akumulacji. Z tego powodu należy dokonać uzupełnienia warunku (1), które pozwoli na poprawne określenie przepustowości zatok akumulacji przy programach sygnalizacji innych niż 2-fazowe. Problem jest jednak dość skomplikowany a rozwiązanie każdorazowo zależy od schematu faz i programu sygnalizacji. W sposób ogólny można zapisać, że uzupełnienie warunku (1) stanowi pewna liczba pojazdów relacji skrętu w lewo opuszczających skrzyżowanie w dodatkowym czasie pomiędzy otwarciem/zamknięciem wlotów i zatok akumulacji dla danej relacji względem zamknięcia/otwarcia kolizyjnych wlotów i zatok akumulacji. Pewną propozycję uzupełnienia warunku (1) wraz z obliczeniami przedstawiono w pracy [5]. Dla powierzchni akumulacji o pojemności od 8 do 10 pojazdów, wydłużenie światła zielonego na przebiegu relacji skrętu w lewo o 10 sekund spowodowało wzrost przepustowości powierzchnia akumulacji o 25-30%, natomiast wydłużenie o 15 sekund – wzrost o 50-60%.

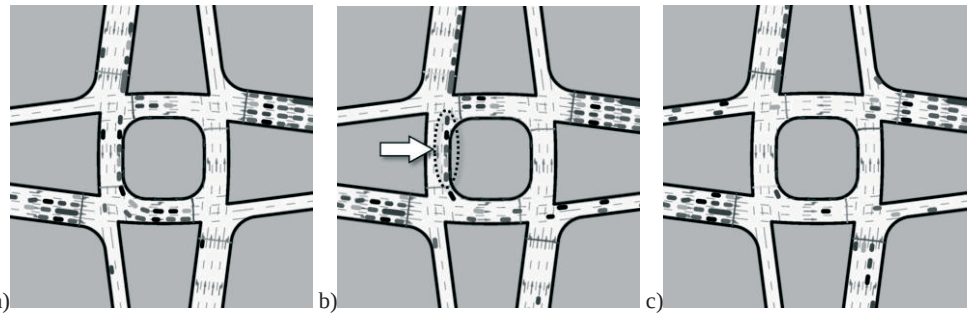


Rys. 2. Układ faz programu sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu z wyspą centralną wydłużającego długość światła zielonego na przebiegu relacji skrętu w lewo z wlotu D

W celu potwierdzenia uzyskanych obliczeń przeprowadzono mikrosymulację ruchu w programie PTV Vissim. Zmodyfikowano 2-fazowy program sygnalizacji świetlnej (Rys. 3) wydłużając o 10 s czas otwarcia wlotu północnego A i zatoki akumulacji A' leżącej na przedłużeniu tego wlotu (przy zamkniętym wlocie południowym C i otwartej zatoce D' – oznaczenia jak na rysunku 2). Na rysunku 4 przedstawiono fragment symulacji ruchu pokazujący jak wprowadzona modyfikacja wpłynęła na przepustowość wewnętrznej powierzchni akumulacji D', z której korzystają pojazdy skręcające w lewo z wlotu A. Obliczona pojemność zatoki D' wynosi 10 pojazdów. Model ruchu wykazał, że ustawiło się na niej 11 pojazdów (Rys. 4a), które następnie opuściły skrzyżowanie po otwarciu zjazdu z tej zatoki (Rys. 4b). W wyniku wprowadzonego wydłużenia czasu otwarcia wlotu A i zatoki A', dodatkowych 5 pojazdów relacji skrętu w lewo z wlotu A przejechało skrzyżowanie w tym samym cyklu sygnalizacji (Rys. 4c). Na tej podstawie obliczono, że dla tego przypadku przepustowość powierzchni akumulacji wzrosła o 150 P/h (wzrost o 45%).



Rys. 3. Program sygnalizacji wydłużający o 10 s czas otwarcia wlotu A i zatoki A' względem wlotu C

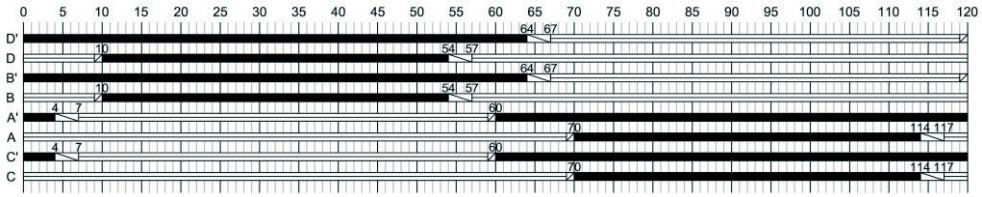


Rys. 4. Przebieg mikrosymulacji ruchu na analizowanym skrzyżowaniu z wyspą centralną z wydłużeniem długości światła zielnego o 10 s na przebiegu relacji skrętu w lewo z wlotu północnego (A)

2.2. Porównanie przepustowości skrzyżowań z wyspą centralną i innych typów skrzyżowań

W oparciu o polską metodę obliczania przepustowości skrzyżowań drogowych MOP-2004 [19, 20, 21] przeprowadzono analizę porównawczą przepustowości 3 rodzajów czterowlotowych skrzyżowań:

- skrzyżowanie skanalizowane bez sygnalizacji świetlnej (SbS) – wloty B i D nadrzędne z wydzielonymi pasami skrętu w lewo; wloty A i C: znak A-7; pełna kanalizacja wlotów;
- rondo małe 1-pasowe o średnicy zewnętrznej D_z = 32 m (R-1L) oraz rondo średnie 2-pasowe o D_z = 50 m z dwupasowymi wlotami i wylotami (R-2L);
- skrzyżowanie z wyspą centralną sterowane sygnalizacją świetlną o średnicy wyspy centralnej D_w = 39 m (długość L_{akum} = 35 m); 4 pasy ruchu na wlotach w tym 2 pasy dla relacji na wprost i po jednym pasie dla relacji skrętnych; 3 pasy dookoła wyspy centralnej w tym 2 pasy dla relacji na wprost i jeden dla relacji SL. Obliczenia wykonano dla dwóch programów sygnalizacji świetlnej o długości cyklu T = 120 s: nr 1 (SzWC-1), który jest programem 2-fazowym (Rys. 5) oraz nr 2 (SzWC-2), w którym dodano fazę wydłużającą o 10 s światło zielone na przebiegu relacji skrętu w lewo z wlotu A (Rys. 3).



Rys. 5. 2-fazowy program sygnalizacji świetlnej dla analizowanego skrzyżowania z wyspą centralną

Przyjęto następujące założenia do obliczeń:

- wloty oznaczone od A do D poczynając od kierunku północnego zgodnie z ruchem wskazówek zegara;
- 3 warianty rozkładu ruchu na skrzyżowaniu (W.I – W.III) i 4 warianty rozkładu ruchu na relacje na wlocie (Tab. 1)

Tabela 1. Rozkład ruch na wloty i relacje skrzyżowania

Udział wlotu A/B/C/D w natężeniu ruchu na skrzyżowaniu Q_{sk} [%]			
wariant W.I	wariant W.II	wariant W.III	
25 / 25 / 25 / 25	15 / 35 / 15 / 35	35 / 35 / 15 / 15	
Udział relacji SL/W/SP w natężeniu ruchu na wlocie Q_{wl} [%]			
wariant 1	wariant 2	wariant 3	wariant 4
33,3 / 33,3 / 33,3	25 / 50 / 25	10 / 50 / 40 (40 / 50 / 10 *)	40 / 50 / 10 (10 / 50 / 40 **)
*) obowiązuje w wariancie W.III.3 na wlocie A; **) obowiązuje w wariancie W.III.4 na wlocie A			

- w obliczeniach analizowano wpływ udziału pojazdów ciężarowych U_c na przepustowość skrzyżowania (wartość U_c od 0% do 30% z czego połowa to pojazdy ciężarowe wieloczłonowe; wartość U_c jednakowa dla wszystkich relacji i wlotów);
- stałe natężenie ruchu pieszego na przejściach dla pieszych: Q_{ped} = 300 osób/h.

W przypadku 2-fazowego programu sygnalizacji, korzystając ze wzorów (1) i (2) obliczono, że maksymalne natężenie relacji skrętu lewo przy którym nie nastąpi przepełnienie zatok akumulacji wynosi w zależności od U_c od 300 do 184 E/h. Biorąc z kolei pod uwagę prawdopodobną maksymalną liczbę pojazdów jaka może dojechać na wewnętrzną powierzchnię akumulacji, natężenie relacji skrętu w lewo nie powinno być większe niż 184 P/h (dla U_c < 11,75%) oraz 139 P/h (dla U_c > 11,75%). Otrzymane wartości maksymalnych natężeń relacji skrętu w lewo uwzględniono w dalszych obliczeniach przepustowości skrzyżowań. Wyniki tych obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki obliczeń przepustowości skrzyżowań C_{sk}

Wariant	Zakres przepustowości skrzyżowania C_{sk} [P/h] w zależności od U_c (0 - 30%)				
	SbS	R-1L	R-2L	SzWC-1	SzWC-2
W.I.1	1616 - 1368	2592 - 2112	3900 - 3240	5160 - 3974	3692 - 2840
W.I.2	1552 - 1320	2592 - 2112	3900 - 3240	6825 - 5245	4876 - 3748
W.I.3	1744 - 1484	2856 - 2296	4408 - 3616	6564 - 5046	5104 - 3926
W.I.4	1412 - 1196	2392 - 1964	3528 - 2956	4253 - 3272	3045 - 2346
W.II.1	1736 - 1496	2106 - 1686	3278 - 2674	3686 - 2836	2640 - 2032
W.II.2	1680 - 1460	2142 - 1712	3354 - 2728	4860 - 3740	3480 - 2682
W.II.3	1912 - 1676	2354 - 1848	3798 - 3036	4688 - 3605	3646 - 2803
W.II.4	1500 - 1296	1980 - 1600	3032 - 2496	3038 - 2340	2175 - 1673
W.III.1	1404 - 1170	1964 - 1586	3002 - 2470	3686 - 2836	3368 - 2598
W.III.2	1362 - 1140	1936 - 1568	2944 - 2432	4860 - 3740	4448 - 3420
W.III.3	1360 - 1144	2086 - 1672	3236 - 2646	3038 - 2340	3906 - 3003
W.III.4	1392 - 1158	1816 - 1480	2716 - 2261	3038 - 2340	2786 - 2140

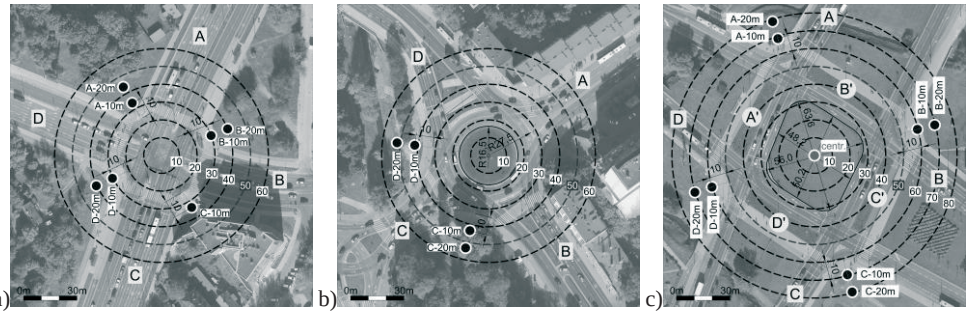
Otrzymane wyniki potwierdzają, że skrzyżowania z wyspą centralną charakteryzują się bardzo wysokimi wartościami przepustowości. W przypadku równomiernych rozkładów ruchu największe wartości przepustowości otrzymano dla programu 2-fazowego (SzWC-1). Potwierdziły to również analizy prowadzone w ramach pracy [12]. Większe zróżnicowanie w ruchu, zwłaszcza duże natężenia relacji skrętu w lewo prowadzą do istotnego obniżenia przepustowości skrzyżowania a w przypadku wariantów W.II.4, W.III.3 i W.III.4 przepustowość skrzyżowania SzWC-1 jest niemal równa lub nawet niższa od przepustowości ronda R-2L. Analizowany wielofazowy program sygnalizacji świetlnej (SzWC-2), wydłużający czas światła zielonego o 10 s na przebiegu relacji skrętu w lewo z wlotu A, okazał się lepszym rozwiązaniem jedynie w przypadku wariantu W.III.3, w którym relacja skrętu w lewo z wlotu A była dominującą na skrzyżowaniu. W pozostałych wariantach program ten był gorszym rozwiązaniem (niekiedy nawet od ronda R-2L) z uwagi na niedopasowanie względem natężeń ruchu na wlotach i relacjach skrzyżowania.

3. Wpływ skrzyżowań z wyspą centralną na klimat akustyczny

Skrzyżowania drogowe są źródłem wyższych poziomów hałasu w porównaniu z odcinkami międzywęzłowymi, co wynika ze zdecydowanie większych natężeń ruchu pojazdów oraz z przerywanego charakteru ruchu (częste zatrzymania i przyspieszenia pojazdów) [1]. Różnorodna geometria i lokalizacja wlotów mają bardzo duży wpływ na dalsze kształtowanie klimatu akustycznego w otoczeniu skrzyżowania. W pracy [22] dowiedziono, że może to być przyczyną znacznych równic w poziomach hałasu w obrębie różnych wlotów tego samego skrzyżowania (osiągających nawet 6 dB). Inną przyczyną tak

dużych różnic może być również nierównomierny rozkład ruchu na skrzyżowaniu oraz udział i struktura kierunkowa pojazdów hałaśliwych na poszczególnych wlotach skrzyżowania (np. przy „załamanym" przebiegu przez skrzyżowanie dróg o charakterze tranzytowych) [22]. Poziom hałasu zależy również od warunków ruchu panujących na skrzyżowaniu [2] a także może zależeć od typu skrzyżowania a ściślej – od charakteru ruchu. Dotychczasowe badania dowodzą, że poziom hałasu w otoczeniu rond może być mniejszy nawet o 4-6 dB w stosunku do skrzyżowań [23, 24]. Powodem tej różnicy jest płynny charakter ruchu na rondach oraz wyniesiona ponad jezdnię wyspa środkowa ronda (zwykle o około 1,5 m), która przysłaniając pewne części jezdni oraz wlotów ronda przyczynia się do obniżenia hałasu w jego otoczeniu [25]. Charakter ruchu oraz poziom hałasu w obszarze skrzyżowania może być również kształtowany poprzez środki uspokojenia ruchu. Wyniki badań [26] dowodzą, że zastosowanie wyniesionych powierzchni skrzyżowań z sinusoidalnie kształtowanymi najazdami, może istotnie obniżyć prędkość pojazdów, zmniejszyć liczbę zatrzymań oraz gwałtownych przyspieszeń czego konsekwencją jest redukcja hałasu.

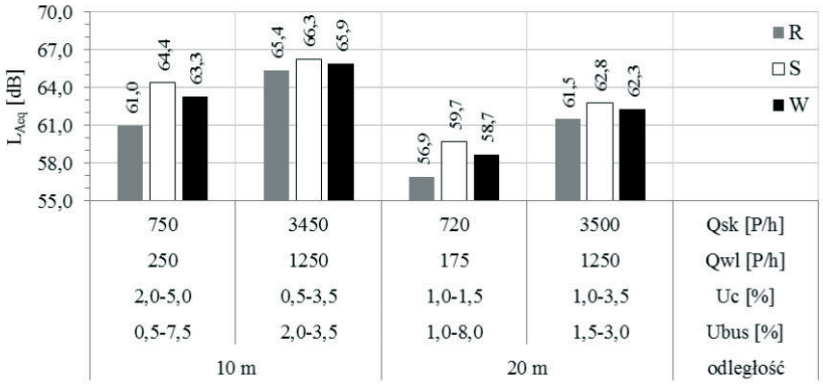
W celu określenia wpływu rodzaju skrzyżowania na poziom hałasu w jego otoczeniu, przeanalizowano wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} prowadzonych wraz z pomiarami natężenia ruchu w latach 2012-2015 w otoczeniu 4 skrzyżowań z wyspą centralną w Białymstoku (oznaczonych: W2, W3, W5 i W6), ronda dwupasowego (R1) i skrzyżowania skanalizowanego z sygnalizacją świetlną (S1). Pomiary L_{Aeq} wykonano cyfrowymi analizatorami dźwięku kl. 1 w punktach położonych promieniście do punktu centralnego skrzyżowania (pomiędzy wlotem a wylotem) na wysokości 1,5 m nad poziomem jezdni, w odległości 10 i 20 m od krawędzi zewnętrznego pasa ruchu (Rys. 6). Jeżeli pozwalały na to warunki terenowe, w niektórych przypadkach wykonano również pomiary w odległościach 30 i 40 m od krawędzi zewnętrznego pasa ruchu. Uzyskane w taki sposób dane stanowiły podstawę do określenia wartości L_{Aeq} w punktach położonych w odległości od 40 do 70 m od środka badanych skrzyżowań.



Rys. 6. Geometria skrzyżowań i lokalizacja punktów pomiarów hałasu: a) S1, b) R1, c) W2

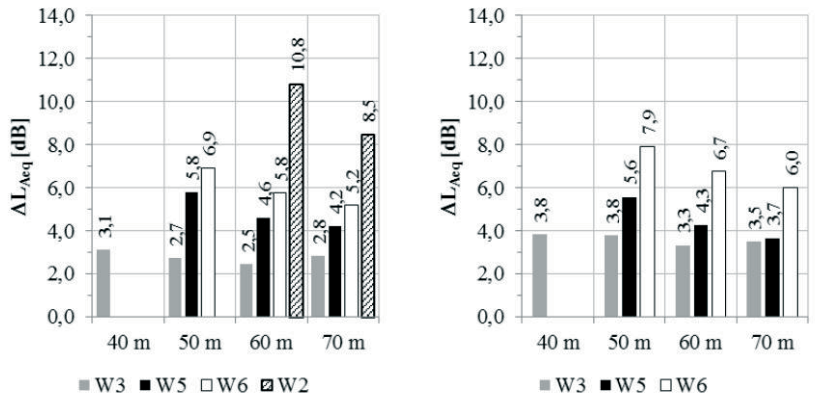
Na rysunku 7 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów L_{Aeq} w odległości 10 i 20 m od krawędzi jezdni dla 3 typów skrzyżowań przy zbliżonych 4 parametrach ruchu: natężenie ruchu na skrzyżowaniu (Q_{sk}) i na wlocie (Q_{wl}), udział procentowy pojazdów ciężkich (U_c) oraz autobusów (U_{bus}) w ruchu na skrzyżowaniu. Otrzymane wartości różnią się między sobą w zależności od skrzyżowania. Największe różnice otrzymano w przypadku rond (R) gdzie poziomy hałasu były od 0,5 do 3,5 dB niższe niż w przypadku skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (S i W), przy czym większe różnice odnotowano przy niższych obciążeniach ruchem. Przyczyną tak dużych różnić jest charakter i specyfika ruchu na rondach – ruch nieprzerywany oraz prędkości w zakresie 20-30 km/h. Różnice te zmniejsza-

ją się wraz ze zwiększeniem obciążenia ronda (pogorszenie warunków ruchu). W grupie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, wartości L_{Aeq} otrzymane w otoczeniu skrzyżowań z wyspą centralną (W) były od około 0,5 do 1,0 dB niższe niż przy typowych skrzyżowaniach skanalizowanych z sygnalizacją świetlną (S). Przyczyną tej różnicy może być geometria obu typów skrzyżowań. Rozsunięcie jezdni poprzez wyspę centralną oraz wyspy dzielące powoduje oddalenie niektórych jezdni a tym samym źródeł hałasu. W przypadku „typowej" budowy skrzyżowania skanalizowanego, źródła hałasu są bardziej skoncentrowane wokół środka skrzyżowania, co może prowadzić do większych poziomów hałasu w ich otoczeniu. Przedstawione na rysunku 7 wyniki pomiarów L_{Aeq}, dobrze ilustrują wpływ charakteru ruchu oraz geometrii 3 typów skrzyżowań na poziomy hałasu w ich otoczeniu.



Rys. 7. Wybrane wyniki pomiarów L_{Aeq} w odległości 10 i 20 m od krawędzi jezdni dla 3 typów skrzyżowań

Na podstawie wyników pomiarów dla dwóch przedziałów natężenia ruchu na skrzyżowaniu Q_{sk}: 500-1000 P/h (dla R i W) i 2000-2500 P/h (dla S i W) oraz przy udziale pojazdów ciężarowych U_c = 0-10%, obliczono wartości L_{Aeq} w odległościach od 40 do 70 m od środka skrzyżowania. Na rysunku 8 podano wartości różnic pomiędzy L_{Aeq} w odległościach 40, 50, 60 i 70 m od środka skrzyżowań z wyspą centralną W2, W3, W5, W6 w odniesieniu do skrzyżowania skanalizowanego S1 (Rys. 8a) lub ronda R1 (Rys. 8b).



Rys. 8. Różnice w poziomach L_{Aeq} w otoczeniu wlotów: a) skrzyżowania skanalizowanego S1 i skrzyżowań z wyspą centralną W2, W3, W5 i W6, b) ronda R1 i skrzyżowań z wyspą centralną W3, W5 i W6

Uzyskane różnice w wartościach L_{Aeq} jednoznacznie wskazują jak bardzo typ skrzyżowania i jego geometria mogą wpływać na zasięg oddziaływania hałasu. Przy porównywalnych parametrach ruchu drogowego, w odległości 60 m od punktu centralnego badanych skrzyżowań, wartości L_{Aeq} dla skrzyżowań z wyspą centralną były wyższe od 2,5 dB do 10,8 dB w porównaniu ze skrzyżowaniem skanalizowanym z sygnalizacją świetlną S1 oraz wyższe od 3,3 dB do 6,7 dB w odniesieniu do analizowanego ronda R1. Przyczyną takich różnic jest zajętość terenu przez skrzyżowanie wynikająca z jego geometrii i budowy ale również charakterystyka odbywającego się na nim ruchu. Obszar terenu zajmowany przez skrzyżowania z wyspą centralną (określony za pomocą promienia okręgu o środku leżącym w środku wyspy do punktów pomiaru hałasu znajdujących się 10 m od krawędzi jezdni) może wynosić nawet do 70 m. Dla porównania małe i średnie ronda zajmują obszary o promieniu od 20 do 40 m, duże ronda – od 40 do 50 m, natomiast „typowe" skrzyżowania – od 25 do około 40 m. Skrzyżowania z wyspą centralną są zatem dużo gorszym rozwiązaniem z uwagi na zajętość terenu i zasięg oddziaływania hałasu lecz pod względem przepustowości, warunków ruchu i wpływu na klimat akustyczny mogą okazać się lepszym rozwiązaniem szczególnie przy bardzo dużych natężeniach ruchu.

4. Wnioski

Przeprowadzone analizy przepustowości wewnętrznych powierzchni akumulacji wykazały, że zastosowanie wielofazowych programów sygnalizacji, wydłużających długość światła zielonego na przebiegu dominującej relacji skrętu w lewo, może przyczynić się do istotnego wzrostu przepustowości tych powierzchni wynoszącego od 20 do nawet 60% (w zależności od długości wydłużenia światła zielonego). Opracowany model ruchu potwierdził powyższe wnioski. Jest to szczególnie istotne ponieważ, poprawne funkcjonowanie skrzyżowania z wyspą centralną jest uzależnione od sprawnie działających wewnętrznych powierzchni akumulacji. Obliczenia porównawcze przepustowości różnych typów skrzyżowań, potwierdziły, że skrzyżowania z wyspą centralną charakteryzują się najwyższymi wartościami przepustowości – dla przyjętych założeń, największa wartość jaką otrzymano w obliczeniach wynosiła około 6800 P/h. Przyjęty 2-fazowy program sygnalizacji świetlnej okazał się dobrym rozwiązaniem w większości przypadków obliczeniowych, szczególnie przy stosunkowo równomiernym rozkładzie ruchu na skrzyżowaniu i wlotach. Program wielofazowy był lepszym w przypadku dużego natężenia relacji w lewo z wlotu A.

