

Nauka i Technika

Grzegorz DZIENISZEWSKI, Paweł KRZACZEK

- Ekonomiczne i ekologiczne aspekty zasilania autobusów miejskich gazem CNG na przykładzie Rzeszowa**
The economic and ecological aspects of driving city buses with CNG gas on an example of Rzeszów 6

Vladimír JURČA, Zdeněk ALEŠ

- Maintenance management efficiency evaluation**..... 13

Jan HROMÁDKO, Jiří HROMÁDKO, Boleslav KADLEČEK

- Problems of Power Parameters Measurement of Constant-Speed Engines with Small Cylinder Volume by Acceleration Method** 19

Adam KONIECZNY, Marek ORKISZ

- Badania makrostruktury rozpylanej cieczy przez wtryskiwacz aeracyjny**
Research of microstructure of atomized liquid by aeral injector 23

Paweł OSTAPKOWICZ

- Sygnaty słabych interakcji międzyobiektowych w diagnostyce wycieków z rurociągów**
Signals of weak interobject interactions in diagnosing of leakages from pipelines..... 31

Marek BORYGA, Andrzej GRABOŚ

- Badania symulacyjne mieszadła z przekładnią planetarną – cz. I**
The simulative tests of planetary-motion paddle – part I..... 46

Leszek KUŚMIERZ, Grzegorz PONIEWAŻ

- Analiza wpływu modyfikacji geometrii krawędzi elementu oporowego płytki wahliwej na właściwości strefy kontaktu**
Analysis of the influence of geometry modification of edge support element of self aligning pad on contact zone properties 53

Krzysztof OLEJNIK

- Krytyka przepisów i stosowanych rozwiązań dotyczących wspomagania kierujących pojazdami za pomocą luster na drogach o niedostatecznej widoczności**
Criticism of regulations and applications regarding mirrors which assist road participants on roads with limited visibility..... 59

Lars FRORMANN, Matthias RECKZÜGEL

- Aspekty dotyczące opisu przenoszenia ciepła podczas impregnacji półproduktów włókienniczych**
Aspects for the description of the heat transfer during the impregnation of textile semi finished products..... 66

DZIENISZEWSKI G., KRZACZEK P.: Ekonomiczne i ekologiczne aspekty zasilania autobusów miejskich gazem CNG na przykładzie Rzeszowa; *EiN* nr 1/2007, s. 6-12. Przedstawiono własności gazu CNG w aspekcie wykorzystania go do napędu autobusów miejskich. Przeprowadzono analizę ekonomiczną adaptacji autobusu z silnikiem o ZS na zasilanie gazem CNG oraz analizę ekonomiczną zakupu autobusu fabrycznie przystosowanego do zasilania gazem. Rozważono koszty eksploatacji w ujęciu kosztów paliwa oraz amortyzacji środka trwałego. Zaprezentowano spektakularne parametry proekologiczne autobusów zasilanych gazem CNG w odniesieniu do pojazdów zasilanych olejem napędowym. Wykazano ekologiczną i ekonomiczną celowość stosowania gazu CNG do napędu autobusów miejskich.

JURČA V., ALEŠ Z.: Maintenance management efficiency evaluation; *EiN* nr 1/2007, s. 13-18.

The purposeful processing of long-term documented maintenance data can provide plenty of information not only about a machine's history, but also about its maintenance system. The main objective of data analysis is to continually improve the maintenance efficiency, which is closely related to improvements in dependability and overall productivity of the production equipment. This paper pinpoints the main problems of most widespread indicators of maintenance efficiency – OEE and other proposed alternative methods for maintenance efficiency assessment, with the aim of locating the weakest areas of the maintenance system.

HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., KADLEČEK B.: Problems of power parameters measurement of constant-speed engines with small cylinder volume by acceleration method; *EiN* nr 1/2007, s. 19-22.

The main topic of the paper is determination power parameters of constant-speed engines designed with small volume cylinders. These spark-ignition engines are equipped with simple carburettor with main circuit for full load and in some cases with idle circuit for unloaded modes. The absence of additional acceleration circuits cause considerable decrease of torque in engine's characteristic under low engine speed. It determines the common acceleration method as unsuitable for its utilisation.

KONIECZNY A., ORKISZ M.: Badania mikrostruktury rozpylanej cieczy przez wtryskiwacz aeracyjny; *EiN* nr 1/2007, s. 23-30.

W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów mikrostruktury wtryskiwacza aeracyjnego w zależności od zmiany wybranych parametrów geometrycznych oraz zmiany wybranych parametrów zasilających. Parametry mikrostruktury, które były badane na stanowisku to kąt rozpylenia strugi oraz rozkład kropeł w strudze rozpylanej cieczy. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, które umożliwiło rejestrowanie za pośrednictwem karty pomiarowej parametrów przepływowych powietrza oraz cieczy przepływającej przez wtryskiwacz, katów rozpylenia rejestrowanych przez szybko klatkową kamerę CCD. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej wyników, zależności parametrów mikrostruktury od parametrów geometrycznych i zasilających przedstawiono w postaci wzorów empirycznych.

DZIENISZEWSKI G., KRZACZEK P.: The economic and ecological aspects of driving city buses with CNG gas on an example of Rzeszów; *EiN* nr 1/2007, s. 6-12.

The CNG gas properties were presented in view of its application for driving city buses. An economical analysis was carried out of an adaptation of a bus with a ZS engine for feeding with CNG gas as well as an economic analysis of a purchase of a bus originally constructed for gas feeding. Exploitation costs were considered concerning both the fuel costs and allowance for depreciation of the capital assets. Spectacular pro-ecological parameters were presented for the buses fed with CNG gas compared to the vehicles fed with engine oil. The ecological and economic efficiency of using CNG gas for driving city buses was proved.

KONIECZNY A., ORKISZ M.: Research of microstructure of atomized liquid by aeral injector; *EiN* nr 1/2007, s. 23-30.

In the article results of research of microstructure parameters of aeral injector due to change of geometrical (swirl angle of air stream) and feed parameters (air pressure and flow rate air to fluid ratio) was presented. Microstructure parameters, which have been tested are swirl angles of air stream and distribution of droplets on the atomized fluid stream. An investigation has been made on test stand which allows to store following parameters: flow parameters of air and fluid flowed through the injector stored by measurement card, angle of atomization stored by CCD camera. All results and data have been given in statistical analysis, as result of it the relationship between microstructure parameters to geometrical and feed parameters has been showed as semi-empirical equations.

OSTAPKOWICZ P.: Sygnały słabych interakcji międzyobiektowych w diagnostyce wycieków z rurociągów; *EiN* nr 1/2007, s. 31-45.

Praca dotyczy diagnozowania wycieków z rurociągów. Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że rurociągi są obiektami o słabej podatności diagnostycznej, co ma zasadniczy wpływ na skuteczność diagnozowania wycieków. Powstał zatem problem polepszania podatności diagnostycznej rurociągów. Jego rozwiązaniem jest proponowana metoda polepszania podatności diagnostycznej rurociągów, umownie nazwana metodą słabych interakcji międzyobiektowych. Istotą metody jej pozyskiwanie nowej informacji diagnostycznej, która są mierzalne sygnały oddziaływań, wynikające z pracy obiektu badawczego (korektora) – dołączonego do diagnozowanego obiektu (rurociągu).

OSTAPKOWICZ P.: Signals of weak interobject interactions in diagnosing of leakages from pipelines; *EiN* nr 1/2007, s. 31-45.

This work concerns diagnosing of leakages from pipelines. Operation practice shows that pipelines are the objects of weak diagnostic susceptibility, which has a basic influence on the efficacy of their diagnosis. Therefore, there is a problem of improving their diagnostic susceptibility. To solve this problem, it is advisory to use the method of improving diagnostic susceptibility of pipelines, conventionally named the method of weak interobject interactions. The essence of this method is acquiring new diagnostic information, which is measurable signals of interactions resulting from the work of a testing object (corrector) joined to a diagnosed object (pipeline).

BORYGA M., GRABOŚ A.: Badania symulacyjne mieszadła z przekładnią planetarną – cz. I; *EiN* nr 1/2007, s. 46-52.

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych ruchu mieszadła napędzanego przekładnią planetarną. Dla istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego dobrano liczbę zębów satelitów (kół obiegowych) tak, aby zmniejszyć ilość mieszaniny zalegającej w rejonie ścianek pojemnika. Toru ruchu łopatek mieszadła wyznaczono wykorzystując równania rzutów na osie prostokątnego układu współrzędnych. W celu wybrania najkorzystniejszego rozwiązania spośród analizowanych wykorzystano dwa kryteria oceny – maksymalne wychylenie łopatki mieszadła oraz pole powierzchni pod torem ruchu łopatki. Przedstawiono przebiegi toru ruchu mieszadła przed i po modyfikacji.

BORYGA M., GRABOŚ A.: The simulative tests of planetary-motion paddle – part I; *EiN* nr 1/2007, s. 46-52.

The paper presents the simulative tests of the paddle motion driven with a planetary gear. For the existing construction solution such a number of satellite teeth (planetary wheels) was chosen so that mixture quantity deposited near the container walls could be reduced. The paths of mixer paddles motion were determined using the equations of projections on the axes of the Cartesian coordinate system. To choose the best solution out of these analysed there were applied two evaluation criteria – the maximal deflection of the mixer blade and the area under the paddle motion path. There were displayed the runs of mixer motion path prior to and after modification.

KUŚMIERZ L., PONIEWAŻ G.: Analiza wpływu modyfikacji geometrii krawędzi elementu oporowego płytki wahlowej na właściwości strefy kontaktu; *EiN* nr 1/2007, s. 53-58.

W ślizgowym łożysku wzdluznym z płytkami wahlowymi istotne jest zapewnienie samoczynnego obracania się płytek względem jednej lub większej liczby osi. W artykule przedmiotem badań jest segment wahlowy oparty na krawędzi elementu oporowego przebiegającej w kierunku promieniowym łożyska na całej szerokości płytki wahlowej. Przeprowadzona analiza uwzględniła zjawisko deformacji sprężystej segmentu wynikające z tworzonego w szczelinie smarnej pola ciśnienia hydrodynamicznego. Przyjęty model dyskretny segmentu umożliwia również wyznaczenie deformacji termosprężystych w następnym występowania nierównomiernego pola temperatury w materiale płytek wahlowych wywołanego procesem wymiany ciepła między filmem olejowym a otoczeniem.

KUŚMIERZ L., PONIEWAŻ G.: Analysis of the influence of geometry modification of edge support element of self aligning pad on contact zone properties; *EiN* nr 1/2007, s. 53-58.

In a longitudinal slide bearing with self aligning pads it is important to guarantee self-acting rotation of pads relatively to one axis or to a larger number of axis. In this paper, the self aligning element supported on edge of support element positioned in bearing radial direction on the whole width of self aligning pad is analyzed. This analysis takes into consideration the elastic deformations of the segment resulting from the appearance in the bearing interface of hydrodynamic pressure field. The assumed segment discrete model allows for determining of thermo-elastic deformations due to presence of uneven temperature distribution in the self aligning pads material caused by the process of heat exchange between the oil film and the environment.

OLEJNIK K.: Krytyka przepisów i stosowanych rozwiązań dotyczących wspomagania kierujących pojazdami za pomocą luster na drogach o niedostatecznej widoczności; *EiN* nr 1/2007, s. 59-65.

W artykule poddano analizie przepisy i stosowane rozwiązania dotyczące wspomagania kierujących pojazdami za pomocą luster które są umieszczone na drogach w miejscach o niedostatecznej widoczności. Wynika to z określonej konfiguracji terenu w którym znajduje się droga. Oceniono przepisy w których określone są wymagania w stosunku do budowy luster oraz ich ustawienia na drogach. Omówiono zasadnicze wady polegające na zapisaniu nieprecyzyjnych wymagań dotyczących krzywizn luster oraz dużej różnorodności rozwiązań, wymiarów i ich kształtu.

OLEJNIK K.: Criticism of regulations and applications regarding mirrors which assist road participants on roads with limited visibility; *EiN* nr 1/2007, s. 59-65.

Regulations and applications regarding mirrors which assist road participants and are located on roads with limited visibility were thoroughly analyzed in this article. It is resulting from specific terrain configuration where a road is built. Regulations which include all requirements of mirrors design and mirrors localization have been evaluated. Main weaknesses resulting from imperfect regulations regarding mirrors curvature and wide variety of applications, dimensions and shapes have been reviewed.

FRORMANN L., RECKZÜGEL M.: Aspekty dotyczące opisu przenoszenia ciepła podczas impregnacji półproduktów włókienniczych; *EiN* nr 1/2007, s. 66-74.

Tworzywa kompozytowe coraz częściej są stosowane jako materiały konstrukcyjne, ponieważ w wielu przypadkach jeden rodzaj materiału nie może spełnić wszystkich wymagań. W zakresie technologii tworzyw sztucznych powszechnie stało się zwłaszcza wzmacnianie tworzyw sztucznych włóknami. Jednakże ta klasa materiałów nie została dotychczas zbadana w wystarczającym stopniu, przy czym brak wyczerpującego opisu dotyczy zwłaszcza przenoszenia ciepła w materiałach kompozytowych tego typu. Tematem niniejszego opracowania jest więc zagadnienie przenoszenia ciepła w tworzywach sztucznych wzmacnianych włóknem w zależności od użycia półproduktu włókienniczego (np. przędzy lub tkaniny). Do opisu zastosowano samodzielnie stworzone narzędzie obliczeniowe. Wyniki tych obliczeń zostaną porównane z wartościami doświadczalnymi.

FRORMANN L., RECKZÜGEL M.: Aspects for the description of the heat transfer during the impregnation of textile semi finished products; *EiN* nr 1/2007, s. 66-74.

Composite materials are used as construction materials increasingly since a material alone can not meet frequently the demanded requests. At that established just in the field of the plastic processing the fibre reinforced plastics. This material class is not sufficiently examined up to now, at which the heat transfer of such composites is not sufficient in particular described yet. The heat transfer in fibre reinforced plastics will be described in dependence of the used textile semi finished product (for example textile thread or fabric) in which a self developed calculation tool is used. Definitely the calculated results are compared with experimental values.

Prof. dr hab. Ryszard Tadeusz WALCZAK (1943-2006)

Prof. dr hab. Ryszard Tadeusz WALCZAK, czł. koresp. PAN - urodził się 20 lipca 1943 roku w Baranicy, woj. lubelskie. Całe swoje życie związał z Lublinem. Po ukończeniu Liceum Ogólnokształcącego im. St. Staszica w 1961 roku, rozpoczął studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, które ukończył w 1966 roku uzyskując stopień magistra fizyki. Jego praca magisterska z zakresu fizyki plazmy dotyczyła zjawisk zachodzących w anomalnym niskowoltowym łuku elektrycznym.

Jeszcze w trakcie studiów podjął pracę, jako asystent, w Zakładzie Metod Numerycznych Instytutu Analizy Matematycznej UMCS. Od 1967 roku pracował w Instytucie Agrofizyki PAN. Był pierwszym etatowym pracownikiem, współorganizatorem i twórcą, początkowo Zakładu, a potem Instytutu Agrofizyki. W Instytucie Agrofizyki przeszedł wszystkie stopnie kariery naukowej. Początkowo jako asystent, następnie starszy asystent, a od 1976 roku jako adiunkt. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 1975 roku, na Wydziale Techniki Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie, na podstawie rozprawy pt. „Modelowe badania wiązania wody w glebie o różnym zagęszczeniu”. Praca ta po opublikowaniu uzyskała w 1977 r. nagrodę Sekretarza Wydziału V PAN.

W 1984 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego nauk rolniczych w zakresie gleboznawstwa na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Lublinie. Rozprawa habilitacyjna dotyczyła „Modelowych badań zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby”.

Tytuł profesora nauk rolniczych otrzymał w 1990 r. na wniosek Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie, a w 1998 został członkiem korespondentem PAN.

W latach 1969-1975 pełnił obowiązki zastępcy kierownika Pracowni Fizyki Gleby, a w 1976 został jej kierownikiem. W kadencji 1982-1985 pełnił obowiązki zastępcy kierownika Zakładu Agrofizyki PAN do spraw naukowych. W 1985 roku Sekretarz Naukowy PAN powołał Go na stanowisko docenta, a w 1987 roku, w momencie powołania Instytutu Agrofizyki PAN, powierzono Mu funkcję kierownika Zakładu Fizyki Gleby (obecnie Zakładu Metrologii i Modelowania Procesów Agrofizycznych). Od 1981 roku był członkiem Rady Naukowej Instytutu, pełniąc w dwóch kadencjach funkcję jej sekretarza. W 1999 roku został zastępcą dyrektora ds. naukowych IA PAN, a od roku 2003 był jego dyrektorem.

Od początku pracy naukowej, główną dziedziną zainteresowań prof. dr hab. Ryszarda Walczaka była fizyka środowiska przyrodniczego, a szczególnie hydrofizyka i termofizyka systemu gleba-roślina-atmosfera, ze szczególnym uwzględnieniem gleby i materiałów rolniczych, problemów modelowania i monitorowania procesów termodynamicznych zachodzących w środowisku rolniczym i materiałach rolniczych.

Prowadzone przez prof. dr hab. Ryszarda Walczaka badania można podzielić na następujące zasadnicze kierunki: metrologia agrofizyczna; teoretyczne podstawy opisu procesów termodynamicznych zachodzących w systemach przyrodniczych i ciałach kapilarno-koloidalno-porowatych; zwężłościomierz; badanie wpływu parametrów fazy stałej gleby na jej wodne, powietrzne, termiczne i mechaniczne właściwości oraz badanie i modelowanie procesów wymiany energii i masy w systemie gleba-roślina-atmosfera.

W zakresie metrologii agrofizycznej wymierne osiągnięcia to: opracowana aparatura, metody i oprogramowanie, których efektem były liczne publikacje, patenty i wdrożenia, w tym aparatura do pomiaru powierzchni właściwej metodą adsorpcji i desorpcji azotu, aparatura do pomiaru mechanicznych właściwości gleb czy aparat do pomiaru wydatku dyfuzji tlenu i potencjału redox; udział w opracowaniu: aparatury i metody wyznaczania współczynników przewodnictwa hydraulicznego w glebie w strefie nienasyconej z zastosowaniem technologii reflektometrii czasowej oraz udział w opracowaniu systemów monitorowania środowiska, stanu termodynamicznego gleby; opracowanie metod interpretacji obrazów termalnych do określenia stanu roślin, pokrywy roślinnej i gleby oraz zastosowań termografii w medycynie i technice wojskowej.



Prof. DSc Ryszard Tadeusz WALCZAK corresponding member of the Polish Academy of Sciences – born on 20th July, 1943, in Baranica, Lublin Voivodship, Poland. His whole life was bound with the city of Lublin. After graduation from the Stanisław Staszic Secondary School in 1961 he began his university education at the Department of Mathematics, Physics and Chemistry of the Maria Curie-Skłodowska University (UMCS), Lublin, from which he graduated in 1966 with the degree of Master of Sciences, Physics. His Master Thesis, in the field of the physics of plasma, was concerned with phenomena taking place in an anomalous low-voltage electric arc.

While still a student himself, he began work as an assistant at the Laboratory of Numerical Methods, Institute of Advanced Calculus, UMCS.

In 1967 he took up employment at the Institute of Agrophysics, PAS. He was the first full-time employee of the Institute, and contributed immensely to the creation of what started as an autonomous Laboratory within the structure of the Polish Academy of Sciences, and subsequently developed into the fully fledged Institute of Agrophysics.

Working for the Institute of Agrophysics he went through all the steps of his scientific career. Initially as an assistant, then a senior assistant, and from 1976 as a tutor. In 1975 he obtained his degree of Doctor, Technical Sciences, at the Department of Agricultural Technology of the Lublin University of Agriculture, on the basis of his Doctoral Thesis on „Model studies on water binding in soils with various levels of compaction”. That work, when published in 1977, received the Award of the Secretary of Department V, PAS.

In 1984 he obtained his PhD, Agricultural Sciences, in the field of soil science, at the Department of Agriculture of the Lublin University of Agriculture. His PhD Dissertation was concerned with „Model studies on the relation of water retention to the parameters of the solid phase of soil”.

In 1990, at the recommendation of the Scientific Board of the Institute of Agrophysics, PAS, he was granted the title of Professor, Agricultural Sciences, and in 1998 he became a Corresponding Member of the PAS.

In the period of 1969-1975 he acted as Deputy Head of the Laboratory of Soil Physics, and in 1976 he became its Head. During the term of 1982-1985 he acted as Deputy Head of the Autonomous Laboratory of Agrophysics, PAS, for Research Activity. In 1985, the PAS Secretary for Science promoted him to the rank of DSc, and in 1987, when the Laboratory was transformed into the Institute of Agrophysics, PAS, he was given the function of the Head of the Laboratory of Soil Physics (at present the Laboratory for Metrology and Modelling of Agrophysical Processes). Since 1981 he was a member of the Research Board of the Institute, holding the function of its Secretary for two terms. In 1999 he became Deputy Director of the IA PAS for Research, and from 2003 he was the Director of the Institute.

From the very beginnings of his scientific activity, the interests of Prof. Ryszard Walczak focused mainly on the physics of the natural environment, and especially on the hydro-physics and thermo-physics of the soil-plant-atmosphere system, with particular emphasis on the soil and plant materials, and on the problems of modelling and monitoring of thermodynamic processes taking place in the agricultural environment and in plant materials.

Research programs conducted by Prof. Ryszard Walczak can be categorized in the following main groups: agrophysical metrology; theoretical foundations for the description of thermodynamic processes taking place in natural systems and in capillary-colloidal-porous bodies; compaction tester; study of the effect of parameters of the solid phase of soil on its water, air, thermal and mechanical properties, and study and modelling of processes of energy and mass exchange in the soil-plant-atmosphere system.

Within the field of agrophysical metrology, measurable contributions of Prof. Ryszard Walczak include development of apparatus, methods and software, the effect of which were numerous publications, patents and implementations, including an apparatus for the measurement of specific surface area with the method of nitrogen adsorption and desorption, apparatus for the measurement of the mechanical properties of soils, or apparatus for the measurement of oxygen diffusion rate and redox potential; participation in the development of apparatus and method for the determination of coefficients of hydraulic conductivity in soil in the unsaturated zone, using TDR technology,

Należy podkreślić, że liczne rozwiązania i opracowania były wdrażane do produkcji aparatury naukowo-badawczej jako wyposażenie krajowych i zagranicznych instytutów naukowych.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak, we wszystkich badaniach przy rozpatrywaniu cząstkowych procesów zachodzących w glebie traktował je jako elementy w ciągu przyczynowo-skutkowym procesie wymiany masy i energii w systemie gleba-roślina-atmosfera. Pod tym kątem prowadził badania wpływu struktury górnej warstwy gleby na retencję, przewodnictwo i wielkość parowania wody, traktując tę warstwę jako element determinujący przepływ masy i energii przez granicę gleba-atmosfera.

W celu określenia niedoborów wody w glebach Polski uczestniczył w opracowaniu oceny potrzeb wodnych polskich gleb dla kultur uprawnych.

W zakresie teoretycznych opisów procesów termodynamicznych zachodzących w systemach przyrodniczych i ciałach kapilarno-koloidalno-porowatych, największe osiągnięcia to: badania dotyczące efektów histerezy hydrofizycznych charakterystyk gleby oraz opracowanie submodelu hydrologicznego do modelowania przepływów preferencyjnych w profilu glebowym z makroporami.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak, opracował model do wyliczania krzywych retencji wodnej gleby na podstawie znajomości parametrów fazy stałej, tj. powierzchni właściwej i zagęszczenia, sparametryzowanego rozkładu granulometrycznego. Model ten ma duże znaczenie praktyczne, gdyż umożliwia estymację krzywych retencji wodnej dla różnych glebowych jednostek typologicznych.

W wyniku stałych kontaktów krajowych i międzynarodowych prowadził badania w zakresie stworzenia banku danych o hydrofizycznych właściwościach gleb. Ich wynikiem jest baza danych oraz graficzne zobrazowanie statycznych i dynamicznych właściwości wodnych mineralnych gleb ornich Polski.