Analizy wpływu skrzyżowań na poziom hałasu w ich otoczeniu wykazały, że zarówno typ skrzyżowania jak również charakter ruchu mają istotne znaczenie. Płynny charakter ruchu na rondach sprzyjał mniejszym o 0,5 do 3,5 dB poziomom hałasu w ich otoczeniu niż w przypadku skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. Z kolei zajętość terenu przez skrzyżowanie, wynikająca z jego geometrii, wpływa istotnie na zasięg oddziaływania hałasu. Przy porównywalnych parametrach ruchu, w punkcie położonym w odległości 60 m od środka skrzyżowania, dla skrzyżowań z wyspą centralną uzyskano poziomy hałasu wyższe o 10,8 dB niż w przypadku odpowiednio – skrzyżowania z sygnalizacją świetlną i ronda.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr MB/WBiIŚ/5/2013 na Politechnice Białostockiej i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

1 Bohatkiewicz J. Badania czynników powodujących zwiększenie poziomu hałasu w otoczeniu skrzyżowań drogowych, w: Ochrona środowiska i estetyka w drogownictwie, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Lublin 2000, 199-210.
2 Tracz M., Bohatkiewicz J. Effects of traffic conditions on traffic noise at signalized intersection. 2nd European Conference on Noise Control – Euro-Noise'95, Vol. 1. Lyon 1995.
3 Tracz M., Chodur J., Gaca S. Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych. Część I i II, GDDP, Warszawa 2001.
4 Tracz M., Chodur J. Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals. Procedia - Social and Behavioral Sciences 53 (2012) 789-800.
5 Motylewicz M. Skrzyżowania z wyspą centralną i wielofazową sygnalizacją świetlną – propozycja udoskonalenia metody oceny ich przepustowości, w: Wiedza i eksperymenty w budownictwie, Gliwice 2014, 565-572.
6 Kania L. Sygnalizacja świetlna na skrzyżowaniach z wyspą centralną. Magazyn Autostrady 5/2006, 24-32.
7 Hoffmann A. Programowanie wielofazowych sygnalizacji świetlnych. Skrzyżowania z wyspą centralną. Bezpieczne Drogi 6/2004.
8 Gumińska L., Kustra W. Funkcjonowanie skrzyżowań z wyspą centralną ze zmienną wielkością wewnętrznych powierzchni akumulacji, w: Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego. IX Konferencja Naukowo-Techniczna, Poznań-Rosnówko, 19-21.06.2013.
9 Gumińska L., Kustra W. The influence of accumulation area and the length of pedestrian route on functioning of roundabouts with traffic signals. Transportation Research Procedia 3 (2014) 1041-1050.
10 Chrobot P., Krukowicz T., Wilk P. Funkcjonowanie powierzchni akumulacyjnych na skrzyżowaniach z wyspą centralną. Logistyka 6/2011, 447-456.
11 Narożny J.: Sygnalizacja a wyspy centralne. Magazyn Autostrady 1-2/2007, 14-18.
12 Motylewicz M., Gardziejczyk W. Badanie i ocena warunków ruchu na skrzyżowaniach z wyspą centralną na przykładzie Białegostoku. Transport Miejski i Regionalny 10/2012, 8-15.
13 Bielewska M. Charakterystyka polskich skrzyżowań z wyspą centralną. Polskie Drogi 4/2005, wkładka: Bezpieczeństwo i Inżynieria Ruchu, 6-11.
14 Szczuraszek T. i in. Bezpieczeństwo ruchu miejskiego. WKŁ, Warszawa 2006.
15 Ostrowski K., Chodur J. Performance and reliability of signalised intersections, w: Recent advances in civil engineering: Road and transportation engineering, Inżynieria lądowa 483, Kraków 2015.
16 Highway Capacity Manual 2010. TRB, Washington D.C., USA 2010.
17 HBS 2001. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln 2001.
18 Tepley S. Canadian capacity guide for signalized intersections. The Institute of Transportation Engineering, Canada 2008.
19 Tracz M. i in. Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. GDDKiA, Warszawa 2004.
20 Chodur J. i in. Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. GDDKiA, Warszawa 2004.
21 Tracz M. i in. Metoda obliczania przepustowości rond. GDDKiA, Warszawa 2004.
22 Motylewicz M., Gardziejczyk W. Hałas od ruchu samochodowego w otoczeniu skrzyżowań. Budownictwo i Architektura, Vol. 13, nr 1 (2014), 137-147.
23 Silence – Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans. Kolonia 2008.
24 Covaciu, D., Florea, D., Timar, J., 2015. Estimation of the noise level produced by road traffic in roundabouts. Applied Acoustics 98, 43-51.
25 Biernacki S. Badania poziomu hałasu na wybranych rondach w Krakowie i Rybniku. Praca magisterska. Kraków 2001.
26 Bohatkiewicz J. i in. Wpływ uspokojenia ruchu na klimat akustyczny w otoczeniu ulic. Budownictwo i Architektura, Vol. 13, nr 1 (2014), 235-252.

Signalized roundabouts – capacity, traffic conditions and their influence on noise levels

Marek Motylewicz

Division of Road Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bialystok University of Technology, e–mail: m.motylewicz@pb.edu.pl

Abstract: Signalized roundabouts are the suggested solution in road design, mainly due to the presence of large inner areas of accumulation for vehicles turning left, which, if designed correctly, result in a high capacity of the entire solution. In recent years, due to a dynamic growth in traffic and the deterioration of its conditions, many cities in Poland, including Bialystok, have begun rebuilding their existing intersections into signalized roundabouts. The proper functioning of such roundabouts depends on the parameters of the traffic lights signal plan and the capacity of the inner areas of accumulation, which should be larger than the traffic volume turning left. The article suggests methods of determining the capacity of these areas in the case of multi-phase signal plans, and the sample calculations have been supported by the results of traffic microsimulation modelling. Comparative calculations of the capacity of signalized roundabouts, roundabouts and intersections with no signalization have also been performed. The article also contains an analysis of the influence of signalized roundabouts on the noise level in their vicinity in relation to the results of the equivalent sound level measurements conducted in the vicinity of other types of intersections.

Keywords: intersection, central island, roundabout, capacity, traffic noise.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 235-247

Environment-friendly roads

Anna Leniak-Tomczyk[1], Grażyna Łagoda[2]

[1] DrogMost Lubelski Sp. z o.o., ul. Wrotkowska 1b, 20-469 Lublin, e–mail: anna.lt@drogmost.pl
[2] Instytut Dróg i Mostów, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, e–mail: g.lagoda@il.pw.edu.pl

Abstract: Road schemes are linear in nature, which makes the investment process exceptionally difficult and complex, requiring the involvement of large human potential, time-consuming and very expensive. One road investment is subject to numerous consultations, requires many different studies, collecting a huge amount of opinions as well as approvals and obtaining a number of decisions. Currently without including in the project some solutions that would both guarantee minimal influence of the investment on the environment and ensure the efficiency of local ecosystems it is impossible to obtain the positive decision concerning the condition of the environment, which would allow the realisation of the project. An engineer of the 21st century apart from providing the right construction of a given structure, which ensures that this structure is secure, functional, resistant and has architectural merit, must also take into consideration local environmental conditions. The engineer has to ensure that the environment may function without any obstacles and the species may migrate without restraint. To do this, an engineer needs to have clear guidelines concerning both the project and its realisation. The article contains the general form of these guidelines.

Keywords: Roads; Environment protection; sustainable development.

1. Introduction

The process of creating a transport route in Poland requires performing formal and legal actions in the appropriate order, in accordance with the legal acts, regulations and notices in force. In addition, the investment process of roads and bridges construction is governed by separate provisions, such as e.g. technical standards or orders of the General Director of the National Roads and Motorways. Many studies regulating certain issues related to the process of road creation are also issued. These are auxiliary studies (it is not obligatory to apply them) issued by the Ministry of Infrastructure and Development, Ministry of the Environment or the General Directorate for National Roads and Motorways. The complete procedure in the investment and construction process related to road creation covers in general as per design team of General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA) [1]:

- process preparation, including:
  - the preliminary design phase (network study: SS);
  - the phase of obtaining administrative decisions:
    - design studies necessary to obtain the decision on environmental conditions (corridor study with multicriteria analysis - SK; technical, economic and environmental study - STES; materials to the decision on environmental conditions - DSU);

        - design studies necessary to obtain the decision on the permission to implement a road project (geodesic and cartographic studies - MDCP as well as formal and legal studies; road preliminary design – KP; building permit design - PB; materials necessary to obtain the decision on the permission to implement a road project - ZRiD);
    - the phase of complementary and final design:
        - post-construction audit of road traffic safety,
        - environmental protection studies (report on implementing the provisions of the environmental approval; post-implementation analysis; ecological review);
        - documentation for notification of the works; tender documentation, including the documentation for the "design and build" system;
    - the phase of obtaining investment funds from external sources:
        - feasibility study together with the results, including the cost benefit analysis;
- process implementation covering:
    - construction and assembly works (including production of construction materials);
    - acceptance and handover.

The process of creating transport engineering structures in the 21st century requires that the participants to this process demonstrate a largely innovative approach. This process should include, apart from the technical and purely engineering side, also the aspects related to the concern for the environment and wildlife, as well as aesthetic and economic aspects. Such solutions should be related to the widely understood environmental protection, covering also obtaining renewable energy, which enables return of construction costs in a relatively short time.

2. The issue of laying out transport routes on examples

In our country laying out a new transport route (in particular of a new expressway) is related to a number of problems. The first one is the decision whether the implementation is to be carried out along the "new course" or along the old route. Over the years the existing national, province, district and commune roads have become surrounded by houses, homesteads and services-related facilities. Laying out a new road along the "old course" in the majority of cases will in fact require destroying many structures, even entire villages, which will result in many protests and considerable damage. Building a new road and occupying new land for the road lane is in turn related to the loss of agricultural land, deteriorated farms layout, which results from laying out transport routes running through the fields and separating the fields from residential areas, or to lowered quality of soils surrounding the transport route. Apart from occupying agricultural lands to be used directly underneath the route, the production capability of lands situated in the vicinity of the road is reduced (this is related to environmental pollution caused by exhaust fumes), even by one valuation class. This may lead to protests of individuals or even of whole communities against the route of a given road. Since approximately 38% of our country is covered with environmentally valuable areas (including the areas protected under the Act on the Environmental Protection and the areas which are covered by Nature 2000, as well as the areas where the habitats and species protected under the Council Directive 79/49/EEC [2] and the Council Directive 92/43/EEC [3] are situated) and at the same time our country is largely agricultural, laying out roads circumventing agricultural lands will direct the roads

towards protected or developed areas. In the first case it will cause protests of the local environmental societies or environmental organizations (NGOs) and in the second case - protests of the society.

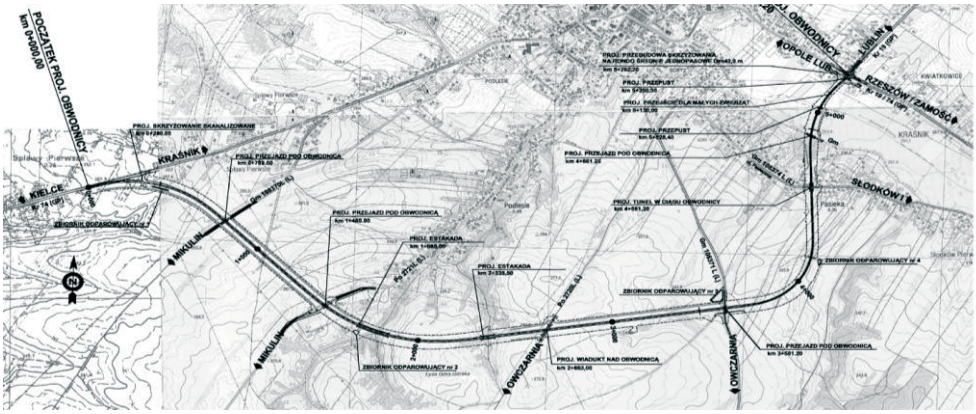


Fig. 1. The variant of laying out Kraśnik circular road the variant selected in 2006 for design and construction (stages PB, PW)

The author experienced the protests of local environmental societies in the process of construction of Kraśnik ring road (Kraśnik is a town in south-eastern part of Poland, in lubelskie voivodship) within the national roads No 19 and No 74 [4]. In the discussed Kraśnik ring road example the environmental communities reported unofficial comments as to the route of the ring road. Therefore in 1986 in the preliminary design the selected route was located on the edge of the area described as "protected in terms of landscape". Since in later years the boundaries of the Kraśnik Area of Protected Landscape were expanded and the ring road route was moved towards Kraśnik (and included in the local area development plans), the environmental communities of Lublin area strongly protested against laying out this road in such a way. What they mainly protested against was that the route goes through: environmentally valuable groups of gorges, a group of 5 ponds, groups of one of the most valuables orchid localities in the macroregion, ecological site of Krasny stream and Wyżnica river, spring area of Wyżnica river and the area of protected groundwater. In the end the ring road was designed taking into account all the environmental, administrative and social issues. Even though it goes through environmentally valuable areas, on 22 May 2007 it obtained the environmental approval. Kraśnik ring road was constructed and handed over in November 2010.

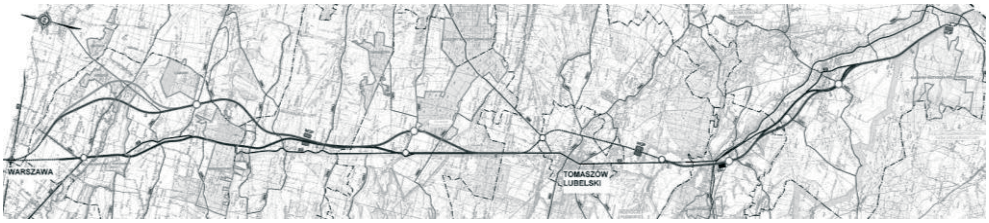


Fig. 2. Laying out the S17 expressway between Zamość and Hrebenne in difficult social and environmental conditions (stages KP and STES).

The author came across the protests of environmental organizations (NGOs) and protests of local communities while preparing Preliminary Design and STEŚ together with the report on the environmental impact for the (Warsaw) Zakręt – Lublin – Zamość – Hrebenne (Lvov) section of S17 expressway at the Zamość-Hrebenne (border of Poland) section. The Preliminary Design was started in 2006, the report on the environmental impact was prepared together with successive annexes, updates and redrafts between 2007 and 2013. Until present (March 2016) the environmental approval for this investment has not been issued. Among the reasons for this are: amendments to the legal provisions, creation of Nature 2000 areas and changes to their boundaries, protests of ecologists, including NGOs, and social protests. There is a chance that around the end of the current year the investment will obtain its environmental approval.

3. Innovative solutions in transport infrastructure engineering on examples

As the ancients used to say, "*Conservatio est Aeterna Creatio*" (preservation is eternal creation). One of the spectacular implementations of this maxim are the designs sent to the international competition "Solar Park South" for the use of one section of Del Sole Highway (A3 Salerno – Reggio Calabria Highway) which is being removed from use. The highway section being closed, between Bagnara and Scilla, was constructed in 1960-1970 mainly on viaducts and tunnels. Highway del Sole runs through a very attractive region in terms of landscape and tourism, as seen on picture 8. On one side there is a landscape with the mountains and local villages and on the other the Mediterranean Sea, Calabria coast, Messina strait, Sicily and Lipari Islands.

Fig. 3. The course of del Sole Highway on the Calabria coast[1]

The rules of "Solar Park South" competition state that one line of the highway (south-north) is to be devoted to create a place to test generating energy from renewable sources or to search for new sustainable technologies. The second line of the highway would constitute a section of national road No 18 aimed at ensuring better communication between Scilla and Bagnara communes, including integration of the existing A3 road with the surrounding landscape, elements of the environment and buildings, local communities with tourists, the surrounding mountain and village areas, taking into consideration eco-development and using service roads and technical elements left after the construction of the new section of Highway del Sole.

[1] visualisation by: Francesco Colarossi, Giovanna Saracino, Luisa Saracino – upon Francesco Colarossi's consent received via e-mail

Fig. 4. The design prepared by the French: first prize at the Solar Park South competition in Calabria[2]

Here are the designs which came first, second and third in the competition. First prize (Fig. 4) went to the design prepared by the French: Philippe Rizzotti, Vermet Tanguy, Manal Rachdi, Samuel Nageotte; it is an autonomous system based on the rainwater and geothermal energy, constructed from vertically situated apartments, as well as shops, medical and entertainment facilities, which also enables climbing, skiing and other sports, using all the aspects of this region.

Second prize (Fig. 5) was awarded to the design by the Italians: Francesco Colarossi, Giovanna Saracino and Luisa Saracino. Its name is Solar Wind Bridge and it is based on using the existing viaducts along the A3 highway in Calabria for continuous generation of energy with the use of hybrid system combining solar and wind energy. The project is based on the idea of using the space between the pillars of the existing viaducts to assemble a system of wind turbines which will be incorporated in the entire structure. The second idea of the Solar Wind Bridge design is the so-called solar park, approximately 20 km long, on one carriageway. The solar park is conceived as "green" promenade, similar to panoramic greenhouses, entirely self-sufficient in terms of energy and heat. The park guests will be able to rest and walk along the promenade, admire amazing views of the Calabria coast, the sea, nearby islands etc., buy local products grown in such greenhouses: vegetables, fruit, corns, garden plants etc. The third idea of Solar Wind Bridge is replacing asphalt of the other carriageway, approx. 20 km long, with the so-called “solar roadways” (it consists in replacing asphalt on the A3 road surface with specially prepared solar cells which can withstand loads and are highly resistant: half-transparent layer consisting of solar cells, LED lamps and heating elements, electronic layer to control the lighting and communication and the basic layer which separates the electrical wiring system of the road from the local electrical wiring system).

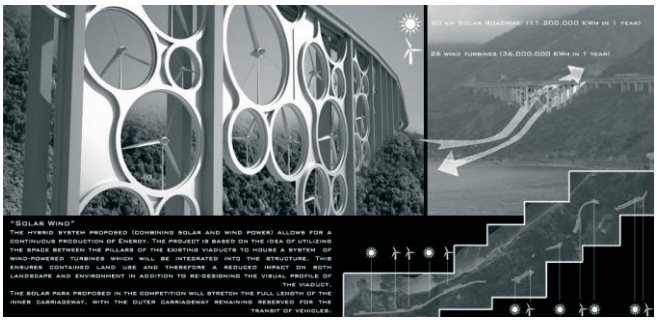


Fig. 5. The second prize at the Solar Park South competition in Calabria - a view of wind turbines[3]

[2] source: www.newitalianblood.com/solarparksouth/projects/494-1.html; accessed on: 02 December 2013

Third prize (Fig. 6) went to the design prepared by the Colombians: Daniel Azuero, Tomas Jaramillo, Andres Gutierrez, Juan Jaramillo. The idea here is "green education". The design instructs that the civic activity of the local communities combined with using materials and crops from a given area is the key to success. The design encourages the locals to participate in the construction by creating the common area, so-called Green Education Research Centre, which everyone can enjoy. This is to serve an example to other regions around the world of how to use, in a sustainable way, a structure existing in a given region by promoting it and deriving profit from it [5].

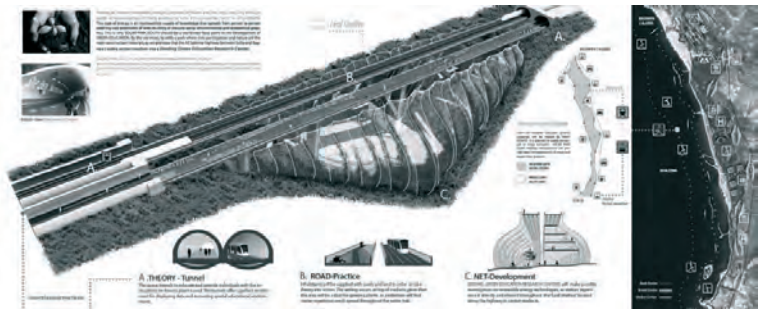


Fig. 6. The design prepared by the Colombians: third prize at the Solar Park South competition in Calabria[4]

4. The guidelines for creation of transport engineering structures in the spirit of eco-engineering

4.1. Design of environmental protection structures

From April 2002 to June 2009 when designing national roads in Poland "Catalogue of road facilities for environmental protection", which constitutes an annex to the Order No 58 of the General Director of National Roads and Motorways, was applied [7]. It has been withdrawn and until now no other document has replaced it. The legal provisions do not offer any definition of "facilities for environmental protection". For the purposes of the article we will assume, following the out-of-date "Catalogue of road facilities for environmental protection", that among the types of facilities for environmental protection, that is the structures used for environmental protection within the road right-of-way, are: noise barriers, facilities for waste water disposal and treatment, fencing for animals, passages for animals, tunnels and security coverings, protective greenery; however, due to limited amount of space only some of them will be discussed in the article.

The developed areas, leisure and recreational areas outside of the city, hospital areas outside of the city, health resort protection areas: they all have their established permissible levels of noise in the environment caused, among other things, by traffic (regulation on the permissible levels of noise in the environment). When a transport route runs through one of the aforementioned areas and if the relevant calculations show that the permissible values of noise are exceeded, the permissible level must be retained within the road limits. One of the ways to limit the noise which exceeds the standard level is to use noise barriers. A noise barrier has undoubtedly many features such as: it occupies small area, is easy to assemble,

[3] as above

[4] source: www.newitalianblood.com/solarparksouth/projects/80-1.html; accessed on: 02 December 2013

has good efficiency and acceptable costs. Due to their acoustic properties such barriers are divided into: reflecting, which reflect the sound wave towards the source e.g. from acrylic plates; reflective/diffusive, which have additional diffusive features in the form of pits and recesses; absorptive, which are shaped in such a way as to increase their absorptive properties, are filled with absorptive materials and have the possibility to be covered with climbing plants. In terms of the material which the barriers are made of we divide them into: metal, concrete, concrete with the addition of other components, glass, acrylic, ceramic, wooden and other. In terms of the shape of the cross-section the barriers are divided into: vertical, horizontal, suspended vertical, rectangular, wedge-shaped, trapezoid, curved. Due to the vertical projection noise barriers are divided into rectilinear and curvilinear (acoustic properties, aesthetic values, terrain conditions, removal of monotony). In terms of their assembly the barriers are divided into: segmental (assembled using large segments of catalogue size) and modular (assembled using successive elements of a small module).

Within the last years in the south-western and north-western parts of Poland noise barriers was a very popular solution. Unfortunately, after some years it has turned out that in many cases the barriers do not perform their role. Many incorrect solutions were used, the efficiency of the barriers was alarmingly low, even their aesthetic aspects in most cases left much to be desired. Therefore, in addition to the proper design a detailed analysis of the efficiency of a given barrier, in particular in the urbanised structure, should also be carried out. An improperly placed barrier is not only an additional source of shadow but the reflecting surface which modifies the acoustic field, not always to the benefit of the people living in the built-in area, in some cases also unnecessarily defaces the landscape. In order to reduce the noise similarly to a noise barrier we should plant in the same place a vegetated strip which is 5-10 or more metres wide. Moreover, it takes a long time for the trees to grow so the intended effect of noise reduction will be possible in a decade or so. It is known that in an urbanised area such space is scarce. However the greenery, apart from its anti-noise function, also performs many other roles (protects the side of the road against atmospheric pollutions, protects the soil and water, has aesthetic values) and it is a human-friendly and natural method. Instead of the barriers we can also use (whenever possible) earthen rampart planted with certain species of plants, which also serve as a noise barrier, protect against air pollution and have aesthetic values if appropriate plant compositions are used.

In terms of roadside greenery in Poland the issues which arise when building a new road differ from those occurring when e.g. the roadside trees already exist. There are many opponents to roadside trees who argue that: such trees cause many accidents, people die when crashing into such trees (around 3 people die daily and 20 are injured after crashing into a tree which grows too close to the roadside - source: www.policja.pl). However, many natural scientists and ecologists protest against cutting roadside trees (there are examples of people chaining themselves to the trees). Natural scientists urge people not to impoverish the landscapes, to preserve many valuable dendrological items (in particular in the case of cutting precious avenue trees, such as lindens or willows). Roadside vegetated strips may be a partial solution to the problems related to laying down the roads. Placing the widest possible vegetated strips at the widened (for this particular purpose) right-of-way of a road while using appropriate and variable plants (trees, not necessarily high, but also bushes or covering the ground with sod) will effectively protect the nearby agricultural areas (e.g. using two protective vegetated strips instead of one decreases the possibility of losing productive capabilities of soils which are in the immediate vicinity of the road by even 10% [4]. Vegetated buffer strips near the roads require widening the road within its limits and as a result the road occupies a larger area of land. Moreover, a certain group of natural

scientists (e.g. OTOP) firmly oppose to such solutions since they see the road (in particular an expressway) as a danger to the animals developing in such biocenoses. In the case of mammals and amphibians this is the matter of appropriate fencing but in the case of birds there is no possibility to eliminate their confrontation with vehicles travelling on the road.

The issue of fencing for animals used near the roads is basically omitted and treated superficially, while it is very important to properly design (and then build) protective fencing. Such fencing not only prevents the animals from entering the road and being killed by the vehicles but also protects the road users against collisions with animals which may result in death or disablement of such users (in particular following a collision with medium and large animals), or, in the most optimistic scenario, damage to the vehicle.

a) b)

Fig. 7. Examples of proper protective fencing which effectively prevents small (e.g. amphibians), medium and large animals from entering the road (A4) (photo by A. Leniak-Tomczyk)

Examples on Fig. 7 show what protective fencing should look like: effective protection against amphibians, reptiles and mammals entering the road by using steel large-mesh netting, and additionally steel small-mesh netting and plastic netting with a freely lowered closing which will prevent the climbing fauna representatives from getting to the other side of fencing. The larger the mesh density, the better because young amphibians are very small. Near the fencing door (Fig. 7) plastic partitions should be placed. Thanks to them even if they are left partially open the small fauna representatives will not be able to go behind the fencing.

A very important element of animal fencing is placing it deep enough in the ground and connecting the netting appropriately to the engineering structure abutment, the noise barrier (Fig. 7) or the side slope. Improper placing the netting in the ground or lack of such placing may result in small animals squeezing underneath the fencing, digging under the netting, and finally (e.g. in the case of a wild boar) causing damage. Moreover, protective fencing should be appropriately connected to the system which guides the animals to the passages intended for them, without interrupting the continuity of such system. In principle natural scientists recommend natural systems of guiding animals to the passages, i.e. plant systems. Only in the case of guiding amphibians prefabricated elements or nettings are a better solution. The advantage of prefabricated elements is also that they end with a "roof" and "leg" (in the shape of inverted "L" letter) which prevents the jumping and climbing small fauna representatives from reaching the road. Nevertheless, the systems of guidance and the developed animal passages should be equipped with appropriate plant groups (the best ones being native groups). In the case of animal passages (as long as these are not complex passages) it is important to remember that people should not use such passages. A very good and natural way is to use boulders at the entrance from at least one side of the passage (Fig. 8) which in addition will be a good hiding place for smaller mammals on their way to "the other side of the road".