Osiągnięcia zaowocowały stworzeniem unikalnego interdyscyplinarnego zespołu, z przewagą fizyków, wyspecjalizowanego w badaniach agrofizycznych z zakresu hydrofizyki i termofizyki, uczestniczących w licznych tematach i projektach badawczych, we współpracy z krajowymi i zagranicznymi zespołami naukowymi, w tym w ramach Programów FAO, NATO i Ramowych Unii Europejskiej.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak aktywnie uczestniczył w pracach interdyscyplinarnych prowadząc badania wykonywane przez zespoły, których członkowie reprezentują różne dyscypliny naukowe (fizyka, matematyka, chemia, technika rolnicza, hydrologia, medycyna, technika wojskowa, klimatologia).

W ramach wspólnych zainteresowań, a także koordynacji badań prowadził szeroką współpracę z licznymi ośrodkami naukowymi w kraju: Wyższymi Uczelniami, Placówkami PAN i Instytutami Resortowymi.

Dorobek naukowy Prof. dr hab. Ryszarda Walczaka, składa się z ponad 400 prac (rozdziały w książkach, monografie, studia i rozprawy, skrypty, doniesienia konferencyjne, raporty, prace popularno-naukowe, ekspertyzy, patenty). Prace były publikowane między innymi w: Soil Science Society American Journal, Zeitschrift Pflanzenernahrung Bodenkunde, International Agrophysics, Polish Journal of Soil Science, European Journal of Soil Science, Journal of Hydrology and Hydromechanics, Physical Methods in Agriculture, Colloids and Surfaces, Infrared Physics and Technology, Journal Plant Nutrition Soil Science i Agricultural Water Management.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak brał czynny udział w wielu konferencjach, sympozjach, seminariach i kongresach naukowych, gdzie przedstawiał wyniki swoich badań a także był inicjatorem i organizatorem wielu międzynarodowych konferencji i seminariów z zakresu agrofizyki organizowanych w Instytucie. Był wykładawcą w Colloquium on Soil Physics w Międzynarodowym Centrum Fizyki Teoretycznej UNESCO w Trieście.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak, czł. koresp. PAN, prowadził szeroką współpracę z zagranicznymi placówkami naukowymi. Odbył długo i krótkoterminowe staże naukowe w Instytucie Agrofizyki WASHNİL w Leningradzie (Rosja), Międzynarodowym Centrum Dysponowania Zasobami Wody w Wageningen (Holandia), Uniwersytecie Hohenheim w Stuttgarcie i Uniwersytecie Technicznym w Berlinie (Niemcy), a także w Centrum Ekologii -ETZ w Zurichu (Szwajcaria).

Prof. dr hab. Ryszard Walczak kierował współpracą zagraniczną całego Instytutu, m. in. z Instytutem Agrofizycznym w St. Petersburgu (Rosja), Uniwersytem Rolniczym w Godollo (Węgry), Instytutem Gleboznawstwa im. N. Puszkarowa w Sofii (Bułgaria), Instytutem Hydrologii i Hydrauliki SAN w Bratysławie (Słowacja), Uniwersytecie Technicznym w Berlinie (Niemcy), Instytucie Uprawy i Zasobów Wodnych Gleby w Petzenkirchen (Austria), Instytucie Badań Środowiska Naturalnego i Agrobiologii w Sewilli (Hiszpania) i Uniwersytecie Hohenheim w Stuttgarcie (Niemcy).

as well as participation in the development of systems for monitoring the environment and the thermodynamic status of soil; development of methods for the interpretation of thermal images for the determination of the status of plants, plant canopy and soil, and of applications of thermal imaging in medicine and in military technologies.

It should be emphasized that many of the designs and developments have been implemented in the production of research and test apparatus for use by Polish and foreign research institutions.

In all studies involving consideration of fragmentary processes occurring in soil, Prof. Ryszard Walczak treated them as elements of the cause-effect sequence of the process of mass and energy exchange in the soil-plant-atmosphere system. It was in this aspect that he conducted studies on the effect of the structure of the upper layer of soil on retention, hydraulic conductivity and evaporation rate, treating that soil layer as an element determining the mass and energy flux through the soil-atmosphere boundary.

In order to determine the level of water deficit in the soils of Poland, he participated in the development of estimates of the water requirements of Polish soils for crop cultures. Within the area of theoretical description of thermodynamic processes taking place in natural systems and in capillary-colloidal-porous bodies, his greatest achievements include studies on the effects of hysteresis of hydro-physical characteristics of soil and development of a hydrological sub-model for modelling preferential flows in a soil profile with macropores.

Prof. Ryszard Walczak developed a model for the calculation of water retention curves on the basis of knowledge of solid phase parameters, i.e. specific surface area and compaction, parametrized grain size distribution. The model is of considerable practical significance as it permits estimation of water retention curves for a variety of typological soil units.

Through his extensive and continual contacts, Polish and international, he conducted studies focused on the creation of a database on the hydro-physical properties of soils. The result of the work is a database and graphic representation of static and dynamic hydraulic properties of arable soils of Poland.

His efforts and achievements resulted in the creation of a unique interdisciplinary team of research workers, with a majority of physicists, specialized in agrophysical research in the fields of hydro-physics and thermo-physics, taking part in numerous research themes and projects in cooperation with other Polish and foreign research teams, including work within FAO, NATO, and EU Framework Programs.

Prof. Ryszard Walczak actively participated in interdisciplinary research, conducting studies realized by teams whose members represented various fields of research activity (physics, mathematics, chemistry, agricultural technology, hydrology, medicine, military technology, climatology).

Within mutual fields of interest, as well as of coordination of research, he maintained extensive cooperation with numerous research centres in Poland – Universities, Institutes and other research centres of the PAS, and Branch Institutes.

The effects of the research activity of Prof. Ryszard Walczak are represented by over 400 publications (chapters in books, monographs, studies and dissertations, academic manuals, conference presentations, reports, popular-science publications, expert opinions, patents). The works were published in – to name a few titles - Soil Science Society American Journal, Zeitschrift Pflanzenernahrung Bodenkunde, International Agrophysics, Polish Journal of Soil Science, European Journal of Soil Science, Journal of Hydrology and Hydromechanics, Physical Methods in Agriculture, Colloids and Surfaces, Infrared Physics and Technology, Journal Plant Nutrition Soil Science, and Agricultural Water Management.

Prof. Ryszard Walczak actively participated in numerous conferences, symposia, seminars, and scientific congresses, where he presented the results of his studies, but he also was the initiator and organizer of many international conferences and seminars on agrophysics, organized at the Institute. He lectured at the Colloquium on Soil Physics in the International Centre of Theoretical Physics, UNESCO, in Trieste.

Prof. DSc Ryszard Walczak, Corresponding Member of PAS, conducted extensive cooperation with research centres abroad. He took long- and short-term sabbaticals at the Institute of Agrophysics WASHNİL in Leningrad (Russia), International Centre of Water Resources Management in Wageningen (Holland), Hohenheim University in Stuttgart, at the University of Technology in Berlin (Germany), and also at the Centre of Ecology -ETZ in Zurich (Switzerland).

Prof. Ryszard Walczak supervised and coordinated international cooperation programs of the whole Institute – with, among others, the Agrophysical Institute in St. Petersburg (Russia), University of Agriculture in Godollo (Hungary), the N. Pushkarov Institute of Soil Science in Sophia (Bulgaria), Institute of Hydrology and Hydraulics SAN in Bratislava (Slovakia), University of Technology in Berlin (Germany), Institute of Soil Cultivation and Water Reserves in Petzenkirchen (Austria), Institute of Studies on Natural

Wymiernym efektem współpracy z placówkami zagranicznymi są liczne prace we współautorstwie z zagranicznymi naukowcami z: Holandii, USA, Indii, Rosji, Słowacji, Niemiec, Wielkiej Brytanii, Francji, Hiszpanii, Białorusi, Austrii, Szwajcarii i Chin.

Był promotorem kilkunastu prac doktorskich i magisterskich oraz recenzentem kilkudziesięciu rozpraw doktorskich i habilitacyjnych. Wielokrotnie opiniował wnioski o nadanie tytułu profesora oraz 1 doktoratu honoris causa. Pod Jego kierunkiem odbyło się staże naukowe 15 pracowników naukowych z uczelni i instytutów krajowych oraz 14 z zagranicy. Prowadził również wykłady i seminaria dla studentów, magistrantów i doktorantów Wyższych Uczelni Lublina i Warszawy.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak był często zapraszany na konferencje krajowe i zagraniczne, gdzie wygłaszał referaty plenaryjne, przewodniczył sekcjom i obradom. Był dyrektorem Centrum Doskonałości Fizyki Stosowanej w Zrównoważonym Rolnictwie (Polish Centre of Excellence) „AGROPHYSICS” w latach 2003-2006.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak aktywnie uczestniczył w działalności organizacyjnej w zakresie popularyzacji i upowszechnianiu nauki.

W roku 2003 został wybrany na stanowisko wiceprezesa Lubelskiego Oddziału Polskiej Akademii Nauk. Był wieloletnim członkiem i wiceprezesem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego, członkiem Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, wieloletnim przewodniczącym Komisji Fizyki, członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, członkiem rzeczywistym Lubelskiego Towarzystwa Naukowego oraz Międzynarodowej Unii Gleboznawczej. W latach 1984-1991 pełnił funkcję przewodniczącego Komisji Fizyki Gleby Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego. W ramach tematu koordynowanego przez PTGleb. uczestniczył w tworzeniu koncepcji systemu informatycznego BIGLEB oraz był współautorem podsystemów FIZGLEB i CHEMGLEB, będących bazą danych o zmienności i współzależnościach między fizycznymi i chemicznymi właściwościami gleb. W 1981 został powołany na skład Komitetu Agrofizyki PAN, w ramach którego przez dwie kadencje pełnił funkcję przewodniczącego oraz sekretarza Komisji Fizyki i Fizykochemii Gleby. Był członkiem Fundacji Rozwoju Nauk Agrofizycznych i Fundacji Pro Scientia et Vita. W ostatnim czasie został także Honorowym Członkiem Klubu Seniora Mechanizacji Rolnictwa.

Prof. dr hab. Ryszard Walczak był członkiem Rady Programowej ds. Lubelskiego Parku Technologicznego (w organizacji) przy Marszałku Województwa Lubelskiego oraz członkiem Rady Programowej i koordynatorem lokalnym Naukowej Sieci „Bezpieczna żywność”.

Ponadto był członkiem Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki PAN, Rady Naukowej Zakładu Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu oraz Rady Naukowej Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie.

Był aktywnym członkiem rad i kolegów redakcyjnych wydawnictw, między innymi: Redaktorem Naczelnym *Acta Agrophysica*, z-cą Redaktora Naczelnego *International Agrophysics*, członkiem Komitetu Redakcyjnego *Polish Journal of Soil Science*, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, członkiem Rady Naukowej Eksploatacja i Niezawodność, członkiem Rady Programowej Wydawnictwa *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie* i członkiem Rady Programowej *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*.

W zakresie opracowania i konstrukcji aparatury pomiarowo-badawczej oraz badania i opisu struktury gleby był laureatem dwóch nagród Sekretarza Naukowego Polskiej Akademii Nauk (1973 i 1984) oraz jednej indywidualnej nagrody V Wydziału Nauk Rolniczych i Leśnych PAN (1978). Za działalność zawodową i naukową został odznaczony Brązowym (1973) i Złotym Krzyżem Zasługi (1984) oraz Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski (2002), Medalem 40-lecia PRL (1984) oraz Złotą Odznaką Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (1988).

Prof. dr hab. Ryszard Walczak był żonaty – Prof. dr hab. Barbara Witkowska – Walczak, pracownik naukowy Instytutu Agrofizyki. Jego syn Krzysztof jest lekarzem weterynarii. Miał dwoje wnuków – Krzysztofa i Joannę.

Odszedł od nas wybitny uczony i organizator nauki, niezwykle prawy, życzliwy i koleżeński Człowiek. W naszej pamięci zapisał się jako prawdziwy Mistrz i Przyjaciel, wzór godny naśladowania. Był niepoprawnym optymistą. Człowiekiem pogodnym i pełnym energii. Miał ogromne poczucie humoru, którym „zarażał” innych. Każdemu służył radą i pomocą. Miał zaufanie do ludzi wymagając jedynie pracowitości, uczciwości i odrobiny lojalności. Dla współpracowników był autorytetem naukowym i moralnym. Odejście Profesora Walczaka przynosi niepowetowaną stratę dla naszego Instytutu, polskiej i światowej nauki.

Environment and Agrobiologia in Sevilla (Spain), and the Hohenheim University in Stuttgart (Germany).

A measurable effect of cooperation with foreign research centres is the numerous publications with co-authorship with scientists from such countries as Holland, USA, India, Russia, Slovakia, Germany, Great Britain, France, Spain, Bielarus, Austria, Switzerland and China.

He supervised over a dozen doctoral and masters' theses and reviewed dozens of doctoral and PhD dissertations. He gave opinion on numerous applications for granting the title of professor and once for honorary doctorate. He personally supervised sabbaticals of 15 scientists from Polish universities and Institutes, and 14 from foreign ones. He also conducted lectures and seminars for undergraduate, graduate, and postgraduate students from Universities of Lublin and Warsaw.

Prof. Ryszard Walczak was frequently invited to participate in scientific conferences in Poland and abroad, at which he presented plenary reports, chaired panel and plenary sessions. He was the Director of the Centre of Excellence on Applied Physics in Sustainable Agriculture (Polish Centre of Excellence) „AGROPHYSICS” in the years 2003-2006. Prof. Ryszard Walczak actively participated in organisational activities within the field of bringing science closer to the people.

In 2003 he was elected to the post of the Chairman of the Lublin Division of the Polish Academy of Sciences. For many years he was a member and Vice President of the Polish Agrophysical Society, a member of the Polish Society of Soil Science, Chairman of the Committee for Physics, member of the Polish Society for Physics, full member of the Lublin Science Society and of the International Union of Soil Science. In the years 1984-1991 he held the post of Chairman of the Committee for Physics of the Polish Society of Soil Science. Within the frame of a project coordinated by the Polish Society of Soil Science, he participated in the creation of a concept of the BIGLEB software system, and was co-author of the FIZGLEB and CHEMGLEB subsystems that constituted databases on the variability and interrelations between the physical and chemical properties of soil. In 1981 he became a member of the Committee for Agrophysics, PAS, in which he took two terms as chairman and secretary of the Committee for Physics and Physical Chemistry of Soil. He was a member of the Foundation for the Development of Agrophysical Sciences and of the Foundation Pro Scientia et Vita. Recently he also became an Honorary Member of the Senior Club for the Mechanization of Agriculture.

Prof. Ryszard Walczak was a member of the Program Board for the Lublin Park of Technology (in the process of organization) at the Lublin Region Authority, and a member of the Program Board and local coordinator of the „Safe Food” Scientific Network.

Moreover, he was a member of the Research Board of the Institute of Agrophysics, PAS, of the Research Board of the Institute for Studies on the Natural and Forest Environment, PAS, and of the Research Board of the Centre for Space Studies, PAS, in Warsaw.

He was also an active member of editorial boards of scientific publishers, holding the following posts – Editor in Chief of *Acta Agrophysica*, Deputy Editor in Chief of *International Agrophysics*, member of the Editorial Committee of *Polish Journal of Soil Science*, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, member of the Scientific Board of *Eksploatacja i Niezawodność*, member of the Program Board of *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie* and member of the Program Board of *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*.

For his contributions in the field of design and development of test and measurement apparatus and of the study and description of soil structure he received twice the Award of the Secretary for Science of the Polish Academy of Sciences (in 1973 and 1984), and an individual award of Department V, Agricultural and Forestry Sciences, PAS (in 1978). For his professional and scientific activity he was awarded the Bronze (1973) and Gold Cross of Merit (1984) and the Cavalier Cross of the Order *Polonia Restituta* (2002), the Medal for 40 years of the Polish People's Republic (1984), and the Gold Badge of the Polish Society of Soil Science (1988).

Prof. DSc Ryszard Walczak was married – his wife, Prof. DSc Barbara Witkowska-Walczak, is a research worker at the Institute of Agrophysics. His son, Krzysztof, is a veterinary doctor. He had two grandchildren – Krzysztof and Joanna.

With his tragic death, we lost an outstanding scientist and animator of science, a man of high moral values, generous and friendly. He will remain in our memory as a true Master and Friend, an example to follow. He was an incorrigible optimist, a cheerful man and full of energy. A man with a great sense of humour with which he “infected” all those around. He willingly gave help and advice. He implicitly trusted people, and only required that they were willing to work, that they were honest and had a measure of loyalty. For his co-workers he was an unquestioned scientific and moral authority. The premature death of Professor Walczak is a tragic loss to our Institute, and to science in Poland and in the world.

Grzegorz DZIENISZEWSKI
Paweł KRZACZEK

EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE ASPEKTY ZASILANIA AUTOBUSÓW MIEJSKICH GAZEM CNG NA PRZYKŁADZIE RZESZOWA

THE ECONOMIC AND ECOLOGICAL ASPECTS OF DRIVING CITY BUSES WITH CNG GAS ON AN EXAMPLE OF RZESZÓW

Przedstawiono własności gazu CNG w aspekcie wykorzystania go do napędu autobusów miejskich. Przeprowadzono analizę ekonomiczną adaptacji autobusu z silnikiem o ZS na zasilanie gazem CNG oraz analizę ekonomiczną zakupu autobusu fabrycznie przystosowanego do zasilania gazem. Rozważono koszty eksploatacji w ujęciu kosztów paliwa oraz amortyzacji środka trwałego. Zaprezentowano spektakularne parametry proekologiczne autobusów zasilanych gazem CNG w odniesieniu do pojazdów zasilanych olejem napędowym. Wykazano ekologiczną i ekonomiczną celowość stosowania gazu CNG do napędu autobusów miejskich.

Słowa kluczowe: *paliwa zastępcze, silniki spalinowe, ekologia spalin, ekonomia przedsiębiorstw transportowych*

The CNG gas properties were presented in view of its application for driving city buses. An economical analysis was carried out of an adaptation of a bus with a ZS engine for feeding with CNG gas as well as an economic analysis of a purchase of a bus originally constructed for gas feeding. Exploitation costs were considered concerning both the fuel costs and allowance for depreciation of the capital assets. Spectacular pro-ecological parameters were presented for the buses fed with CNG gas compared to the vehicles fed with engine oil. The ecological and economic efficiency of using CNG gas for driving city buses was proved.

Keywords: *alternative fuels, combustion engines, exhaust fumes ecology, transport companies economy.*

1. Wprowadzenie

Postępujący wzrost zanieczyszczeń pochodzących ze spalin silnikowych, spowodował konieczność poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie zasilania silników spalinowych. W latach osiemdziesiątych rozwinął się rynek paliw gazowych skroplonych propan-butan, natomiast w latach dziewięćdziesiątych zarysował się wzrost zainteresowania innym paliwem silnikowym - gazem ziemnym.

Zainteresowanie w Polsce autobusami miejskimi zasilanymi gazem CNG wyraźnie wzrosło, od kiedy w Rzeszowie pojawiły się pierwsze nowe autobusy niskopodłogowe zasilane sprężonym gazem ziemnym.

1. Introduction

The growing pollution from engine fumes has brought about a necessity of looking for new solutions as to combustion engines feeding. In the eighties a market developed for propane-butane liquid gas fuels, and in the nineties an interest grew in another kind of engine fuel: natural gas.

In Poland there has been a clear growth of interest in city buses fed with CNG gas since the first new low-floor buses fed with compressed natural gas appeared in Rzeszów. This fact has created a new market in our country, as the capital of Podkarpacie has ordered more vehicles fed with CNG and some other Polish

Spowodowało to powstanie nowego segmentu rynkowego w naszym kraju, gdyż stolica Podkarpacia zamawia kolejne pojazdy napędzane CNG, a do ich zakupu przycierają się także kilka innych polskich miast, w tym takie metropolie, jak Łódź, Kraków czy Warszawa.

2. Cel i zakres

Celem pracy jest wykazanie proekologicznych aspektów zasilania pojazdów gazem CNG, wykazanie ekonomicznej opłacalności stosowania paliw zastępczych w silnikach trakcyjnych, zaprezentowanie doświadczeń wynikających z kilkuletniej eksploatacji autobusów miejskich zasilanych gazem CNG oraz wskazanie na celowość tego typu przedsięwzięć.

Zakres pracy obejmuje analizę właściwości gazu CNG pod kątem stosowania do celów trakcyjnych, analizę ekonomiczną i ekologiczną związaną z zasilaniem autobusów miejskich gazem CNG oraz ocenę możliwości wdrażania paliw gazowych w przedsiębiorstwach transportowych.

3. Etapy wdrażania zasilania CNG w MPK Rzeszów

MPK Rzeszów, mając na uwadze różne czynniki sprzyjające rozwojowi napędu alternatywnego jakim jest gaz CNG, zdecydowało się na zakup nowych autobusów niskopodłogowych Jelcz M125 M/4 zasilanych CNG, obecnie posiada ich 10.

Celem szybszego rozpoczęcia eksploatacji autobusów zasilanych CNG MPK Rzeszów, zdecydowało się na modernizację 2 szt. autobusów Jelcz 120 M. W celu przystosowania autobusów do zasilania gazowego, należało dokonać zmian w kratownicy autobusu w celu późniejszego zamontowania butli gazowych oraz dokonać wymiany silnika wraz z osprzętem. Zdecydowano się na zakup kompletnych, fabrycznie nowych silników, w cenie 80 000 zł za szt. Jelcz 120 M posiada silnik MD 111 M6 o pojemności 11.1 dm³ i mocy 152 kW (198 KM). Autobus został wyposażony w 10 szt. stalowych butli, które posiadają pojemność wodną 675 litrów, co pozwala na zmagazynowanie ok. 150 m³ gazu. Taka pojemność butli jest w tych autobusach nieco za mała, pozwala bowiem przejechać ok. 300 km po jednym tankowaniu, co w warunkach Rzeszowa stanowi ograniczenie w planowaniu pracy autobusów i ich intensywnego wykorzystania. Autobusy Jelcz M125 M/4 CNG kupiono w drodze przetargu, który wygrała firma Polskie Autobusy. Koszt zakupu 5 autobusów wyniósł 3 800 tysięcy zł netto [MPK Rzeszów].

Jelcz M125 M/4 CNG posiada wolnossący silnik - MAN E 2866 DUH03, rzędowy, 6 cylindrowy, z zapłonem iskrowym, pojemność 11,97 dm³, moc 185 kW (245 KM) przy 2200 obr/min, moment obrotowy 860 Nm przy 1000 obr/min. Pojemność wodna butli CNG

cities, including the great ones like Lodz, Cracov or Warsaw are thinking about the same.

2. Aim and scope

The paper aims at proving the pro-ecological aspects of CNG gas-fed vehicles, as well as the economic efficiency of using alternative fuels in traction engines, presenting the experience of a couple of years' exploitation of city buses fed with CNG gas and pointing out at the advantages of this kind of experiments.

The scope of the paper includes an analysis of CNG gas properties in view of its application for traction purposes, an economic and ecological analysis of using CNG gas for city buses feeding as well as an evaluation of the possibility of gas fuels introduction to transport companies.

3. Phases of CNG feeding introduction to MPK Rzeszów

After considering different aspects favourable for the development of an alternative driving agent, like CNG, the MPK Rzeszów decided to purchase new low-floor buses Jelcz M125 M/4 fed with CNG, and at the moment they own 10 such buses.

In order to start more promptly the exploitation of CNG fed buses, MPK Rzeszów has decided to modernize 2 Jelcz 120 M buses. To adapt the buses for gas feeding the bus racks had to be adjusted for fixing gas bottles in them and the engines with the accompanying equipment had to be replaced. The decision was taken to buy complete, brand new engines for 80 000 PLN each. Jelcz 120 M has got an MD engine 111 M6 with the capacity 11.1 dm³ and power 152 kW (198 MH). The bus was equipped with 10 steel bottles of water capacity 675 litres each, which allows for the storage of 150 m³ of gas. This bottle capacity is a bit too small for these buses, as it only allows for driving 300 km after one filling, which in the Rzeszów conditions negatively affects the planning of the buses work and their effective exploitation. The buses Jelcz M125 M/4 CNG were bought by tender won by the company Polskie Autobusy. The purchase cost of 5 buses was 3 800 PLN nett [MPK Rzeszów].

Jelcz M125 M/4 CNG has got a slow-suction, row engine – MAN E 2866 DUH03 with 6 cylinders and a spark ignition. Its capacity is 11.97 dm³ and the power is 185 kW (245 MH) at 2200 rpm, the torque is 860 Nm at 1000 rpm. The water capacity of the CNG bottle is 1340 l (ca 260m³ of gas compressed to 25 MPa) which is enough for the whole day's exploitation of the bus in city conditions, i.e. ca 400 km.

wynosi 1340 l (około 260 m³ gazu sprężonego do 25 MPa) co wystarcza na całodzienną eksploatację autobusu w warunkach miejskich, czyli na ok. 400 km.

4. Podstawowe właściwości gazu ziemnego jako paliwa do celów trakcyjnych

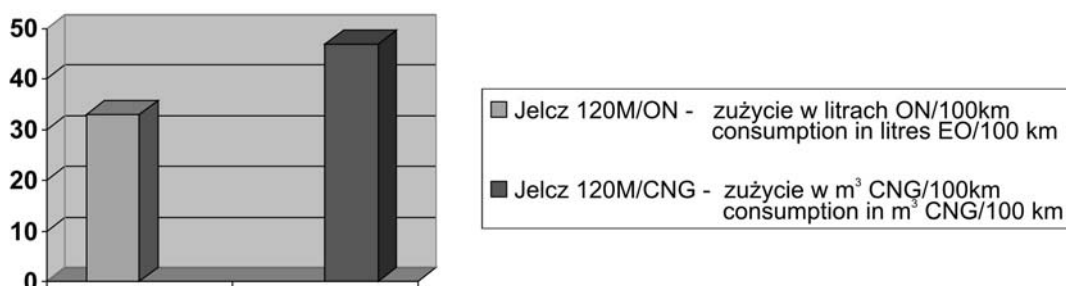
Gaz ziemny jako paliwo silnikowe wykorzystywane jest w dwóch odmianach – jako gaz ziemny sprężony (CNG) oraz jako gaz ziemny skroplony (LNG). Trudności w otrzymaniu, magazynowaniu i transporcie skroplonego gazu ziemnego powodują, że obecnie bardziej dynamiczny rozwój ma miejsce przy zasilaniu paliwem CNG.

Gaz ziemny składa się w większości z metanu (nawet do 98%), stąd jest zaliczany do paliw ekologicznych, co należy rozumieć jako: wyeliminowanie cząstek stałych, zmniejszenie emisji HC o ponad 90%, zmniejszenie emisji NOx i CO o ponad 70%, zmniejszenie emisji CO₂ o ok. 25% [Burzyński 1989].

Istotne, że paliwo CNG jest bardziej bezpieczne niż inne znane paliwa. Wynika to z wysokiej temperatury zapłonu, wąskiego przedziału, w którym gaz ziemny jest palny jako mieszanina z powietrzem oraz niskiej gęstości powodującej ulatnianie się tego gazu do atmosfery.

5. Analiza ekonomiczna dla Rzeszowa - dyskusja

Z bilansu ekonomicznego MPK Rzeszów z lutego 2005 wynika, że gaz ziemny jako paliwo, w postaci sprężonej kosztuje na rzeszowskiej stacji średnio 1,04 zł/m³, olej napędowy natomiast kosztuje 2,40 zł/l. Jest zatem istotne wyjaśnienie problemu jak szybko taka różnica w kosztach zakupu paliwa, zniweluje większy koszt zakupu nowego autobusu CNG. Nowy autobus na paliwo CNG, w tym przypadku Jelcz M 125 M/4 CNG kosztuje około 800 tys. zł., czyli o około 150 tys. więcej niż autobus zasilany olejem napędowym [MPK Rzeszów]. Ocena celowości inwestycji zależy od przebiegu jaki pojazd wykonuje. Porównanie zużycia paliwa przez autobus Jelcz 120M-CNG i autobus Jelcz 120M-ON z silnikiem ZS zasilanym olejem napędowym przedstawia rys. 1, natomiast wyniki ekonomiczne związane z wydatkami na paliwo przedstawia rys. 2.



Rys. 1. Zużycie CNG i ON dla określonego typu autobusu Jelcz 120M

Fig. 1. Consumption of CNG and EO for a particular type of the Jelcz 120M bus

4. The basic properties of natural gas as traction fuel

Natural gas is exploited as engine fuel in two varieties – as compressed natural gas (CNG) and as liquid natural gas (LNG). Difficulties in obtaining, storing and transporting liquid natural gas have resulted in a more dynamic development of the CNG fuel feeding.

Natural gas is composed mostly of methane (even up to 98 %), hence it is regarded as ecological fuel, which should be understood as: eliminating solid particles, decreasing HC emission by over 90%, decreasing NOx and CO by over 70%, decreasing CO₂ emissions by ca 25% [Burzyński 1989].

It is important that CNG fuel is safer than other known fuels. It results from the high ignition temperature, a narrow range in which the natural gas is flammable as a mixture with air and the low density which causes its evaporation into the atmosphere.

5. An economic analysis for Rzeszów – discussion

From the economic balance of the MPK Rzeszów from February, 2005 it follows, that the natural gas as a fuel in compressed form at a Rzeszów petrol station costs 1.04 PLN/m³ on average, and engine oil costs 2.40 PLN/l. Thus, it is important to find out how fast this difference in the fuel purchase costs will depreciate the higher purchase cost of a new CNG bus. A new CNG driven bus, in this case the Jelcz 125 M/4 CNG costs about 800 thousand PLN, i.e. ca 150 thousand more than a bus fed with engine oil [MPK Rzeszów]. An evaluation of the investment's efficiency depends on the vehicle's mileage. A comparison of fuel consumption by a Jelcz 120M-CNG bus and a Jelcz 120M-EO (Engine Oil) bus with a ZS engine fed with engine oil is presented in Fig. 1, and the economic results connected with the fuel costs are presented in Fig. 2.

Analizując zestawienie z rys. 2 widać, że różnica jest wyraźna i wynosi 35,12 zł. Nakłady na przeróbkę autobusu ON na CNG wynosiły 190 tys. zł, stąd koszt tej modernizacji zwróci się po przejechaniu ok. 541 tys. km.

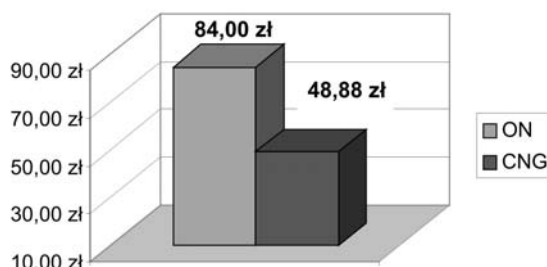
Porównanie zużycia paliwa dla autobusu Jelcz M125M/4-CNG i autobusu Solaris z silnikiem MAN M125 zasilanym olejem napędowym przedstawia rys. 3, natomiast kosztów paliwa dla obu systemów zasilania rys. 4.

W tym przypadku różnica na korzyść autobusu zasilanego CNG wynosi 27,44zł czyli oszczędności są o około 8 zł niższe niż w przypadku modernizowanych Jelczy 120 M. Okres zwrotu inwestycji dla autobusu CNG, tak by zniwelować cenę zakupu autobusu na gaz ziemny większą o ok. 150 tys zł, mierzony przebiegiem wynosi 546 tys. km. Należy zauważyć, że dla Jelcza 120 M przebieg ten wynosił 541 tys. km.

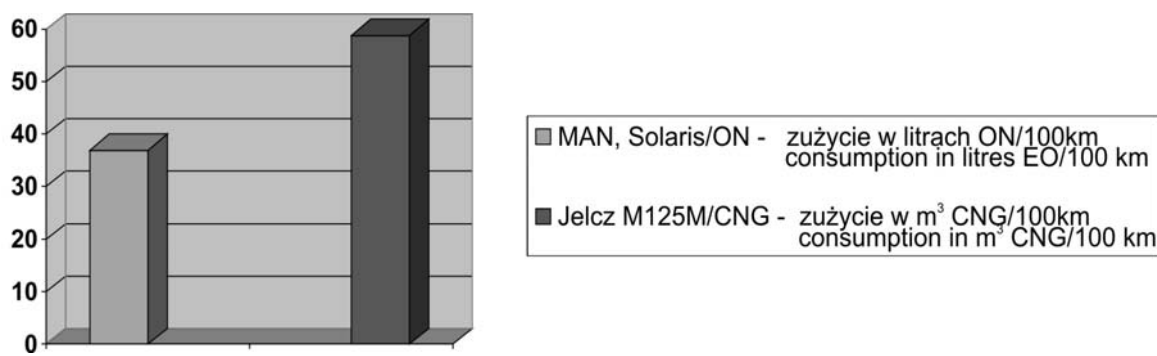
While analyzing the chart in Fig. 2. a clear difference can be seen of 35,12 PLN. The expenses on the adaptation of an EO bus to a CNG one amounted to 190 thousand PLN, so the modernization costs will be returned after ca 541 km mileage.

Fig. 3. presents a comparison of fuel consumption for a Jelcz M125M/4-CNG bus and a Solaris bus with an engine MAN M125 fed with engine oil. Fig. 4. presents a comparison of fuel costs for the two above-mentioned feeding systems.

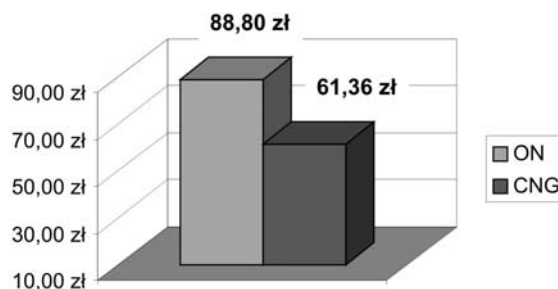
In this case the difference to the advantage of the bus fed with CNG is 27,44 PLN, which means that the gain is ca 8 PLN lower than in the case of the modernized Jelcz 120 M buses. The investment's return time for a CNG bus needed for the depreciation of the price of a natural gas driven bus, which is ca 150 thousand PLN higher, measured by a mileage, is 546 thousand km. It should be noticed that for a Jelcz 120



Rys. 2. Koszty przejazdu 100 km dla autobusu Jelcz 120M w przypadku zasilania ON i CNG
Fig. 2. The cost of 100 km run for a Jelcz 120M bus when fed with EO and CNG



Rys. 3. Zużycie CNG i ON dla silnika MAN M125 zabudowanego w autobusie Jelcz i Solaris
Fig. 3. Consumption of CNG and EO for an engine MAN M125 built in a bus Jelcz and Solaris



Rys. 4. Koszty przejazdu 100 km dla autobusu z silnikiem MAN M125 w przypadku zasilania ON i CNG
Fig. 4. The cost of 100 km run for a bus with an engine MAN M125 when fed with EO and CNG

Różnica wynosi tylko 5 tys. km na korzyść Jelcza 120 M. Wpływa na to koszt modernizacji Jelcza 120 M, który wyniósł ok. 190 tys. zł. Reasumując - okres zwrotu jest prawie identyczny, a przy tym decydując się na autobus Jelcz M125 M/4 CNG dysponuje się autobusem fabrycznie nowym z pełnym resursem. Rozważając relację pomiędzy ceną gazu określoną w taryfie na 1,04zł za m³ a ceną oleju napędowego, która w poprzednim roku zdecydowanie wzrosła, koszty bieżącej eksploatacji autobusu gazowego są niższe o ok. 30 - 35 zł/100 km. W 2004r., przy przebiegu łącznym „autobusów gazowych” 240 000 km, oszczędność w kosztach paliwa wyniosła ok. 82 000 zł. Szacunkowe dane wskazują, że w roku bieżącym oszczędności z tego tytułu wyniosą ok. 225 tys. zł, w zależności od kształtowania się cen paliw. Przykładową kalkulację kosztów wynikających z amortyzacji pojazdów i zużycia paliwa przedstawia w tabeli 1.

6. Analiza ekologiczna dla Rzeszowa - dyskusja

Miasto Rzeszów zajmuje stosunkowo niewielką powierzchnię, nieco ponad 50 km² i jest jednym z bardziej zagęszczonych miast w Polsce. Stąd też problem zanieczyszczenia środowiska, w tym szczególnie zanieczyszczenia powietrza składnikami spalin i ha-

M this mileage was 541 thousand km. The difference is only 5 thousand km to the advantage of a Jelcz 120 M. It affects the cost of a Jelcz 120 M modernization, which amounted to ca 190 thousand PLN. Summing up – the return time is almost identical, moreover while choosing a Jelcz M125 M/4 CNG bus one gets a brand new bus with a full provider’s service. While considering the relation between the gas price determined in the tariff as 1.04 PLN for 1 m³, and the engine oil price which has risen substantially last year, the running exploitation costs of a gas-fed bus are lower by ca 30-35 PLN /100 km. In 2004, with the joint mileage of the ‘gas buses’ 240 000 km, the gain in the fuel costs amounted to ca 225 thousand PLN, depending on the current fuel price. An exemplary calculation of the costs resulting from vehicle depreciation and fuel consumption is presented in Table 1.

6. An ecological analysis for Rzeszów – discussion

The town of Rzeszów is relatively small in area: slightly above 50m², and is one of the more condensed Polish towns. Hence the problem of environmental pollution, especially air pollution with exhaust fumes

Tabela 1. Przykładowe koszty zakupu pojazdów i zużycia paliwa dla autobusów ON i CNG [MPK Rzeszów]

Table 1. Exemplary costs of vehicle purchase and fuel consumption for the buses ON and CNG [MPK Rzeszów].

	ON		CNG	
	Amortyzacja 5 lat	Amortyzacja 10 lat	Amortyzacja 5 lat	Amortyzacja 10 lat
korzyści kapitałowe:				
- zakup	610.000 zł	610 000 zł	760 000 zł	760 000 zł
- amortyzacja (liniowa)	122 000 zł/rok	61 000 zł/rok	152 000 zł/rok	76 000 zł/rok
- oprocentowanie kapitału (stopa procentowa 7%)	21 350zł/rok	21 350 zł/rok	26 600 zł/rok	26 600 zł/rok
koszty kapitałowe:				
- w odniesieniu do 70.000 km	143 350 zł/rok	82 350 zł/rok	178 600 zł/rok	102 600 zł/rok
- w odniesieniu do 1 km	2,05 zł/km	1,18 zł/km	2,55 zł/km	1,47 zł/km
zużycie paliwa:				
- ON	37 l/100 km		56 m ³ /100 km	
- CNG				
koszty Diesla				
- cena ON	2,51 zł/l			
- opłata z tyt.ochrony środowiska	0,01 zł/l			
- koszty (bez VAT)	2,52 zł/l			
koszty gazu ziemnego				
- cena gazu ziemnego (bez VAT)			1,00 zł/Nm ³	
koszty paliwa				
- w odniesieniu do 70.000 km	65 258 zł/rok		39 200 zł/rok	
- w odniesieniu do 1 km	0,93 zł/km		0,56 zł/km	
Koszty łączne zakupu i zużycia paliwa w odniesieniu do:				
- przebiegu rocznego 70 000 km	208 608 zł/rok	147 618 zł/rok	217 800 zł/rok	141 800 zł/rok
- 1 km	2,98 zł/km	2,11 zł/km	3,11 zł/km	2,03 zł/km

łasem, jest bardzo istotnym zagadnieniem, mającym duży wpływ na jakość życia mieszkańców miasta.

Silniki napędzane gazem ziemnym wykazują bardzo niski poziom emisji szkodliwych substancji w spalinach, w tym także cząstek stałych. Ponadto zastosowanie zapłonu iskrowego powoduje zmniejszenie ciśnienia w obiegu termodynamicznym silnika, co przyczynia się do redukcji hałasu wytwarzanego przez silnik [Piekarski, Dzieniszewski 2004]. Jest to istotne zwłaszcza w gęstej zabudowie miast (jaką prezentuje np. Rzeszów). Prowadzone badania potwierdzają zmniejszenie poziomu hałasu dla pojazdów grupy NGV (Natural Gas Vehicles) w granicach 1-3 dB. Dzięki zastosowaniu paliwa CNG do napędu autobusów miejskich w Rzeszowie w 2004 roku, zmniejszyła się znacznie uciążliwość wynikająca z poziomu hałasu, ponadto do otoczenia zostało wyemitowane znacznie mniej zanieczyszczeń, tabela 2, rys. 5.

contents and noise becomes a crucial one, affecting the quality of the inhabitants' life.

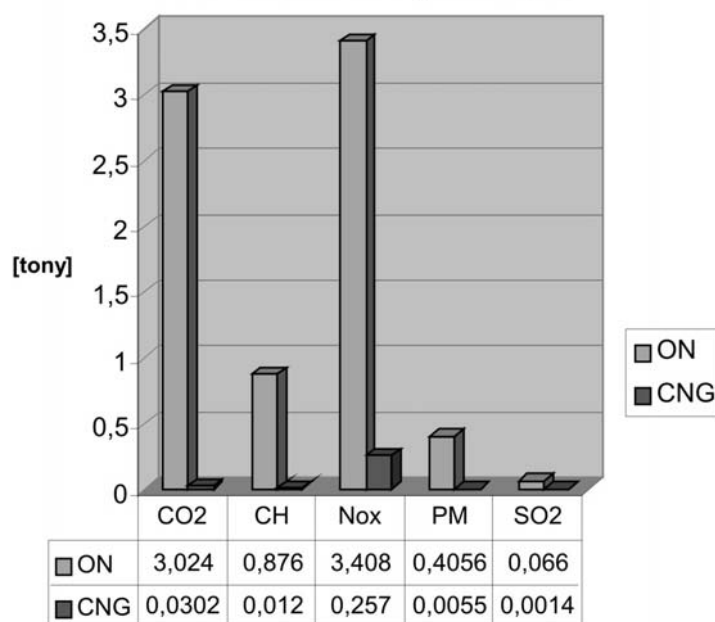
Engines driven with natural gas show a very low level of harmful gases and solid particles emission in fumes. Moreover, the use of spark ignition results in lowering the pressure in the thermodynamic system of an engine, which reduces the level of engine noise [Piekarski, Dzieniszewski, 2004].

It is important especially in densely built towns, like Rzeszów. The current research confirms the lowering of noise level for the vehicles from NGV group (Natural Gas Vehicles) in the range 1-3 dB. Thanks to an application of CNG fuel for driving the Rzeszów city buses in 2004, the disadvantage connected with noise level was noticeably reduced, moreover the emissions of pollutants dropped significantly (Table 2, Fig.5).

Tabela 2. Szacunkowa ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do atmosfery
Table 2. The estimated quantities of pollutants emitted to the atmosphere

Ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do powietrza przy przebiegu autobusów 240 000 km [dane w tonach]			
Rodzaj zanieczyszczeń	Autobusy zasilane ON	Autobusy zasilane CNG	Różnica
CO ₂	3,024	0,030	2,994
HC	0,876	0,012	0,864
NO _x	3,408	0,257	3,151
PM	0,4056	0,0055	0,4001
SO ₂	0,0660	0,0014	0,0646

Ilości zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery dla autobusów zasilanych ON i CNG



Rys. 5. Porównanie ilości zanieczyszczeń z silnika zasilanego ON i CNG dla 240 tys. kilometrów przebiegu
Fig. 5 Comparison of pollutants quantities from an EO fed engine and a CNG fed engine for 240 000 mileage

7. Podsumowanie i wnioski

Zalety proekologiczne zmiany systemu zasilania autobusów miejskich z oleju napędowego na zasilanie gazem ziemnym, mają wielopłaszczyznowy charakter. Redukcji ulega poziom hałasu i prawie całkowicie eliminuje się toksyczne składniki spalin.

Również czynniki ekonomiczne potwierdzają celowość tego rodzaju zmian. Przeprowadzone analizy ekonomiczne dowodzą, że okres zwrotu powiększonych nakładów na autobus CNG wynosi 5 lat, co można przełożyć w warunkach Rzeszowa na 500 tys. kilometrów przebiegu. Okres zwrotu zależy więc wyłącznie od intensywności użytkowania pojazdu. Zakup i eksploatacja 5 szt. autobusów gazowych i ich uzupełnienie jednym zamortyzowanym autobusem starszego typu, daje takie analogiczne koszty amortyzacji jak zakup za podobną kwotę i eksploatacja 6 szt. nowych autobusów z silnikami Diesla

8. References

- [1] Burzyński L.: *Spalinowe silniki tłokowe zasilane paliwami gazowymi*, Silniki Spalinowe 1989, nr 2-3.
- [2] Piekarski W., Dzieniszewski G.: *Analiza możliwości doładowania silnika o ZI zasilanego gazem LPG*, Eksploatacja i Niezawodność, 1/2004.
- [3] Materiały MPK Rzeszów, 2001-2005.

7. Conclusions

Pro-ecological advantages of the change in the city buses driving system from engine oil to natural gas have a complex character. The level of noise is reduced and toxic fumes contents are almost completely eliminated.

Also economic factors confirm the profitability of this kind of change. The carried out economic analyses prove that the return period of the increased investments on a CNG bus amounts to 5 years, which in the Rzeszów conditions can be expressed as 500 km of mileage. The return period then depends only on the intensity of a given vehicle's exploitation. A purchase and exploitation of 5 gas-driven buses and supplementing them with one depreciated bus of an older type gives analogical depreciation costs as a purchase for a similar price and exploitation of 6 new buses with a Diesel engine.

Dr inż. Grzegorz DZIENISZEWSKI

Instytut Techniki

Uniwersytet Rzeszowski

Al. Rejtana 16A

35-959 Rzeszów

e-mail: twp@poczta.onet.pl

Mgr inż. Paweł KRZACZEK

Akademia Rolnicza w Lublinie

Katedra Energetyki i Pojazdów

ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin

e-mail: pawel.krzaczek@ar.lublin.pl

MAINTENANCE MANAGEMENT EFFICIENCY EVALUATION

The purposeful processing of long-term documented maintenance data can provide plenty of information not only about a machine's history, but also about its maintenance system. The main objective of data analysis is to continually improve the maintenance efficiency, which is closely related to improvements in dependability and overall productivity of the production equipment. This paper pinpoints the main problems of most widespread indicators of maintenance efficiency – OEE and other proposed alternative methods for maintenance efficiency assessment, with the aim of locating the weakest areas of the maintenance system.

Keywords: maintenance system, data analysis, production equipment

1. Introduction

The role of a firm's maintenance system in recent years has substantially changed to the benefit of the maintenance department, which was often comprehended as a burden, which drained funds from a firm's financial sources. Maintenance in going concerns today starts to be considered as one part of an integral process, where it is necessary to enforce similar quality management policies, in production and all other parts of the organizational management. One of the most important quality management policies is continual improvement, which has to be the permanent goal of each organization.

If something has to be improved, there should be a set of pre-determined objective criteria, which can be monitored to assess improvement. The determination of criteria in the case of maintenance systems is not as easy as, for example, the determination of the system labour index productivity: labourer, machinery, assembly line etc. In the case of maintenance it is very difficult to formulate productivity of labour, e.g. the number of failure eliminations per time unit, the number of fault isolations etc. It is wrong to use the common productivity labour index "amount of work per time unit", because service engineers may work at high intensity but impractically, uneconomically and ineffectively.

The Iceberg tip cost rule is used more in the case of maintenance than in production. Most maintenance costs are barely measurable or indeed immeasurable, that is why valuation of maintenance grade based only on the cost of maintenance is actually unapplicable. The benefits of any change to a maintenance system

are noticeable only after a relatively long period of time. If a firm invests in preventive maintenance action, maintenance costs increase and positive influence will be noticeable only after several months. Conversely, if a firm significantly cuts down its maintenance funding, failure rates will only become apparent after several months.

2. The calculation of over all equipment effectiveness (OEE)

There are several criteria and processes used for the evaluation of maintenance effectiveness, none of them are suitable for every situation. The maintenance, according to its ČSN EN 13 306 definition (the combination of all technical, administrative and managerial activities during the life cost cycle of an entity, with the aim of maintaining its productivity or returning it to a productive state). Maintenance is very wide-ranging – that is why it is impractical to set only one index, which could involve levels of maintenance definitively and objectively quantified.