Fig. 8. Boulder rip-rap which effectively prevents small (e.g. amphibians), medium and large animals from passing through or entering the road (A4) (photo by A. Leniak-Tomczyk)

Animal passages are very important from the point of view of the whole ecosystem. If the entire road is fenced and if we do not use animal passages, we will lead to fragmentation and isolation of fauna habitats. Isolated animal populations with less than 500 animals have very little chance of survival [6].

According to the natural scientists and ecologists animal passages should be located: every 2 km for large animals, every km for medium animals, every 500 m for small animals, while for amphibians and reptiles (culverts) every 50-100 m on protected areas and the areas where certain species occur.

When creating animal passages the most important is their proper location which due to high cost of constructing engineering structures should be preceded by detailed analysis including both environmental and technical and structural aspects. First, the fauna habitats and ecological corridors should be marked on the map with a road section (the maps of corridors can be obtained from the book "Zwierzęta a drogi" [Animals versus roads] (by Jedrzejewski [6]) or from the website pracownia.org.pl) significant at the international and national level and information on the local migration routes should be obtained from the local natural scientists, foresters (if not, from the hunters' associations or on the basis of own knowledge and observations). After the habitats and migration corridors are marked on the map, the next step is to define the exact location of the planned animal passages with respect to the animal species living in a given location, places of the highest penetration (with the best landscape features for animal movements) and in relation to the topography and levelling of the designed road. In order for the passage to be used extensively by the animals it should be located in a place where the human activity is close to none or non-existent, at least 200 metres from the boundaries of the places of human activity, including parking lots, crossroads, junctions and lighted road sections (including MOP, OUA/OUD, SPO/PPO).

4.2. Location, development and organization of the base and temporary plant and facilities of the building site

The first and basic problem at the stage of road construction is the location, development and organization of the base at the building site. This is a very complex problem since it is necessary to choose an appropriate place where it will be possible to have access to the electricity, water, waste management solutions, sewage disposal, access roads and where the entire technical and social infrastructure (place for materials storage, machines parking, concrete manufacturing facility, if necessary, and the place of stay for people) will be created. The base and the construction site also involve temporary degradation of the surrounding environment, which is particularly important in some cases where the road is to be laid out, e.g. in the area of underground water and springs protection.

Another problem which the organizers of the construction site need to face is the access to the site and the issue of vehicle traffic organization during investment implementation. To such end the selected access roads should be optimal, giving the possibility to omit the most ecologically valuable places within the investment, and at the same time possibly short, which will not cause unnecessary emission of pollution to the atmosphere, noise emission and unnecessary fuel consumption. If possible, building temporary access roads and temporary bridge structures should be limited to the minimum because this requires additional use of materials, energy and temporary damage to the environment [8].

4.3. On-site water balance

Water supply at the construction sites is currently becoming more and more serious problem, both economic and ecological, due to the relation of prices and increasing tension in the balance of water sources for the people. The use of drinking water for technological purposes at the age of its significant shortage is by all means inadvisable. The contractors more and more often resort to other sources than water from water supply systems. The sources of water used for construction purposes may be, apart from the water supply systems: groundwater, surface water, mine water and atmospheric precipitations. The possibility to use the adequate sources results from the qualitative needs for the received water. The amount of water at the construction sites must be previously calculated for individual needs and closely controlled during construction in order to avoid ineffective losses. The water for potable and household use may be taken from the water supply system, underground or from cisterns and then stored, e.g. in barrels painted in black, to retain appropriate temperature without consuming additional non-renewable energy. Currently the distance to the water source or to the sewage disposal point is not a problem. Many companies offer a wide range of containers e.g. Toi-Toi, equipped with toilets, washbasins, showers, urinals, boilers, electrical heating, even containers for clean water and waste water and for faeces. These are leak free containers which prevent leakage of waste waters or other substances which are detrimental to the environment. Water may be supplied in cisterns, the issue of electricity is resolved by power generators, and the sewage is transported outside of the site to a place intended for them. In the case of construction carried out within protected areas it is a recommended solution [8].

4.4. Environmental declarations of products

Currently at the construction sites the legal provisions concerning EH&S are very strict, in particular after the amendments to the Construction Law (Dz. U. (Journal of Laws) of 2006 No 156 item 1118) . Such provisions regard both the issues related to the construction site, storage and type of materials used, and the works technology. Moreover, the construction works should be carried out in accordance with the Detailed Technical Specifications which constitute part of the design plans and specifications and in accordance with the provisions of the Environment Protection Law. The construction materials and products introduced to the common use must have appropriate certificates, attestations and declarations of conformity which guarantee necessary quality required by the Polish standard or technical approval. In Poland the body entitled to grant technical approvals as regards transport engineering products used only in roads and bridges construction is the Road and Bridge Research Institute. In the conditions of increasing ecological awareness, in the EU countries (including Poland) apart from technical approvals the products environmental declarations have also appeared. The products environmental declarations as an instrument used to support eco-development and eco-engineering aim at improvement of

environmental properties of a product at the stage of production and use by indicating its ecological features and presenting them in the numerical form as appropriately selected criteria, e.g. of the impact on the environment, impoverishment of the ozone layer, greenhouse potential or acidification potential. The rules governing preparation of such declarations are included in ISO 14020 "Environmental Labels and declarations: General Principles" which covers three types of declarations: General Principles" which covers three types of declarations: Type I simplified declarations, so-called environmental labelling; Type II manufacturers' declarations, so-called own statements; Type III declarations (with appropriate verification carried out by independent institutions). Information included in such declarations regard the environmental aspects related to the production processes, also energy consumption after the product leaves the manufacturing facility and recycling of waste product. Declarations are the tools of LCA (Life Cycle Assessment) method, i.e. the summaries and assessments of the product and its potential impact on the environment in the full life cycle. The product analysis in accordance with LCA methodology includes: observation of the entire life cycle of product, from obtaining raw materials throughout their processing, product manufacturing, its use, recycling and waste management; defining all the negative environmental impacts in the full life cycle: consumption of raw materials, energy carriers, terrain, emissions to the atmosphere, water and soil, and waste materials; aggregation and assessment of such activities from the point of view of potential effects in the environment. LCA methodologies assume energy saving way of material production, higher material durability and less maintenance activities. The products manufactured in accordance with LCA methods and having environmental declarations offer ecological, technical and economic benefits [8].

4.5. Waste management and recycling

Using closed circuit of raw materials and construction materials is very important also due to the issue of waste. The problem of waste is one of the most serious environmental problems in the 21st century. Even though the nature is not familiar with the issue of waste (what one organism produces becomes in nature the food for other organisms), nowadays nearly at every step we come across waste materials produced by people. The construction industry produces a lot of waste materials but many can be reused. In general in the case of repair, rebuilding or restructuring of roads many such waste materials are produced. In the case of new road construction such materials may be a by-product of road demolition at the crossroads or other conflicts with technical infrastructure. Waste materials, or rather "alternative materials", both from construction (including road construction) and from other branches of industry may be a solution to many dilemmas connected with raw materials. Problem: where to take the materials and raw materials from the shortage of which is visible today, taking into account the vision of planned expansion of roads network in our country and construction of highways would be solved at least partly [8].

5. Conclusion

In the 21st century, in the conditions of global threats such as the greenhouse effect, acid rains, ozone hole, progressive degradation of the environment, complete harmonization of nature and civilization and ecological adjustment of the model of life are becoming an indispensable condition for social and economic development. This is important in particular in terms of land transportation where apart from engines improvement, search for ecological fuels or alternative possibilities of travelling, in the process of creating new

transport routes the necessity to include and use eco-engineering solutions which go beyond the standards is becoming more and more significant. In the process of creating transport routes we should aim at protection and sustainable use of natural resources while preserving the proportions of social and economic development, including infrastructure development. We should be looking for compromise to satisfy social interests and not hinder technical development yet at the lowest possible cost to the environment. Such solutions guarantee innovative techniques and technologies, including those which take into consideration the link between the transport infrastructure engineering and the installations for obtaining energy from renewable sources. When assessing the idea of using transport engineering structures for the purpose of obtaining renewable energy we should always remember that every human activity influences the surrounding environment. Extraction of raw materials, emission of pollutants to the atmosphere, water pollution, storage of waste: these are just a few examples of activities which undeniably have a negative impact on the environment. Taking into account the signs for the future, while assuming that the road surfaces covered with solar panels will generate power and heat, that car engines will be powered with the energy obtained from the road surfaces and that, as a result of obtaining renewable energy from transport engineering structures, it will not be necessary to occupy new biologically active areas for the purpose of obtaining energy. It turns out that transport infrastructure engineering may become one of the most ecological branches of the economy.

References

1 Design team of General Directorate for National Roads and Motorways under the supervision of Wiktorowicz, K. Stadia i skład dokumentacji projektowej dla dróg i mostów w fazie przygotowania zadań (Stages and Parts of Design Documentation for Roads and Bridges at the Tasks Preparation Phase), Order No 17 of the General Director for National Roads and Motorways (GDDKiA) of 11 May 2009 as amended, Warsaw.
2 Dyrektywa Rady 79/49/EWG z dnia 2 kwietnia 1979 r. w sprawie dzikiego ptactwa (Dz. Urz. UE L 103 z 25.04.1979 str. 1, z późn. zm.).
3 Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk naturalnych oraz dzikiej fauny i flory (Dz. Urz. UE L 206 z 22.07.1992 z późn. zm.).
4 Leniak-Tomczyk A., Gazda L., Łagoda G.: Мостовые сооружения как инструмент охраны окружающей среды, Scientific International Conf. on Bridges Structured, Kiev, 2007, pp. 15-24.
5 Leniak-Tomczyk A., Łagoda G., Wiadukt w Calabrii jako przykład innowacyjnych rozwiązań w budownictwie komunikacyjnym Wiadukt w Calabrii jako przykład innowacyjnych rozwiązań w budownictwie komunikacyjnym, Budownictwo i Architektura 13(1) (2014), pp. 157-166
6 Jedrzejewski, W., Nowak, S., Kurek, R., Mysłajek, R.W., Stachura, K., Zawadzka, B. Animals versus Roads. The Methods of Limiting the Negative Impact of Roads on Wild Animals Populations, issued by Zakład Badania Ssaków Państwowej Akademii Nauk, Białowieża, 2006.
7 „Katalog drogowych urządzeń ochrony środowiska" stanowiący załącznik do Zarządzenia Nr 58 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2002.
8 Leniak-Tomczyk A., Łagoda G. Środowiskowe uwarunkowania realizacji inwestycji drogowych w Polsce (Environmental Determinants of Road Construction Process in Poland). Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2010, ISSN 1643-1618, Drogi i Mosty No 2/2010, pp. 31-52.

Environment-friendly roads

Anna Leniak-Tomczyk[1], Grażyna Łagoda[2]

[1] DrogMost Lubelski L.L Company , e–mail: anna.lt@drogmost.pl
[2] Institute of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering, Warsaw University of Technology, e–mail: g.lagoda@il.pw.edu.pl

Summary: The article contains the general form of guidelines within therange of interface between road engineering an environmental requirements. One road investment is subject to numerous consultations, requires many different studies, collecting a huge amount of opinions as well as approvals and obtaining a number of decisions. Currently without including in the project some solutions that would both guarantee minimal influence on the environment and ensure the efficiency of local ecosystems it is impossible to obtain the positive environmental decision. The engineer has to ensure that the environment may function without any obstacles and the species may migrate without restraint. To do this, an engineer needs to have clear guidelines concerning both the project and its realisation.

Keywords: Roads; Environment protection; Sustainable development.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 249-257

Prędkość i jej wpływ na wypadki na drogach z udziałem zwierząt

Wioleta Czarnecka

Wydział Zarządzania Ruchem, Zarząd Dróg i Mostów w Lublinie,
email: wczarnecka@zdm.lublin.eu

Streszczenie: Gwałtowny rozwój infrastruktury transportowej w ostatnich latach powoduje znaczącą fragmentację siedlisk, występowanie efektu barierowego oraz śmiertelność dziko żyjących zwierząt na drogach. Powoduje to bardzo duże zagrożenie dla kierowców i zwierząt.

Niezwykle istotne jest, aby w procesie planowania i projektowania dróg uczestniczyli projektanci, planiści, zarządcy dróg posiadający informację o szlakach migracyjnych zwierząt, nadleśnictwa i specjaliści przyrodnicy związani z problematyką ochrony zwierząt. Konieczne jest również gromadzenie szczegółowych informacji o kolizjach i wypadkach ze zwierzętami, które umożliwią wypracowanie sposobów i metod ochrony zarówno ludzi, jak i zwierząt.

Słowa kluczowe: wypadki z udziałem zwierząt, prędkość, wypadki, bezpieczeństwo ruchu drogowego.

1. Wprowadzenie

Drogi stanowią element intensywnie oddziaływujący na otoczenie a także przyrodę terenów sąsiadujących. Wielkość tego oddziaływana wynika przede wszystkim z lokalizacji inwestycji, zastosowanych rozwiązań projektowych oraz natężenia ruchu pojazdów. Budowa nowych dróg nieodwracalnie dzieli istniejące ekosystemy, przecina korytarze ekologiczne oraz korytarze migracji zwierząt. Jednocześnie zastosowane rozwiązania techniczne takie jak nasypy, wykopy, ogrodzenia ochronne, ekrany akustyczne, bariery energochłonne powiększają fragmentację środowiska i przyczyniają się do powstawania efektu barierowego.

Dołączając do tego ciągły pośpiech i powszechnie przekraczaną prędkość na drogach uzyskuje się bardzo niebezpieczne zjawisko, jakim są kolizje/wypadki drogowe z udziałem zwierząt.

2. Drogi oraz nadmierna prędkości pojazdów jako efekt bariery ekologicznej dla zwierząt

Jazda z nadmierną prędkością zmniejsza zarówno możliwości obserwacji otoczenia drogi, jak i możliwości prawidłowej reakcji kierowców w sytuacjach zagrożenia. Kierowca ma mniej czasu, aby prawidłowo rozpoznać, ocenić i zareagować na sytuację drogową, droga hamowania pojazdu wydłuża się, zwiększa się prawdopodobieństwo utraty kontroli kierowcy nad pojazdem, wreszcie inni użytkownicy dróg mają mniej czasu, aby uniknąć wypadku [1].

Jednym z popularniejszych modeli opisujących zależności pomiędzy zmianą średniej prędkości ruchu a zmianą liczby wypadków, ofiar śmiertelnych i rannych jest tzw. „Power Model" opracowany w przez szwedzkiego naukowca Gorana Nilssona ze szwedzkiego instytutu VTI [1]. Zgodnie z tym modelem związek między prędkością a wskaźnikiem wypadków drogowych nie ma charakteru liniowego, ale wykładniczy. Zmiana 1% w średniej rzeczywistej prędkości jazdy (przy założeniu, że wszystkie inne czynniki pozostają bez zmian) prowadzi do 4% wzrostu wskaźnika wypadków śmiertelnych, 3% wzrostu wskaźnika ciężkości wypadków oraz 2% wzrostu liczby wypadków drogowych. Zależności te były weryfikowane w wielu badaniach. Między innymi wykazano, że siła związku między prędkością a prawdopodobieństwem wypadku drogowego może być modyfikowana przez środowisko drogowe.

Oddziaływanie dróg i ruchu drogowego powoduje efekt bariery dla zwierząt. Dotyczy to przede wszystkim korytarzy ekologicznych, a także innych miejsc, gdzie może występować lokalna migracja zwierząt.

Barierę ekologiczną (związaną z drogami) określa się [2], jako kompleksowy efekt działania śmiertelności, fizycznych ograniczeń, przekształceń środowiska i oddziaływań, które ograniczają danemu gatunkowi możliwość przekraczania drogi, przez co wpływają na jego zasięg, rozmieszczenie i liczebność populacji. Efektem łagodzącym może być budowanie przejść dla zwierząt (krajobrazowych, górnych i dolnych, małych i dużych, zespolonych) oraz ogrodzeń ochronno naprowadzających.

Najbardziej powszechnym środkiem stosowanym na polskich drogach niższych klas jest znak pionowy A- 18b „Uwaga – dzikie zwierzęta". Niestety zbyt powszechne jego stosowanie przyczyniło się do obniżenia skuteczności ostrzegania.

W sytuacji kiedy nie ma możliwości wybudowania przejścia dla zwierząt można zastosować inne rozwiązania, które coraz częściej pojawiają się w Polsce a bardzo popularne są np. w Szwecji. Rozwiązaniem, jakie zostało zastosowane w Polsce przy przecinaniu korytarza migracyjnego zwierząt przez nowo wybudowana drogę jest zastosowanie gęsto rozstawionych słupków drogowych z umieszczonymi na nich tzw. „wilczymi oczami" przedstawione na fotografii nr 2a, b, c. Odblaski zostały zaprojektowane z myślą o odstraszaniu dzikich zwierząt w czasie przejazdu pojazdu przez odcinek drogi. Wiązki światła nadjeżdżającego pojazdu są odbijane przez odblaski na tereny boczne (leśne, polne) tworząc barierę optyczną dla zwierząt. Reflektory aktywują światło już z odległości ponad 100 m, co daje wystarczający czas na uzyskanie reakcji zwierząt, czyli zatrzymanie się lub zawrócenie.

Pozostałe metody ograniczania liczby kolizji i śmiertelności zwierząt wg R. Kurka to [8]:

- zarządzanie ruchem (drogi bez urządzeń ochronnych),
- trwałe ograniczenie prędkości jazdy na wybranych odcinkach,
- aktywne systemy ograniczania prędkości,
- okresowe zamykanie dróg lokalnych,
- roślinność osłonowa,
- zabezpieczanie transparentnych ekranów akustycznych,
- modyfikacja oświetlenia drogowego,
- odstraszacze świetlne (reflektory, lustra, „wilcze oczy"),
- repelenty chemiczne (zapachowe),
- odstraszacze dźwiękowe.

a)

b)

c)

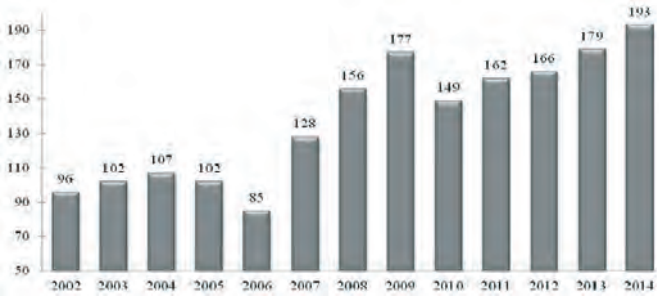
Fot. 1. a, b, c. Zastosowane wilcze oczy wzdłuż nowo wybudowanej drogi, fot. J. Bohatkiewicz

3. Wypadki z udziałem zwierząt w Polsce w latach 2002 -2014

Polska zajmuje jedno z niechlubnych ostatnich miejsc pod względem liczby osób zabitych w Europie. Co więcej odnotowano, że największy procent kierowców przekraczających dozwoloną prędkość jest w województwie lubelskim [3].

Statystyki policyjne [6] wskazują że, miesiącami w których występuje najwięcej wypadków ze zwierzętami to maj, październik i listopad, charakteryzujące się zwiększoną migracją zwierząt oraz poszukiwaniem nowych terenów dla zapewnienia warunków przetrwania, a także migracje dorastających osobników. Natomiast luty, to miesiąc gdzie liczba wypadków jest najmniejsza.

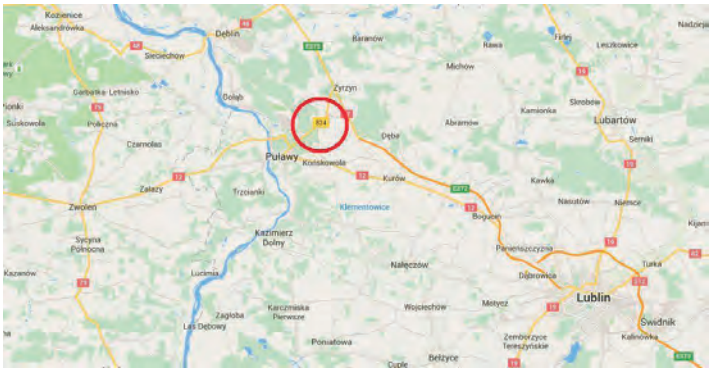
Zwierzęta migrują, poszukując miejsc żerowania, miejsc rozrodu przekraczając szlaki komunikacyjne na których często giną. Jak pokazują statystki liczba zdarzeń ze zwierzętami ciągle rośnie. Na rysunku 1 zauważyć można praktycznie ciągłą wzrostową tendencję zwiększania się z roku na rok liczby wypadków z udziałem zwierząt.



Rys. 1. Liczba wypadków w Polsce z udziałem zwierząt w latach 2002 – 2014 [6]

4. Analiza zagrożenia bezpieczeństwa ruchu na drodze wojewódzkiej nr 824

Droga wojewódzka nr 824 na odcinku od m. Żyrzyn do m. Puławy przedstawiona została na rysunku 2 - aktualnie jest ona zarządzana przez GDDKiA. Duża część drogi przecina kompleksy leśne Nadleśnictwa Puławy. Przekrój drogi jest jednojezdniowy, dwupasowy, który zachęca do rozwijania dużych prędkości. Na fotografii 2 pokazano charakterystyczny widok analizowanej drogi. Droga charakteryzuje się dużym natężeniem ruchu i bardzo dużym udziałem pojazdów ciężarowych w potoku pojazdów.

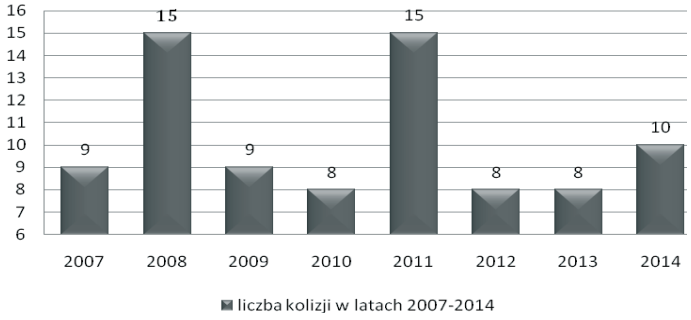


Rys. 2. Lokalizacja analizowanej drogi wojewódzkiej nr 824 odcinek od m. Żyrzyn do m. Puławy

Fot. 2. Charakterystyczny widok na drogę wojewódzką nr 824, km 9+400

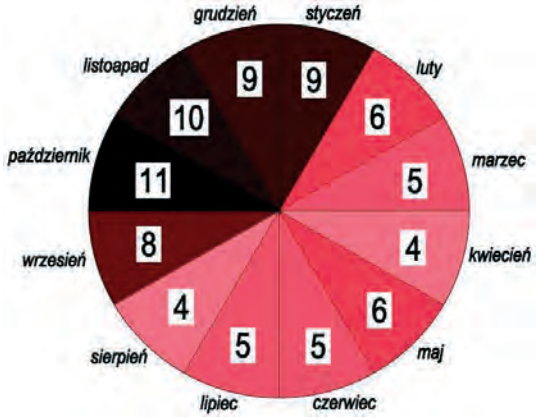
Prawie cały odcinek drogi z wyłączeniem przejść przez miejscowości oznakowany jest za pomocą zestawu znaku A-18b „Uwaga zwierzęta dzikie". Niepokojącym jest to, że w ciągu ostatnich 8 lat doszło na odcinku o długości 10 km do 82 kolizji oraz 2 wypadków drogowych z udziałem zwierząt [9].

Z analizowanych danych wynika, że liczba kolizji wynosi około 10 rocznie. Jednocześnie można przyjąć, że statystycznie jedynie co 4 kierowca zgłasza takie zdarzenie [10]. Na rysunku 3 przedstawiono liczbę kolizji z udziałem zwierząt na DW 824 na odcinku Puławy – Żyrzyn, w ciągu 8 lat (2007-2014).



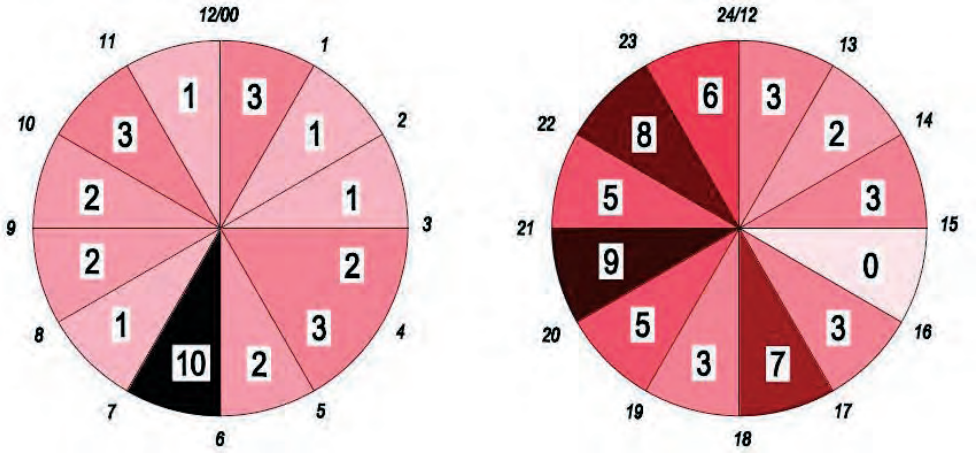
Rys. 3. Liczba kolizji/wypadków z udziałem zwierząt w latach 2007 – 2014 na DW 824, na odcinku Puławy – Żyrzyn [9]

Na rysunku 4 przedstawiono diagram z miesiącami najbardziej niebezpiecznymi pod względem ryzyka kolizji ze zwierzętami na analizowanym odcinku. Z przedstawionych danych wynika, że jest to pora jesieni oraz zimy, od września do lutego.