One of the most often used, as well as one of the most elaborate methods of calculating maintenance level is over-all equipment effectiveness OEE. This indicator evaluates the maintenance effectiveness primarily based on production downtimes, production quality and productive equipment performance. The benefit of this indicator is the synthesis of partial indicators of maintenance effectiveness and actual maintenance requirements (production volume). The method of calculating OEE is available in several publications, which is why the OEE formula is posted without any other explanation:

$$OEE = \frac{t_{PCS} - t_{ORG} - t_{OSOB}}{t_{PCS}} \cdot \frac{t_{PRC} - t_{PU} - t_{UP} - t_{PS} - t_{TP}}{t_{PRC}} \cdot \frac{W_{SK}}{W_{JM}} \cdot \frac{Q_H(t_{OPER}) - z_{CHYB} - z_{NAB}}{Q_H(t_{OPER})} \quad (1)$$

Tab. 1. Example of OEE calculation in month intervals

(notice: workshift = month)		January	February	March	April
t_{PCS}	Operating work shift time	720	672	720	712
t_{PRC}	Productive work shift time	720	672	720	712
t_{OPER}	Operative work shift time	591.9	551.4	594	590.3
t_{ORG}	Productive down-times	24	24	22	21.8
t_{OSOB}	Personal rest time	45	45	45	45
t_{PU+UUP}	Maintenance down-times (pl. or not pl.)	31.2	26.2	31.2	28.5
t_{PS}	Reshuffle down-times	18	16.2	18	17.5
t_{TP}	Down-time – technological failures	9.9	9.2	9.8	8.9
SUM OF DOWN-TIMES		128.1	120.6	126	121.7
W_{sk}	Substantive performance of machinery	35.5	36	36.4	36.7
W_{jm}	Theoretical performance of machinery	41	41	41	41
$Q_{h(OPER)}$	Gross production during shift time	21 012	19 850	21 622	21 664
$Q_{c(OPER)}$	Net production during shift time	20 862	19 710	21 478	21 524
Z_{CHYB}	Number of non-conforming products from production	90	84	89	84
Z_{NAB}	Number of non-conforming products from start production	60	56	55	56
OEE	over all equipment effectiveness	0.713485	0.722263	0.734286	0.743759

Main problems of practical OEE use:

1. This index provides technical evaluation, but it does not subsume maintenance costs. If this method is used as the only indicator of maintenance effectiveness, then the apparent need for continual improvement could lead to excessive maintenance costs.
2. It does not involve other essential factors too, which have distinct influence on the level of maintenance, for example value stock of spare parts, value of material and immaterial asset of the company, age of production machineries etc.
3. The influence of OEE does not only extend to the quality maintenance system, there is also an influence on the quality of production processes (especially t_{ORG} , latently other items too), quality of spare parts logistics (part of downtimes because of maintenance), quality of the personnel operating of production machinery etc. Poor production control and planning wasted time due to absence of maintenance parts and ineffective use of machinery etc. This can also happen continual improvement of a maintenance system – will cause the OEE to fall.
4. Difficulty of OEE determination: Most maintenance managers do not have the appropriate software, with which to calculate OEE by automated algorithm. Calculations are achieved with MS Excel table (see above table 1), it is necessary to fill in by hand all the data in the table. Evaluation of maintenance effectiveness

only has meaning for particular production machinery or assembly parts, which are numerous in a company in that case it is necessary to process the same amount of tables. Also the collection of data for OEE calculation generally is not automatised which increases the difficulty of OEE determination.

5. The approach of upper management is sometimes problematic when the OEE calculation starts to stagnate. The maintenance division, by the implementation of effective actions and new maintenance methods, OEE was continually increased for a few years (for example from a starting value 0.6 to an actual value of 0.9). Thereby, it created highly effective maintenance system, but where other quality increase, will not be reflected in the OEE.
6. The problem with identification of all necessary data – as most important data is not recorded (or it is, but incorrectly) or data is not available to maintenance manager. These figures are not monitored by the information maintenance system.

It is necessary to consider OEE as an avowed principle and wide-spreaded index of maintenance level, which evaluates maintenance based on the main requirements of a quality maintenance system – maintenance is supposed to ensure high failure-free production machinery (OEE is characterized by down-times t_i), the highest performance (W_k) and quality of production (Z_{CHYB} , Z_{NAB}). However OEE has its minuses, it does not cover all maintenance aspects

and for maintenance evaluation it should not be to be considered in isolation – it is an important index, but not the only one.

3. Other indicators of maintenance effectiveness

The evaluation of a maintenance system is primarily based on a comparison of the expected contribution, which we require from an effective system at the end state. The expectations of functional maintenance are: assurance quality, continual safe and ability to compete (low cost, ecological, etc.) production. From these factors are determined the basic partial requirements (expectation) expected of an effective maintenance system:

- increase in dependability of productive machinery (primarily stand-by, safety and operating life),
- noticeable change in the rate of maintenance after failure, compared to planned maintenance to the benefit of planned maintenance,
- a reduction in production down-time, resulting in increased productivity,
- a reduction in spare parts consumption, which are needed after failure,
- a marked reduction in failures and maintenance after failures,
- reduction of overtime costs of maintenance workers,
- reduction of total maintenance cost in the long term,
- distinctive reduction of frequent failures based on recorded data about machine failures and their analysis,
- reduction of non-quality costs,
- within the scope of an integrated quality management system, as there is an increase in the maintenance efficiency, company should expect to see a reduction in the environmental impact of company activities and an improvement in its safety record.

At the present time it is common that maintenance management systems are supported by information systems (IS). It is impossible without IS to evaluate maintenance effectiveness (untrustworthy data) and there is no chance to control maintenance (for example: make decisions based on facts which are missing) and you can plan only on a short-term basis. Assuming that maintenance is supported by IS, it is possible to obtain several indicators which can quantify most of the maintenance requirements. For regular operative evaluation it is necessary to set up algorithms of all partial and over-all indicators involved in maintenance IS. It is also important to ensure availability of data with the minimum of work difficulty to the IS user, i.e. maintenance manager. If it is difficult for the

maintenance manager to obtain data from IS, then his final work is usually poor. It is problematic to process data obtained from maintenance IS in the case of software which does not have in-built analytical tools, for example: creating macro in wide-spread MS Office – Excel, after data import.

3.1. Partial indicators of maintenance level obtained from maintenance IS

The following data is entered in to the IS after every maintenance action: when the maintenance was done, type of maintenance, on what machinery, the amount of labour input, the amount spent on material and spare parts, the costs of maintenance (partial costs included), down-time caused by the maintenance and in the case of maintenance after failure – the cause of failure. This kind of data is available for periodical maintenance level efficiency, providing partial and overall indexes which provide actual information of achieved level of the requirements stated in chapter 3.

Basic partial indicators of the maintenance level efficiency which can be obtained directly from maintenance IS for required time periods (months, quarters, etc.), are:

1. Amount of maintenance after failure.
2. Total number of down-time hours at the period, eventually their partial elements.
3. Amount of down-times or cost representations of down-time losses.
4. Costs of spare parts and materials spent by maintenance.
5. Amount of failures, eventually their quantity in main categories.
6. Total maintenance costs, eventually their partial elements (wages, materials, overtime down-times).
7. Preventative maintenance costs.
8. Maintenance after failure costs.
9. Total maintenance labour input.
10. Labour input of maintenance personnel after failure.

From these, it is possible to obtain derived partial indexes of maintenance efficiency, for example:

11. Ratio of the amount of maintenance after failure compared to the total number of all maintenance actions.
12. Ratio of the amount of preventative maintenance costs compared to the total maintenance costs.
13. Ratio of the amount of preventative maintenance labour compared to the total maintenance labour input.
14. Average labour input of single maintenance.

15. Average labour input of single maintenance after failure.
16. Mean time to failure.
17. Mean time between failures.
18. Mean active corrective maintenance time.

Combining IS data and other easily recordable data (time fund of maintenance workers, reduction value of maintained assets, service time of particular objects, business turnover, number of non-conforming products, etc.) makes it possible to calculate other derived partial indexes:

19. Total maintenance costs as a percentage of reduction value of maintained assets.
20. Value of material and spare parts spent for maintenance as a percentage of the reduction value of maintained assets.
21. Labour input of maintenance after failure as a percentage of the total time fund of maintenance workers.
22. Labour input of preventative maintenance as a percentage of the total time fund of maintenance workers.
23. Total maintenance costs as a percentage of the business turnover.
24. Down-times owing to maintenance as a percentage of the operational time of productive machinery.

The evaluation of maintenance efficiency by means of partial indexes is not as easy. When are evaluated only some of them, then the influence of others is not considered. On the other hand, too many indicators lead to a difficulty in monitoring final trends (they differ in tens or hundreds of a percent and ordinarily vary only in particular time periods). In comparison with a previous period, total maintenance costs increase, but on the other hand costs of maintenance after failure decrease and all at once the number of maintenance after failure and material costs spent by the maintenance department decrease. Therefore the determination of the overall maintenance efficiency can be problematic.

3.2. The evaluation of maintenance level by means of overall indexes

The above-mentioned basic and derived partial indexes of maintenance levels are suitable for integration into one overall index for easy evaluation. This index describes the overall output value. There is again a principal that all (or most) initial data has to be available from the IS and that it is calculated by pre-programmed algorithms in the maintenance system. Thus obtaining of an overall maintenance efficiency index is easy and not time consuming (usually carried out for ten objects). One of the overall indexes can

be a modified version of OEE, where contrary to formula (1), only downtimes cause by maintenance are involved; data which is easy to obtain from IS.

Appropriately constructed radar plots from the partial indexes may be another suitable Overall Index (OI) method, whose surface (its changes in time) is a change indicator of maintenance efficiency. A brief explanation of how to construct OI and calculate its surface are is given below:

1. The selection of partial indexes, which will be evaluated. All of these are supposed to have the same tendency, for example when the maintenance efficiency is increasing all of them are supposed to be declining.
2. Because of digit place diversity in the initial data (for example maintenance costs in millions, downtimes in tens etc.), it is necessary to enter them into the logarithm and categorize them with the same units. Furthermore, algorithmized data entered into the algorithm may be modified with the unit coefficients.
3. Radar plot surface calculation of each time period which is being evaluated (it is not necessary to construct the radar plot). This allows the maintenance manager to monitor performance in comparable time periods.

The following example describes the application of OI determination created in MS Excel, which after macro proceeding automatically accumulates partial indexes from the maintenance IS in the appropriate month and calculates an OI from them. The following figures were used to calculate OI: total down-times caused by maintenance, maintenance costs, labour input and amount of maintenance after failure (declining tendency is required).

Other partial indexes are also suitable for OI calculation, for example indexes in chapter 3.1. In the case of partial indexes converted into percentages (s. indexes 19 – 24) it is not necessary to do logarithmic calculations.

If the choice of partial indexes in the determination of OI is correct, then OI is a suitable indicator of maintenance level and each negative change in its trend signals the need for a more accurate analysis of maintenance systems and the implementation of corrective procedures. Despite the obvious advantages of OI calculation, it has one essential fault – OI is determined in periodical time intervals for multiple maintained objects. OI calculations (as well as the calculation of OEE) for all the organizations or departments usually does not have an accurate predicative ability, in the sense of the detection of maintenance weak points. The calculated OI evaluation is time consuming for the maintenance manager. The second step should therefore be an algorithmic processing of all

Welding automat KL-145V

	January	February	March	April
Down-times	36	32	34	30
Maintenance costs	93 562	89 523	92 785	51 204
Labour input	47	44	42	43
Amount of maintenance after failure	8	6	5	4
Conversion				
Down-times	1,56	1,51	1,53	1,48
Maintenance costs	2,49	2,48	2,48	2,35
Labour input	1,67	1,64	1,62	1,63
Amount of maintenance after failure	1,81	1,56	1,40	1,20
Overall maintenance efficiency index				
OI	6,93	6,35	6,12	5,53
OI		0,58	0,23	0,59

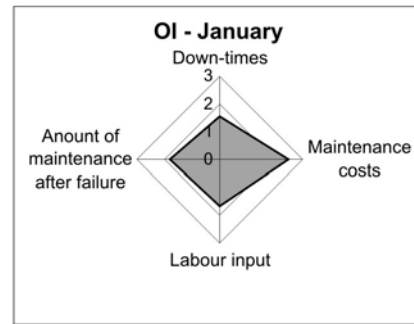


Fig.1. Example of OI calculation

OI figures in order to notify the maintenance manager of any distinctive changes in current OI trends of the evaluated objects. The main purpose of calculating OI trends is to monitor each change in order to pinpoint maintenance weak points, which should be noticeable from the processed outcome in a very brief and well-arranged form. The advantage of this kind of data processing is that the maintenance manager does not need to browse numerous entries relating to objects – algorithms only show objects with negative trends of OI. Example of an algorithm which was constructed using MS Excel for the above-mentioned purpose of evaluating OI trends is shown in the figure 2.

An advantage of this method is not only that the maintenance manager looks after for only particular equipment but also has access to an immediate visual display of more detailed data about particular machi-

nery – for example, if he selects “Press PD4...“, which has the worst trend, other trends from previous periods will be shown too (last four quarters). Other specific data about equipment is available (bottom of figure 2). The maintenance manager can view information about the technical specification of equipment and the statement of maintenance during certain time periods, including the possibility of distinguishing between maintenance due to failure or for other reasons. Statements of maintenance workers’ notice of particular maintenance or lists of materials and spare parts used for maintenance, which should lead to the detection of the cause of OI negative trends. Equipment with the best OI trend values are shown on the right side, such a trend describes the feasibility of implemented changes in the maintenance system.

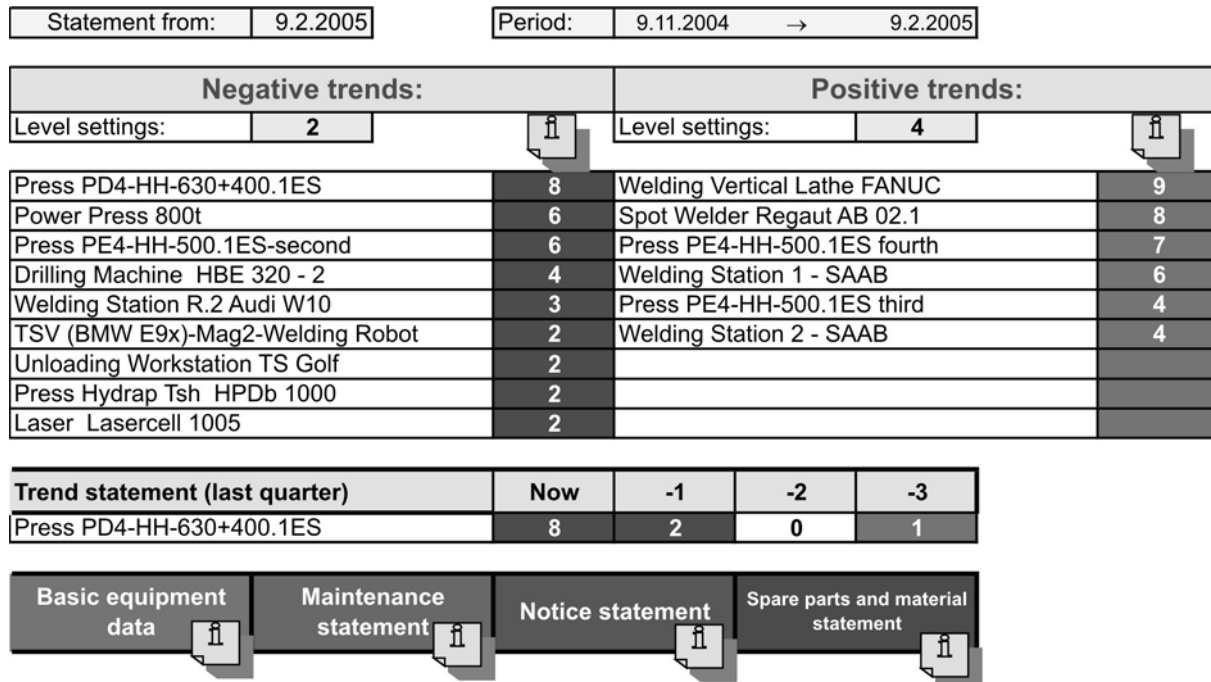


Fig.2. Outcome of quarterly processed indicators of maintenance efficiency of chosen objects

The factors which go into calculating to the OI are not static but can be changed according to the data collected (however, each piece of data must be in a proportional unit). The data used to calculate fig. 2 has been collected for more than one year during which time OI of maintenance efficiency is expressed as a cumulative trend of down-times of selected machinery. These figures can then tell the maintenance manager what is required of the maintenance efficiency system. Changes of cumulative down-time trends can be simply quantified by costs. Since January 2006 similar algorithm has been tested, which not only evaluate cumulative down-time trends in one OI but also cumulative maintenance costs, maintenance after failure labour input, mean time to failure, mean time between failures and the amount of failures.

The next step will be to develop algorithm which will involve fault maintenance section searching. Lists of equipment with weak maintenance level will be analysed. The maintenance manager will have a statement of productive equipment with weak maintenance levels and also information about particular sections which require particular attention in order to carry out corrective procedures.

5. References

- [1] Legát, V. - Jurča, V. - Pošta, J. - Šenk, Z.: *Management jakosti v údržbě (Quality Management in Maintenance)*. Monograph, Second edition, Czech Society for Quality, Prague, 2003
- [2] Legát, V.: *Management údržby zaměřený na peníze*. In: Sborník druhé mezinárodní konference (Money Centered Maintenance. In: Second international conference proceedings) MAINTENANCE 2003, ISSN 80-213-1065-0, 2003
- [3] Legát, V.: *Strategie a koncepce managementu údržby*. Perspektivy jakosti, ročník 2, číslo 3/2005, (Strategy and Conception of Maintenance Management. Horizons of Quality), Czech Society for Quality, ISSN 1214-8865.

4. Conclusion

The basic requirement involved in the quality system and the maintenance quality system, is the continual improvement of maintenance efficiency based on the data analysis of the actual behavior of the system particularly weak point localization and pursue corrections. There are many indicators of maintenance level, but the most preferable is to take advantage of the overall indexes, which synthesize many partial indexes. If the analytical tools are appropriately designed, then they are able to execute the analysis of maintenance efficiency with the inclusion of detailed characterization and localization of the weak points. Overall Index may help not only for continual improvement of the maintenance quality management system but also for the comparison of the same or different production machinery. Further more, it can also be used for evaluation of external maintenance contactor when they provide total maintenance of major production plants etc.

Doc.Ing. Vladimír JURČA, CSc.

Ing. Zdeněk ALEŠ

Ing. Adéla HORÁKOVÁ

Czech University of Agriculture

Technical Faculty

Department of Quality and Dependability of Machines

Kamýcká 129, 165 21 Praha – Suchbátka

tel.: 2 2438 3322

e-mail: jurca@tf.czu.cz

PROBLEMS OF POWER PARAMETERS MEASUREMENT OF CONSTANT-SPEED ENGINES WITH SMALL CYLINDER VOLUME BY ACCELERATION METHOD

The main topic of the paper is determination power parameters of constant-speed engines designed with small volume cylinders. These spark-ignition engines are equipped with simple carburettor with main circuit for full load and in some cases with idle circuit for unloaded modes. The absence of additional acceleration circuits cause considerable decrease of torque in engine's characteristic under low engine speed. It determines the common acceleration method as unsuitable for its utilisation.

Keywords: moment of inertia, acceleration, power, torque

1. Introduction

Problems of power parameter measurement of the internal combustion engine designed with small volume cylinders (e.g. spark-ignition engines of lawn mowers) by the acceleration method can be divided into two parts. The first problem is a determination of the measured engine's inertia moment. The second problem is fast acceleration engines which are designed as the constant-speed engine. Fuel systems (commonly carburettor) of these engines are relatively simple. They are not equipped with the additional circuit for acceleration in comparison with of automobile engines. The absence of additional acceleration circuits in the carburettor causes considerable decrease of the torque in the engine's characteristic under low engine speed. This problem can be eliminated by using the additional moment of inertia that prolongs acceleration. Fig.1 and Fig.2 show the decrease of engine acceleration with and without the additional moment of inertia. Fig.3 shows the final torque and power engine characteristic.

2. Materials and methods

The principle of determination of the internal combustion engine's power parameters by the acceleration method is founded upon measurement of an angular ε [rad·s⁻²] of a crankshaft, which is directly proportional of a torque M [Nm]. At known moment of inertia I [kg·m²] of all engine rotating parts, including non-disengageable equipment, we can use a formula, which results from the second Newton's law and it is generally true for solids rotating around fixed axes.

$$M = I \cdot \varepsilon \quad [Nm] \quad (1)$$

where: M – torque [Nm], I – moment of inertia [kg·m²], ε – angular acceleration [rad·s⁻²]

For determination of the moment of inertia of all rotating parts of the engine has been chosen the method based on measurement of the time of vibration of inertia masses on trifilar hangings according to formula:

$$I = \frac{T^2 \cdot m \cdot g \cdot r^2}{4\pi^2 l} \quad [kg \cdot m^2] \quad (2)$$

where: I - moment of inertia [kg·m²], T - time of vibration [s], m –mass [kg], r – radius rotation [m], l – length of hangings [m], g - acceleration of gravity [m·s⁻²]

3. Result

3.1 Problems of transient regimes

Fig.1 and Fig.2 show decrease of the engine acceleration with and without the additional moment of inertia.

Both graphs (Fig.1 and Fig.2) clearly reflect on decrease of the engine acceleration without the additional moment of inertia. From running the black line is perceptible that the increasing moment of inertia reduced unfavorable running transient performance.

Fig. 3 shows the final torque and power parameters of the measured engine with the additional moment of inertia. The individual points of line are calculated from formula [1].

3.2 Measurement of the moment of inertia

Individual parts (an engine's flywheel and an engine's crankshaft) representing the major component of the total moment of inertia was dismantled

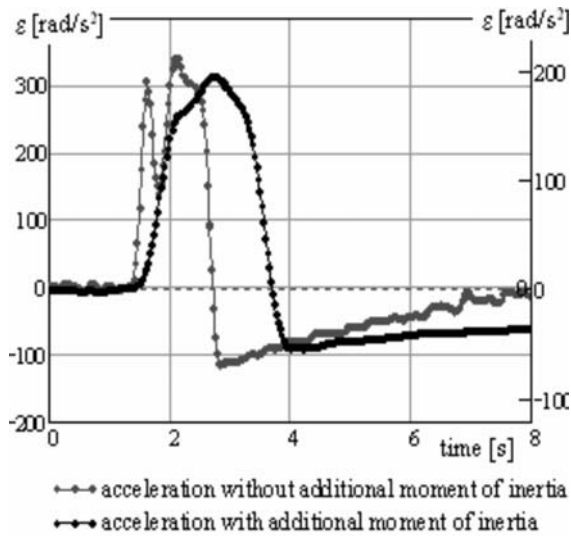


Fig.1 Engine acceleration

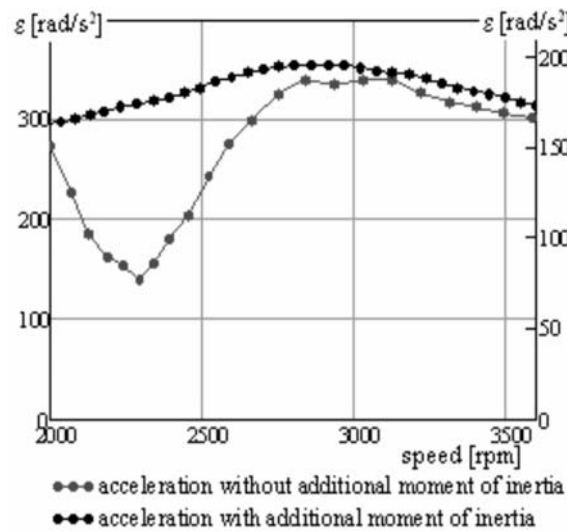


Fig.2 Engine acceleration

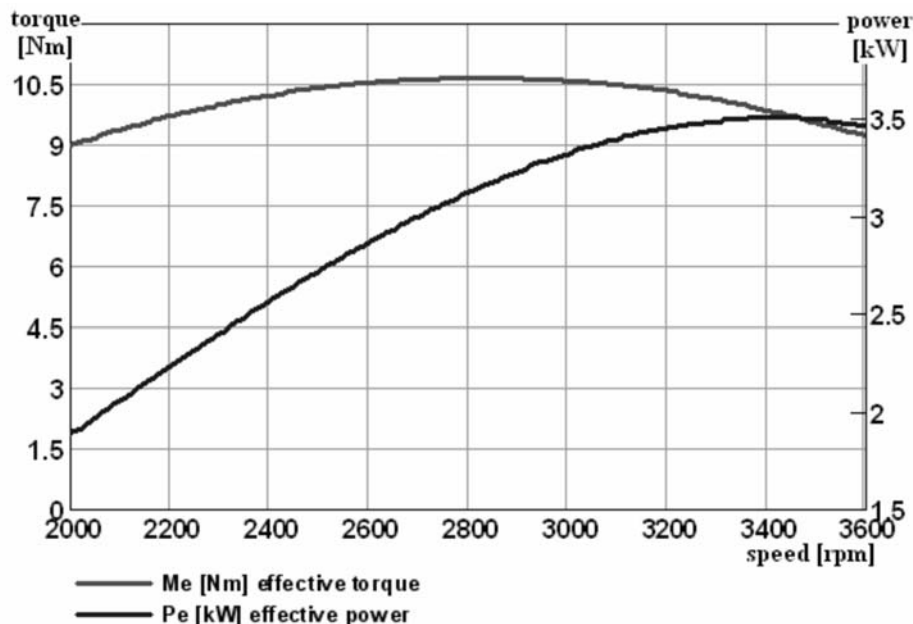


Fig.3 Final graph of the engine's power parameters measured with the additional moment of inertia

out of the engine and fixed to the trifilar hangings (Fig. 4 and 5). The moment of inertia was calculated from the measured time of one vibration according to formula (2).

4. Discussion

The method of measurement of free acceleration of an unloaded engine has been known since beginning of the maintenance practice. For relatively long time, when the objective engine dynamometer has already existed, it was the only subjective method, based on experience of mechanics. Development of electrical technology brings using of a simple analogue apparatus with relatively low accuracy. Relatively recently

within the context of fast development of digital electronics and computer techniques, which are capable to monitor and evaluate even very fast dynamic actions, it is possible to talk about seriousness of this method. Unfortunately laity but in some cases even specialist public still consider this method to be only orientational measurement of engine's parameters.

In view of physical and metrological standpoint this method is highly accurate and excellently repeatable; because it's the only method unaffecting metering results with inherent waste and hysteresis, unlike for example a dynamometer. Accuracy of measurement of the angular acceleration that is principle of the method is dependent explicitly on accuracy of metering time

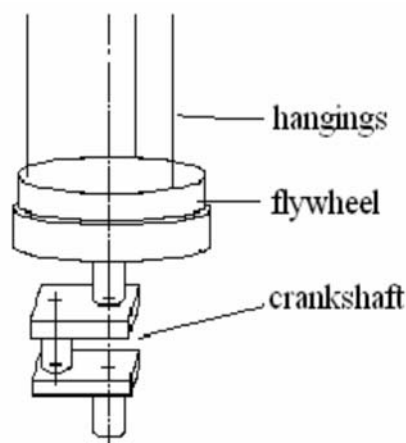


Fig.4 Diagram of measurement moment of inertia

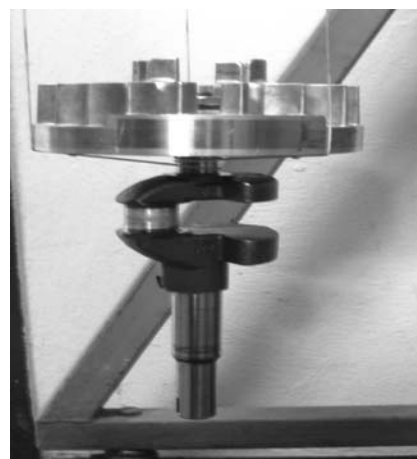


Fig.5 Measurement of moment of inertia flywheel with crankshaft

Tab.1 Measurement of time of one vibration

Measurement of time of ten vibration [s]	Engine's flywheel	Engine's flywheel with engine's crankshaft	Adittional moment of inertia
measurement č.1	19.40	16.20	22.40
č.2	19.25	16.21	22.35
č.3	19.31	16.09	22.51
č.4	19.32	16.35	22.32
č.5	19.47	16.31	22.39
č.6	19.16	16.28	22.48
č.7	19.25	16.22	22.58
č.8	19.35	16.35	22.39
č.9	19.42	16.08	22.43
č.10	19.26	16.24	22.36
average time [s]	19.319	16.23	22.421
time of one vibration [s]	1.9319	1.623	22.42

Tab. 2 Result of moment of inertia

	Engine's flywheel	Engine's flywheel with engine's crankshaft	Adittional moment of inertia
<i>m</i> mass [kg]	2.536	4.262	8.369
<i>r</i> radius rotation [m]	0.0825	0.0825	0.0825
<i>l</i> lenght of hangings [m]	1.638	1.638	1.638
Moment of inertia [kg.m ²]	0.0113	0.0116	0.0434

or more precisely on the time in which the crankshaft turns by the constant angle. Multiyear practical results reflect that measurement of time with accuracy approximately ± 5 [μ s] is sufficient for metering of power parameters of the whole engine.

Slightly other is the situation in determination of the value of moment of inertia of all rotating engine parts reduced on crankshaft. The significant argument of critics of this method is just determination of the value of moment of inertia and thus the easy possi-

bility of non-serious influence on results metering. Because the value of moment of inertia is a constant, an appropriate mistake in its determination is significant, but only systematic; it is not a random mistake of measurement.

Problems of stabilization of air fulfilling parameters and corresponding fuel quantity in dynamic regime are other discussed problems of metering of power parameters by the acceleration method. For completeness it is necessary to solve this problem

in turbocharged engines and in the most modern engines with a variable engine intake. But it is not an unsolvable problem. Except for this represented solution (increase of moment of inertia that prolongs accelerations) it is possible to use an alternative method of dynamic metering. For example the method of quasi-static metering that consists in stabilization of a loaded and speed engine closely before acceleration metering. Unlike the classic free acceleration this method doesn't start with fast moving of the acceleration pedal. Measurement of power parameters by the acceleration method in the quasi-static method comes after releasing the engine from load with the constant position of a throttle valve. This manner of metering enables stabilization the engine's input parameters before acceleration metering and in addition to that in constant regimes it is possible to meter the engine's output parameters e.g. emission and fuel consumption.

6. References

- [1] Kadleček, B.: *Dynamické testování výkonových parametrů spalovacích motorů*. In: NDT Bulletin č. 2/2001 (časopis ČNDT Česká společnost pro nedestruktivní testování ročník 11 č. 2) s. 109-110, ISSN 1213-3825
- [2] Kadleček, B., Pejša, L.aj.: *Zpráva o výsledcích porovnávacího měření výkonových, ekonomických a ekologických parametrů 4 ks zážehových motorů, pohonných jednotek zahradních sekaček*, Vypracováno na základě smlouvy o dílo č.: 04 01 29 / 31, Praha 2004, 31 s.
- [3] Kadleček B., Pejša L., Otto K.: *Měření výkonu a spotřeby paliva při diagnostice vozidlových motorů*. In: Sborník přednášek mezinárodní konference TD2000-DIAGON 2000 Zlín Academia centrum 12.4.-13.4.2000, VUT Brno Academia centrum Fakulty technologické ve Zlíně str. 143-148, ISBN 80-214-1578-9
- [4] Kadleček B., Pejša L., Růžička M.: *The Comparison of Power, Economy and Ecological Parameters of Spark-ignition Engine of Lawn Mowers*, In: Maintenance and Reliability, Nr /2005, Vyd: Polish Maintenance Society, Warsaw, , v tisku , ISSN 1507-2711
- [5] Kadleček B., Pejša L., Dvořák F.: *Possibilities of practical assessment of combustion engines parameters*. In: MECCA 1/2005, Journal of Middle European, Construction and Design of CARS, České vysoké učení technické, Praha. str. 39-46, ISSN 1214-0821

This paper is supported by:

1. Ministry of Education, Youth and Sports Czech Republic (project No. MSM6046070905).
2. Ministry of Transport Czech Republic (project No. 1F44G/092/120).

Ing. Jan HROMÁDKO

Ing. Jiří HROMÁDKO

Doc. Ing. Boleslav KADLEČEK, CSc.

Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty

Dept. of Vehicles and Ground Transport

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol;

e-mail: janhromadko@tf.czu.cz

e-mail: hromadkojiri@tf.czu.cz

e-mail: jankadlecek@tf.czu.cz

BADANIA MAKROSTRUKTURY ROZPYLANEJ CIECZY PRZEZ WTRYSKIWACZ AERACYJNY

RESEARCH OF MICROSTRUCTURE OF ATOMIZED LIQUID BY AERAL INJECTOR

W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów makrostruktury wtryskiwacza aeracyjnego w zależności od zmiany wybranych parametrów geometrycznych (kąt zawirowania strugi powietrza) oraz zmiany wybranych parametrów zasilających (ciśnienie powietrza oraz stosunek strumienia masy powietrza do strumienia masy rozpylanej cieczy). Parametry makrostruktury, które były badane na stanowisku to kąt rozpylenia strugi oraz rozkład kropeł w strudze rozpylanej cieczy. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, które umożliwiło rejestrowanie za pośrednictwem karty pomiarowej parametrów przepływowych powietrza oraz cieczy przepływających przez wtryskiwacz, kątów rozpylenia rejestrowanych przez szybko klatkową kamerę CCD. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej wyników, zależności parametrów makrostruktury od parametrów geometrycznych i zasilających przedstawiono w postaci wzorów empirycznych.

Słowa kluczowe: turbinowe silniki lotnicze, wtryskiwacze paliwa, wtryskiwacze aeracyjne, makrostruktura rozpylanej cieczy

In the article results of research of microstructure parameters of aeral injector due to change of geometrical (swirl angle of air stream) and feed parameters (air pressure and flow rate air to fluid ratio) was presented. Microstructure parameters, which have been tested are swirl angles of air stream and distribution of droplets on the atomized fluid stream. An investigation has been made on test stand which allows to store following parameters: flow parameters of air and fluid flowed through the injector stored by measurement card, angle of atomization stored by CCD camera. All results and data have been given in statistical analysis, as result of it the relationship between microstructure parameters to geometrical and feed parameters has been showed as semi-empirical equations.

Keywords: turbofan, fuel injectors, aeral injectors, microstructure of atomiz

1. Wprowadzenie

Wtryskiwacz aeracyjny zaklasyfikować można do grupy wtryskiwaczy pneumatycznych [2, 3], w których rozpylanie cieczy (paliwa) jest wynikiem działania naprężeń stycznych powstających wstępnie na granicy styku przepływającego powietrza i błony cieczy a następnie poprzez aerodynamiczne oddziaływanie powietrza na krople. Wtryskiwacze aeracyjne odznaczają się możliwością wstępnego napowietrzania strugi cieczy poprzez dwustronne oddziaływanie powietrza, które może przepływać równoległe lub być zawirowane przeciwnie. Skomplikowane zjawiska przepływowe powstające w obszarze styku błony cieczy (paliwa) ze strugami powietrza są w obecnym stanie wiedzy trudne do opisanie na płaszczyźnie matematycznej [1]. Poznawanie tych mechanizmów na drodze eksperymentalnej jest kluczem do efektyw-

1. Introduction

An aeral injector can be classified to pneumatic injector group [2, 3] on which fluid (fuel) atomization is a result of influenced tangent stress which first arises on contact boundary between flowing air and fluid layer and next by aerodynamic reaction of air on droplets. Aeral injectors are distinguished by possibility to aeration of fluid by two-sided air interaction, which can flow parallel or can be backward swirled. The complicated flow phenomena on the area of contact fluid layer with air stream are very difficult to describe by mathematical dependencies [1]. The recognition of this mechanism by experiment way is the key to effective building of calculates mathematical models for that kind of injector by using of empirical formulas.

nego budowania modeli obliczeniowych tego typu wtryskiwaczy w oparciu o zależności empiryczne.

2. Konstrukcja wtryskiwacza aeracyjnego

Przedmiotem badań jest wtryskiwacz aeracyjny, którego koncepcja przewidziana jest na zastosowanie w komorze spalania silnika turbinowego o małym ciągu (niski strumień masy przepływającego powietrza przez silnik). Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne składa się z 1 kanału pierścieniowego tworzącego błonę cieczy (paliwa) oraz dwóch kanałów powietrznych (rys. 2.1). Zadaniem kanałów powietrznych jest przeciwbieżne zawirowanie powietrza oraz skierowanie go na błonę cieczy, która rozbijana jest na krople. Schemat działania wtryskiwacza jest następujący: ciecz w postaci błony doprowadzana jest kanałem pierścieniowym pomiędzy przeciwbieżne zawirowane strugi powietrza, powoduje to rozbijanie błony cieczy na krople oraz wstępne napowietrzenie.

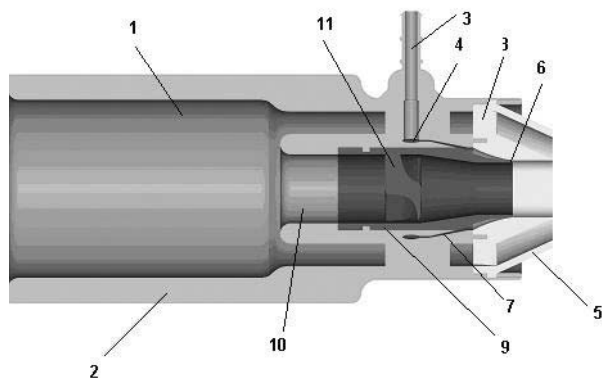
Pod względem konstrukcyjnym wtryskiwacz posiada budowę modułową, składa się z modułu głównego, do którego mocuje się zawirowywacze wewnętrzne i zewnętrzne. Modułowość konstrukcji wtryskiwacza pozwala na łatwy montaż i demontaż palisad łopatkowych. Stosunek pól przekrojów kanału zewnętrznego do wewnętrznego – δ narzuca średnice tych kanałów. Dla badanej konstrukcji wtryskiwacza, grubość szczeliny kanału paliwowego w przekroju wylotowym wynosi 0,3 [mm] natomiast geometria łopatek określona jest przez kąt ustawienia profilu w palisadzie (kąt zaklinowania łopatki) – ζ . W celu określenia charakterystyk kąta rozpylenia oraz rozkładu kropel od kątów zawirowania palisad łopatkowych wykonano po 4 moduły zawirowywujące odpowiednio dla kanału wewnętrznego i zewnętrznego o kątach zaklinowania 10, 15, 20 i 25 [deg].

2. Design of aeral injector

The subject of research is aeral injector which purpose is using them to combustion chamber of small propulsive thrust propfan (low fluid flux of air through by engine). The accepted design solution consists of one ring duct, which forms fluid film (fuel film) and two air ducts (fig. 2.1). The purpose of the air ducts is backward swirl and point them on fluid film which is breaking on droplets.

The work methodology of injector is following: the fluid as film is deliver through the ring duct to backward swirled air streams, it causes breaking of the fluid film on droplets and preliminary aeration.

From design point of view the injector has modular design, he is composed of main module to which are fixed internal and external swirlers. The modularity of construction allows to easier assembly and disassembly of grids of blades. The ratio of external to internal section – δ , determines the diameter of ducts. For investigated design of injector, the thickness of fuel duct gap on outer section equals 0.3 [mm] and geometry of blades is determined by blade incidence angle on grid of blades – ζ . To determine characteristics of spray angle and droplets distribution as a function of swirl angles the four swirl modules for external and internal ducts with swirl angles 10, 15, 20 i 25 [deg] has been made appropriately.



Rys. 2.1. Schemat wtryskiwacza aeracyjnego: 1) kanał powietrzny zewnętrzny, 2) moduł główny, 3) pierwszy pierścień rozprowadzający paliwo w ścianie zewnętrznej, 4) jedna z owiewek doprowadzających paliwo, 5) moduł zawirowywacza zewnętrznego, 6) kanał wypływu strugi paliwa, 7) kanał rozprowadzający paliwo do wylotu, 8) drugi pierścień rozprowadzający paliwo w ścianie wewnętrznej, 9) moduł zawirowywacza wewnętrznego, 10) kanał powietrzny wewnętrzny

Fig.2.1. Section on aeral injector: 1) external air duct, 2) main module, 3) the first ring inside external wall to feed of fuel, 4) ring duct for circumferential redistribute of fuel, 5) module of external swirler, 6) the outlet of the fuel, 7) the duct of fuel stream outlet, 8) blades of external swirler, 9) module of internal swirler, 10) internal air duct, 11) blades of internal swirler

3. Opis stanowiska badawczego

Przestrzeń pomiarową stanowiska do badań makrostruktury rozpylanej cieczy stanowi komora wykonana z poliwęglanu o wymiarach 500 x 500 [mm] i wysokości 1000 [mm]. Wtryskiwacz zamocowany jest w uchwycie wciskowym na wysokości około 1/4 od górnej ściany komory. Stanowisko wyposażone jest w system zasilający wtryskiwacz w media oraz system sterująco-pomiarowy sprzężony poprzez kartę pomiarową z komputerem PC. Schemat stanowiska z zaznaczonymi elementami przedstawiono na Rys. 3.1.

System zasilający składa się z układu zasilania cieczą i układu zasilania sprężonym powietrzem. Ciecz o określonym nadciśnieniu przepływa przez naczynie wyrównawcze (10) następnie przez zawór regulujący wydatek przepływu (7) oraz przepływomierz (6) i przewodem (5) dostarczana jest do wtryskiwacza (9). Natomiast powietrze sprężane jest w sprężarce (1), następnie poprzez zawór główny (2) oraz zespół złożony z zaworu sterującego filtra i manometru (3) elastycznym przewodem (4) dostarczane jest do wtryskiwacza. Bezpośrednio przed wtryskiwaczem dokonywany jest pomiar ciśnienia statycznego i dynamicznego powietrza oraz jego temperatury statycznej. Sposób pomiaru przedstawiono na Rys. 3.2. Elementy sterujące pracą stanowiska oraz czujniki pomiarowe współpracują z komputerem poprzez specjalne oprogramowanie wykorzystujące kartę pomiarową, która rejestruje i zapisuje podstawowe dane przepływowe przez wtryskiwacz.

Ze względu na konieczność pomiaru dwóch specyficznych zestawów danych zastosowano dwie konfiguracje dodatkowego wyposażenia stanowiska. Podczas pomiaru kąta rozpylenia strugi na stanowisku zainstalowano szybko klatkową kamerę cyfrową CCD (Rys. 3.3). Natomiast do określenia rozkładu rozpylanej

3. Description of the test stand

The test section of test stand for investigating of macrostructure sprayed fluid is composed of the chamber made from polycarbonate at dimensions 500 x 500 [mm] and height 1000 [mm]. An injector is fixing on fixture on the high about 1/4 from top wall of the chamber. The test stand is equipped with feed system of the injector and measure-control system connected to komputer PC by measuring card. The diagram of the test stand with elements is presented on Fig. 3.1.

The feed system is composed of the fluid feed system and compressed air feed system. The fluid at known overpressure flow through surge tank (10) next through fluid flow control valve (7) and fluid meter (6) and by pipe (5) is supply to injector (9). The air is compressed on the compressor (1), next through main valve (2) and unit composed with control valve and manometer (3) by elastic pipe (4) is supply to injector. Directly before injector is making direct measurement of static, dynamic pressure and static temperature. The way of measure has presented on Fig. 3.2. Elements controlling the work of test stand and measure sensors collaborate with komputer by special software, which by using measurement card can store and write all data which are measuring on test stand.

For the sake of necessary to measure two specific set of data, two configuration of additional test stand equipment has been used. To measure spray angle of stream a CCD kamera was installed. (Fig. 3.3) To determine stream droplets distribution the pipe probe pallet showed on Fig. 3.4 has been used. This probe has been fixed on test chamber in manner that the inlet to probes was 100 mm and 200 far from outlet of injector. The probe pallet was made by nine

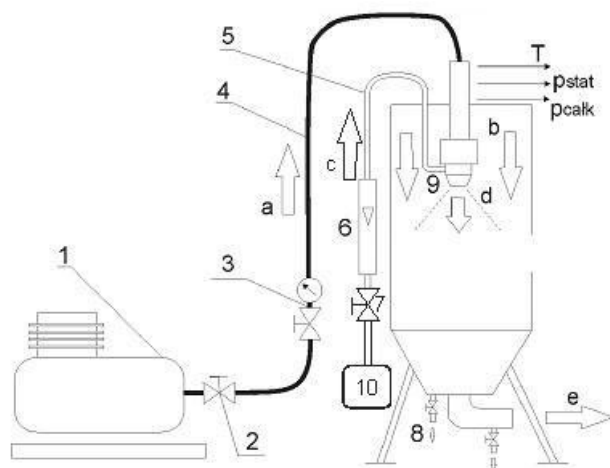


Fig. 3.1. Schemat stanowiska do badań wtryskiwacza: 1) sprężarka, 2) zawór główny, 3) zawór regulacyjny z filtrem i manometrem, 4) elastyczny przewód doprowadzający sprężone powietrze, 5) przewód doprowadzający ciecz, 6) przepływomierz, 7) zawór sterujący przepływem cieczy, 8) zawór odprowadzający skroploną ciecz, 9) wtryskiwacz aeracyjny, 10) zbiornik wyrównawczy cieczy, a) strumień sprężonego powietrza, b) strumień powietrza opływającego, c) strumień cieczy, d) struga rozpylonej mieszanki cieczy i powietrza, e) odprowadzenie powietrza z komory pomiarowej

Fig. 3.1. Test stand diagram for injector research: 1) compressor, 2) main valve, 3) control valve with filter and manometrem, 4) supply flexible conductor of compressed air, 5) fluid supply conductor, 6) fluid meter, 7) fluid flow control valve, 8) blend valve of condensed fluid, 9) aeral injector, 10) fluid surge tank, a) stream of compressed air, b) flowing air stream, c) stream of fluid, d) stream of sprayed mixture of fluid and air, e) outlet pipe from test chaber