Rys. 4. Liczba kolizji/wypadków ze zwierzętami w podziale na miesiące w latach 2007 – 2014 na DW 824, na odcinku Puławy – Żyrzyn [9]

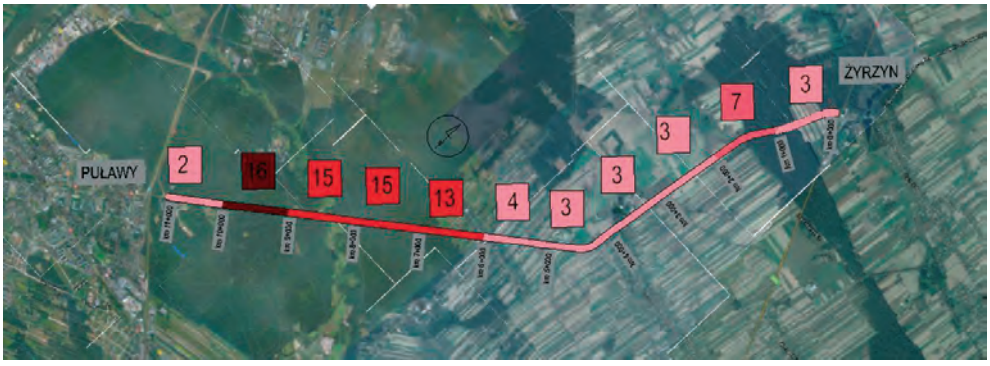
Na kolejnym rysunku 5 przedstawiono w formie diagramu liczbę wypadków i kolizji ze zwierzętami. Do największej liczby kolizji/wypadków dochodzi o świcie pomiędzy godz. 6.00 a 7.00 oraz od 19 do północy. Dużą liczbę kolizji odnotowano także od godz. 17 do 18, w jesieni oraz zimie, kiedy zdecydowanie wcześniej zapada zmrok oraz często występują bardzo złe warunki jazdy.



Rys. 5. Liczba wypadków/kolizji ze zwierzętami w podziale na godziny na DW 824 od m. Żyrzyn do m. Puławy [9]

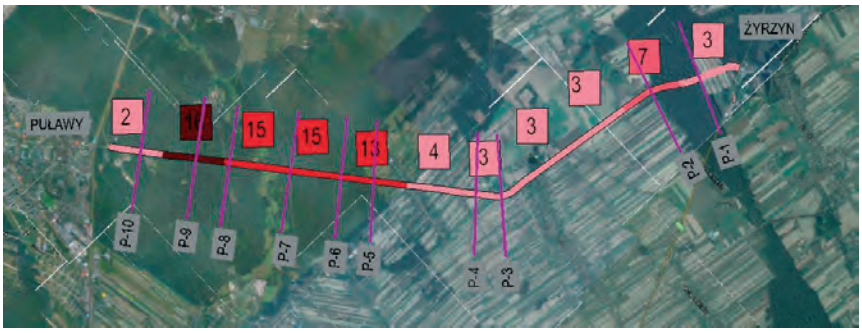
W opublikowanym w 2010 r. raporcie [10] podano, że dobrym sposobem rozwiązującym problem kolizji ze zwierzętami byłoby ustawienie tablicy informacyjnej tzw. Czarny Punkt przed wytypowanym miejscem niebezpiecznym, na którym występuje duże prawdopodobieństwo kolizji ze zwierzętami. Z rysunku 6 wynika, że taką tablicę z podaniem liczby kolizji i osób zabitych należałoby ustawić na wjeździe do lasu.

Zauważalne jest to że do koncentracji kolizji dochodzi w kompleksie leśnym oraz na jego obrzeżach – rys. 6. Odcinek drogi od km 6+500 do km 10+500 charakteryzuje się największym ryzykiem wystąpienia kolizji, to właśnie na tym odcinku w km 9+400 09.07.2015 r. użyta podczas badań fotokomórka wykryła małą sarnę w pobliżu drogi, w miesiącu, w którym zanotowano niewielką liczbę kolizji ze zwierzętami.



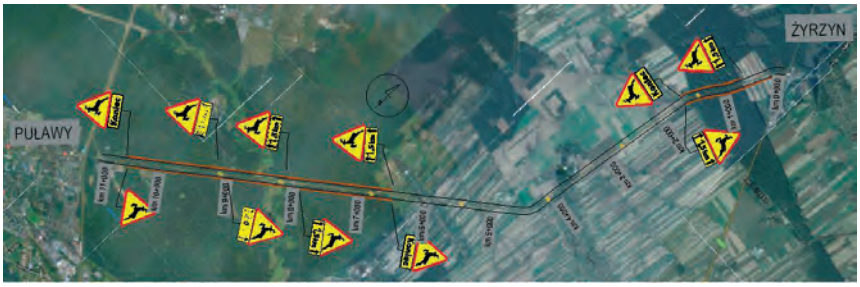
Rys. 6. Liczba kolizji z udziałem zwierząt na DW 824 w Puławach w latach 2007-2015 (lipiec) [9]

W ramach analiz i badań pomierzono także prędkości pojazdów (200 pojazdów w jednym przekroju pomiarowym – 100 w kierunku Puław oraz 100 w kierunku Żyrzyna). O lokalizacji punktów pomiarowych decydowała liczba kolizji w danym kilometrze, miejsca niebezpieczne takie jak łuki poziome i pionowe o ograniczonej widoczności oraz warunki w terenie. Lokalizację przekrojów pomiarowych pokazano na rysunku 7.



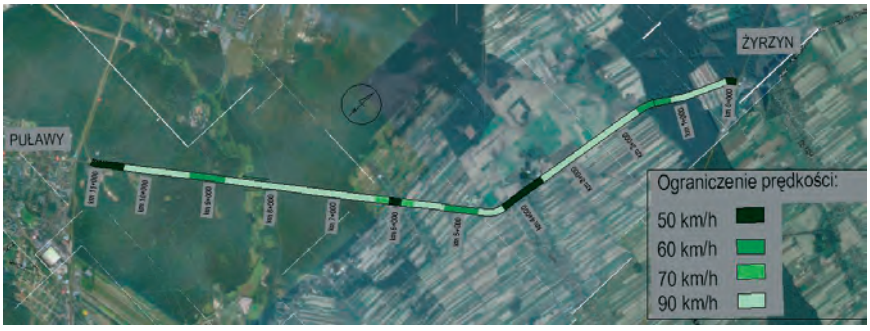
Rys. 7. Lokalizacja przekrojów pomiaru prędkości wzdłuż DW 824 na odcinku Puławy – Żyrzyn. Pomiar prędkości - wrzesień - październik 2015 r.

Teren, który narażony jest na wysokie ryzyko kolizji ze zwierzętami oznakowany jest w najczęściej spotykany sposób - to jest oznakowanie pionowe z podaniem długości odcinka niebezpiecznego. Zastosowane oznakowanie przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Oznakowanie ostrzegawcze „Uwaga dzikie zwierzęta" zastosowane na DW 824 na odcinku Puławy – Żyrzyn

Na rysunku 9 przedstawiono obowiązujące ograniczenia na analizowanej drodze. Większość drogi biegnie przez tereny niezamieszkałe, charakteryzujące się ograniczeniem do 90 km/h (na rysunku kolor blado zielony). W jednym miejscu przed terenem zabudowanym, mniej więcej w połowie odcinka wprowadzono ograniczenie do 70 km/h. W pozostałych miejscach, gdzie DW 824 krzyżuje się z drogami bocznymi lub istnieje przejście dla pieszych wprowadzono ograniczenie do 60 km/h (kolor zielony). Teren zabudowanych zaznaczony jest kolorem ciemnym zielonym.



Rys. 9. Dopuszczalna prędkość na DW 824 na odcinku Puławy – Żyrzyn

W tabeli nr 1 można zaobserwować, że na długości przekrojów nr 5-9 odnotowano największe prędkości, chociaż nie wszystkie pojazdy przekraczały dopuszczalne prędkości. Przekroje te pokrywają się z kompleksem leśnym przed Puławami, na którym doszło do największej liczby kolizji/wypadków ze zwierzętami.

Bardzo charakterystyczny jest ostatni pomiar, który wykonywany był już na terenie zabudowanym na wysokości zajezdni autobusowej w pobliżu Nadleśnictwa Puławy. Od 11–100% kierowców przekraczało dozwoloną prędkość wjeżdżając do miasta, natomiast w kierunku wyjazdowym było to 81%. Na końcowym fragmencie analizowanego odcinka drogi dochodziło do największej liczby kolizji ze zwierzętami. Z wykresu wynika także, że kierowcy poruszający się w kierunku Puław znacznie częściej przekraczają dopuszczalną prędkość.

Tabela 1. Kwantyl prędkości, średnia prędkość przedstawiona na tle dopuszczalnej prędkości wraz z procentowym udziałem kierowców, którzy przekraczają dozwoloną prędkość

Nr przekroju	km	Obowiązujące ograniczenie [km/h]	Prędkość średnia [km/h]	Kwantyl prędkości 85 [km/h]	% kierowców przekraczających dozwoloną predkość	
					w kierunki Żyrzyna	w kierunku Puław
P-1	0+700	90	73	83	3	11
P-2	1+500	60	76	84	100	99
P-3	4+300	90	71	78	2	3
P-4	4+600	60	72	78	89	99
P-5	6+300	90	82	95	17	22
P-6	7+000	90	82	92	13	21
P-7	8+300	60	81	92	98	97
P-8	9+100	90	81	96	20	25
P-9	9+500	90	89	100	45	33
P-10	10+000	50	66	75	81	100

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

- do największej liczby kolizji/wypadków na analizowanej drodze wojewódzkiej nr 824, na odcinku od m. Żyrzyn do m. Puławy dochodziło od miesiąca września do stycznia,
- pora dnia mająca największy wpływ na ryzyko wystąpienia kolizji ze zwierzętami to godziny od 17:00 do 24:00 oraz rano, miedzy godziną 6:00 a 7:00, gdzie doszło do 10 takich przypadków,
- największa zanotowana prędkość występuje w miejscach o największej liczbie kolizji ok. km 6+000 do 10+000 a także na km 1+000, na łuku poziomym w sąsiedztwie skrzyżowania oraz zatok autobusowych.

W wyniku barier ekologicznych dochodzi do szeregu negatywnych skutków ekologicznych, które przyczyniają się m.in. do powstawania wypadków drogowych.

Pomimo zastosowanych środków zwiększających przestrzeganie ograniczeń prędkości (budowa systemu automatycznego nadzoru nad prędkością, kampanie informacyjne, podwyższenie kar za przekroczenie prędkości, utrata prawa jazdy na 3 miesiące), czy też środków uspokajania ruchu (ronda, wyspy zmniejszające prędkość na wjeździe do obszarów zabudowy) oraz pozytywnych zmian zachowań kierowców, nadal obserwuje się bardzo niepokojące zjawisko w postaci przekraczania prędkości.

Wypadki z nadmierną prędkością w Polsce są skutkiem: nieprawidłowych zachowań kierowców wynikających z deficytu dróg szybkiego ruchu uniemożliwiających sprawne przemieszczanie się na duże odległości, traktowania przekroczeń limitów prędkości jako zjawiska nieszkodliwego społecznie, małej wykrywalności popełnionych wykroczeń i braku poczucia nieuchronności kary.

Standardowe oznakowanie w takich przypadkach nie wystarcza i konieczne są dalsze badania związane z niestandardowym oznakowaniem.

Literatura

1 Polskie Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego ITS „Prędkość a ryzyko wypadków", 15 maja 2014r
2 Bohatkiewicz J., Adamczyk J., Tracz M. i in. Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2008.
3 Lubelski Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego na lata 2014-2020.
4 9th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report, June 18, 2015.
5 ETSC , Call for more out-of-town speed checks in Switzerland, August 28, 2014.
6 Komenda Główna Policji – Raporty o wypadkach 2002 – 2014.
7 Komenda Miejska Policji w Lublinie „Dane o wypadkach w województwie lubelskim w latach 2002 - 2014".
8 Kurek R. T. Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2011.
9 KPP w Puławach dane o kolizjach i wypadkach na DW 824, na odcinku Puławy – Żyrzyn w latach 2007 - 2014.
10 Borowska Sylwia. Raport, „Śmiertelność zwierząt na drogach w Polsce" Warszawa, 2010.

Speed and its impact on road accidents involving animals

Wioleta Czarnecka

Traffic Management Department, Roads and Bridges Authority in Lublin,
email: wczarnecka@zdm.lublin.eu

Abstract: An intensive development of a transport infrastructure noticeable in recent years causes significant fragmentation of habitats, barrier effects and increase in the mortality rate of wild animals on roads. It is very dangerous both for drivers and animals.

It is very important that a processes of planning and designing the road is attended by designers, planners, road authorities who are fully informed of the migration routes of animals, as well as forest inspectorates and naturalists focused on animals protection. It is also necessary to collect detailed information about road collision and accidents involving animals that enable the development of ways and methods to protect both people and animals.

Keywords: accidents involving animals, speed, accidents, road safety.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 259-268

Analizy i badania potrzeb oraz możliwości ochrony przed hałasem w otoczeniu dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego

Zbigniew Tabor[1], **Janusz Bohatkiewicz**[2]

[1] *Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach, e-mail: sekretariat@zdw.katowice.pl*
[2] *Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl*

Streszczenie: Jednym z zadań zarządców dróg wojewódzkich jest utrzymanie dróg tak, aby oddziaływania akustyczne pochodzące od ruchu drogowego były ograniczone do wartości dopuszczalnych. Ze względu na duże natężenia ruchu, ograniczoną dostępność miejsca, ograniczone środki w przypadku tych dróg zadanie to w wielu miejscach jest praktycznie niemożliwe do wykonania. Podstawowym celem przebudowy dróg wojewódzkich jest obecnie poprawa stanu nawierzchni, która na wielu odcinkach wymaga dużych nakładów finansowych. Od kilku lat niektóre zarządy dróg wojewódzkich podejmują pierwsze próby łączenia potrzeb wymiany nawierzchni i ochrony akustycznej poprzez stosowanie nawierzchni redukujących hałas. Zarząd Dróg Wojewódzki w Katowicach podjął działania w tym zakresie wykorzystując dotychczasowe doświadczenia krajowe i zagraniczne związane ze stosowaniem nawierzchni redukujących hałas. Działania te skoncentrowano głównie na wyborze rodzajów nawierzchni, które będą stosowane na drogach wojewódzkich Województwa Śląskiego oraz kryteriach, które wskażą kolejność odcinków do przebudowy – konieczna jest systematyczna wymiana nawierzchni. Hierarchizacja działań i wyboru odcinków do przebudowy lub remontów uzyskiwana jest dzięki uwzględnieniu kilku kryteriów: wyników programów ochrony środowiska przed hałasem, stanu istniejącej nawierzchni, interwencjom mieszkańców oraz planom inwestycyjnym uwzględniającym potrzeby rozwoju sieci drogowej. W artykule przedstawiono wyniki analiz i badań dotyczących problemu stosowania nawierzchni redukujących hałas oraz wyboru priorytetowych odcinków dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego do przebudowy.

Artykuł powstał na podstawie wyników współpracy Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach i Katedry Dróg i Mostów Politechniki Lubelskiej.

Słowa kluczowe: hałas drogowy, drogi wojewódzkie, nawierzchnie redukujące hałas.

1. Wprowadzenie

Hałas komunikacyjny pochodzący od ruchu samochodów jest głównym czynnikiem decydującym o stanie klimatu akustycznego w sąsiedztwie dróg. Na terenach zlokalizowanych w bliskiej odległości od nich, klimat akustyczny zależy w głównej mierze od parametrów ruchu – liczby przejeżdżających samochodów, ich prędkości oraz udziału procentowego pojazdów ciężkich (szczególnie hałaśliwych). Hałas powodowany przez przejazd samochodu jest zjawiskiem złożonym. Powstaje on m.in. z działania układu napędowego (blok silnika, wentylator chłodzenia, przekładnie, rura wydechowa, tłumiki, zjawisk aerodynamicznych związanych z nieregularnym przepływam powietrza (szczególnie przy wysokich prędkościach oraz od kontaktu opony z nawierzchnią drogi – tzw. hałas toczenia.

W celu ochrony środowiska przed hałasem komunikacyjnym podejmowane są działania mające na celu ograniczenie negatywnego oddziaływania czynników wymienionych powyżej. W Polsce najpowszechniej stosowanym sposobem walki z hałasem do tej pory były ekrany akustyczne. Skuteczność tego rozwiązania (w przypadku prawidłowego zastosowania) jest wysoka i powoduje ograniczenie u odbiorcy oddziaływania wszystkich źródeł hałasu komunikacyjnego. Generuje on natomiast bardzo duże koszty, ingeruje w krajobraz oraz często powoduje konflikty społeczne (szczególnie gdy chroniona ma być zabudowa mieszkaniowo – usługowa, a ekranami zasłaniane są budynki, w których prowadzona jest działalność gospodarcza). Ponadto stosowanie ekranów akustycznych niesie wysokie koszty utrzymania. W przypadku dróg wojewódzkich (i innych samorządowych) wprowadzenie ekranu nie rozwiązuje podstawowego problemu, jakim jest często zły stan nawierzchni drogowej. Jedną ze skutecznych alternatyw dla ekranów akustycznych są nawierzchnie redukujące hałas, tzw. ciche nawierzchnie (nazwa ta używana jest również w dalszej części artykułu), powszechnie stosowane w innych krajach europejskich [1,3,4,6,8].

2. Nawierzchnie redukujące hałas

Zastosowanie nawierzchni redukujących hałas umożliwia obniżenie emisji hałasu komunikacyjnego, a szczególnie hałasu toczenia. Hałas toczenia powstaje poprzez zasysanie powietrza przez bieżnik opony, a następnie jego sprężenie i uwolnienie. Zastosowanie nawierzchni porowatych (jeden z rodzajów cichych nawierzchni) powoduje, że powietrze na styku koła i jezdni drogi jest natomiast „wciskane" w wolne powierzchnie w strukturze nawierzchni, co znacznie ogranicza hałas toczenia. Nawierzchnie porowate w pewnym stopniu ograniczają również hałas pochodzący od układu napędowego poprzez skuteczniejsze, w porównaniu do standardowych nawierzchni, pochłanianie dźwięków generowanych przez jego pracę. Nawierzchniami cichymi mogą być również nawierzchnie szczelne. Działają one w nieco inny sposób od nawierzchni otwartych (porowatych). Redukcja hałasu toczenia jest w tym przypadku zapewniona poprzez zastosowanie innej struktury warstwy ścieralnej (bardziej drobnoziarnistej w porównaniu ze standardowymi nawierzchniami) i/lub odpowiednimi modyfikacjami w składzie nawierzchni.

Hałas toczenia jest dominującym źródłem dźwięku przy prędkości większej, od około 50 km/h. Stosowanie cichych nawierzchni na drogach o wyższych prędkościach ruchu powoduje zatem większą redukcję oddziaływania akustycznego niż w przypadku, kiedy prędkość pojazdów jest mniejsza od tej wartości. Niemniej przy prędkościach mniejszych należy się również spodziewać efektu łagodzenia wpływu hałasu komunikacyjnego na środowisko. Będzie on jednak mniejszy niż przy wyższych prędkościach i w niektórych przypadkach może polegać bardziej na zmianie charakterystyki częstotliwościowej (w kierunku dźwięku o niższej częstotliwości lepiej tolerowanego przez organizm człowieka) niż obniżeniu poziomu dźwięku mierzonego w całym analizowanym zakresie.

Jedne z większych doświadczeń dotyczących stosowania cichych nawierzchni na drogach wojewódzkich (głównie porowatych) ma Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie. Po działaniach pilotażowych w zakresie zastosowania cichych nawierzchni (PA8, BBTM8, SMA5) Województwo Małopolskie zdecydowało się na regularne zastosowanie cichych nawierzchni na 13 odcinkach dróg [2]. Na każdym z odcinków zastosowano nawierzchnię redukującą hałas, składającą się z pakietu warstwy ścieralnej i warstwy wiążącej. Warstwa ścieralna, która została zastosowana na wszystkich analizowanych odcinkach dróg wojewódzkich została wykonana jako BBTM 8 o grubości 3 cm o podwyższonej zawartości wolnych przestrzeni z dodatkiem granulatu gumowo - asfaltowego. Wyjątkiem był jeden odcinek drogi wojewódzkiej dla którego warstwa ścieralna zastosowana została jako SMA

5 o grubości 3 cm. W skład pakietu wchodziła również warstwa wiążąca AC 16W o grubości co najmniej 6 cm [2]. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku wykonane przed i po przebudowie odcinków jednoznacznie wykazały poprawę stanu klimatu akustycznego po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas [2]. Efekt ten jest związany z ograniczeniem dźwięku generowanego na styku kół pojazdów i nawierzchni drogi – tzw. hałasu toczenia, jak również samej wymiany nawierzchni (w większości przypadków w złym stanie). Efekt jaki uzyskano na odcinkach z nawierzchnią porowatą spowodował obniżenie poziomu hałasu maksymalnie o 5,2 dB dla pory dnia i 7,2 dB w porze nocy. W przypadku nawierzchni szczelnej (SMA5) uzyskano odpowiednio redukcję poziomu hałasu o 2,0 dB w porze dnia i 2,2 dB w porze nocy.

W przypadku dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego rozpoczęto stosowanie cichych nawierzchni głównie w oparciu o nawierzchnie szczelne. Dotychczasowe doświadczenia innych zarządców dróg, lokalizacja dróg wojewódzkich w Województwie Śląskim związana z dużą zmiennością warunków atmosferycznych (drogi w terenie górskim oraz w terenach płaskich), konieczność uzyskania dużych nośności (wiele dróg wojewódzkich jest połączonych bezpośrednio z drogami krajowymi o bardzo dużych natężeniach ruchu) oraz możliwości utrzymania (głównie zimowego) złożyło się na decyzję o stosowaniu do tej pory wyłącznie szczelnych cichych nawierzchni. Decyzję tą wspiera i opisuje system Wytycznych Technicznych, jaki został stworzony przez Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach – w tym przypadku [10,11].

Podobnie jak w Województwie Małopolskim prowadzone są obecnie przebudowy wybranych odcinków dróg z pomiarami poziomu hałasu „przed i po" przebudowie. Wyniki badań i analiz wykonanych w sąsiedztwie dwóch już przebudowanych odcinków (DW 912 Świerklaniec – Żyglin oraz DW 416 Krapkowice - Racibórz) wskazują, że poziom dźwięku uległ zmniejszeniu po zastosowaniu cichych nawierzchni. W obu przypadkach nastąpiła większa redukcja hałasu w porze nocnej (maksymalnie 4,3 dB) niż w porze dziennej (maksymalnie 2,4 dB). Biorąc pod uwagę typ zastosowanej nawierzchni (drobnoziarnista SMA) należy stwierdzić, że szczególnie w porze nocnej nastąpiła znacząca poprawa stanu klimatu akustycznego na terenach sąsiadujących z tymi dwoma odcinkami dróg.

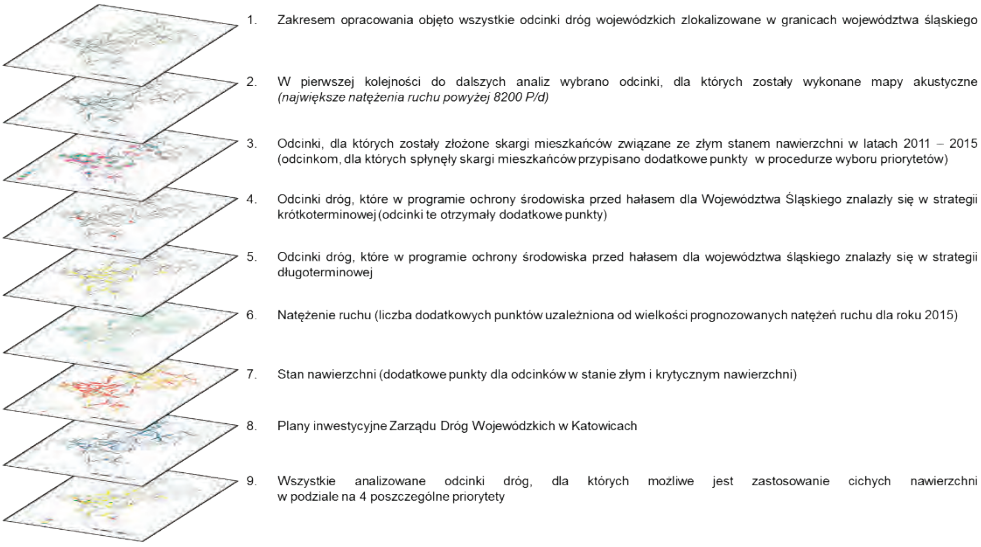
W obu opisywanych przypadkach celem zastosowania cichych nawierzchni jest wymiana nawierzchni z uzyskaniem efektu redukcji hałasu bezpośrednio u źródła, czyli w strefie emisji hałasu. Efekt akustyczny w przypadku porowatych nawierzchni jest większy jednak będzie się on zmniejszał w czasie o około 1,5 dB na rok [8] przy praktycznie przewidywanym zbliżonym efekcie redukcji w przypadku nawierzchni szczelnych. Kolejne lata i badania tych nawierzchni mogą wykazać faktyczną zmianę redukcji w czasie, która zależna jest od wielu czynników.