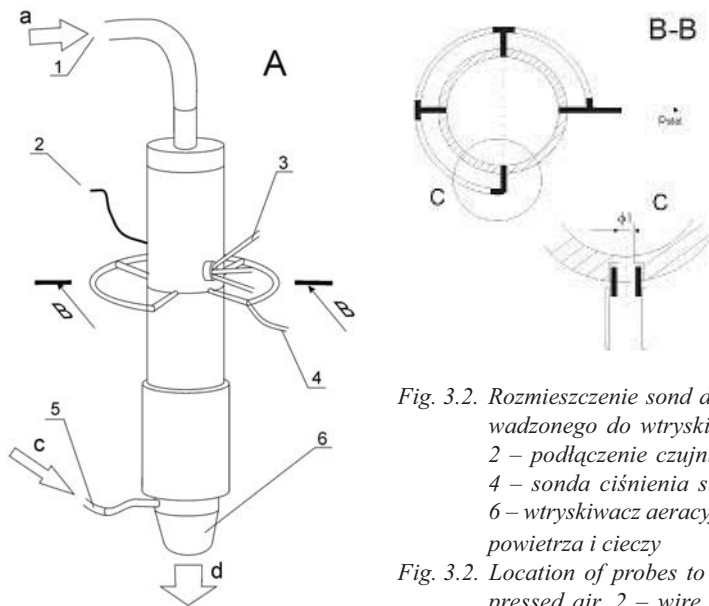
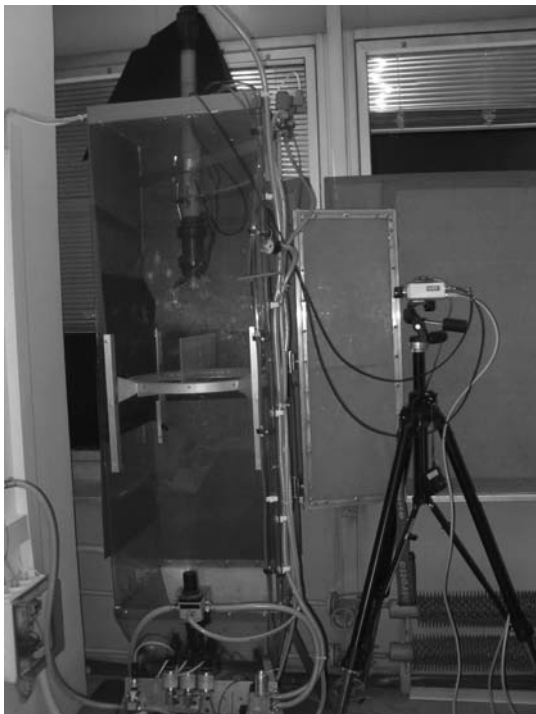
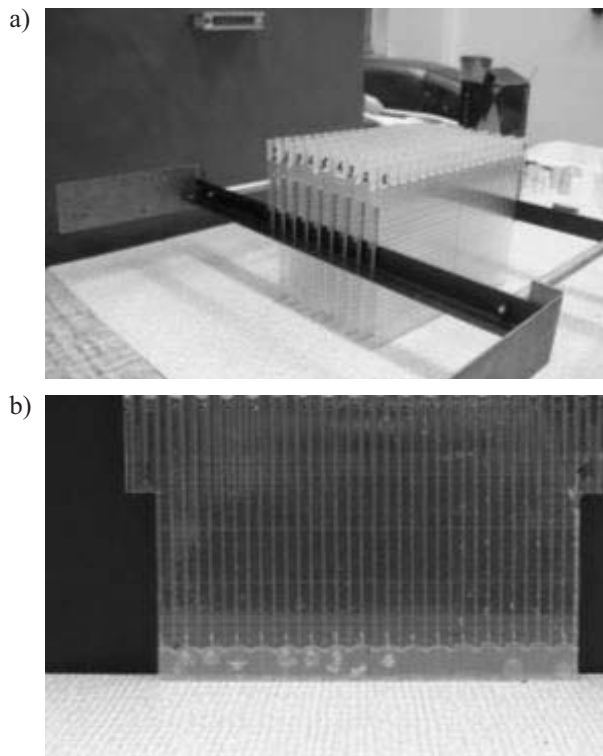


Fig. 3.2. Rozmieszczenie sond do pomiaru parametrów zasilania powietrza doprowadzonego do wtryskiwacza: 1 – doprowadzenie sprężonego powietrza, 2 – połączenie czujnika temperatury, 3 – sonda ciśnienia całkowitego, 4 – sonda ciśnienia statycznego, 5 – doprowadzenie rozpylanej cieczy, 6 – wtryskiwacz aeracyjny, a – strumień powietrza, c – ciecz, d – mieszanka powietrza i cieczy

Fig. 3.2. Location of probes to measure of air feed parameters: 1 –inlet of compressed air, 2 – wire of temperature sensor, 3 – total pressure probe, 4 –static pressure probe, 5 – inlet of fluid to spray, 6 – aeral injector, a – stream of air, c –fluid, d – mixture o fair and fluid



Rys. 3.3. Stanowisko do badań kąta rozpylenia strugi
Fig. 3.3. Test stand for investigate of spray angle of stream



Rys. 3.4. Sonda do badań rozkładu osiowego i obwodowego strugi cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz:
a) widok ogólny przyrządu pomiarowego, b) widok grzebienia sondy pomiarowej

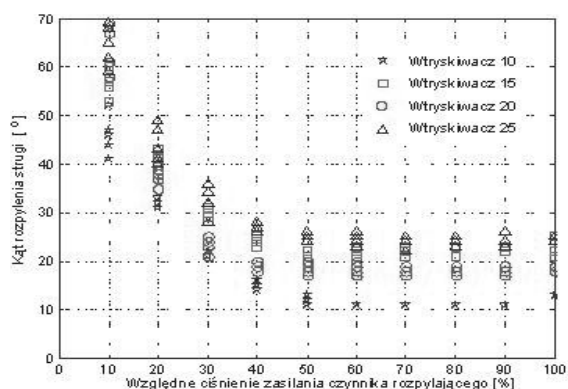
Fig. 3.4. Probe for research of axial and circumferential distribution of fluid stream sprayed by injector:
a) overall view of measuring instrument, b) the view of comb measuring probe

strugi wykorzystano paletę sond rurkowych przedstawioną na Rys. 3.4, którą zamocowano w komorze pomiarowej tak, że powierzchnia wlotu do palety sond znajdowała się w odległości 100 mm, a następnie 200 mm od wylotu z wtryskiwacza. Sonda została wykonana z dziewięciu „grzebieni”, które rozstawiono w równych odległościach - 15 mm. Przekrój wlotowy do pojedynczego kanalika sondy stanowi prostokąt o wymiarach 5 mm na 4 mm. Na grzebieniu naniesiona jest podziałka, a jej elementarna działka odpowiada objętości 0,075 ml słupa cieczy w rurce.

4. Plan badań oraz wyniki

4.1. Wpływ parametrów zasilających i geometrycznych na kąt rozpylenia strugi

Przy wykonywaniu badań przyjęto następującą metodykę badań wpływu parametrów zasilania na kąt rozpylenia strugi cieczy. Dla maksymalnego ciśnienia powietrza zasilającego wtryskiwacz (100% odpowiada 300 kPa) zmieniano strumień masy rozpylanej cieczy w zakresie od 10 % do 100% z krokiem 10 % (100% odpowiada $Q=0,7$ l/min). Następnie utrzymując maksymalny strumień masy rozpylanej cieczy zmieniano ciśnienie rozpylającego powietrza także z krokiem co 10% w zakresie od 10 do 100% wartości maksymalnej. Dla każdej nastawy parametrów zasilania po ustaleniu się warunków przepływu rejestrowano zdjęcia rozpylonej strugi cieczy za pomocą kamery CCD. Zestaw zdjęć poddano obróbce graficznej w programie COREL w celu określenia średniego kąta rozpylenia przy danym ustawieniu parametrów zasilających. Na rys. 4.1 i 4.2 przedstawiono charakterystyki zmiany kąta rozpylenia w zależności od parametrów zasilających.



Rys. 4.1 Kąt rozpylenia strugi dla maksymalnego wydatku rozpylanej cieczy w zależności od względnego ciśnienia zasilania czynnika rozpylającego

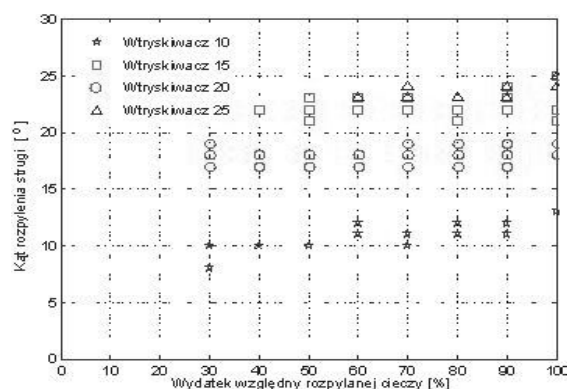
Fig. 4.1. Spray angle of stream for maximum fluid flow depending on relative feed pressure of spray medium

combs between which spacing was 15 mm. The inlet section of the one probe is a rectangle at dimensions 5 mm to 4 mm. Each probe has scale and minimum graduation equals volume 0,075 ml column of liquid on the pipe.

4. Research plan and results

4.1. The influence of feed and geometrical parameters on spray angle of droplet stream

During performing of research the following methodology of research the influence of feed parameters on spray angle of the fluid was being taken. For maximum air pressure which feeds the injector (100% equals 300 [kPa]) the fluid flux of atomized fluid within the range of 10 % to 100% with step of 10 % was being changed (100% equals $Q=0.7$ [l/min]), next by keeping maximum fluid flux the pressure of the air used to atomized within the range of 10% to 100% with step of 10 % was being changed. For each setpoint of feed parameters, after reach steady state conditions shots of atomized stream by CCD camera was stored. The set of shots had been analysed by COREL software to determine mean spray angle at known set of feed parameters. Characteristics of change spray angle depending on feed parameters were showed on fig. 4.1 and 4.2.



Rys. 4.2. Kąt rozpylenia strugi dla maksymalnego ciśnienia zasilania czynnika rozpylającego w zależności od względnego wydatku rozpylanej cieczy

Fig. 4.2. Spray angle of stream for maximum feed pressure of spray medium depending on relative discharge of sprayed fluid

Analiza statystyczna zależności kąta rozpylenia od zmiany ciśnienia zasilania powietrzem i kątów zawirowania wkładek wtryskiwacza pozwoliła przedstawić relację pomiędzy badanymi parametrami w postaci wyrażenia:

$$\alpha = 25,902 - \frac{210,65}{x} + \frac{457,88}{y} \quad (1)$$

gdzie: x – względne ciśnienie zasilania powietrza w [%],
 y – kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza w [°]

Badania relacji pomiędzy kątem rozpylenia strugi a strumieniem masy rozpylanej cieczy i kątami zawirowania wkładek pozwoliły na wyznaczenie następującej zależności:

$$\alpha = 2,245 + 0,876x + 0,017y \quad (2)$$

gdzie: x – kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza w [°], y – względny wydatek cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz w [%].

2.2. Wpływ parametrów zasilających na rozkład kropeł w strudze cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz

Badania rozkładu kropeł w strudze cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz wykonane zostały dla wtryskiwacza z wkładkami zawirowującymi o kącie zaklinowania 25° przy nastawach: względne ciśnienie powietrza zasilającego 10%, 20% i 30% oraz względny wydatek wody od 60% do 100%. Przy mniejszych strumieniach masy cieczy nie uzyskiwano poprawnego kąta rozpylenia, dlatego w tym zakresie nie badano rozkładu strugi cieczy. Procedura pomiarowa polegała na umieszczeniu palety sond pomiarowych w odległości 100 mm od wylotu wtryskiwacza. Przez 10 s pracy wtryskiwacza wloty sondy były otwarte, następnie przysłaniano je i wyłączano pracę wtryskiwacza. Paletę sond rozkładano na pojedyncze grzebienie sond i fotografowano rozkład słupków cieczy, jakie zbierały się wewnątrz każdej rurki grzebienia sondy. Ze względu na zbliżony do osiowosymetrycznego charakter otrzymanych rozkładów kropeł, dokonano uśrednienia otrzymanych wyników po okręgach. Otrzymana zależność uśrednionego rozkładu względnej gęstości strumienia cieczy od promienia może być przedstawiona zależnością:

$$\bar{q} = \frac{l}{a + b \cdot R^3} \quad (3)$$

gdzie: \bar{q} – względna gęstość rozkładu strumienia cieczy, R – promień [mm], a , b – współczynniki regresji.

Przeprowadzona analiza wyników nie pozwoliła na jednoznaczne wskazanie jak zmienia się rozkład gęstości strumienia ze zmianą wydatku cieczy lub ciśnienia powietrza zasilającego wtryskiwacz. Przykładowo na rys. 4.3 przedstawiono zależność względnej gęstości rozkładu cieczy dla względnego ciśnienia powietrza 10% i 30%

The statistical analysis of relationship of spray angle to change of air feed pressure and swirl angle of swirled blades allows showing relation between those parameters as formula:

$$\alpha = 25,902 - \frac{210,65}{x} + \frac{457,88}{y} \quad (1)$$

where: x – relative feed air pressure in [%], y – swirl angle of injector blades in [°]

The research of relationship between spray angle with fluid flux of atomized liquid and swirl angles of swirled blades allows determining following formula:

$$\alpha = 2,245 + 0,876x + 0,017y \quad (2)$$

where: x – swirl angle of swirled blades in [°],
 y – relative fluid flux of atomized liquid in [%].

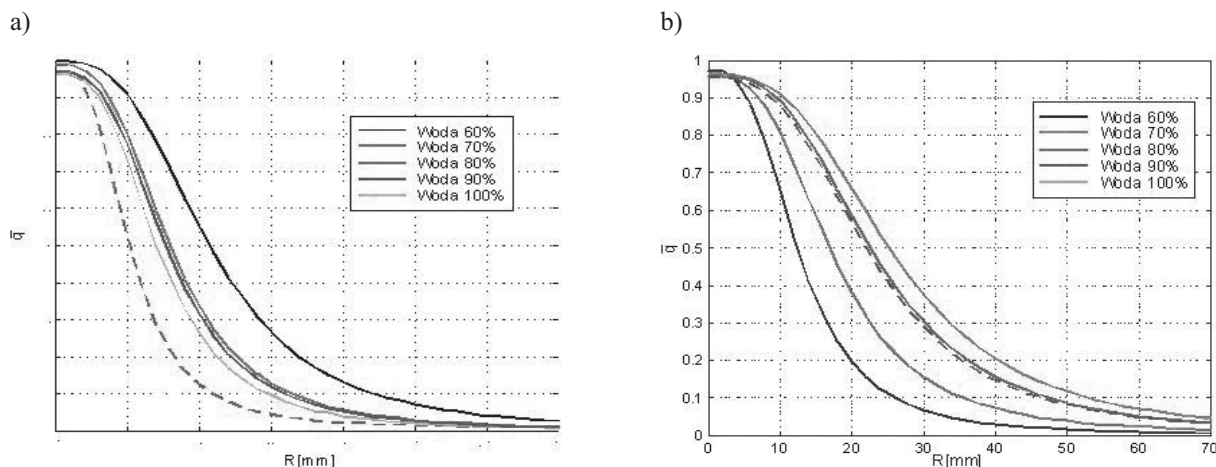
2.2. The influence of feed parameters on droplet distribution in liquid stream sprayed by injector

The research of droplet distribution in fluid stream atomized by injector was done for injector with swirl blades at blade incidence angle 25° at setting: relative feed air pressure 10%, 20% i 30% and relative fluid flow from 60% to 100%. At smaller fluid flux of the atomized fluid the proper spray angle was not reached, therefore on this range the distribution of fluid stream was not investigated. The measure procedure depended on putting the measuring probe pallet on distance 100 mm from outlet of injector. For 10 s work of injector the inlets of probes was opened next obscured them and turn off the work of injector. The measuring probe pallets were being decomposed on each probe comb and the distributions of liquid columns were being photographed. For the sake of distribution of droplets close to axisymmetric the average of results to circular distribution was affected. The obtained relationship of average distribution of relative fluid flux to radius is showed by relation:

$$\bar{q} = \frac{l}{a + b \cdot R^3} \quad (3)$$

where: \bar{q} – relative fluid flux of liquid stream,
 R – radius [mm], a , b – regression coefficients.

The carried analysis of results wasn't allow on unique indication how change distribution of flux density on influence of fluid flux or air pressure. The example of relationship of relative flux density distribution for relative air pressure 10% and 30% was shown on fig. 4.3.



Rys. 4.3. Zależność uśrednionego rozkładu promieniowego względnej gęstości strumienia cieczy dla różnych względnych wydatków cieczy a) dla względnego ciśnienia powietrza 10%, b) dla względnego ciśnienia zasilania powietrza 30%

Fig. 4.3. Dependence of average radial distribution of relative flux density for different relative fluid flows a) for relative air pressure 10%, b) for relative feed air pressure 30%

5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie badań kąta rozpylenia wtryskiwacza stwierdzono, że istotnie na ten parametr wpływa zmiana strumienia masy powietrza rozpylającego. Wzrost strumienia masy powietrza powodował zmniejszenie kąta rozpylenia strugi cieczy. Natomiast gdy względne ciśnienie powietrza zasilającego przekroczyło 40%, gdzie strumień masy powietrza ustalał się na stałym poziomie, co odpowiadało wydatkowi krytycznemu, kąt prawie się nie zmieniał, a jego wartość była tym większa, im większy był kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza. Na podstawie przeprowadzonej analizy przepływu przez wtryskiwacz postawiono hipotezę, że gdyby stosunek strumienia masy powietrza kanału zewnętrznego do wewnętrznego był mniejszy od jedności (dla badanego wtryskiwacza wynosił on ok. 2,4), to zależność kąta rozpylenia od wydatku powietrza rozpylającego byłaby odwrotna.

Zmiana strumienia masy rozpylanej cieczy praktycznie nie wpływa na kąt rozpylenia strugi. Przeprowadzone badania kąta rozpylenia strugi pozwoliły zauważyć dodatkowe cechy wtryskiwacza zależne od parametrów zasilania. Stwierdzono, że ze wzrostem kątów zawirowania wkładek wtryskiwaczy dla ustalonego strumienia masy powietrza wzrasta wartość minimalnego strumienia masy rozpylanej cieczy, od której wtryskiwacza pracuje stabilnie.

Badania rozkładu strugi pozwoliły stwierdzić, że maksymalna gęstość strumienia występuje w osi wtryskiwacza i zmniejsza się wraz z oddalaniem od niej. Kształt rozkładu jest prawie osiowoosymetryczny, co pozwoliło przejść do analizy w ujęciu dwuwymiarowym zależności gęstości rozkładu od promienia. Jednakże próby znalezienia korelacji pomiędzy parametrami zasilania i rozkładem strumienia cieczy

5. Summary and conclusions

On the basis of research of spray angle was found that fundamentally the change of fluid flux of air has an influence on this parameter. The increase of fluid flux of air caused a decrease of spray angle of atomized fluid stream. Whereas relative air pressure exceeded 40%, where air fluid flux was established on stable value (which met critical fluid flux) the spray angle had a constant value and its value was increased when swirl angle of blades was increased. On the basis of carried flow analysis through by injector was putting forward a hypothesis that if ratio of external fluid flux to internal fluid flux was smaller than unit (for considered injector it is 2.4) then a dependence of spray angle as a function of air fluid flux could be reverse.

The change of fluid flux of atomized stream practically doesn't have any influence on spray angle of this stream. The leaded researches allow noticing additional features depended on feed parameters. It was found that on increase the swirl angle of blades for steady state of air fluid flux, a minimum value of atomized fluid flux at which the injector was working stable, was being increased.

The researches of stream distribution allow to found, that maximum flux density is occurred on the injector axis and is decreased as far from axis. The shape of distribution is axisymmetric, which allows to go to analysis as two-dimensional dependence of flux density to radius. However an attempt to find correlation between feed parameters and fluid flux distribution wasn't brought satisfactory results at this stage of research, whereas some noticeable correlations require further research to explain a phenomenon.

nie przyniosły zadawalającego na tym etapie badań rezultatu. Natomiast pewne zauważone korelacje wymagają dalszych badań w celu ich wyjaśnienia.

6. References

- [1] Chuech S. G-K., Przekwas A. J., Wang C-Y.: *Numerical modeling of atomization coaxial liquid/gas jets*, Journal of Marine Science and Technology, vol. 12, no. 4, p. 290-299, 2004.
- [2] Orzechowski Z., Prywer J.: *Rozpylanie cieczy*, WNT, Warszawa 1991.
- [3] Orzechowski Z., Prywer J.: *Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych*, WNT, Warszawa 1994.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN nr 5T12D 027 24
This work has been performed as the part of research project financed by State Committee for Scientific Research no. 5T12D 027 24

Mgr inż. Adam KONIECZNY

WSK „PZL-Rzeszów” S.A.

Ul. Hetmańska 120, 35-078 Rzeszów

tel. +48 17 854 6141, fax. +48 17 854 00 57

e-mail: Adam.konieczny@wskrz.com

Prof. dr hab. inż. Marek ORKISZ

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Katedra Samolotów i Silników Lotniczych

35-021 Rzeszów Ul. Powstańców Warszawy 8

tel. +48 17 865 1444, fax. +48 17 854 3116

e-mail: mareko@prz.rzeszow.pl

SYGNAŁY SŁABYCH INTERAKCJI MIĘDZYOBIEKTOWYCH W DIAGNOSTYCE WYCIEKÓW Z RUROCIĄGÓW

SIGNALS OF WEAK INTEROBJECT INTERACTIONS IN DIAGNOSING OF LEAKAGES FROM PIPELINES

Praca dotyczy diagnozowania wycieków z rurociągów. Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że rurociągi są obiektami o słabej podatności diagnostycznej, co ma zasadniczy wpływ na skuteczność diagnozowania wycieków. Powstał zatem problem polepszania podatności diagnostycznej rurociągów. Jego rozwiązaniem jest proponowana metoda polepszania podatności diagnostycznej rurociągów, umownie nazwana metodą słabych interakcji międzyobiektywnych. Istotą metody jest pozyskiwanie nowej informacji diagnostycznej, którą są mierzalne sygnały oddziaływań, wynikające z pracy obiektu badawczego (korektora) – dołączonego do diagnozowanego obiektu (rurociągu). Na przykładzie prezentowanych wyników badań eksperymentalnych, pokazano, że dzięki tej nowej informacji diagnostycznej można uzyskać polepszenie podatności diagnostycznej rurociągów, a stad zwiększenie skuteczności diagnozowania wycieków realizowanego dotychczasowymi metodami.

Słowa kluczowe: rurociągi, diagnozowanie wycieków, podatność diagnostyczna

This work concerns diagnosing of leakages from pipelines. Operation practice shows that pipelines are the objects of weak diagnostic susceptibility, which has a basic influence on the efficacy of their diagnosis. Therefore, there is a problem of improving their diagnostic susceptibility. To solve this problem, it is advisory to use the method of improving diagnostic susceptibility of pipelines, conventionally named the method of weak interobject interactions. The essence of this method is acquiring new diagnostic information, which is measurable signals of interactions resulting from the work of a testing object (corrector) joined to a diagnosed object (pipeline). On the example of results of the experimental research it has been shown that thanks to this new diagnostic information it is possible to improve the diagnostic susceptibility of pipelines, and, thus increase the efficacy of diagnosing of leakages conducted by means of the methods used hitherto.

Keywords: pipeline, leak detection, diagnostic susceptibility

1. Wstęp

Diagnozowanie nieszczelności i wycieków stanowi istotne zagadnienie eksploatacji wielu obiektów technicznych. Szczególnego znaczenia nabiera w przypadku takich obiektów jak rurociągi, a zwłaszcza te typu przesyłowego, gdzie wycieki mogą prowadzić do powstawania dużych strat ekonomicznych (związanych z utratą tłoczonego produktu i usuwaniem skutków skażenia środowiska) oraz powodować zagrożenie życia ludzkiego.

Spośród wielu rozwiązań powszechne zastosowanie na rurociągach znalazły głównie metody oparte o wykorzystanie standardowych sygnałów pomiarowych wewnętrznych parametrów przepływu (ciśnienia, natężenia przepływu), określane w literaturze jako metody wewnętrzne.

1. Introduction

Diagnosing of the absence of leak tightness and leakages is an essential problem in the exploitation of many technical objects. It is particularly important in the case of objects such as pipelines, especially those of a transmission type, where leakages can lead to large economic losses (connected with the loss of the forced product and removing the results of environmental contamination) as well as be hazardous to human life.

Among numerous solutions, the ones which are widely used in pipelines are mainly those methods which are based on the use of standard measuring signals of flow internal parameters (pressure, flow rate), described in the literature as internal methods

Należy mieć jednak na uwadze, że praktyczna realizacja takiego procesu diagnozowania wycieków jest problemem złożonym i skomplikowanym, a to ze względu m.in. na duże rozmiary rurociągów oraz złożoną dynamikę procesu tłoczenia. Na skuteczność diagnozowania istotny wpływ ma ponadto podatność diagnostyczna badanego obiektu, która jest ściśle powiązana z możliwością pomiaru dostępnej informacji diagnostycznej.

Jeżeli zatem, w dotychczasowej działalności diagnostycznej zakłada się, że ocena stanu eksploatowanych obiektów związana jest jedynie z sygnałami diagnostycznymi, które są bezpośrednio z nimi (z ich działaniem) związane – oznacza to, że często pojawia się niedobór informacji powodujący zmniejszenie skuteczności diagnozowania. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku diagnozowania wycieków z rurociągów przy użyciu metod wewnętrznych (opartych o sygnały diagnostyczne bezpośrednio wynikające z pracy obiektów). Potwierdzają to uzyskiwane wyniki, gdzie dla istniejących rozwiązań diagnozowania (metod wewnętrznych) możliwe jest identyfikowanie jedynie znacznych wycieków i lokalizowanie ich ze zgrubną dokładnością. Powstaje zatem problem polepszenia podatności diagnostycznej rurociągów.