3. Analiza i wybór odcinków dróg wojewódzkich do przebudowy z zastosowaniem cichych nawierzchni

Poza wyborem rodzaju cichych nawierzchni stosowanych w przebudowach dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego jednym z podstawowych problemów stał się wybór odcinków dróg, które powinny być przebudowane w pierwszej kolejności. Ograniczone środki finansowe na przebudowę, duża skala potrzeb i ich zróżnicowanie spowodowały, że niezbędne było wykonanie analiz z uwzględnieniem różnych kryteriów i priorytetów. W tym celu wyselekcjonowano następujące kryteria, które umożliwiły wskazanie priorytetów przebudowy odcinków dróg:

- stan zagrożenia hałasem w otoczeniu dróg wojewódzkich na podstawie zapisów i rekomendacji programu ochrony środowiska przed hałasem dla Województwa Śląskiego [7],
- stan zagrożenia hałasem na podstawie zgłoszeń i skarg składanych przez mieszkańców terenów sąsiadujących z analizowanymi odcinkami dróg,
- natężenie ruchu na odcinkach dróg wojewódzkich wraz z prognozowanymi zmianami,
- plany inwestycyjne Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach,
- aktualny stan nawierzchni na poszczególnych odcinkach dróg.

Powyższe kryteria weszły w skład procedury wyboru i klasyfikacji odcinków, którą przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Procedura postępowania przy wyborze i klasyfikacji odcinków dróg wojewódzkich do priorytetów określających kolejność zastosowania cichych nawierzchni

W ramach analizy zaproponowano podział odcinków na cztery priorytety (bardzo wysoki, wysoki, średni, niski) określające, na których z nich w pierwszej kolejności należy zastosować nawierzchnię redukującą hałas, a które odcinki mogą być przebudowane w późniejszym czasie. Dla każdego z kryteriów zastosowano punktację przyjętą do klasyfikacji odcinków dróg wojewódzkich. W poniższych punktach scharakteryzowano powyżej wymienione kryteria, natomiast w ostatnim punkcie tego rozdziału podano ostateczne wyniki analiz.

3.1. Stan zagrożenia przed hałasem w otoczeniu dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego – program ochrony środowiska przed hałasem

Zgodnie z obowiązującymi przepisami podstawowymi dokumentami, które opisują wieloletnie działania w zakresie ograniczania hałasu w otoczeniu dróg o największych natężeniach ruchu są mapy akustyczne i programy ochrony środowiska przed hałasem. Dokumenty te określają faktyczny stan zagrożenia przed hałasem oraz zakres niezbędnych działań związanych z jego ograniczaniem. W przypadku Województwa Śląskiego poza

drogami krajowymi, mapami akustycznymi [5] i programem ochrony środowiska przed hałasem [7] objęto wszystkie odcinki dróg wojewódzkich zlokalizowane w granicach administracyjnych województwa śląskiego dla których natężenia ruchu przekraczają wartość 8200 P/d. Mapy akustyczne dla dróg wojewódzkich zlokalizowanych w granicach województwa śląskiego zostały wykonane w 2012 r. [5]. Łączna długość dróg wojewódzkich objętych mapami akustycznymi wyniosła nieco ponad 162 km. Wszystkie te odcinki dróg zostały wybrane do późniejszych analiz mających na celu ustalenie priorytetów realizacji cichych nawierzchni.

Analizy i obliczenia wykonane w ramach tworzenia map akustycznych wykazały, że najbardziej uciążliwe pod względem oddziaływania akustycznego były dwa odcinki dróg wojewódzkich. Pierwszym z nich był odcinek drogi wojewódzkiej nr 933 zlokalizowany na terenach Jastrzębia Zdroju, Pszczyny i Wodzisławia. W jego sąsiedztwie na oddziaływanie hałasu o poziomie większym niż dopuszczalny (wg wskaźnika L_{DWN}) narażonych było 1 310 osób. Powierzchnia, na której stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu była równa ok. 0,4 km^2. Drugim z nich był odcinek drogi wojewódzkiej nr 934 zlokalizowany na terenie powiatu bieruńsko-lędzińskiego. W jego sąsiedztwie 712 osób było narażonych na oddziaływanie hałasu większego niż dopuszczalny, a powierzchnia przekroczeń była równa 0,2 km^2 [5]. Obydwa te odcinki zostały przyporządkowane do bardzo wysokiego priorytetu określającego kolejność, w jakiej powinny być podejmowanie działania mające na celu zastosowanie cichych nawierzchni.

Analizując łącznie wszystkie odcinki dróg wojewódzkich objętych zakresem map akustycznych należy stwierdzić, że na oddziaływanie hałasu o poziomie większym niż dopuszczalny było 5 503 osoby przy uwzględnieniu wskaźnika L_{DWN} oraz 870 osób przy uwzględnieniu wskaźnika L_N. Powierzchnia, na której stwierdzono hałas większy od dopuszczalnego była natomiast równa odpowiednio 2,9 km^2 dla wskaźnika L_{DWN} i 0,9 km^2 dla wskaźnika L_N.

Mapy akustyczne [5] opracowane dla dróg wojewódzkich stanowiły podstawę do wykonania programu ochrony środowiska przed hałasem [7]. W ramach programu przeanalizowano wyniki obliczeń i wnioski przedstawione w mapach akustycznych oraz zaproponowano działania, których realizacja powinna doprowadzić do poprawy stanu akustycznego przede wszystkim w otoczeniu tych odcinków dróg, w sąsiedztwie których oddziaływanie hałasu o najwyższym poziomie obejmuje największą liczbę mieszkańców. Działania te podzielono na następujące grupy:

- działania krótkookresowe (w ramach strategii krótkookresowej), stanowiące podstawowy zakres programu ochrony środowiska przed hałasem,
- działania długookresowe (w ramach polityki długookresowej), których realizacja przewidywana jest w horyzoncie czasowym dłuższym niż czas obowiązywania programu ochrony środowiska przed hałasem,
- działania związane z edukacją ekologiczną społeczeństwa, które powinny być prowadzone w sposób ciągły, zarówno w zakresie działań długookresowych, jak i krótkookresowych.

W ramach strategii krótkookresowej zaproponowano zadania dla czterech odcinków dróg, w sąsiedztwie których klimat akustyczny kształtował się najmniej korzystnie. Działania te we wszystkich przypadkach polegały na wymianie starej, zniszczonej nawierzchni drogowej na nową, przy czym dla drogi wojewódzkiej nr 934 zaproponowano dodatkowo zastosowanie nawierzchni redukującej hałas. Wszystkim odcinkom, które zostały uwzględnione w strategii krótkookresowej przyporządkowano dodatkowe punkty w opisywanej wcześniej procedurze mającej na celu wytypowanie odcinków do zastosowania cichych nawierzchni w Województwie Śląskim.

3.2. Stan zagrożenia hałasem w otoczeniu dróg wojewódzkich wyznaczony na podstawie zgłoszeń i skarg mieszkańców

Jednym w wyznaczników stanu zagrożenia hałasem na terenach sąsiadujących z analizowanymi odcinkami dróg wojewódzkich przy wyborze odcinków i priorytetów dla nich były zgłoszenia i skargi mieszkańców. W trakcie analiz dokonano przeglądu zgłoszeń i skarg osób mieszkających w sąsiedztwie dróg, które wpłynęły do Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach od sierpnia 2011 r. do września 2015 r. Analizując tę dokumentację oraz formułując na jej podstawie wnioski należy pamiętać o subiektywnym odczuwaniu uciążliwości akustycznych przez osoby mieszkające w sąsiedztwie tras komunikacyjnych. Często można zaobserwować sytuację, w której mieszkańcy skarżą się na oddziaływanie hałasu komunikacyjnego pomimo, iż poziomy dopuszczalne określone w rozporządzeniu [9] nie są przekroczone. Zdarzają się również sytuacje, w których oddziaływanie hałasu jest tylko pośrednią przyczyną uciążliwości. Mieszkańcy faktycznie skarżą się na uciążliwy ruch pojazdów ciężkich lub wysokie prędkości samochodów, a hałas jest tylko czynnikiem „wzmacniającym" ich postulaty.

Od sierpnia 2011 r. wpłynęło do Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach łącznie 60 skarg. Ich zakresem objętych było 25 odcinków dróg wojewódzkich.

Analizując skargi mieszkańców Województwa Śląskiego należy zwrócić uwagę na to, że osoby w części skarg wskazywały przyczyny powstających uciążliwości akustycznych. Najczęściej, jako przyczyna powstającego hałasu wskazywany był zły stan nawierzchni. Łącznie przyczynę tę wskazano w 23 przypadkach, co stanowiło 38% wszystkich postulatów. Odcinkom dróg, dla których wpłynęły skargi w tym zakresie przypisano dodatkowe punkty w procedurze wyboru kolejności odcinków do zastosowania cichych nawierzchni. W pozostałych przypadkach wskazywano również inne przyczyny, tj.: duże natężenie ruchu, ruch pojazdów ciężkich, nadmierna prędkość oraz nieskuteczny ekran akustyczny. W niektórych pismach osoby skarżące się same proponowały działania, jakie należy podjąć w celu ograniczenia uciążliwości akustycznych w sąsiedztwie dróg wojewódzkich. Najczęściej osoby te proponowały do zastosowania najpopularniejszy środek ochrony przeciwhałasowej, jakim są ekrany akustyczne – łącznie był on proponowany w 13 przypadkach. Naprawa nawierzchni drogowej była drugim z kolei sposobem ochrony akustycznej wskazanym w 8 przypadkach. W pozostałych przypadkach wskazywano na konieczność naprawy klawiszujących studzienek, co bezpośrednio łączy się na naprawami nawierzchni drogowych oraz ograniczenie prędkości pojazdów i ograniczenie ruchu pojazdów ciężkich.

3.3. Natężenie ruchu na odcinkach dróg wojewódzkich wraz z prognozowanymi zmianami

W ramach wykonanych analiz uwzględniono natężenie i strukturę rodzajową ruchu na drogach wojewódzkich zlokalizowanych na terenie Województwa Śląskiego. W kontekście zastosowania cichych nawierzchni istotne jest, aby obciążenie ruchem odcinków kwalifikowanych do zastosowanie tego rozwiązania nie było małe, z uwagi na fakt iż ciche nawierzchnie są najbardziej skuteczne na drogach o dużym natężeniu pojazdów. Na podstawie danych otrzymanych z Generalnego Pomiaru Ruchu wykonanego w 2005 i w 2010 r. wykonano prognozę natężenia ruchu na 2015 r. (w trakcie wykonywanych analiz nie były dostępne wyniki GPR 2015). Prognozowane natężenie ruchu dla 2015 r. było jednym z kryteriów przyjętych do oceny odcinków dróg wojewódzkich pod kątem wyboru priorytetów kolejności realizacji dla nich cichych nawierzchni.

3.4. Plany inwestycyjne Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach

W najbliższych latach planowane są do realizacji inwestycje dla 21 odcinków dróg wojewódzkich. W przypadku większości odcinków, dla których planowane są działania inwestycyjne przez Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach możliwe będzie zastosowanie cichej nawierzchni. Przed podjęciem decyzji w tym zakresie w każdym przypadku konieczne będzie rozpoznanie, czy rozwiązanie to będzie skutecznym sposobem redukcji hałasu (np. z uwagi na prędkości pojazdów) oraz precyzyjne określenie odcinków dróg, w sąsiedztwie których występuje problem z oddziaływaniem akustycznym (nie ma potrzeby stosowania tego rozwiązania na terenach, na których nie występują tereny podlegające ochronie przeciwdźwiękowej).

3.5. Aktualny stan nawierzchni dróg wojewódzkich

Analiza aktualnego stanu nawierzchni dróg wojewódzkich zlokalizowanych na terenie Województwa Śląskiego została wykonana na podstawie danych opracowanych przez Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach w postaci profili tematycznych. Łącznie przeanalizowano 79 profili przedstawiających stan nawierzchni w odniesieniu do kilometrażu drogi. Każdy profil został poddany bardzo szczegółowej ocenie. Analizowane odcinki drogi zostały podzielone na odcinki jednorodne o długości 100 m, a następnie zostały im przypisane oceny stanu nawierzchni. Ocena końcowa (tzw. wskaźnik oceny ogólnej) wynikała z oceny wskaźnika stanu użytkowego (WSU) oraz wskaźnika stanu konstrukcji (WSK). Każdemu odcinkowi drogi wojewódzkiej przyporządkowano ocenę końcową dobrą, wymaganą, złą lub krytyczną.

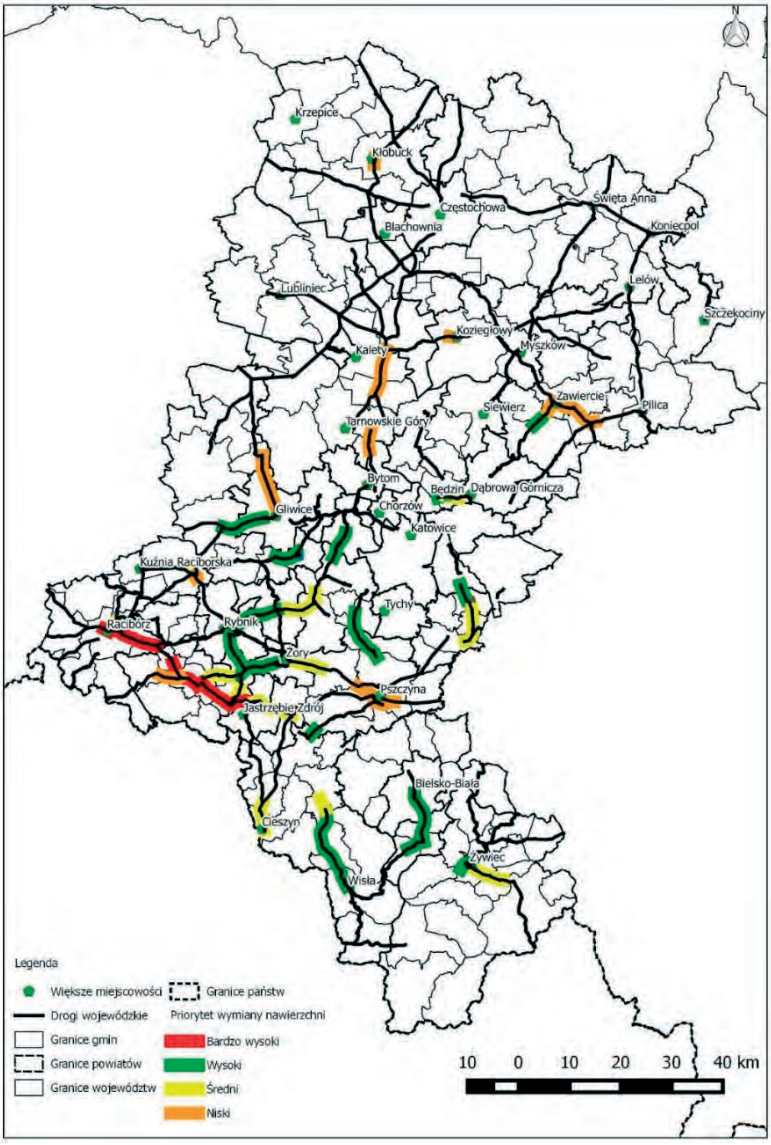
Analiza globalna dla wszystkich odcinków dróg polegała na wyznaczeniu procentowego udziału określonego stanu nawierzchni w stosunku do długości całego analizowanego odcinka drogi wojewódzkiej. Analizując dane o stanie nawierzchni należy stwierdzić, że znaczna część nawierzchni dróg wojewódzkich Województwa Śląskiego kwalifikuje się do wymiany (około 78% dróg). Około 11% długości dróg (około 130 km) posiada nawierzchnię w stanie dobrym. Dla wszystkich dróg, które są w złym lub krytycznym stanie, należałoby w najbliższym czasie wymienić nawierzchnię drogi. Jest to oczywiście związane z bardzo dużymi nakładami finansowymi, których pozyskanie w krótkim czasie jest nierealne. Wyniki analiz dotyczące stanu nawierzchni każdej analizowanej drogi zostały uwzględnione w procedurze wyboru kolejności odcinków do zastosowania cichej nawierzchni.

3.6. Wyniki wyboru priorytetowych odcinków dróg wojewódzkich do przebudowy z zastosowaniem cichych nawierzchni

W wyniku wykonanych analiz wytypowano łącznie 57 odcinków dróg wojewódzkich o długości około 175 km, na których możliwe będzie zastosowanie cichych nawierzchni – rys. 2. W pierwszej kolejności wymiana nawierzchni powinna dotyczyć 9 odcinków dróg o łącznej długości około 37,2 km (priorytet wysoki). Przebudowa dla uzyskanego priorytetu wysokiego powinna dotyczyć 47,2 km długości dróg, priorytetu średniego 44,2 km, a priorytetu niskiego 37,1 km.

Pomimo wielu kryteriów, wykonane badania i analizy charakteryzują się znacznym stopniem ogólności, dlatego przed rozpoczęciem inwestycji na każdym z analizowanych odcinków konieczne jest wykonanie bardziej szczegółowych opracowań. Należy przede wszystkim w szczegółowy sposób określić lokalizację terenów podlegających ochronie przed hałasem, parametry ruchu drogowego (szczególnie prędkość pojazdów) oraz oszacować wartości przekroczeń poziomów dopuszczalnych hałasu w środowisku (na podstawie

pomiarów lub obliczeń akustycznych). Na etapie wykonywania opracowań można również zaproponować dodatkowe działania mające na celu ograniczenie hałasu, które zastosowane razem z cichą nawierzchnią będą powodowały większą redukcję hałasu drogowego.



Rys. 2. Orientacyjna lokalizacja odcinków dróg wojewódzkich dla których zaproponowano zastosowanie nawierzchni redukującej hałas z uwzględnieniem priorytetów (kolejności) przebudowy

4. Podsumowanie

Jak pokazały pierwsze wyniki badań wykonanych w Województwie Małopolskim, stosowanie cichych nawierzchni jest rozwiązaniem skutecznym. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku wykonanych na drogach zarządzanych przez Zarząd Dróg Wojewódzkich

w Krakowie jednoznacznie wskazują na poprawę stanu klimatu akustycznego po ich zastosowaniu [2]. Badania takie prowadzone są również w chwili obecnej w Województwie Śląskim, jednak pełne wnioski w tym zakresie będzie można sformułować dopiero po zakończeniu prac budowlanych na wszystkich odcinkach dróg wojewódzkich. W ramach badań wykonanych w Województwie Małopolskim potwierdzono również akceptację społeczną rozwiązań tego typu. Wniosek ten potwierdzają wyniki ankiety wykonanej wśród mieszkańców terenów sąsiadujących z odcinkami dróg wojewódzkich. Najczęściej wybieranym przez te osoby rozwiązaniem mającym na celu ograniczenie hałasu pochodzącego od ruchu pojazdów było zastosowanie cichej nawierzchni – odpowiedź została wskazana przez około 32% respondentów [2]. Jest to zatem rozwiązanie, które może być zastosowane w miejscach, w których występuje duży poziom konfliktów społecznych, w których stosowanie ekranów akustycznych może powodować dodatkowe sytuacje sporne - szczególnie jeżeli występuje konflikt interesów pomiędzy mieszkańcami oraz osobami, które na tych terenach prowadzą działalność gospodarczą.

Na podstawie wykonanych badań i analiz można stwierdzić, że stosowanie cichych nawierzchni szczelnych na drogach wojewódzkich w Województwie Śląskim jest działaniem uzasadnionym. W wielu przypadkach jest to najlepsze rozwiązanie, jakie można zastosować w celu ograniczenia poziomu hałasu komunikacyjnego. Rozwiązania tego typu są jednak najskuteczniejsze przy wyższych prędkościach samochodów (większych od 50 km/h) z uwagi na fakt, iż dla takich warunków ruchu hałas toczenia jest dominującym źródłem dźwięku. Wykonane badania potwierdziły konieczność stosowania wielu kryteriów wyboru odcinków do przebudowy. Z wykonanych analiz wynika jednak, że dla optymalnego wyboru odcinków potrzebne jest prowadzenia dalszych badań związanych z innymi czynnikami mogącymi mieć wpływ na wybór odcinków do przebudowy – np. prędkość pojazdów, zabudowa i obszary chronione akustycznie itp. Dzięki takiemu podejściu możliwe będzie zrealizowanie przebudowy zarówno ze względu na kryteria funkcjonalno-techniczne, jak i środowiskowe. Rozbudowa bazy informacji o drogach wojewódzkich umożliwi w przyszłości lepsze zarządzanie w trakcie utrzymania sieci drogowej i ochrony jej otoczenia z uwagi na niekorzystne oddziaływania powodowane przez ruch drogowy.

Literatura

1 Bohatkiewicz J., Hałucha M., Dębiński M. *Czy nowoczesne technologie nawierzchniowe oraz okoliczności prawne pozwolą na demontaż ekranów akustycznych?* III Ogólnopolskie Forum Specjalistyczne „Drogowe nawierzchnie z mieszanek mineralno – asfaltowych oraz betonu cementowego", Kraków, 26 – 27 listopada 2015 r.

2 Bohatkiewicz J., Hałucha M. i in. *Pomiary hałasu na wytypowanych odcinkach dróg wojewódzkich województwa śląskiego w latach 2015 – 2016*. EKKOM Sp. z o.o. na zlecenie Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach. Kraków, czerwiec 2015 – czerwiec 2016.

3 Gardziejczyk W. *Przegląd i analiza porównawcza metod badania hałaśliwości nawierzchni drogowych.* Magazyn Autostrady. 1-2/2011 r.

4 Gardziejczyk W. *Cicha nawierzchnia drogowa jako sposób na ograniczenie poziomu hałasu od ruchu samochodowego.* Inżynieria Ekologiczna Vol. 40. 2014.

5 *Mapy akustyczne dla dróg wojewódzkich w województwie śląskim o natężeniu ruchu powyżej 3 000 000 pojazdów na rok. o łącznej długości odcinków dróg wynoszącej 162.305 km.* SGS EKO-PROJEKT Sp. z o.o. na zlecenie Zarządu Dróg Wojewódzkich w Katowicach. Katowice. wrzesień 2012 r.

6 Mioduszewski P. *Przegląd hałaśliwości nawierzchni drogowych w Polsce i w innych krajach Unii Europejskiej. Metody ochrony przed hałasem. Teoria i praktyka*. Zeszyt 1, Wydawnictwo Edroga.pl. Kraków, 2013 r.

7 *Program ochrony środowiska przed hałasem dla województwa śląskiego do roku 2018 dla terenów poza aglomeracjami. położonych wzdłuż odcinków dróg o natężeniu ruchu powyżej 3 000 000 pojazdów rocznie i odcinków linii kolejowych o natężeniu ruchu powyżej 30 000 pociągów rocznie* – uchwała Sejmiku Województwa Śląskiego z dnia 16 listopada 2015 r.
8 Ranieri V. *Asfalty porowate: praktyka stosowania i rozwój*. Seminarium Transnoise 2013. Zakopane, 23-25 października, 2013.
9 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2014. poz. 112).
10 Wytyczne Techniczne. *Mieszanka mastyksowo-grysowa SMA 8 LA do warstwy ścieralnej grubości 3 cm, obciążonej ruchem KR5-KR6, o polepszonych właściwościach akustycznych*. ZDW-D-05.03.13a. Katowice, lipiec 2014.
11 Wytyczne Techniczne. *Mieszanka SMA 5 DSH do warstwy ścieralnej grubości 2 cm, obciążonej ruchem KR5-KR6, o polepszonych właściwościach akustycznych.* ZDW-D-05.03.13x. Katowice, lipiec 2014.
12 http://edroga.pl/drogi-i-mosty/wplyw-nawierzchni-na-halas-drogowy-0605099 - 15.12.2015 r.

Analyses and research of needs and possibilities of protection against noise in surrounding of provincial roads in Silesian Voivodship

Zbigniew Tabor[1], Janusz Bohatkiewicz[2]

[1]Provincial Roads Authority in Katowice, e-mail: sekretariat@zdw.katowice.pl
[2] Department of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl

Abstract: One of the tasks of provincial road administration authorities is road maintenance ensuring that the noise impacts coming from road traffic are restricted to the limit values. Due to the large volume of traffic, limited availability of space and limited resources, this task is practically impossible to perform. Nowadays, the primary objective of the reconstruction of provincial roads is the road surface improvement. In many places it requires large financial expenses. For several years, some provincial roads authorities have taken first attempts to combine the needs of resurfacing with acoustic protection by using noise reducing road surfaces. Provincial Roads Authority in Katowice took action in this area using existing national and foreign experiences associated with the use of noise reducing surfaces. These activities focused mainly on the selection of types of road surfaces that would be used on the provincial roads of Silesian Voivodship and criteria that indicated the order in which road sections would be rebuild – systematic pavement replacement is needed. Prioritization of the activities and selection of the road sections planned for the reconstruction or renovation were obtained by taking into account several criteria: the results of the noise control plans, condition of the existing pavements, interventions of the inhabitants and investment plans which included the needs of the development of the road network. The article presents the results of the analysis and research on the usage of noise reducing surfaces and the selection of priority sections of provincial roads of Silesian Voivodship planned to be rebuild.