Efektywnym sposobem polepszenia podatności diagnostycznej rurociągów może być nowa opracowana metoda, nazwana metodą słabych interakcji międzyobiektowych. Idea proponowanej metody zakłada pozyskiwanie nowych sygnałów diagnostycznych (informacji diagnostycznej), które nie są z obiektem (jego działaniem) bezpośrednio związane. Dzięki tej nowej informacji diagnostycznej zaistniała realna możliwość zwiększenia skuteczności diagnozowania wycieków, realizowanego dotychczasowymi metodami.

2. Ogólna charakterystyka diagnozowania wycieków przy wykorzystaniu metod wewnętrznych

2.1. Zakres zadań i istota diagnozowania

Diagnozowanie wycieków (przecieków) z rurociągów obejmuje następujący zakres zadań (elementów):

- wykrycie (detekcję) zaistniałego przecieku,
- ustalenie miejsca (lokalizację, izolację) zaistniałego przecieku,
- oszacowanie tempa (natężenia) zaistniałego przecieku lub dodatkowo oszacowanie ilości medium, które wypłynęło z rurociągu.

W przypadku zastosowania metod wewnętrznych, istotą takiego diagnozowania jest odpowiednie przetwarzanie informacji diagnostycznej w postaci wywołanych przez zjawisko wycieku zmian sygnałów wewnętrznych parametrów przepływu, tj.: sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu.

However, it has to be taken into consideration that practical realization of such methods of diagnosing of leakages is a complex and complicated problem due to pipelines' large size and the complex dynamics of the pressing process. The efficacy of diagnosing is significantly influenced by diagnostic susceptibility of a tested object, which is closely connected with possibility of measurement of available diagnostic information.

So, if in the current diagnostic activity it has been assumed that evaluation of maintenance status of exploited objects connect with diagnostic signals only which are directly connected with objects (with their working) – it means that we can frequently observe a deficit of diagnostic information causing the decrease of efficacy of the diagnosing. A similar situation takes place when leakages from pipelines are diagnosed with the use of internal methods (based on diagnostic signals directly resulting from the objects' working). It has been confirmed by the results obtained, where it is possible for the existing methods of diagnosing (internal methods) to identify only large leakages and locate not very accurately. Therefore, arises a problem of improving diagnostic susceptibility of pipelines.

The effective way of improving diagnostic susceptibility of pipelines is a newly elaborated method, named the method of weak interobject interactions. The idea of the proposed method assumes receiving new diagnostic signals (diagnostic information), which are not directly connected with the object (its working). Thanks to this new diagnostic information, there is a real possibility to increase the efficacy of diagnosing of leakages, realized by means of the methods used hitherto.

2. General characteristics of diagnosing of leakages using internal methods

2.1. The scope of tasks and the essence of diagnosing

Diagnosing of leakages (leaks) from pipelines comprises the following scope of tasks (elements):

- detecting the existing leakage,
- determining the place (localization, isolation) of the existing leakage,
- evaluating the flow rate (intensity) of the existing leakage or, additionally, estimating the volume of medium which has left the pipeline.

In the case of using internal methods, the essence of such diagnosing is the proper processing of diagnostic information in the form of changes of signals of internal flow parameters caused by the leakage (i.e. pressure and flow rate signals).

It should be added that changes of the signals of pressure and flow rate can be caused by many

Należy dodać, że zmiany sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu mogą być spowodowane przez wiele innych zjawisk, nie związanych bezpośrednio z wyciekami. Stąd w procesie diagnozowania wycieków powinny być one odpowiednio rozpoznane, tak aby nie skutkowały generowaniem fałszywych alarmów.

2.2. Praktyczna realizacja diagnozowania – systemy LDS

Obecnie istnieje wiele rozwiązań metod wewnętrznych. Za ich praktyczną realizację odpowiadają instalowane na rurociągach systemy diagnostyczne, określane w literaturze jako wewnętrzne LDS (leak detection systems). Systemy takie opracowuje się, wykorzystując kilka metod wewnętrznych, gdzie poszczególne metody z reguły odpowiadają za realizację jednego z zadań wymienionych w punkcie 2.1. Spotyka się też rozwiązania, gdzie pojedyncza metoda odpowiada za realizację wszystkich zadań lub, gdzie poszczególne zadania realizowane są przez kilka weryfikujących się wzajemnie metod.

W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że wewnętrzne systemy LDS, nie realizują występującego w definicji metody diagnozowania [6] pełnego zakresu badania diagnostycznego (etapu pozyskiwania sygnałów diagnostycznych), a ograniczają się jedynie do zakresu wnioskowania diagnostycznego (etapu analizy sygnałów i wypracowywania diagnozy).

Sygnały zmiennych procesowych (ciśnienia, natężenia przepływu) importowane są bowiem do wewnętrznych LDS z powszechnie instalowanych na rurociągach systemów typu SCADA, wykorzystywanych do monitorowania, regulacji i sterowania przebiegu procesu tłoczenia.

Pomiary tych zmiennych procesowych, przy użyciu przetworników, zasadniczo dokonuje się na początku i na końcu rurociągu. Poza tym, dodatkowe punkty pomiaru ciśnienia rozmieszcza się wzdłuż trasy rurociągu. Poszczególne punkty pomiarowe dzielą zatem dość znaczne odległości.

Dane pomiarowe do wewnętrznych LDS dostarczane są w postaciach cyfrowych, przy czym powinny one docierać w sposób okresowo ciągły (z określoną częstotliwością próbkowania) i bez znaczących opóźnień. Pomimo korzystania z najnowszych technologii, przy tak znacznych odległościach, układy pomiarowe systemów SCADA rurociągów przesyłowych nie są jednak całkowicie odporne na zakłócenia, w tym na błędy związane z transmisją danych. Dodatkowo źródłem błędów mogą być procesy przetwarzania wielkości mierzonych. Stąd też, o ile jest to możliwe, wskazane jest ograniczenie liczby punktów pomiarowych.

other phenomena not related directly to the leakage. Therefore, in process of diagnosing of leakages these phenomena should be identified so that they could not result in generating the false alarms.

2.2. Practical realization of diagnosing – LDS systems

At present there are many solutions of internal methods. The diagnostic systems, installed on pipelines, described in the literature as internal LDS (leak detection systems), are responsible for their practical realization. These systems are constructed on the base of the use of several internal methods, where particular methods are, as a general rule, responsible for realization of one of the tasks (mentioned in section 2.1). There are also solutions, where particular tasks are realized by means of several methods verifying each other.

It should be underlined that internal LDS systems do not realize the full range of diagnostic research (the stage of receiving diagnostic signals), present in the definition of the diagnostic method [6], but are only limited to the range of diagnostic conclusion (the stage of signal analysis and making a diagnosis).

The signals of process variables (pressure, flow rate) are imported to internal LDS from SCADA systems, commonly installed on pipelines and used for monitoring, regulation and control of the process of pumping.

The measurement of these process variables by means of transducers is basically conducted at the input (beginning) and at the output (end) of the pipeline. Moreover, there are additional points measuring pressure located along the pipeline and, therefore, individual measuring points are rather distant from each other.

Measuring data for internal LDS is delivered in a digital form, furthermore, it should be given in a periodically continuous way (with specified frequency sampling), and without any significant delays. Despite the use of the latest technology, because of such large distances, measuring systems of SCADA are not fully resistant to disturbances, especially to errors connected with data transmission. Additionally, the processing of measured variables can also become a source of errors. Hence, as far as it is feasible, it is advisable to limit the number of measuring points.

3. Metoda słabych interakcji między obiektowych

1.1. Idea metody

Proponowana metoda opiera się na wykorzystaniu zasad funkcjonowania układów korekcyjnych stosowanych w automatyce.

Zgodnie z zasadami automatyki, działanie wielu złożonych obiektów technicznych (w tym rurociągów), w praktyce może być opisane – transmitancją [6, 10, 12]. Oznacza to, że dla takich obiektów można otrzymać następującą zależność:

$$Y = HZ \quad (1)$$

gdzie: H – transmitancja obiektu; Z – transformata zakłócenia z wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) y obiektu.

Analizując wzór (1) nietrudno dojść do wniosku, że praktycznie rzecz biorąc zmiany dostępnego sygnału Y mogą wynikać ze zmian stanu technicznego obiektu opisanego parametrami transmitancji H i/ lub ze zmian oddziaływania otoczenia na obiekt, reprezentowanego tu przez sygnał Z . Taka właśnie sytuacja jest charakterystyczna dla niepodatnych diagnostycznie obiektów technicznych (w tym rurociągów) – diagnosta dysponuje jednym równaniem z dwiema niewiadomymi, zatem problem diagnozowania takiego obiektu staje się niemożliwy do jednoznacznego rozwiązania.

Na rysunku 1 pokazano ten sam obiekt techniczny z dołączonym elementem korekcyjnym – korektorem (o transmitancji G_k). Przy poprawnym dobraniu i dołączeniu do badanego obiektu, korektor będzie reagował na każdą zmianę parametrów konstrukcyjnych obiektu (wynikającą z zaistniałych uszkodzeń lub jego zużycia) odpowiednią zmianą funkcjonowania (przebiegu i kształtu sygnału M_k). Stąd na podstawie badania tylko zmian funkcjonowania korektora możliwa staje się ocena różnorodnych zmian zachodzących w obiekcie [4, 5, 6, 7, 8].

Zgodnie z zasadami automatyki dla układu (rys. 1) otrzymuje się następujące relacje między sygnałami:

$$\begin{aligned} Y &= (Z - M_k)H \\ M_k &= (W - Y)G_k \end{aligned} \quad (2)$$

które po przekształceniach można doprowadzić do postaci:

$$\begin{aligned} Y &= ZH - WG_k H + YG_k H \\ M_k &= WG_k - ZG_k H + M_k G_k H \end{aligned} \quad (3)$$

Wyznaczając H z (2) i po podstawieniu do (3) uzyskuje się zależność (4) opisującą zakłócenie Z działające na obiekt (którym w tym przypadku jest wyciek) w funkcji dostępnych sygnałów: Y, W, M_k .

3. Method of weak interobject interactions

1.1. The idea of method

The proposed method is based on using of principles of functioning of the corrective systems used in automatics.

In practice, the operation of complex engineering systems (pipelines in it), according to the principles of the automatic control engineering (automatics), can be described with the transmittance [6, 10, 12]. It means, that the following relationship for such objects can be obtained:

$$Y = HZ \quad (1)$$

where: H – transmittance of object; Z – transmittance of disturbance z (transmittance of disturbance resulting from the effect of the environment upon the object); Y – transmittance of object's output (operational) signal y .

After having analyzed eq. (1), one can easily come to a conclusion that practically any change in the attainable signal Y can result from changes in the object's health/maintenance status described with parameters of the transmittance H and/or from changes in the environment's affecting the object, here represented by signal Z . Such a situation is characteristic of diagnostically unsusceptible engineering objects pipelines in it – a diagnostician can, in fact, use only one equation with two unknowns; hence, the problem of diagnosing such an object becomes impossible to be explicitly solved.

Such technical object with joined a testing object – corrector (of transmittance G_k) is shown in Figure 1. It is known that if an corrector is selected and joined correctly, it reacts on every change of the constructional parameters of the objects (resulting from ensuing damage or its wear) with a suitable change of performance (course and shape of a signal M_k). On the ground of research of changes in working of corrector only it is possible to estimate the various changes occur in object [4, 5, 6, 7, 8].

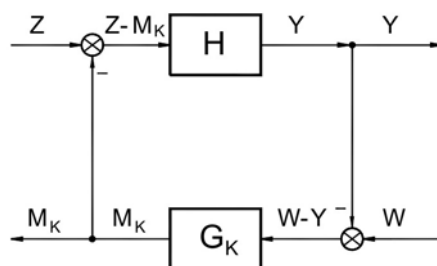
According to the principles of the automatic control engineering (Figure 1), the following relationships between signals can be obtained:

$$\begin{aligned} Y &= (Z - M_k)H \\ M_k &= (W - Y)G_k \end{aligned} \quad (2)$$

which after some transformations can reach the following form:

$$\begin{aligned} Y &= ZH - WG_k H + YG_k H \\ M_k &= WG_k - ZG_k H + M_k G_k H \end{aligned} \quad (3)$$

Determining H from (2) and after the substitution to (3) can obtain the form (4) describing disturbance Z affecting on the object (which can be e.g. leakage) in the function of attainable signals: Y, W, M_k .



Rys. 1. Układ z badanym obiektem o transmitancji H i dołączonym korektorem o transmitancji G_K : W – transformata wartości zadanej; M_K – transformata sygnału wyjściowego z korektora (sygnał słabej interakcji – oddziaływania G_K na H); Z – transformata zakłócenia wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) obiektu

Fig. 1. System with a tested object of transmittance H and a testing object of transmittance G_K : W – transmittance of pre-set value; M_K – transmittance of output signal from corrector (signal of a weak interaction – effect of G_K upon H); Z – transmittance of disturbance resulting from the effect of the environment upon the object; Y – transmittance of object's output (operational) signal

$$Z = \frac{G_K(G_K W^2 - YW - YM_K - WM_K + YM_K)}{G_K W - G_K Y - M_K} \quad (4)$$

$$Z = \frac{G_K(G_K W^2 - YW - YM_K - WM_K + YM_K)}{G_K W - G_K Y - M_K} \quad (4)$$

Zgodnie z powyższą zależnością i po uwzględnieniu, że sygnałem zadanym do korektora W jest wartość sygnału wyjściowego Y w chwili poprzedniej, zakłócenie (przeciek) może być identyfikowany bez znajomości transmitancji obiektu H , która wskutek powstałego uszkodzenia ulegała zmianie i jest nieznana.

According to the above relationship and after consideration, that the preset signal to the corrector W is the value of the output signal Y at the moment ago, the disturbance (leakage) can be identified without a knowledge of transmittance of object H , which resulting from ensuing damage changes and is unknown.

1.2. Koncepcja praktycznej realizacji metody

Praktyczna realizacja proponowanej metody polega na dołączeniu na początku i końcu diagnozowanego rurociągu dwóch korektorów badawczych o odpowiednio dobranych transmitancjach G_{1K} i G_{2K} . Dodatkowo dopuszcza się rozmieszczenie kilku takich korektorów wzdłuż rurociągu. Ich liczba będzie zależna m.in. od wielkości rurociągu. Schemat rurociągu z dołączonymi korektorami pokazano na rysunku 2.

Schemat rozwiązania konstrukcji korektorów przedstawia rysunek 3. Układy pomiarowe korektorów mierzą fluktuację przepływu pomiędzy badanym obiektem a korektorem. Pomiar ten dokonywany jest na elemencie typu kryza z użyciem czujnika różnicy ciśnień. Nastawa punktu pracy korektora (dostrajanie do sygnału z rurociągu) realizowana jest poprzez odpowiedni dobór: średnicy kryzy pomiarowej, przepony, ciśnienia w zasobniku, średnicy kryzy w kanale do zasobnika powietrznego. Taka konstrukcja korektora

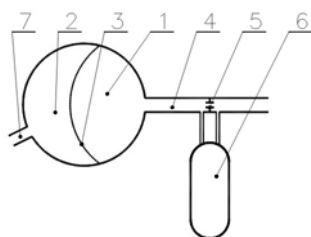
1.2. The conception of practical realization of the method

The practical realization of the proposed method consists in joining two testing correctors of suitably selected transmittances G_{1K} and G_{2K} – at the beginning and at the end of the tested pipeline. Additionally, it is also acceptable to locate several such correctors along the pipeline. Their number will depend, among other things, on the size of the pipeline. The scheme of the pipeline with the joined correctors is shown in Figure 2.

The scheme of the correctors' construction is shown in Figure 3. The measurement systems of the correctors measure the fluctuation of the flow between the tested object and the corrector. The measurement is conducted by means of the element type of the orifice with the use of the differential pressure transducer. The setting of the corrector's working point (tuning to the signal from the pipeline) is realized by the suitable selection of: the measuring orifice diameter, membrane, pressure in the accumulator, the orifice diameter in the



Rys. 2. Schemat diagnozowanego rurociągu z dołączonymi obiektami badawczymi (korektorami)
Fig. 2. Scheme of tested pipeline with joined additional testing objects (correctors)



Rys. 3. Schemat konstrukcji korektora: 1 – komora z cieczą; 2 – komora z powietrzem; 3 – przepona; 4 – kanał pomiarowy; 5 – kryza pomiarowa; 6 – czujnik różnicy ciśnień; 7 – kanał do zasobnika powietrza

Fig. 3. Scheme of construction of corrector: 1 – chamber with fluid; 2 – chamber with air; 3 – membrane; 4 – measuring flume; 5 – measuring orifice plate; 6 – differential pressure transducer; 7 – flume to air accumulator

powoduje znaczącą reakcję (zadziałanie korektora) w przypadku pojawienia się takich zjawisk, jak towarzyszące wyciekom zjawisko rozchodzenia się fal rozprężeniowych ciśnienia, szczególnie zaś fal o wyraźnie widocznych czołach, co ma miejsce w odniesieniu do nagłe¹, jak i tych nieco wolniej pojawiających wycieków.

Według przyjętych założeń, w oparciu o pozytywne sygnały słabych interakcji zostaną opracowane nowe procedury diagnozowania wycieków. Procedury te mają stanowić uzupełnienie już istniejących procedur bazujących na sygnałach ciśnienia, i mają być ukierunkowane na wykrywanie i lokalizowanie przecieków.

4. Zastosowanie sygnałów słabych interakcji w diagnostyce wycieków z rurociągów

4.1. Stanowisko badawcze

Proponowana metoda słabych interakcji została poddana eksperymentalnej weryfikacji. Przeprowadzono ją w warunkach laboratoryjnych na stanowisku badawczym z rurociągiem modelowym o średnicy 34 mm i długości 380 m, którym tłoczono wodę. Schemat stanowiska pokazano na rysunku 4, natomiast na rysunku 5 przedstawiono widok rurociągu modelowego.

Rurociąg modelowy, podobnie jak rzeczywiste obiekty wyposażono w odpowiednie standardowe przyrządy i przetworniki, umożliwiające pomiar ciśnienia, natężenia przepływu i temperatury. Przy czym pomiar tych wielkości dokonywany jest na wlocie

flume of the air accumulator. Such construction of the corrector activates a significant reaction (the correctors' performance) in the case when situations such as the effect of propagation of expanded pressure waves appears (result in the leakage), and, particularly, the waves of clearly visible fronts, which happens when sudden or a little slower leakage takes place.

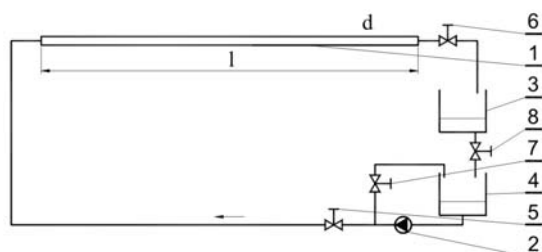
According to the accepted assumptions, on the basis of the newly received signals of weak interactions, the new procedures of diagnosing of leakages will be elaborated. These procedures should be a supplement to the existing procedures which base on the signals of pressure, and should be directed at detecting and locating the leakage.

4. The application of the signals of weak interactions in diagnosing of leakages from pipelines

4.1. The laboratory model station

The proposed method of weak interactions has been verified experimentally. It has been conducted in laboratory conditions on a pipeline model station with a 380-metre long model pipeline of a diameter 34 mm with water as a pressed medium. The scheme of the model station is shown in Figure 4, whereas Figure 5 presents view of the pipeline model station.

The physical model of pipeline, similarly to the real objects, was equipped with suitable standard devices and transducers permitting the measurement of pressure, flow rate and temperature. The measurement of these variables is conducted at the input (beginning) and the output (end) of the pipeline. In



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego: 1 – rurociąg modelowy; 2 – pompa o zmiennym wydatku; 3, 4 – zbiorniki; 5, 6 – stacje zaworów regulacyjnych; 7 – zawór regulacyjny małego obiegu; 8 – zawór regulacyjny upustu

Fig. 4. Scheme of model station: 1 – pipeline; 2 – pump with variable delivery; 3, 4 – tanks; 5, 6 – stations of control valves; 7 – control valve of small circulation; 8 – control valve of bleed

¹ Nagły wyciek (przeciek) – jego natężenie osiąga wartość nominalną w krótkim czasie od momentu pojawienia się wycieku. Większość wycieków z rurociągów przesyłowych kwalifikuje się do kategorii nagłych.

²Sudden leak (leakage) - its flow rate reaches the nominal value in a short period of time from the moment of the occurrence. Most of the leakages from transmission pipelines can be qualified as sudden.

i wylocie rurociągu, a w przypadku ciśnienia dodatkowo w czterech punktach wzdłuż jego długości.

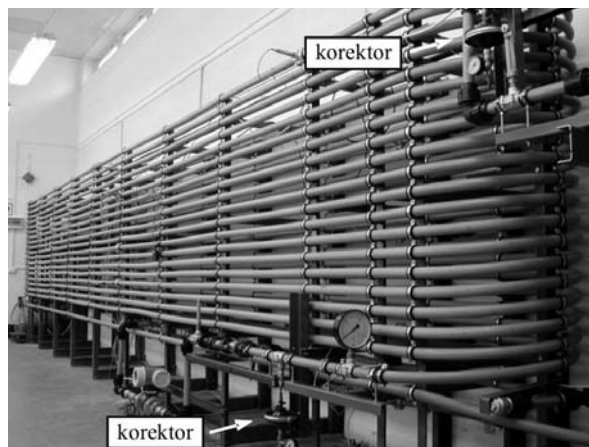
Korektory badawcze do wywoływania sygnałów słabych interakcji zostały zamontowane na początku i na końcu rurociągu, w bliskim sąsiedztwie punktów pomiaru ciśnienia.

Informacje na temat poszczególnych urządzeń pomiarowych i ich lokalizacji zestawiono w tabeli 1.

the case of the pressure additionally in four points along the pipeline.

The testing correctors for exciting the signals of weak interobject interactions have been installed at the input and the output of the pipeline, near the pressure measuring points.

The information concerning particular measuring devices and their localization is compiled in Table 1.



Rys. 5. Widok rurociągu modelowego i zamontowanych korektorów
Fig. 5. View of the pipeline and installed correctors

Tab. 1. Charakterystyki standardowych urządzeń pomiarowych i korektorów badawczych
Tab. 1. Characteristics of standard measuring devices and testing correctors

Rodzaj urządzenia Type of device	Przetworniki ciśnienia Pressure transducers	Przepływomierze elektromagnetyczne Electromagnetic flow meters	Korektory badawcze Testing correctors
charakterystyka characteristics	zakres pomiar.: measuring range: 0÷10 [bar] dokładność: accuracy: 0,1 [%] zakresu/ of range	zakres pomiar.: measuring range: 0÷200 [l/min] dokładność accuracy: 0,2 [%] zakresu/ of range	czujniki różnicy ciśnień: differential pressure transducers: MK1 zakres pomiar. / measuring range: -0,5÷0,5 [bar] dokładność / accuracy 0,2 [%] zakresu/ of range MK2 zakres pomiar. / measuring range -0,5÷0,5 [bar] dokładność / accuracy 0,2 [%] zakresu/ of range
współrzędna lokalizacji [m] coordinate of location [m]	$P_1 = 1; P_3 = 75; P_4 = 141;$ $P_5 = 281; P_6 = 355; P_2 = 378$	$Q_1 = -6; Q_2 = 382,2$	$M_{K1} = -3; M_{K2} = 379,2$

4.2. Badania z symulowanymi wyciekami

Zgodnie z przyjętym programem badań, po optymalnym dostrojeniu zamontowanych na rurociągu modelowym korektorów, przeprowadzono kilka serii eksperymentów diagnostycznych z symulowanymi wyciekami.

14.2. Research with simulated leakages

In accordance with the accepted program of research, after the optimal tuning of the correctors joined to the pipeline model station, several series of diagnostic experiments with simulated leakages were conducted.