The article present a joint result of the cooperation between Provincial Roads Authority in Katowice and the Department of Roads and Bridges (Lublin University of Technology).

Keywords: traffic noise, provincial roads, noise reducing surfaces.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 269-279

Rozwój systemów projektowania i zarządzania w budownictwie drogowym – od Euklidesa i systemów CAD do eLBIM w terenach wrażliwych środowiskowo i społecznie

Joanna Bohatkiewicz, Janusz Bohatkiewicz

EKKOM Sp. z o.o., e–mail: joanna.bohatkiewicz@ek-kom.com
Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl

Streszczenie: Artykuł oparty jest na pierwszych doświadczeniach z korzystania z nowych technologii projektowych. W artykule analizuje się możliwość zastosowania odpowiednich narzędzi i metod zarządzania, które mają na celu doskonalszą ochronę środowiska przyrodniczego i ludzi w budownictwie komunikacyjnym. Zastosowanie dwóch technologii: projektowania (BIM) i zarządzania projektem oraz procesem budowy (Lean management) powinno mieć za zadanie poza minimalizacją błędów i kosztów efektywniejsze podejście do spraw ochrony środowiska i ochrony zdrowia ludzi. Autorzy opisują nową koncepcję wskazując na możliwość połączenia systemów BIM oraz Lean management w jeden system, który powinien zostać dodatkowo rozbudowany o zagadnienia środowiskowe (eLBIM) zwłaszcza w przypadkach lokalizacji obiektów budownictwa komunikacyjnego w terenach wrażliwych przyrodniczo i społecznie.

Słowa kluczowe: BIM w budownictwie komunikacyjnym, Lean Management, ochrona środowiska w budownictwie komunikacyjnym.

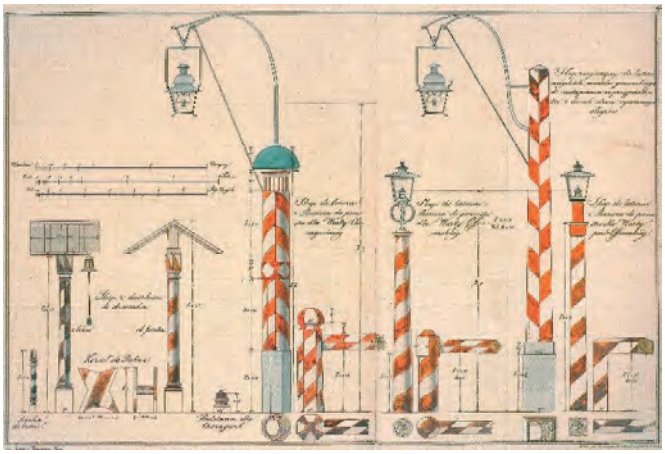
1. Wprowadzenie

Ostatnie dwudziestolecie w Polsce to czas niezwykle intensywnego rozwoju sieci drogowej. W latach 2011-2014 wybudowano 1804,2 km dróg krajowych, na które przeznaczono ponad 61 mld złotych. Dzięki podjętym inwestycjom infrastrukturalnym, polska sieć dróg w marcu 2015 r. osiągnęła długość 1550 km autostrad i 1470 km dróg ekspresowych [11]. Z kolei w latach 2004 – 2013 długość sieci autostrad i dróg ekspresowych w Polsce wzrosła ponad trzyipółkrotnie [13]. Od 2014 roku (w rzeczywistości od 2016 roku) realizowany jest program budowy dróg krajowych na lata 2014-2023. Zakłada on budowę 71,5 km autostrad oraz 2156,4 km dróg ekspresowych i obwodnic. Jest to jeden z największych programów rozwoju sieci drogowej w Europie i na świecie. Doświadczenia ostatnich lat pokazują, że niezbędnym elementem skutecznego zarządzania projektami drogowymi jest przygotowanie oraz realizacja inwestycji z uwzględnieniem punktu widzenia oraz zaangażowaniem wszystkich interesariuszy. Jednym z najistotniejszych elementów na etapie projektowania i wykonawstwa jest współpraca międzybranżowa oraz kooperacja pomiędzy inwestorem, projektantem i wykonawcą. Jest to bardzo ważny aspekt, ponieważ obecnie w Polsce głównie wykorzystywany jest system "Projektuj i buduj", którego kluczowym jest etap projektowania obiektów liniowych i punktowych w sytuacji kiedy liderem jest firma wykonawcza i niezbędne jest współdziałanie zarówno projektantów, specjalistów różnych branż, jak i wykonawców. Taka forma przygotowania i realizacji inwestycji powoduje, że niezbędne jest wykorzystywanie najnowszych zdobyczy w zakresie narzędzi projektowych i informatycznych, metod

zarządzania wieloma często równoległymi procesami, jak i umiejętność pracy zespołowej (często w zespołach rozproszonych geograficznie).

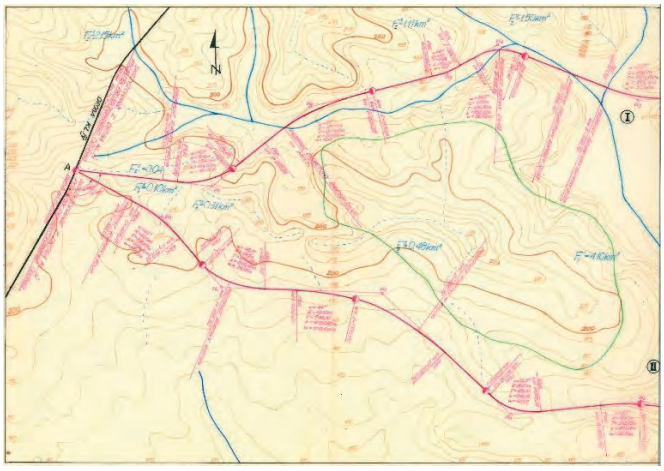
2. Od Euklidesa do systemów CAD w projektowaniu dróg

Nie będzie pomyłką, jeśli za fundament dający podstawy rozwoju przyszłych systemów CAD przyjmie się IV w p.n.e. kiedy to Euklides z Aleksandrii w swoim dziele „Elementy" [22] podał pięć aksjomatów lub tzw. postulatów geometrii przestrzeni, zwanej później euklidesową. Kolejne lata i stulecia przynosiły następne odkrycia i potrzeby [16]. Rewolucja przemysłowa w XVIII-XIX w. przyniosła potrzebę standaryzacji rysunków wykonywanych przez projektantów oraz rozwój prawa patentowego – rys. 1.



Rys. 1. Przykład rysunku z 1824 r. [14]

W II połowie XX w. powstają pierwsze systemy typu CAD (2D - dwa wymiary). Rozpoczyna się „walka" o szybkość wykonywania projektów, powtarzalność, zautomatyzowanie żmudnych czynności kreślarskich – rys. 2.



Rys. 2. Przykład ręcznie wykonanego projektu koncepcyjnego drogi w dwóch wariantach (projekt studencki: J. Bohatkiewicz, Politechnika Krakowska, 1985 r.)

Systemy CAD (2D) z czasem zaczęły wypierać tradycyjne techniki kreślarskie i nastąpiło ich udoskonalanie przez:

- zastąpienie tradycyjnych (ręcznych) metod kreślarskich – następuje szybki zanik zawodu kreślarza,
- przyspieszenie prac nad projektem,
- zwiększenie precyzji rysunku,
- zautomatyzowanie projektowania,
- zmniejszenie ryzyka błędu podczas projektowania i kreślenia,
- możliwość wprowadzania poprawek, zmian, poprawiania błędów,
- zwiększenie możliwości ponownego wykorzystania już wykonanych rysunków, bądź ich fragmentów (biblioteki typowych rozwiązań).

Jednocześnie automatyzacja i komputeryzacja systemów projektowania niesie również za sobą: ograniczenie swobody projektanta, zwiększenie ryzyka błędu przez automatyzm i powtarzalność oraz w wielu sytuacjach syndrom klawisza „enter", którym można tłumaczyć wiele błędów przez mniej, czy bardziej doskonałe oprogramowanie w rękach mało doświadczonego projektanta.

Wraz z rozwojem systemów projektowania można dostrzec coraz większą liczbę szczegółów związanych z aspektami technicznymi i ekonomicznym, a z czasem również środowiskowymi. W trakcie realizacji pierwszego okresu budowy i przebudowy sieci drogowej z początkiem lat dziewięćdziesiątych XX w. w Polsce powstaje tzw. system ocen oddziaływania na środowisko różnego rodzaju przedsięwzięć w tym również dróg, kolei, lotnisk, linii tramwajowych i innych obiektów komunikacyjnych. W czasie tym dochodzi do paraliżu programu budowy dróg z uwagi na problemy dostosowania projektów budownictwa komunikacyjnego do rosnących wymogów ochrony środowiska. Dodatkowo problemy te powiększa wprowadzona konieczność szerokich konsultacji społecznych projektów inwestycyjnych. Jedną z podstawowych potrzeb staje się odpowiednie przedstawienie graficzne projektów i ich wizualizacji [20]. Do analiz środowiskowych stosowanie są coraz powszechnie zarówno systemy CAD (3D – trzy wymiary), jak i systemy GIS (Geografical Information System). Często efekty pracy tych systemów są ze sobą łączone w celu jak najlepszej wizualizacji problemów geoprzestrzennych – lokalizacja inwestycji i zagadnienia ochrony środowiska).

W praktyce o losie inwestycji od tego czasu zaczyna decydować wrażliwość terenu z punktu widzenia środowiskowego oraz społecznego. Jednocześnie można dostrzec trend coraz szybszego projektowania przy próbach spełnienia zasady „za najniższą cenę, w jak najkrótszym czasie i z jak najmniejszą liczbą błędów". W wielu sytuacjach zasada ta ma skutek odwrotny i doprowadza do wielu błędów i niepotrzebnych kosztów, a w skrajnych przypadkach nawet do upadku firm.

3. Rewolucja w projektowaniu i zarządzaniu w budownictwie komunikacyjnym – BIM, LeanBIM, ecoLeanBIM

Wiele problemów pierwszych dziesięciu lat budowy i przebudowy sieci dróg w Polsce związanych było ze współpracą międzybranżową, kooperacją, jak i błędami wynikającymi z wielu kolizji branżowych (np. kolizja uzbrojenia podziemnego z wyposażeniem drogi, jakimi są np. bariery drogowe, sieci uzbrojenia podziemnego itd.). Problemy te spowodowały poszukiwania firm projektowych oraz wykonawczych w zakresie zarówno narzędzi projektowych, jak i procedur zarządzania. Mocno rozwijająca się w wielu krajach nie tylko europejskich technologia projektowania Building Information Modeling (BIM)

stała się jednym z potencjalnych narzędzi, które mogą być wykorzystywane w budownictwie infrastrukturalnym. Jednocześnie jest ona określana, jako trzecia rewolucja informatyczna [15]. Technologia ta z bardzo dużym powodzeniem stosowana jest w budownictwie kubaturowym (architekturze). W wielu krajach europejskich takich jak np. Wielka Brytania, Norwegia, Szwecja BIM doczekał się pierwszych uregulowań formalnych i nieformalnych [3, 10]. Równocześnie kraje Unii Europejskiej uchwaliły Dyrektywę [7], która wskazuje na możliwość stosowania technologii BIM, cyt. „*...W odniesieniu do zamówień publicznych na roboty budowlane i konkursów państwa członkowskie mogą wymagać zastosowania szczególnych narzędzi elektronicznych, takich ja narzędzia elektronicznego modelowania danych budowlanych lub podobne.*”.

Doświadczenia praktyczne w budownictwie infrastrukturalnym w Polsce są jeszcze niewielkie. Praktycznie zaledwie od ponad dwóch lat można zauważyć rosnące zainteresowanie technologią projektowania BIM. W praktyce dyskutowane są możliwości wprowadzenia BIM zarówno w zakresie formalnym (przetargi publiczne), jak również w zakresie praktycznym. Obecnie model wykorzystania BIM zmierza do objęcia zakresem stosowania BIM całego cyklu życia inwestycji, a po realizacji również istniejącego obiektu – rys. 3.

Rys. 3. Model wykorzystania BIM w budownictwie komunikacyjnym [2, 6]

Należy pamiętać, że BIM nie jest jedynie nową technologią projektowania. Jednymi z najczęściej popełnianych błędów jest utożsamianie BIM z zestawem oprogramowania, bądź też projektowaniem 3D. W rzeczywistości są to jedynie narzędzia służące BIM. BIM należy rozpatrywać bardziej w kategorii nowej koncepcji zarządzania i technologii projektowania, którą charakteryzuje m.in. [12]:

- możliwość współpracy wielu branż w jednym środowisku projektowym – tzw. BIM 3D2L, BIM 3D3L (poziom 2L to modele BIM dla każdej branży, które są ko-

ordynowane przy pomoc specjalnych narzędzi, 3L – model jest zintegrowany obejmujący wszystkie branże – brak jest obecnie odpowiedniego oprogramowania scalającego modele wszystkich branż) [15],

- wykorzystanie oprogramowania umożliwiającego m.in. natychmiastowe identyfikowanie kolizji podczas projektowania poszczególnych elementów projektowanego obiektu,
- przedstawienie wykonanego projektu interesariuszom za pomocą wizualizacji i animacji, co znacząco ułatwia zrozumienie elementów technicznych przez osoby niezwiązane z branżą [20],
- redukcja liczby popełnianych błędów, szczególnie na etapie projektowania, a w sytuacji ich wystąpienia, możliwość natychmiastowego wprowadzenia działań naprawczych w projekcie,
- usprawnienie procesu zarządzania projektem od momentu wysłania oferty do etapu porealizacyjnego.

Punktem zainteresowania autorów artykułu są zarówno aspekty zarządzania projektem i całym procesem inwestycyjnym we wszystkich jego fazach, jak również najistotniejsze elementy praktyczne zastosowania BIM (wpływ na pracę projektanta) z uwzględnieniem uwarunkowań ochrony środowiska. Autorzy uznali, że wyjątkowo newralgicznymi punktami projektowania są obecnie problemy ochrony środowiska oraz zdrowia ludzi. Nieprawidłowe podejście, brak danych, nie wykrycie kolizji z obszarami lub obiektami chronionymi, błędne określenie zasięgów niekorzystnych oddziaływań najczęściej powoduje wydłużanie procesu inwestycyjnego lub nawet jego przerwanie.

Współczesne projektowanie dróg jest realizowane głównie dzięki wykorzystaniu różnorodnego oprogramowania komputerowego, nadal jednak często używany jest płaski model 2D. Jedną z istotniejszych cech BIM w projektowaniu jest możliwość projektowania 3D, parametryzacji elementów projektu, wizualizacji 3D, czy wykrywania kolizji. Projektowanie to jednak jeden z pierwszych elementów procesu inwestycyjnego i wg autorów możliwie najważniejszy, gdzie może być popełnianych wiele błędów dopiero widocznych na etapie budowy, a w niektórych sytuacjach dopiero w trakcie eksploatacji. Tego typ sytuacje mogą doprowadzać w obszarach wrażliwych do bezpowrotnego zniszczenia chronionej przyrody, czy wprowadzanie dużych uciążliwości dla ludzi. Istotnym elementem jest jednak takie wykonanie projektu, aby produkt końcowy był optymalny i efektywny zarówno z uwagi na uwarunkowania techniczne, ekonomiczne, jak i środowiskowe. W przypadku terenów wrażliwych środowiskowo i społecznie dokładność projektu i wykrywanie kolizji może być szczególnie istotnym celem zastosowania BIM.

Zarówno literatura, jak i dotychczasowe doświadczenia wskazują, że etapem, w którym możliwe jest dokonanie największych oszczędności jest etap projektowania. Zarówno podczas przygotowywania projektu, ale szczególnie podczas przygotowania przedmiarów, kosztorysów i harmonogramowania robót, doboru technologii i materiałów, jak i wykonywania innych prac związanych z zarządzaniem procesem inwestycyjnym można (i powinno się) stosować podejście służące minimalizacji strat na etapie nie tylko samego procesu projektowania, ale także później, wykonawstwa na placu budowy. Dotyczy to również zagadnień ochrony środowiska, gdzie w wielu przypadkach większych inwestycji drogowych konieczne jest prowadzenie systematycznego nadzoru przyrodniczego na budowie. Istnieją miary i arkusze (głownie stosowane w budownictwie kubaturowym) służące ocenianiu projektów pod kątem m.in. późniejszej możliwości ograniczenia kosztów. Są nimi m.in. opracowane przez *Building and Construction Authority in Singapore, buildable design appraisal system* (BDAS) czy *building waste assessment score* (BWAS) [2].

Z uwagi na możliwe do osiągnięcia oszczędności wynikające z wdrożenia koncepcji BIM w całym cyklu życia projektu, koncepcja ta jest zwykle związana z ideą Lean management (tzw. szczupłego zarządzania), której myślą przewodnią jest dążenie do uproszczeń, redukcji zbędnych nakładów oraz optymalizacji efektów pracy. Lean management jest podejściem systemowym, które polega na identyfikowaniu i usuwaniu wszelkich elementów nieprzynoszących wartości dodanej przedsiębiorstwu takich jak m.in. przestojów, niepotrzebnych działań, nadmiernego gromadzenia zasobów i zapasów. Koncepcja ta, której historia sięga II wojny światowej i japońskiego przemysłu motoryzacyjnego, ma swoje źródła w produkcji, jednak w dzisiejszych czasach znajduje zastosowanie również w innych sektorach gospodarki, w tym w usługach wysokich technologii i działalności eksperckiej [3]. Wykorzystuje szereg narzędzi i technik takich jak m.in. just in time, just on time, kanban, spacer gemba, keizen, jidoka, hoshin kanri, shu-ha-ri czy nemawashi [3].

Koncepcja Lean management znalazła również swoje odzwierciedlenie w technologii BIM:

- Lean management, jako koncepcja oparta o ideę nieustającej poprawy i rozwoju wspiera rozwiązania takie jak BIM, w których jednym z priorytetów jest dążenie do usuwania błędów na możliwie najwcześniejszym etapie,
- wykorzystując metodę 5 Why (5 razy „dlaczego") [17] może być wykorzystany podczas usuwania błędów projektowych,
- współpraca interesariuszy powoduje nie tylko oszczędności, ale również buduje środowisko otwartej współpracy, budowania zaplecza know–how, dzielenia się wiedzą i doświadczeniami pomiędzy przedstawicielami poszczególnych branż – element ten jest niezwykle ważny kiedy możliwa staje się współpraca specjalistów różnych branż w ramach jednego modelu (np. terenu, sieci uzbrojenia itp.),
- usuwanie kolizji współgra z ideą szybkiego rozwiązywania problemów, jak również redukcji kosztów zanim staną się one na tyle wysokie, że rentowność projektu będzie zagrożona,
- bezpośrednie połączenie idei BIM z Lean management uwidacznia się poprzez sformułowaną technikę KanBIM, której celem jest próba zdefiniowania, rozwinięcia oraz przetestowania systemu BIM wdrożonego do przedsiębiorstwa, wspierającego proces planowania produkcji oraz kontroli przeprowadzanej na placu budowy [15],
- funkcjonalności oprogramowania, w szczególności posiadającego funkcjonalności związane z zarządzaniem zespołem, co stanowi o uproszczeniu procedur komunikacyjnych związanych m.in. z delegowaniem zadań. Również kanały komunikacyjne wykorzystywane w BIM znacząco usprawniają ten proces, dzięki czemu koszty projektu w efekcie są niższe.

Korzyści z BIM należy poszukiwać w rosnącej produktywności, efektywności działania, tworzeniu wysokiej jakości i wartości dodanej dla klienta, uzyskiwanie przewagi konkurencyjnej [4]. Wartością dodaną implementacji BIM, w szczególności zgodnie z podejściem Lean BIM staje się także zwiększona świadomość pracowników związana z zarządzaniem procesowym, ideą ciągłego doskonalenia się, jak również „zleanowanie" pozostałych procesów w firmie, pozornie mniej zależnych od działań projektowych (np. marketing, sprzedaż, zarządzanie zasobami ludzkimi, obsługa klienta). W celu uzyskania optymalnej efektywności tworzy się w tym celu m.in. bazę danych project support information (PSI), zawierającą dane z obszarów: finansów, marketingu, administracji i zarządzania przetargami. Wdrożenie BIM powinno przebiegać zgodnie z podejściem bottom–up z jednoczesnym wyraźnie komunikowanym wsparciem ze strony kadry zarządzającej różnych szczebli. Zmniejsza to opór przeciw zmianie, ułatwia zrozumienie konieczności

wprowadzenia zmian, ułatwia proces utożsamiania celów jednostki z celami organizacji, wzmaga zaangażowanie, zapewnia nie tylko rozwój technologiczny przedsiębiorstwa, ale również rozwój kapitału ludzkiego poprzez nowe kompetencje ludzi m.in. związane z nowym oprogramowaniem. BIM to także zarządzanie informacją, która powinna cechować się: łatwością przyswajania przez odbiorcę (np. projektanta), tj. zrozumiałością, prowadzić do optymalizacji i redukcji kosztów, być uprzednio przefiltrowana i zsyntezowana, a więc zawierać jedynie niezbędne elementy, być łatwo dostępna (np. dzięki internetowi i terminalom wifi – wireless terminals), możliwa do zarządzania za pomocą narzędzi ICT dostosowanych do odpowiednich grup docelowych [5].

W przypadku przejścia do fazy wykonywania robót budowlanych z powodzeniem może być wdrażana w technologii BIM idea Lean management, która powoduje, iż projekty mogą być wykonywane w sposób bardziej efektywny, optymalnie wykorzystując zasoby, powodując mniejsze koszty inwestycji i minimalizując liczbę ewentualnych zmian na etapie budowy, jak również wspierając proces zarządzania ryzykiem w projekcie [16]. Zagadnienie, jakim jest BIM, stanowi w swej naturze obszar interdyscyplinarny, łączący nauki techniczne z naukami ekonomicznymi i innymi.

Doświadczenia w zakresie stosowania zarówno BIM, jak i Lean management w zakresie poznania możliwości uzyskania efektu synergii, połączenia elementów specyficznych dla poszczególnych koncepcji oraz ich praktycznego zastosowania stanowi jeden z obszarów zainteresowań badawczych [14]. Wśród identyfikowanych strat i nieefektywności w okresie realizacji inwestycji należy wyszczególnić m.in.: czas oczekiwania np. na materiały, duplikowanie zadań, straty materiałowe, koszty transportu, magazynowania, błędów i defektów w projektach, wydłużania łańcucha dostaw i wynikające ze skomplikowania procesów w firmie, wydłużony czas realizacji, błędy jakościowe, błędy komunikacyjne i brak efektywnej komunikacji, koszty zwiększonej fluktuacji pracowniczej, nieoptymalne warunki pracy, występowanie wypadków, powtórne wykonywanie zadań, wykonywanie zadań jedne po drugich zamiast jednocześnie (zadania równoległe), brak optymalizacji kosztowej i procesowej. Straty te mogą powodować w konsekwencji trudności w utrzymaniu zasobów, następnie utratę klientów wraz z trudnością w pozyskaniu nowych, a kolejno spadek obrotów przedsiębiorstwa, zmniejszenie zysku, bądź też wypracowanie straty oraz utratę pozycji konkurencyjnej na rynku [1], a w ostateczności także utratę płynności finansowej. Na poziomie makroekonomicznym mogą one wpływać na pogorszenie koniunktury gospodarczej, problemy środowiskowe i nieosiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju. Połączenie BIM z Lean management wskazuje, iż możliwe jest osiągnięcie wymiernych korzyści z tytułu wdrożenia tej technologii projektowania i procesu w firmie wykonawczej. Ten rodzaj połączenia powinien dawać nowe możliwości i przewagę firmom działającym w systemach „Projektuj i buduj", czy również zapowiadanym do stosowania przez zarządców dróg systemom optymalizacji i budowy oraz budowy i dalszego utrzymania drogi w ramach długoterminowych kontraktów.

W przypadku stosowania LeanBIM w terenach wrażliwych przyrodniczo i społecznie możliwa staje się identyfikacja niekorzystnych oddziaływań i ich wpływ na te tereny praktycznie od momentu wykonywania koncepcji rozwiązania aż po etap utrzymywania obiektu. Obecne zarządzanie stanem środowiska w otoczeniu dróg ogranicza się do wykonywania pojedynczych prognoz uzależnionych od etapu procesu inwestycyjnego. Podczas przygotowywania inwestycji wykonywane opracowanie środowiskowe (karta informacyjna przedsięwzięcia, raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko) odnosi się do stanu istniejącego a także wskazuje efekty oddziaływań w określonych horyzontach czasowych (głównie 10-15 lat). Po oddaniu inwestycji drogowych często wykonywane są jeszcze opracowania środowiskowe (analiza porealizacyjna, przeglądy ekologiczne, monitoringi),

których celem jest określenie faktycznych oddziaływań w trakcie eksploatacji funkcjonującego obiektu. Pomimo zaleceń, aby system opracowań środowiskowych tworzył proces, w praktyce jest to jednak mało realne do realizacji. Problemami w tym przypadku są m.in.: brak odpowiednich narzędzi informatycznych, gromadzenie często rozproszonych danych i ich przetwarzanie oraz brak jednolitego systemu tworzącego proces (od pomysłu do inwestycji do zarządzania istniejącym obiektem). Zdaniem autorów rozwiązanie tego problemu może nastąpić po uzupełnieniu systemu LeanBIM o elementy środowiskowe zwłaszcza w miejscach wrażliwych środowiskowo i społecznie. Takie rozwinięcie LeanBIM pozwoli na utworzenie pełnego i kompleksowej koncepcji (systemu) ecoLeanBIM (proponowana nazwa przez autorów: eLBIM), który umożliwi poza zagadnieniami technicznymi wprowadzenie pełnego prowadzenia (zarządzania) inwestycji, a później istniejącego obiektu pod względem ochrony środowiska. Wymagało to jednak będzie uzupełnienia narzędzi informatycznych o elementy środowiskowe (warstwy środowiskowe, jako element dla którego mogą być wykazywane kolizje z innymi obiektami) oraz ujednolicenia procedur pozyskiwania i przetwarzania danych środowiskowych. Dotyczy to zwłaszcza miejsc i sytuacji, gdzie obserwowana jest duża wrażliwość środowiska i np. znaczna zmienność ruchu drogowego powodująca znaczące negatywne oddziaływania. Do stworzenia systemu eLBIM niezbędne jest jednak prowadzenie dalszych analiz zarówno teoretycznych, jak i praktycznych (w warunkach rzeczywistych). Analizy te powinny obejmować przede wszystkim (przy założeniu, że priorytetowo traktowane są obszary wrażliwe przyrodniczo i społecznie) trzy etapy:

- Planowania i projektowania inwestycji. Zintegrowanie zagadnień środowiskowych z projektowaniem rozwiązań drogowych zarówno w sferze zagadnień technicznych, jak i kosztowych. W przypadku systemów „Projektuj i buduj" istotne będzie określenie możliwości wykonywania obiektów w określonej technologii i określonych porach doby i/lub roku.
- Wykonywania robót. Dotyczy przede wszystkim prowadzenia nadzoru przyrodniczego oraz nadzoru związanego z zakłóceniami dla ludzi (np. roboty w porze dnia i nocy w terenach chronionych akustycznie) w trakcie budowy z uwzględnieniem tego w harmonogramach i kosztorysach – tzw. BIM 4D (BIM 3D+harmonogram), BIM 5D (BIM 4D+koszty wraz z budżetem).
- Utrzymania i eksploatacji. Na etapie tym możliwe jest prowadzenie monitoringu obiektu z uwagi na niekorzystne oddziaływania. W ramach systemu powinny zostać uwzględnione wszelkie działania obowiązkowe zarządcy drogi, jak np. wyniki i zalecenia: analizy porealizacyjnej, przeglądów ekologicznych, programów ochrony przed hałasem itp.

Wprowadzenie eLBIM poza typowymi zyskami BIM i procesów Lean management pozwolą na pełne zarządzanie problematyką ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. W tabl. 1 przedstawiono możliwe obszary uzyskiwania oszczędności dzięki połączeniu BIM z Lean management i zagadnieniami ochrony środowiska.

Tabela 1. Przykładowe obszary uzyskiwania oszczędności dzięki zastosowaniu eLBIM

Element charakterystyczny dla koncepcji eLBIM	Obszary oszczędności	Uzyskiwana oszczędność
Współpraca wielobranżowa w projektowaniu za pomocą wspólnego oprogramowania i modelu danych	Współpraca w tym samym środowisku informatycznym usprawni udostępnianie, przesyłanie, edytowanie, korektę danych w projekcie. Daje również możliwość pełnego zarządzania projektem z włączeniem wykonawcy robót (w systemach „Projektuj i buduj) oraz inwestora (szybki podgląd postępu prac i ewentualne korekty).	Oszczędność czasu pojedynczych pracowników, oszczędność czasu niezbędnego do wykonania projektu, ograniczenie czasu oczekiwania, ograniczenie kosztów materiałów, dojazdów (delegacji), dobór optymalnych materiałów i technologii.
Używanie oprogramowania umożliwiającego szybkie wykrywanie kolizji	Szybkie wykrywanie kolizji umożliwi wprowadzenie niezbędnych poprawek projektowych już na etapie projektu nie zaś na etapie budowy, kiedy poniesiono już wydatki materiałowe, wynagrodzeń, surowców, uzyskano niezbędne zezwolenia, postanowienia i decyzje administracyjne. Wykrywanie kolizji z terenami wrażliwymi przyrodniczo i społecznie pozwoli na wybór optymalnych lokalizacji i rozwiązań.	Oszczędność kosztów realizacji inwestycji, w tym: oszczędność kosztów transportu materiałów i surowców, oszczędność materiałów, surowców, półproduktów, a także w przypadku znaczących kolizji z terenami wrażliwymi przyrodniczo i społecznie optymalizacji kosztów poszukiwania nowych rozwiązań.
Redukcja liczby popełnianych błędów	Minimalizacja liczby błędów projektowych zwiększa efektywność działania, powoduje, że projekt może być realizowany zgodnie z harmonogramem i budżetem oraz bez strat dla środowiska.	Oszczędność czasu, kosztów i potencjalnych zniszczeń cennych przyrodniczo stanowisk i kosztów społecznych.
Usprawnienie procesu zarządzania projektem i realizacją obiektu	Usprawnienia procesu zarządzania projektami powoduje, iż możliwe jest osiągnięcie oszczędności w zakresie m.in.: przepływu informacji, wykorzystywanych kanałów komunikacyjnych, ograniczenia kosztów bezpośrednich i pośrednich.	Oszczędność kosztów pośrednich i bezpośrednich, oszczędność czasu, oszczędność materiałów, minimalizacja strat środowiskowych.
Wykorzystywanie jednego modelu danych od pomysłu do eksploatacji obiektu z danymi o stanie środowiska i niekorzystnych oddziaływaniach	Usprawnienie i przyspieszenie procesu inwestycyjnego i budowy z pełnym monitoringiem inwestycji i obiektu (planowanie i projektowanie, budowa, utrzymanie i eksploatacja), którego efektem jest minimalizacja strat w środowisku.	Brak dodatkowych kosztów przetwarzania rozproszonych danych.

4. Podsumowanie

Współczesne projektowanie i wykonawstwo robót wymaga stosowania zarówno odpowiednich narzędzi projektowych, jak i procesów zarządzania. Rozwijana w świecie od wielu lat technologia projektowania BIM w architekturze powoli zaczyna zyskiwać zwolenników i staje się potrzebą w budownictwie komunikacyjnym. Coraz częstsze połączenie projektowania z wykonywaniem robót w systemach „Projektuj i buduj" wymaga jednak o wiele bardziej precyzyjnych i powiązanych ze sobą narzędzi. Takie powiązanie spełniające jednocześnie kilka kryteriów (minimalizacja błędów projektowania, wczesne wykrywanie kolizji na etapie projektowania, dobór optymalnych technologii i materiałów, harmonogramowanie oraz określanie kosztów itd.) spełnia powiązanie zarówno technologii BIM z procesami Lean management w jeden system LeanBIM. Jednocześnie konieczność

uwzględnienia złożonych problemów ochrony środowiska na wszystkich etapach procesu inwestycyjnego prowadzi do wniosku, że system LeanBIM powinien uwzględniać jak najszerzej te problemy. Proponowana koncepcja eLBIM powiązania technologii projektowania, procesów zarządzania i zagadnień ochrony środowiska może sprawdzać się szczególnie w terenach wrażliwych środowiskowo i społecznie, gdzie liczba danych, uzgodnień, wariantów rozwiązań tworzy niekiedy największą barierę i koszty nie tylko podczas przygotowania inwestycji, ale i później jej utrzymania i eksploatacji. Koncepcja ta wymaga jednak szeregu badań o charakterze teoretycznym i praktycznym, a także rozwoju narzędzi informatycznych na poziomie BIM 3D2L, a najlepiej BIM 3D3L. Należy jednocześnie mieć na względzie to, że wprowadzanie BIM z przekonaniem, że obecnie jeden program komputerowy spełni wszystkie opisywane wymagania będzie prowadziło do strat i wydłużania procesu inwestycyjnego dla firm projektowych i wykonawczych.

Literatura

1 Arayici Y., Coates P., Koskela L., Kagioglou M., Usher C., O'Really K. *Technology adoption in the BIM implementation of lean architectural practice.* Elsevier 2010.
2 Bohatkiewicz J. *Nowe tendencje i trendy w projektowaniu dróg. Seminarium SITK Oddział w Białymstoku.* Augustów, 2010 r. (materiały niepublikowane)
3 *Building Information Modelling. Industrial strategy – government and industry in partnership*. HM Government, 2012.
4 Bhargav D., Kubler S., Framling K., Koskela L. *Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards.* Elsevier 2015.
5 Blikle A. J. *Doktryna jakości. Rzecz o skutecznym zarządzaniu.* Wydawnictwo HELION, Gliwice 2014, 517.
6 Thor Sigurd Thorsen, Merete Tøndel. *Documented effects of model-based road projects. Effects by using Handbook 138 Model Data.* Statens Vegvesen Vegdirektoratet, Vianova Systems. Novapoint Brukermøte. Haugesund, 2014 (materiały niepublikowane)
7 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych (Dz.U.UE.L.2014.94.65)
8 Ekanayake L. L., Ofori G. *Building waste assessment score: design – based tool*. Elsevier 2004.
9 Neo R. B., Koh T. J. *Accounting for waste in construction,* [in:] Yeo K. T. Proc. Ist International Conference on Construction Project Management, Singapore, 1995.
10 *Guidelines Manual V770 Model Basis Requirements for basic data and models.* Norwegian Public Roads Authority (NPRA), 2014. (original: Veiledning Håndbok V770 Modellgrunnlag Krav til grunnlagsdata og modeler).
11 Informacja dotycząca stanu realizacji Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2011-2015 – raport na 2014 r., www.mib.gov.pl/2-program_budowy_drog_krajowych.htm (stan na marzec 2016).
12 Liu Z., Osmani M., Demian P., Baldwin A. *A BIM-aided construction waste minimisation framework*, Elsevier 2015.
13 Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014 – 2023 (z perspektywą do 2025 r.), Załącznik do uchwały nr 156/2015 Rady Ministrów z dn. 8 września 2015.
14 Szlaki trakty autostrady. GDDKiA, Warszawa, 2009.
15 Tomana A. *BIM. Innowacyjna technologia w budownictwie – podstawy, standardy, narzędzia.* Kraków, 2015.
16 Weisberg David E. *The engineering design revolution* w http://www.cadhistory.net/ (marzec 2016 r.).
17 Sacks R., Bhargav A. D., Koskela L., Owen R. *Analysis framework for the interaction between lean construction and building information modelling*, [in:] Proc. for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 15th-17th July 2009, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan.

18 Sacks R. *BIM and Lean Construction. Can BIM remove waste from construction processes?*, Tekla European BIM Forum 2014, [in:] http://www.tekla.com/de/bim-forum-2014/presentations/sacks.pdf (stan na marzec 2016).
19 Zou Y., Kiviniemi A., Jones S. W. *A review of risk management through BIM and BIM-related technologies*. Elsevier 2015.
20 Żakowska L. *Wizualizacja w projektowaniu dróg. Aspekty bezpieczeństwa i estetyki.* Monografia, Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria Architektura nr 44, Politechnika Krakowska, 2001.
21 http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/lean-management-methods/How_to_Use_the_5-Whys_for_Root_Cause_Analysis.pdf (stan na marzec 2016).
22 https://pl.wikipedia.org/wiki/Elementy (stan na marzec 2016).

Development of design and management systems in road construction industry – from Euclid and CAD systems to eLBIM in the areas environmentally and socially sensitive

Joanna Bohatkiewicz, Janusz Bohatkiewicz

EKKOM Sp. z o.o., e–mail: joanna.bohatkiewicz@ek-kom.com
Department of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail: j.bohatkiewicz@pollub.pl

Abstract: This article, in spite of being largely theoretical, is based on the first experience with the use of new technology projects. The article examines the possibility of using appropriate tools and management methods, which aim to better protect the natural environment and people in civil engineering. The use of two technologies: design (BIM) and project management and management of a construction process (Lean Management) should result in creating an effective approach for the protection of the environment and human health, in addition to errors minimisation and costs reduction. The authors suggest in theoretical considerations the possibility of merging BIM and Lean Management into one system, which should be further extended to the environmental issues (eLBIM), especially in cases of civil engineering structures located in the areas environmentally and socially sensitive.

Keywords: BIM in civil engineering, Lean Management, environmental protection in civil engineering.

Budownictwo i Architektura 15(1) (2016) 281-292

Rola zasad estetycznych w procesie projektowania konstrukcji mostowych

Krzysztof Śledziewski

Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e–mail: k.sledziewski@pollub.pl

Streszczenie: Projektowanie konstrukcji mostowych jest problemem inżynierskim. Spośród wielu istotnych aspektów, decydującą rolę odgrywają bezpieczeństwo, technologia wykonania oraz ekonomia. Niestety aspekt estetyczny jest często pomijany. Należy jednak pamiętać, że zrozumienie wraz z pełnym uwzględnieniem zasad estetycznego ukształtowania mostu jest konieczne zarówno w początkowej fazie projektowania, jak i w fazie końcowej. Zasady te są przydatne, jako wytyczne komponowania i zestawienia elementów obiektu w całość przy jednoczesnym sprawdzeniu koncepcji.

Słowa kluczowe: estetyka, projektowanie, mosty, konstrukcje.

1. Wprowadzenie

Pojęcie estetyki mostów związane jest z uczuciami wyższego rzędu, z którymi mamy do czynienia od najdawniejszych czasów [1]. Względy estetyczne towarzyszą funkcjonalności obiektów, kształtują przestrzeń, wzbudzając uczucie harmonii nie tylko ze względu na wygląd, wpływają również na psychikę i kulturę człowieka. Budowa mostów to także sztuka, do której należy przykładać szczególną uwagę, gdyż obiekty mostowe stają się trwałymi elementami środowiska i „towarzyszą" nam przez wiele dziesiątków lat.

Inżynieria mostowa w ostatnim czasie zdominowana została przez rozwój techniki i czynniki ekonomiczne [2]. Mosty stały się odzwierciedleniem rozwoju cywilizacyjnego społeczeństwa [3]. Miano „estetycznego ukształtowania" obecnie rozumiane jest bardzo szeroko. Nie chodzi tylko o piękno obiektu samo w sobie ale również o zachowanie podstawowych zasad formy. Most zarówno ze strony funkcjonalności, jak i materiałowej oraz konstrukcyjnej powinien być dostosowany do otoczenia i nie ingerować w żaden sposób w otaczające go środowisko. Mało tego powinien być w harmonii a czasem nawet wzbogacać otoczenie. Należy pamiętać aby idące z biegiem czasu zmiany nie wpływały negatywnie na jego odbiór. Mosty są obiektami bardziej zadziwiającymi niż inne elementy architektury. Są rozpowszechnione i dostępne jako dzieło nawet dla tych, którzy nie interesują się sztuką. Posiadają swój indywidualny charakter. Pełnią nie tylko funkcję komunikacyjną ale również i społeczną [4].

W poniższym artykule przedstawiono kształtowanie się pojęcia estetyki w odniesieniu do konstrukcji mostowych. Przedstawiono w dużym skrócie jej główne założenia oraz aspekty architektoniczno – konstrukcyjnego projektowania mostów wraz z czynnikami jakie wpływają na ich odbiór estetyczny.

2. Pojęcie estetyki

Estetykę definiuje się jako naukę o przedmiotach pięknych i sztuce, która zawiera również rozważania na temat przeżyć estetycznych. Estetyka europejska miała swój początek w starożytnej Grecji i rozwija się aż do czasów dzisiejszych. Jej rozwój jest ciągły, niestety nie pozbawiony nasileń i zahamowań oraz zwrotów i załamań. Najbardziej gwałtowne zwroty nastąpiły po upadku Cesarstwa Rzymskiego oraz w dobie Odrodzenia. Zmiany te wpłynęły nie tylko na samą estetykę ale również na całą kulturę europejską. Zdarzenia te pozwoliły wyodrębnić trzy okresy estetyki: starożytny, średniowieczny i nowożytny [5].

Estetyka starożytna obejmuje blisko tysiąc lat i stanowi fundament estetyki europejskiej. W przeważającej części była dziełem Greków a w późniejszym okresie do jej rozwoju przyczyniły się również inne narody.

Pojęcia estetyki Greków były jednym ze źródeł estetyki, które częściowo ukształtowały się przed erą filozofów i znacznie różnią się od tych, jakie potocznie używa się dziś. Wyraz „piękno" oznaczało wszystko co budzi uznanie. Przede wszystkim pojęcie piękna było szerokie i ogólnikowe. Obejmowało nie tylko widoki i dźwięki, ale także np. cechy charakteru. Grecy pojęcie piękna nazywali dobrem materialnym i intelektualnym. Zakłada się, że to oni byli twórcami Wielkiej Teorii. Platon uważał, że piękno było czymś dla czego warto żyć i stawiał je obok prawdy i dobra. Dało to początek trzem największym wartościom: prawda, dobro i piękno. Ta triada od tej pory utrzymywała się w myśli europejskiej. Piękno polegało na doborze proporcji i jest stosunkiem najprostszych liczb. W muzyce Grecy posługiwali się przede wszystkim oktawą (1:2) i kwintą (2:3), szczególnie w ciele ludzkim odnajdywali proporcje 1:8 i 1:3, a w samej architekturze – 5:8 [6]. „Każda dziedzina sztuki ma swoiste dla siebie rodzaje stosunków między elementami budującymi dzieło sztuki. Tak więc na przykład w architekturze stosunki są przestrzenne, natomiast w muzyce czasowe. W mostownictwie, podobnie jak w architekturze, o pięknie mostu decydują głównie liczba i rozpiętości przęseł oraz smukłości podpór i ustroju nośnego" [4].

W Średniowieczu zachowały się teoria i pogląd na piękno ze starożytności. Święty Augustyn uważał, że rzeczy piękne są piękne same przez się, a nie dlatego, że się komuś podobają. Według jego formuły piękno to miara, kształt i ład (modus, species, ordo). Od czasów Becjusza, czyli od IV wieku pochodzi średniowieczna formuła piękna: współmierność członków (membronum cemmensuratio). Teoria piękna w średniowieczu była dualistyczna. Jedni twierdzili, że podstawą piękna są proporcje, inni, że do pojęcia piękna, należy jasność i właściwa proporcja. Uważano, że wszystko pochodzi z woli Bożej, dzieło rodzi się w duszy artysty, jego narzędziach i ukształtowaniu materii.

Okres odrodzenia stanowił powrót do teorii piękna ze starożytności, piękna jako miary, kształtu i ładu. Leonardo da Vinci uważał, że piękno jest spostrzegane nie tylko przez nasze zmysły, ale też odbierane przez umysł. Harmonia była najwyższym wyrazem piękna. Wielu filozofów rozważało problem piękna dochodząc do nowych spostrzeżeń. W. Tatarkiewicz w swoich dziełach dokonał prezentacji tych spostrzeżeń [1].

W XIX wieku wyłoniły się dwie teorie piękna: pierwsza głoszona przez Hegla– piękno jest objawieniem idei, druga głoszona przez Crocego – piękno jest wyrazem psychiki. Przekonanie o subiektywności piękna doprowadziło to wytworzenia poglądu, że nie piękno jest podstawowym pojęciem estetyki a przeżycia estetyczne. W obecnych poglądach wyłoniły się dwa nurty: estetyka ekspresji i estetyka kontemplacji. Najważniejsze jest wyrażanie przez sztukę życia wewnętrznego – każda forma jest wyrazem treści duchowych (jak pisał Kandinsky).

XX wiek przyniósł porzucenie klasycznych reguł piękna i w konsekwencji rezygnację z mistrzostwa wykonania. Symetria, równowaga, zwartość, jedność zastąpione są asymetrią,

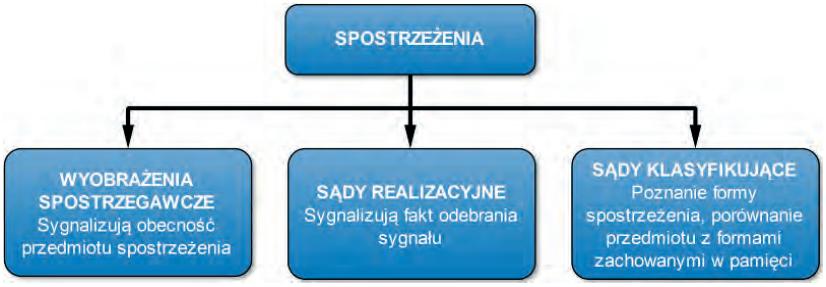
a równowaga staje się chwiejna. Powstaje dekompozycja. Zachodzi integracja gatunków i rodzajów sztuki oraz wykorzystanie rozwoju technicznego. Estetyka staje się uogólniona. Pojawiają się konwencje awangardowe i artystyczne prowadzące do odbioru estetyki wywołując szok lub prowokację.

3. Odczucia estetyczne

Zarówno w architekturze jak i budownictwie występują uczucia w działaniach koncepcyjnych, projektowych, w użytkowaniu budowli. Ich intensywność oraz zakres zależy od różnych czynników wpływających w większym bądź mniejszym stopniu na projektanta, użytkownika - odbiorcę.

3.1. Czynniki wpływające na odczucia

W uczuciach architektonicznych można wyodrębnić trzy procesy: wyobrażenia spostrzegawcze, sądy realizacyjne i klasyfikujące (rys. 1. [5]). Każdy może być pozytywny lub negatywny.



Rys. 1. Procesy uczuć architektonicznych według [5]

Spostrzeżenia wywołują zróżnicowane uczucia, które następują kolejno po sobie bądź nakładają się w różnych odstępach czasu. Nie są one zależne wzajemnie od siebie. Odbiór jakiegoś bodźca może wywoływać przyjemne uczucie, natomiast uczucia związane z sądem realizacyjnym lub klasyfikacyjnym mogą być zupełnie obojętne a nawet przykre.

3.2. Czynniki powodujące uczucia

Mówiąc o uczuciach architektonicznych nie można pominąć roli czynników je powodujących. Zdolność reagowania uczuciowego i spostrzegawczego może być pobudzona przez wszelkiego rodzaju:

Efekt wnętrz

Każdy człowiek znajdujący się we wnętrzu wyodrębnionym z otoczenia doznaje wrażenia, że jest ono w jakimś sensie częścią osobowości, jego bądź innych. Złudzenie to pochodzi stąd, że otoczenie spełnia nie tylko warunki funkcjonalności, ale zostało ono przez niego wybrane i dostosowane do jego potrzeb, upodobań i wyobrażeń, a w szczególności odzwierciedla wyobrażenia o samym sobie. Efekt ten nazwano zjawiskiem utożsamiania lub identyfikacji otoczenia z osobowością. Obiekty mostowe posiadają dwa wnętrza: na moście i pod mostem. Oba wnętrza są otwarte, co odróżnia je od innych budowli. Przestrzeń na moście stanowi antidotum zamkniętych pomieszczeń, świat widoczny jest z wysoka i całkowicie otwarty.

Kontrasty

Kontrast pomiędzy budowlą a jej otoczeniem lub między budowlą a jej elementami zwiększa spostrzegawczość, przykuwa uwagę, zwiększa zakres bodźców a więc pobudza zdolność reagowania zarówno uczuciowego jak i spostrzegawczego. Efekt kontrastu wywołują nowe technologie, materiały lub budowle o niespotykanej skali, ekstrawagancja. Obiekty mostowe wywołują reakcje postrzegania kontrastu poprzez np. to, że widoczne są w nich płynne linie dróg lub torów. Niekiedy kontrast może wynikać z błędów związanych z celem użytkowym lub warunkami budowy. Należy mieć na uwadze fakt, że efekty kontrastu przy częstym dostrzeganiu słabną.

Ekspresję

Od czasów starożytnej Grecji uważano iż, istotą piękna architektury jest jej miarowość geometryczna. Ma ona wpływ na spostrzegawczość poprzez powtarzanie bodźców i impulsów. Spostrzeżenia wydają się bardziej czytelne a spostrzegającemu wydaje się, że ma większą sprawność. Jednak układy regularne lecz banalne wywołują negatywne odczucia – nudę. Dlatego miarowość bez dodatkowych cech nie może stanowić podstawy piękna budowli, wszelkie geometryczne, dynamiczne, funkcjonalne cechy funkcjonalności zwiększają siłę wrażeń.

4. Zasady kształtowania estetycznego

Uwzględnienie wszystkich zasad estetycznego ukształtowania mostu jest konieczne zarówno w początkowej fazie projektowania – kiedy kształtuje się formę i ogólne proporcje obiektu, jak i w fazie końcowej – gdy decyduje się o szczegółach.

Do dnia dzisiejszego nie ma gotowych szablonów bądź też wzorów opisujących jednoznacznie sposób estetycznego kształtowania. Są za to ogólne zasady, których przestrzeganie wpływa z reguły korzystnie na odbiór projektowanej konstrukcji. Ich znajomość w znacznym stopniu ułatwia uzyskanie poprawnych rozwiązań. Stanowią również narzędzie do weryfikacji poprawności architektonicznej na każdym szczeblu zaawansowania projektu.

4.1. Kryteria i podstawy projektowania estetycznego

Przegląd dotychczasowego budownictwa mostowego pozwala na zestawienie obserwacji – według powtarzalności zależności zachodzących pomiędzy elementami – i pewnych konkluzji wynikających z nich. W celu uporządkowania poszukiwań form architektonicznych, unikania zaniedbań tych opracowań a także z myślą o lepszej współpracy między projektantami, sformułowano tzw. zasady opracowywania architektury mostów. Według [5] są to:

Zasada gradacji formy – oznacza konieczność sklasyfikowania według skali i widoczności elementów. Należy przestrzegać gradacji w taki sposób aby uwaga nie była rozpraszana przez elementy nadrzędne bądź też podrzędne. Do form architektonicznych poszczególnych stopni należy wprowadzać właściwe im elementy, unikając widoczności form i elementów innych stopni. W tym celu opracowano następujące grupy form:

- efekt całości mostu i przeszkody – ma największą skalę, wynika z zasady czytelności, obiekt występuje jako całość w układzie z przeszkodą;
- droga na moście i dojazdach – istotne jest aby skala mostu nie była większa od skali drogi, w przeciwnym wypadku most traci ekspresję, lepsze wrażenie daje droga poprowadzona nad konstrukcją, a gorsze - gdy jest zasłonięta przez ustrój;
- podpory i przęsła- dostrzec można oddzielnie przęsła i podpory, ale niewidoczne są elementy, z których się składają;

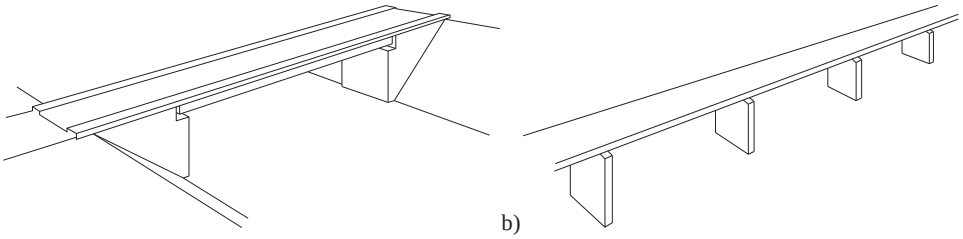
- wnętrze pod obiektem – często zaniedbywanym zagadnieniem jest wnętrze pod mostem, a jest ono bardzo istotne. Jego forma głównie zależy od wymiarów: wysokości, szerokości i długości. Korzystniej wypadają wnętrza o wysokości większej niż szerokość. Wygląd dolnych partii przęseł często pozostawiany jest bez opracowania i uzależniony tylko od rozwiązań konstrukcyjnych. Przykładem poprawnego rozwiązania tego zagadnienia jest płyta ortotropowa mostów stalowych. Inaczej sprawa się ma w przypadku mostów belkowych, w których należy wydobywać niewielkie krzywizny powierzchni dolnej płyty, zmienność grubości belek, płyt czy przepon. Takie działanie pozwala na uniknięcie efektu pustki jakie wprowadza powierzchnia płaska. Wszelkie krzywizny wprowadzają różnice załamania światła;
- detale mostowe.

Powyższa klasyfikacja jest rezultatem obserwacji form powstałych w wyniku zależności między elementami.

Zasada usuwania błędów w opracowaniu form – zasada ta jest zasadą doskonalenia formy. Powinno się usuwać z form wszystko to co uważane jest za irracjonalne.

Zasada opracowania form wszystkich elementów mostu – pozostawienie jakiegokolwiek elementu opracowania daje gorsze rozwiązanie niż dopracowanie na każdym szczeblu.

Zasada wykorzystania środków ekspresji – form architektonicznych nie można sprowadzać tylko do kształtów geometrycznych, czy też gry świateł i cieni. Powinno się również zwracać uwagę na cechy, na które jesteśmy wrażliwi. Wskazane jest korzystanie ze wszystkich dostępnych środków: kształtów konstrukcji, sił i ciężarów, świateł, cieni i barw, kształtów i zabudowy przeszkody i otoczenia, linii drogi na moście, na dojazdach i pod mostem. Należy też korzystać z cech równości, kształtów i sił, symetrii i eurytmii, proporcji poszczególnych elementów jak i całej konstrukcji, rozpiętości, wysokości i szerokości przęseł, ich podziału oraz wyposażenia mostu; wszystko to nazywamy miarowością kompozycji. Do opracowania miarowości należy korektura skażeń widoczności. Skażenia linii polegają na postrzeganiu kształtu innego niż jest w rzeczywistości. Podobnie jest z kształtami figur czy widocznością brył zależnie od barwy ich powierzchni, tła lub innych elementów obok nich położonych. Najczęściej spotykanym rodzajem skażeń wzrokowych występującym w mostownictwie jest wrażenie wygięcia ku dołowi dolnej krawędzi przęsła (rys. 2. [5]).



Rys. 2. Efekty wygięcia przęsła ku dołowi – efekt Zollnera: a) między krawędziami przęsła i przyczółków; b) między krawędziami przęsła i filarów [5]

Na rysunku 3 [5] pokazano właściwy sposób usunięcia efektu wygięcia krawędzi przęsła – zachowanie prostych linii ścian zewnętrznych w elewacji mostu, dając jedynie wygięcie dolnej powierzchni przęseł.

Rys. 3. Usunięcie efektu wygięcia krawędzi przęsła [5]

Pospolitym złudzeniem widoczności powierzchni jest wypukłość ścian płaskich. Najsilniej zauważane jest na słupach, mniej na powierzchniach bocznych belek i łuków. Przeciwdziałać temu można dając ścianom wklęsłe załamania, pochylenia lub wprowadzając rysunek przyległych elementów konstrukcyjnych.

Głębokość załamań wystarczająca do usunięcia złudzenia wypukłości powierzchni, powinna być rzędu od 1/10 do 1/50 szerokości ściany, pamiętając aby ścianom szerszym nadawać płytsze załamania.

Zasada pierwszeństwa form komunikacyjnych – pozwala zaprojektować z dowolną intensywnością tylko linię drogi i przeszkody pod mostem. Błędne jest przekonanie, że konstrukcja mostu jest piękna sama w sobie. Często jej forma jest zbyt intensywna i w konsekwencji zaburza czytelność całości. Do takich stwierdzeń można dojść zestawiając rozwiązania dawne ze współczesnymi (rys. 4 [7]).

Rys. 4. Porównanie rozwiązań dawnych ze współczesnymi [7 i fot. K. Śledziewski]

Dawniej konstrukcje mostów były dość masywne, składały się z dużej ilości materiałów. Współczesne mosty są wykonane z nowoczesnych materiałów o większej wytrzymałości [8÷13], w nowych technologiach [14÷18], pozwalających w bardziej efektywny sposób wykorzystać przekrój [19, 20].

Rys. 5. Nowe formy architektoniczne mostów [21]

W nowych konstrukcjach nie ma elementów niepotrzebnych, których dawniej nie umiano usunąć (rys. 5 [21]). Dzięki temu nowe obiekty są lżejsze i widocznie mniej intensywne.

4.2. Zasady doświadczalne architektury mostów

Zasadami doświadczalnymi nazywamy stwierdzenia, których spostrzeżenia wpływają na przeżycia estetyczne. Są one formułowane na podstawie obserwacji prowadzonych w różnych warunkach, przez różnych obserwatorów i dotyczących szerokiego zakresu. Stanowią odmianę zasad architektonicznych, wynikają z ogólnych cech spostrzeżeń i przeżyć. Są nieskomplikowane i powszechne.

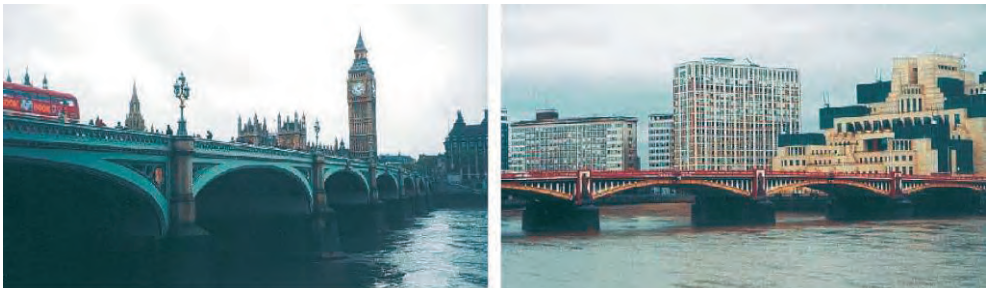
Zasady doświadczalne mogą pełnić rolę wytycznych w kompozycji architektonicznej oraz ułatwiać weryfikacje rozwiązań koncepcji. Są to dwa główne cele doświadczalnych zasad estetyki. Nie należy ich jednak traktować jako konieczne, bowiem ostatecznym sprawdzeniem jest doświadczenie. Zasady należy rozpatrywać w czworakim znaczeniu: przedmiotowym (obiektywnym), psychologicznym(subiektywnym), poznawczym i twórczym. Pierwsze dotyczy analizy form przedmiotów materialnych, drugie – odbioru przeżyć estetycznych, trzecie – wyjaśnia działania poznawcze, czwarte – wykorzystuje poznane zasady.

4.3. Zasady wynikające ze spostrzeżeń i kojarzeń form

Zasada całości – „przeżycie estetyczne jest uwarunkowane dostrzegalnością wszystkich elementów formy i ich współzależności" [22]. Oznacza to, że należy dążyć do skojarzenia cech geometrycznych budowli z ich znaczeniem fizykalnym, funkcjonalnym. Zasada całości jest wielostopniowa i dotyczy analizy budowli wraz z otoczeniem, samej budowli, a także poszczególnych jej elementów. Marzyński [23] z tego względu dokonał podziału estetyki na:

a) wielką – urbanistyczną i krajobrazową,
b) średnią – architektoniczną,
c) małą – wykończenie i szczegóły.

Estetyka wielka zajmuje się usytuowaniem mostów w terenie wraz z dojazdami i dostosowaniem ich do terenu. Analizując estetykę wielką dochodzi się do zagadnień estetki średniej. Idąc dalej rozważając czynniki wpływające na odbiór wizualny mostów dochodzimy do zagadnień małej estetyki, m.in. doboru materiału czy wykończenia, które nie wpływają ani na kształt czy też konstrukcję.



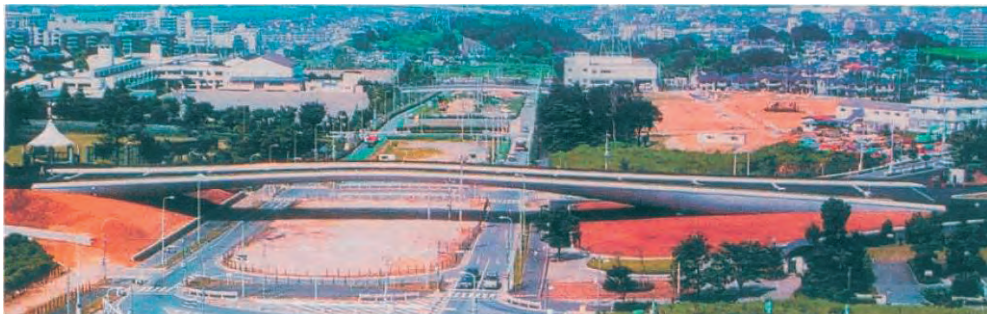
Rys. 6. Harmonia mostu z otoczeniem [24]

Chcąc zachować porządek elementów, stanowiący podstawę odbioru estetycznego należy pamiętać o spoistości formy. Musi być zachowana równowaga między elementami racjonalnymi a ekspresją architektoniczną, również brak któregokolwiek składnika wpływa ujemnie na całokształt budowli (rys. 6. [24]).

Zasada prostoty formy – zgodnie z tą zasadą liczba poszczególnych elementów mostu powinna być dostatecznie mała w celu zachowania nie skomplikowanej formy. Związane jest to bezpośrednio ze zdolnością człowieka do spostrzegania niewielkiej liczby elementów przy jednoczesnym zachowaniu prostoty formy. Kiedy forma jest zbyt złożona, człowiek nie jest w stanie dostrzec jej całości, gubi się w powiązaniach, czego efektem jest brak przeżyć estetycznych.

Zasada prostoty formy podobnie jak zasada całości jest wielostopniowa . Oznacza to, że dotyczy nie tylko całej budowli wraz z otoczeniem ale również poszczególnych elementów.

Zasady prostoty nie należy traktować jako ograniczenie ekspresji architektonicznej lub jako unikanie wyrażania istotnych zależności ale jako postulat zachowania umiaru. W konstrukcjach mostowych najbardziej wyeksponowana powinna być linia prowadzonej drogi oraz linia przeszkody, inne elementy przeprawy – mniej (rys. 7. [24]).



Rys. 7. Prosta forma obiektu mostowego [24]

Zasada czytelności formy – „Aby forma mogła wywoływać wrażenia estetyczne, skojarzenia jej elementów powinny być łatwo dostrzegalne” [5]. Kryterium czytelności jest uzupełnieniem dwóch poprzednich zasad. Wrażenia estetyczne są osiągane poprzez ekspresję form i łatwość skojarzenia ich ze znaczeniem poznawczym estetyki. W architekturze mostów środkiem prowadzącym do tego stanu jest stosowanie elementów nie konstrukcyjnych, dodatkowych, niekiedy wręcz przeciwstawnych. W obiektach mostowych dominują ustroje wskazujące na układ sił wewnętrznych, linie komunikacyjne, współzależność typu konstrukcji z zastosowanymi materiałami, technologią i warunkami budowy.

Rys. 8. Przykładowe konstrukcje kratownicowe [7]

W pierwszej połowie XX wieku wyzbyto się ekspresji tradycyjnych form architektonicznych. Ograniczono się jedynie do czytelności linii komunikacyjnych i układu sił. Nie znaczy to jednak, że układy sił same w sobie są czytelne. Przykładem mogą być mosty kratownicowe powszechnie stosowane na terenach przemysłowych ale nie tylko (rys. 8 [7]).

Siły w prętach mają różne wartości i znaki, co jest równoznaczne z brakiem czytelności. Ponieważ kryterium to jest również wielostopniowe oznacza, że formy poszczególnych elementów powinny wskazywać czy jest on ściskany, zginany itp.. W jaki sposób siły są przenoszone i przekazywane na inne ogniwa. Formy architektoniczne także muszą być czytelne pod względem przeznaczenia mostu, charakterystyki krajobrazu, warunków przyrodniczych i gospodarczych.

Zasada unikania pustki – aby mosty były ciekawe powinny zwracać na siebie uwagę, muszą one zawierać cechy przykuwające tę uwagę. Obiekty nie zawierające takich cech działają wręcz odpychająco. Pustka wzbudza uczucia analogiczne do znudzenia, osłabia zdolność działania poprzez brak pobudek emocjonalnych. Brak zależności między elementami budowli, nieudolność zrozumienia lub brak czytelności są przyczyną pustki (rys. 9 [24, 25]).

Rys. 9. Sposoby zaradzenia wrażenia pustki [24, 25]

Kryterium unikania pustki jest odmianą kryterium prawdziwości – zaprzeczenie dążenia poznawczego, pustka przemilcza prawdę, oraz czytelności formy –pusta forma jest nieczytelna. Formy, które nic nie mówią lub są niezrozumiałe należy odrzucać.

4.4. Zasady wynikające z zależności rozumowych między elementami form

Zasada prawdziwości formy – wymaga się aby forma wywoływała skojarzenia prawdziwe – zgodne z celem i warunkami pracy oraz funkcjonalnością i użytkowością

obiektu. Prawdziwość jest pojęciem relatywnym w estetyce mostów i zależnym od poznania. Zależna od warunków poznania jest również trwałość tego kryterium, bowiem w zmienionych warunkach forma może okazać się nieprawdziwa.

Zasada ta powinna być używana jako nadrzędna. Obejmuje ona wnioski wynikające z celu użytkowego oraz warunków wykonania i eksploatacji budowli. Są to następujące sformułowania:

- dostosowanie mostu do celu użytkowego, dotyczy ruchu na oraz pod mostem i stanu zagospodarowania przeszkody;
- dostosowanie mostu do warunków przyrodniczych i fizykalnych, dotyczy warunków hydrologicznych i klimatycznych oraz wyboru ustroju nośnego zależnego od układu sił;
- dostosowanie mostu do warunków gospodarczych;
- dostosowanie mostu do warunków społecznych.

Zasada dostosowania do celu użytkowego – formy mostów dostosowane do celów użytkowych wpływają pozytywnie na odczucia estetyczne. Elementami najsilniej występującymi w całości budowli będąc jednocześnie najważniejszymi czynnikami są kształt drogi poprowadzonej przez most oraz dojazdy do mostu. Poprzez zastosowanie linii prostych, łuków, krzywych przejściowych, nachyleń niwelety, spadków poprzecznych dostosowujemy kształt do warunków terenowych oraz prognozowanego ruchu. Każdy z tych elementów jest dostrzegalny wzrokowo i jeśli jest zrozumiały to sprzyja wrażeniom estetycznym. Przy projektowaniu obiektu adekwatnie do celu użytkowego należy jednocześnie pamiętać o wcześniej wspomnianych kryteriach, tj.:

- zasada całości – aby droga była widziana na całym odcinku na którym jej kształt jest związany z mostem;
- zasada prostoty – aby droga nie była niepotrzebnie skomplikowana, ważne aby zastosowane rozwiązania nie były sprzeczne z ukształtowaniem terenu np. odwrotne pochylenia czy promienie;
- zasada czytelności – aby droga była widoczna w linii mostu, jednak ta zasada ma wiele znaczeń. Po pierwsze – widoczność drogi z możliwie każdego punktu zarówno spoza mostu jak i na moście. Odcinek drogi na moście wraz z dojazdami powinien tworzyć wklęsłość. W tym celu wystarczą bardzo niewielkie pochylenia nie sięgające nawet 1 %. Niekiedy trudno je zauważyć a mimo to mogą wpływać na walory estetyczne poprzez poprawę widoczności.

Zasada dostosowania kształtu ustroju do warunków fizykalnych – obiekty budowlane podlegają pewnym zależnościom przyrodniczym. Należą do nich m. in.: warunki geologiczne, roślinne, klimatyczne i fizykalne. Zwłaszcza dwie ostatnie mają szczególny wpływ na kształtowanie architektoniczne budowli. Pozostałe wpływają na rodzaj oraz jakość materiału bądź też na jego barwę i fakturę. Zasada dostosowania kształtu ustroju do warunków fizykalnych dotyczy dostosowania do układu sił oraz warunków klimatycznych (rys. 10).

Rys. 10. Dostosowanie kształtu ustroju do warunków fizykalnych [fot. K. Śledziewski]

Zasada optymalności formy – działanie, które ma na celu najlepsze zaspokojenie potrzeb w danych warunkach nazywamy optymalnością. W odniesieniu do obiektów mostowych jest to dostosowanie ich ekspresji do warunków komunikacyjnych, budowlanych i zagospodarowania przestrzeni. Sprzyjającym czynnikiem jest optymalne doprowadzenie drogi do mostu, przeprowadzenie jej przez most, jak również dostosowanie lokalizacji, rozpiętości i wysokości mostu, układu podpór stosownie do przeszkody. Sprzeczność formy obiektu mostowego z zagospodarowaniem otoczenia wpływa ujemnie na wrażenia estetyczne.

5. Podsumowanie

W procesie projektowania należy dążyć do respektowania porządku, prostoty, doboru właściwych proporcji wewnętrznych i harmonii z otoczeniem. Uwzględnienie tych kilku zasad może dać naprawdę pozytywne efekty, z kolei pominięcie ich może prowadzić do dysonansu. Projektant jest zobowiązany do działania z pełną świadomością i odpowiedzialnością uwzględniając zasady estetycznego kształtowania architektonicznego konstrukcji mostowych.

Stąd też przy kształtowaniu mostów należy dążyć do zachowania smukłości zarówno całej konstrukcji jak i podpór, lekkości z zachowaniem uczucia stabilności. Prostota i ograniczenie do minimum różnorodności form podyktowana jest zasadą prostoty – czasem mniej znaczy więcej. Unikać należy ciężkich mostów wywołujących wrażenie ciężkości. Należy również starać się aby obiekt miał swoją oryginalną, niepowtarzalną formę, nadać mu charakter, coś dzięki czemu miło zapadnie w pamięci a podróż dzięki takiemu widokowi wyda się przyjemniejsza i przede wszystkim bardziej interesująca.

Przy czym pośród tysięcy budowanych obecnie obiektów bardzo trudno będzie nadać każdemu oryginalną, niepowtarzalną formę, zatem powtórzenia dobrych projektów, są rzeczą której nie da się uniknąć. Natomiast bardzo ważnym zagadnieniem jest umiejętność dopracowania szczegółów, eksponowania elementów poprawiających ogólny wygląd i maskowania detali niekoniecznie podnoszących estetykę rozwiązania.

Literatura

1 Tatarkiewicz W. Historia Estetyki, tomy: 1,2 i 3. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.
2 Rosignoli M. Evolution of a Technique. „Concrete International", February, 1997.
3 Kędzierski B. Postęp techniczny w mostownictwie. WKŁ, Warszawa, 1972.
4 Łagoda G. Wiadukty nad autostradami, Prace Naukowe. Budownictwo z. 137, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2001.

5 Wasiutyński Z. O architekturze mostów, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1971.
6 Flaga K., Januszkiewicz K., Hrabiec A., Cichy –Pazder E. Estetyka konstrukcji mostowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2005.
7 Łagoda M. Materiały dydaktyczne, Politechnika Lubelska, Lublin, 2006.
8 Ajdukiewicz A. Konstrukcyjne betony cementowe nowych generacji. Inżynieria i Budownictwo, 1998, nr 9.
9 Faust T., Dehn F. Bemessungsgnmdlagen von Hochleistungsleichtbeton. Leipziger Massivbau-Seminar. „Hybrides Bauen mit Hochleistungswerkstoffen – Höhere Effizienzdurchgeschicktes Zusammenfugen", Leipzig 2000, Teil VII.
10 Fukujama H. Fibre-Reinforced Polymers in Japan. „Structural Engineering International", 1999, November, Vol. 9, No. 4.
11 Hubo R. HóherfesteStahleim Hoch- und Briickenbau. Leipziger Massivbau-Seminar. „Hybrides BauenmitHochleistungswer-kstoffen – HohereEffizienzdurchgeschicktes Zusammenfugen" Leipzig 2000. Teil III.
12 Radomski W. Materiał a konstrukcja - refleksje mostowca, IV Konferencja Naukowo – Techniczna „Zagadnienia materiałowe w inżynierii lądowej", Kraków, 2003.
13 Taerwe L. Non-metallic reinforcement for concrete structures. International Conference „New Technologies in Structural Engineering", Lisbon 1997.
14 Flaga K., Pańtak M. Mosty podwójnie zespolone. Inżynieria i Budownictwo, 2006, nr 7-8.
15 Kołakowski T., Kosecki W., Marecki A. VFT® - prefabrykowane dźwigary zespolone z betonowym deskowaniem aktywnym. Inżynieria i Budownictwo, 2003, nr 3.
16 Łagoda G., Łagoda M. Nowe typy konstrukcji w mostownictwie XXI wieku. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2007, Lipiec – Sierpień.
17 Nakamura S. New structural forms for steel/concrete composite bridges. Structural Engineering International, 2000, Vol. 1.
18 Toczkiewicz R. Mosty typu extradosed o dźwigarach zespolonych. Drogownictwo, 2006, nr 11.
19 Rosignoli M. Prestressed Composite Box Girders for Highway Bridges. Structural Engineering International, 1997, Vol. 7.
20 Śledziewski K. Mosty PCS – nowoczesny rodzaj konstrukcji zespolonej. Inżynieria i Budownictwo, 2010, nr 8.
21 Radomski W. Tendencje rozwojowe mostownictwa – świat i Polska. Geoinżynieria i Tunelowanie, 2005, nr 1.
22 Głomb J. Rola czynników estetycznych w procesie projektowania mostów. Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo, Wrocław, 1990.
23 Marzyński S. Estetyka mostów. Skrypt, Warszawa, 1955.
24 Łagoda G., Łagoda M. Aspekt estetyczny kształtowania obiektów mostowych. Drogi i Mosty, 2004/1.
25 Łagoda G. Piękno mostów, Mosty, 2010, nr 4.

The role of aesthetic principles in the designing process of bridge structures

Krzysztof Śledziewski

Department of Road and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e–mail:k.sledziewski@pollub.pl

Abstract: Designing of bridge constructions is an engineering issue. Among the many aspects of relevance, safety, production technology and economy are crucial – aesthetics, regrettably, tending to be ignored. It must not be neglected, though, that full comprehending and including all the principles of aesthetic design of bridges are necessary in the initial as well as final designing phases. These rules are useful as the guidelines for composition and combining the structure's elements into a whole while checking the overall concept.

Keywords: aesthetics, designing, bridges, structures.