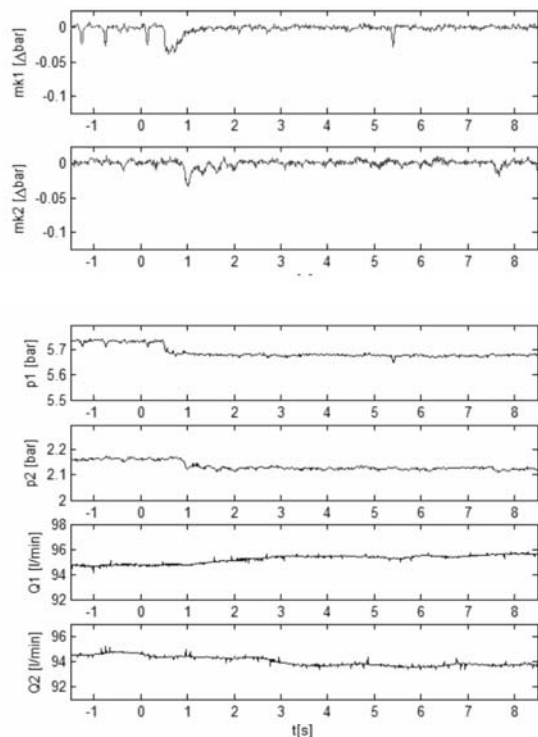
Prezentowane w pracy wyniki dotyczą zasadniczej serii badań, przeprowadzonej przy następujących warunkach pracy rurociągu: stabilnym ustalonym przepływie medium, 90 % wydatku pompy, dławieniu przepływu na końcu rurociągu, oraz niżej określonych nominalnych wartościach parametrów przepływu:

- ciśnieniu na wlocie rurociągu - około 5,7 bar,
- ciśnieniu na wylocie rurociągu - około 2,2 bar,
- natężeniu strumienia Q_0 - około 95 l/min,
- temperaturze medium - w przedziale 19÷24,5 °C.

Badania w tej serii obejmowały symulowanie wycieków o wielkościach 1÷8 % nominalnego natężenia przepływu, w pięciu wybranych punktach rurociągu modelowego o współrzędnych: 115, 155, 195, 235, 275 m. Przy czym były to wycieki nagłe, zadawane poprzez bardzo szybkie otwarcie zaworu kranika upustowego.

4.3. Nowo pozyskane sygnały diagnostyczne – sygnały słabych interakcji

Przykładowe przebiegi nowych sygnałów diagnostycznych – sygnałów słabych interakcji, uzyskane dla 2 % i 4 % wielkości wycieków, symulowanych w punktach o współrzędnych 115 i 275 m pokazano na rysunkach 6 i 7. Dodatkowo, celem porównania, na każdym z rysunków przedstawiono przebiegi standardowych sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu



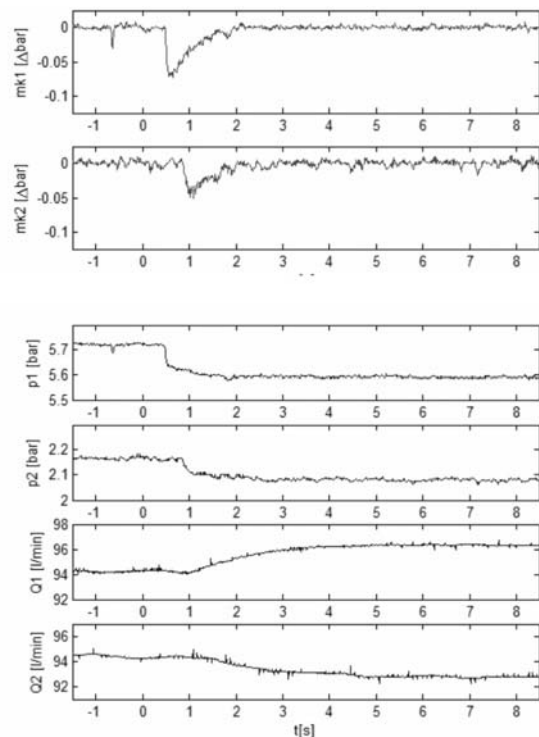
The results presented in this work are related to the main series of research conducted with the following conditions of the pipeline working: stable steady flow of the medium, delivery of the pump on the level 90 %, flow throttling at the end of the pipeline; and the following nominal value of the flow parameters:

- pressure at the inlet of the pipeline - about 5.7 bar,
- pressure at the outlet of the pipeline - about 2.2 bar,
- rate of the flow Q_0 - about 95 l/min,
- temperature of the medium - in range 19÷24.5 °C.

The research in this series comprised simulated leakages at the volume of about 1÷8 % of the nominal value of the flow at the selected five points of the pipeline model station of coordinates: 115, 155, 195, 235, 275 m. The leakages were simulated suddenly, by very fast opening of the valve of the bleeder tap.

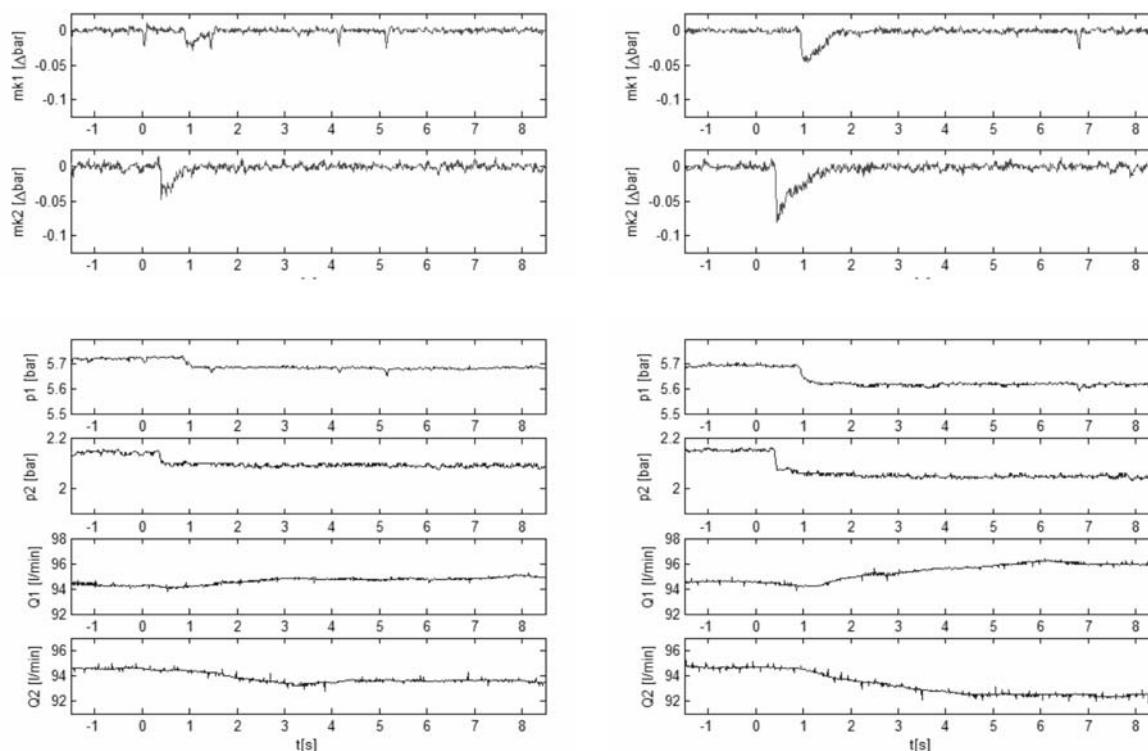
4.3. The newly received diagnostic signals – the signals of weak interactions

The exemplary courses of new diagnostic signals – the signals of weak interactions, received for the 2 % and 4 % of the volume of the leakages, simulated in the points about coordinates 115 and 275 are shown in Figure 6 and 7. In addition, for comparison, each Figure shows the courses of the standard signals of



Rys. 6. Przebiegi sygnałów m_{K1} , m_{K2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 dla 2 % i 4 % wycieków zadanych na 115 m; gdzie „0” na osi czasu oznacza początek wycieku (moment otwarcia zaworu kranika upustowego)

Fig. 6. Courses of signals m_{K1} , m_{K2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 for 2 % and 4 % leakages simulated in 115 m; where „0” on time axis means the beginning of the leakage (moment of opening the valve of a bleeder tap)



Rys. 7. Przebiegi sygnałów m_{k1} , m_{k2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 dla 2% i 4% wycieków zadanych na 275 m; gdzie „0” na osi czasu oznacza początek wycieku (moment otwarcia zaworu kranika upustowego)

Fig. 7. Courses of signals m_{k1} , m_{k2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 for 2% and 4% leakages simulated in 275 m; where „0” on time axis means the beginning of the leakage (moment of opening the valve of a bleeder tap)

(zmierzone w najbliższym sąsiedztwie punktów zamontowania korektorów).

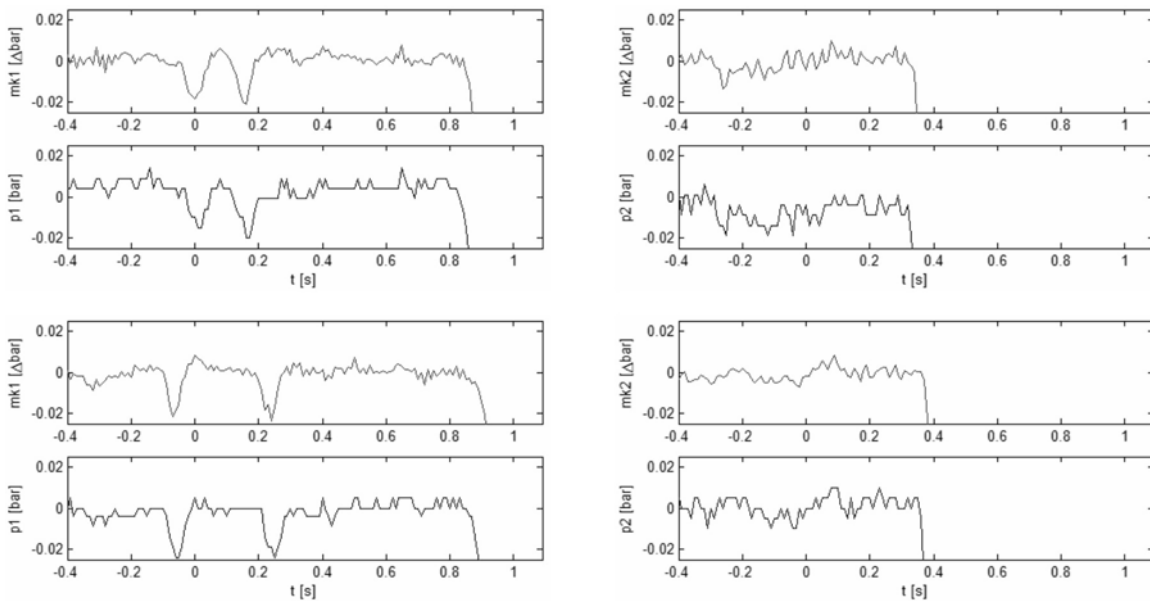
Dokonana analiza sygnałów słabych interakcji, oparta na ich porównaniu z sygnałami ciśnienia – potwierdziła, że cechuje je pełna wiarygodność. Porównanie takie przedstawia rysunek 8, gdzie jest widoczne, że sygnały z obu korektorów wykazują identyczne przebiegi (trendy zmian) z przebiegami sygnałów ciśnienia (zmierzonymi w najbliższym sąsiedztwie punktów zamontowania korektorów). Dotyczy to zarówno stanów bez wycieku, jak i stanów z wyciekami, gdy obserwuje się natychmiastową reakcję sygnałów słabych interakcji na zmianę sygnałów ciśnienia wywołaną przez pojawienie się wycieku. Przy czym przebiegi sygnałów sprowadzono do jednokowego poziomu, odejmując ich składowe stałe.

Ponadto przeprowadzono porównanie sygnałów słabych interakcji z numerycznie różniczkowanymi sygnałami ciśnienia, przy użyciu algorytmu różniczkowania trójpunktowego i algorytmu opartego o różnice sąsiednich elementów realizowanego z zastosowaniem funkcji „diff” w programie Matlab [2]. Porównanie takie przedstawia rysunek 9, gdzie jest widoczne, że przebiegi sygnałów słabych interakcji wykazują bardziej zauważalne zmiany (reakcje) niż różniczkowane sygnały ciśnienia, w przypadku pojawienia się wycieku.

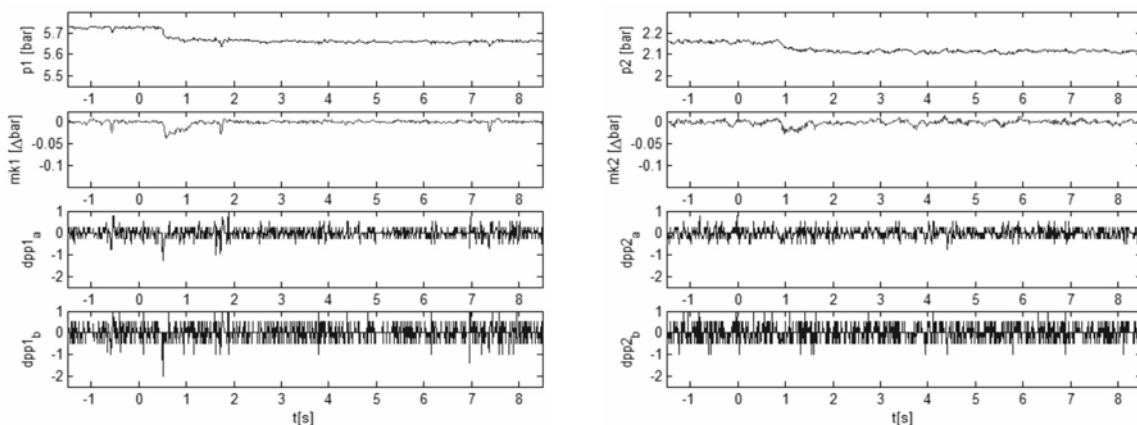
pressure and flow rate (measured near the points where the correctors were installed).

The analysis of the signals of weak interactions conducted on the basis of their comparison with the signals of pressure, confirmed that they are credible. Such comparison is shown in Figure 8, where it is observable that the courses (trends of change) of signals from the two correctors are identical to the courses (trends of change) of the signals of pressure (measured in the immediate vicinity of the points where the correctors were installed). It concerns to the states without a leak and to the states with a leak as well, where we can observe an immediate reaction of the signals of weak interactions to the change of the signals of pressure caused by the occurrence of a leakage. The courses of signals were unified to the same level, by subtraction their constant components.

Moreover, the signals of weak interactions were compared with the numerically differential signals of pressure – obtained by the use of 3-point differential algorithm and the algorithm based on differences between neighbouring elements realized by means of ‘diff’ function in Matlab program [2]. This comparison is shown in Figure 9, where it is observable that in the case of the occurrence of a leakage the courses of the signals of weak interactions indicate changes (reactions) more noticeable than the differential signals of pressure.



Rys. 8. Porównanie sygnałów słabych interakcji m_{K1} , m_{K2} z sygnałami ciśnienia p_1 , p_2 dla dwóch różnych badań
 Fig. 8. Comparison of signals of weak interaction m_{K1} , m_{K2} with signals of pressure p_1 , p_2 for two different research



Rys. 9. Porównanie sygnałów słabych interakcji m_{K1} , m_{K2} z numerycznie różniczkowanymi sygnałami ciśnienia (wyciek o wielkości 2 %, zadany na 155 m); gdzie: a – algorytm trójpunktowy, b – algorytm oparty o różnice sąsiednich elementów
 Fig. 9. Comparison of signals of weak interaction m_{K1} , m_{K2} with numerically differential signals of pressure (2 % leak, simulated in 155 m); where: a – 3-point algorithm, b – algorithm based on differences between neighbouring elements

W trakcie przeprowadzonych badań ustalono, że pozyskiwanie sygnałów słabych interakcji jest łatwe do realizacji, a dołączenie do rurociągu korektorów nie wpływa na poprawność funkcjonowania samego rurociągu.

4.4. Zastosowanie sygnałów słabych interakcji w detekcji wycieków

Zgodnie z przyjętymi założeniami, pozyskane sygnały słabych interakcji zostały poddane weryfikacji (ocenie) w zakresie możliwości ich zastosowania do wykrywania wycieków.

Zasadniczym elementem takiej weryfikacji było opracowanie odpowiednich procedur i technik przetwarzania sygnałów słabych interakcji, zawierających

During the conducted research it has been determined that the receiving the signals of weak interactions it is easy to realize, and joining correctors to the pipeline has no influence on the correct working of the pipeline.

4.4. The application of the signals of weak interactions in leakage detection

According to the accepted assumptions, the received signals of weak interactions were verified (evaluated) in the domain of the possibility as far as of their use for leak detection is concerned.

The principal element of such verification was to elaborate suitable procedures and techniques of processing the signals of weak interactions, inclu-

odpowiednie algorytmy detekcyjne, które pozwalałyby na jak najszybsze wykrywanie wycieków, i o jak najmniejszej wielkości. Weryfikację przeprowadzono w oparciu o następujące założenia:

- porównanie wyników (czasów wykrycia symulowanych wycieków²) uzyskanych przy użyciu sygnałów słabych interakcji z wynikami uzyskanymi przy użyciu sygnałów ciśnienia, a dodatkowo z wynikami uzyskanymi przy użyciu sygnałów natężenia przepływu,
- wykrywanie symulowanych wycieków jedynie w oparciu o sygnały pomiarowe z dwóch urządzeń (czujników) rozmieszczonych na początku i na końcu rurociągu,
- próbkowanie sygnałów z częstotliwością 100 Hz,
- ustalenie wartości progu alarmowego dla poszczególnych porównywanych sygnałów w sposób zapewniający niewystępowanie alarmu dla stanów bez wycieku (w całej rozpatrywanej serii przeprowadzonych badań),
- możliwość użycia dotychczas wykorzystywanych procedur detekcji wycieków lub ich modyfikacja,
- uwzględnienie występowania zakłóceń – zaszuwanie porównywanych sygnałów szumem gaussowskim o odchyleniu standardowym równym 0,2 % i 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego, i wynikająca stąd konieczność zmiany przyjętych progów alarmowych.

Uzyskane wyniki (czasy wykrycia symulowanych wycieków) zestawiono w tabeli 2. Podano je w sekundach, a niewykrycie określonej wielkości wycieku oznaczono przez „-”. Ponadto tabela zawiera informacje o przyjętych wartościach progów alarmowych, zapewniających niewystępowanie alarmu dla stanów bez wycieku (w całej rozpatrywanej serii przeprowadzonych badań).

W przypadku sygnałów ciśnienia p_1 i p_2 oraz sygnałów słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} zastosowano następującą procedurę – której algorytm pokazano na rysunku 10, opartą o:

- filtrowanie rekursywne sygnałów; gdzie przyjęto identyczne nastawy współczynników korekcyjnych dla filtrów $\alpha=0,995$,
- obliczanie maksimum funkcji korelacji residuów sygnałów dla zakresu przesunięcia czasowego τ_{max} ; gdzie przyjęto $\tau_{max}=100$ sec (w oparciu o znajomość prędkości fal rozprężeniowych i czas w jakim pokonują one całą długość rurociągu, tak aby wielkość tego przesunięcia obejmowała maksymalne opóźnienia pomiędzy obu sygnałami

ding appropriate detecting algorithms, which would allow to detect leakages as fast as possible, and of the smallest volume. The verification was conducted on the basis of the following assumptions:

- comparing the results (the detection times of simulated leakages²) obtained by means of the signals of weak interaction with the results obtained by means of the signals of pressure, and additionally, with the results obtained by means of the signals of flow rate,
- detecting simulated leakages only on the basis of the measuring signals from two devices (sensors) located at the beginning and at the end of the pipeline,
- sampling of signals with frequency 100 Hz,
- determining the value of alarm threshold for particular comparable signals in a way they will assure the absence of the alarm for states without a leak (during the whole series of the research conducted),
- possibility of using the procedures hitherto applied for leakage detection, or their modification,
- taking into account the occurrence of disturbances – adding Gaussian noise of the standard deviation 0.2 % and 0.5 % of the value of the measuring range to the comparable signals, and resulting from this necessity of changing the assumed (setted) alarm thresholds.

The obtained results (the detection times of simulated leakages) are presented in Table 2. They are given in seconds, and the situation when a defined value of the leakage was not detected is marked as “-”. Additionally, the table contains information about the received values of alarm thresholds assuring the absence of the alarm for states without a leak (during the whole series of the research conducted).

In the case of the signals of pressure p_1 and p_2 as well as the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} the following procedure was applied - its algorithm is shown in Figure 10, based on:

- recursive filtering of signals, where identical settings of weighting factors for filters $\alpha=0,995$ were accepted,
- calculating the maximum of cross-correlation function of residues of signals for the range of the time shift τ_{max} ; where it was accepted that $\tau_{max}=100$ sec (based on the knowledge of the velocity of low-pressure refraction waves and the time in which they cover the whole distance of the pipeline, and so that the value of this shift could

² Czas wykrycia symulowanego wycieku, traktowany jako przekroczenie przyjętej wartości progu alarmowego, obliczany był względem początku wycieku (określonego przez moment otwarcia zaworu kranika upustowego).

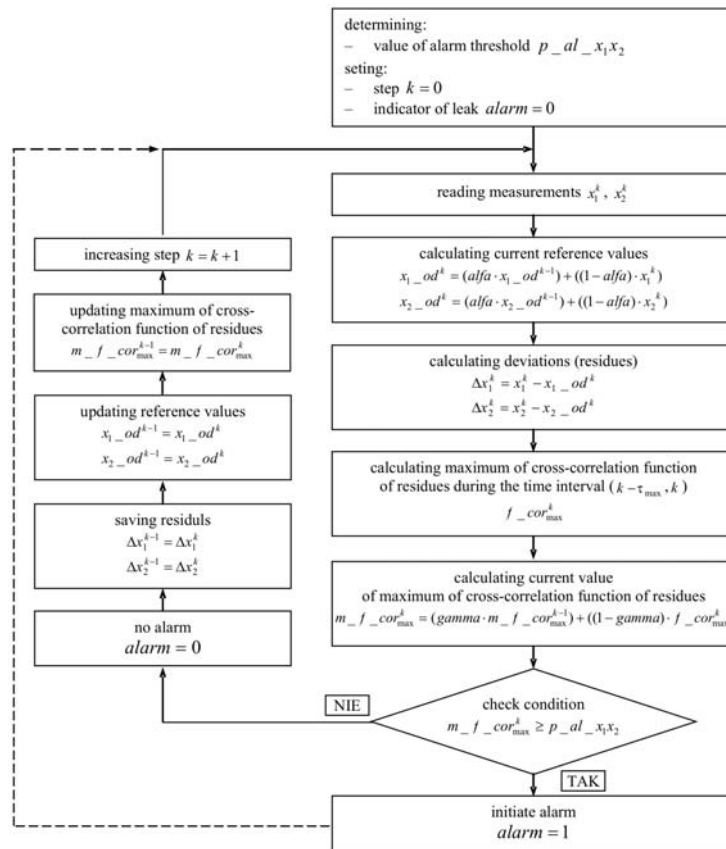
² The detection time of a simulated leakage, treated as the exceeding of the assumed (setted) value of alarm threshold was calculated with regard to the beginning of the leakage (determined by the exact moment of opening the valve of a bleeder tap).

w przypadku pojawienia się wycieków w skrajnych punktach rurociągu, dzięki czemu istniałaby możliwość wykrycia wycieków, powstałych w dowolnym miejscu na długości rurociągu),

- filtrowanie rekursywne obliczonych maksimum funkcji korelacji, które gdy przekroczą wartość progu alarmowego informują o pojawieniu się wycieku; gdzie przyjęte nastawy współczynników korekcyjnych dla filtrów wynosiły $\gamma=0,900$.

comprise the maximum delays between these two signals in case of the occurrence of leakages in the extreme points of the pipeline. Thanks to this, it could be possible to detect leakages occurring at any place at the length of pipeline),

- recursive filtering of calculated maximum values of cross-correlation function, which after exceeding the value of alarm threshold informs about the occurrence of the leakage; where the accepted settings of the weighting factor for the filters amounted to $\gamma=0.900$.



Rys. 10. Algorytm detekcji wycieków
Fig. 10. Algorithm of detection of leakages

W przypadku sygnałów natężenia przepływu Q_1 i Q_2 zastosowano dotychczas wykorzystywaną procedurę [1, 3, 9] – której algorytm pokazano na rysunku 11, opartą o:

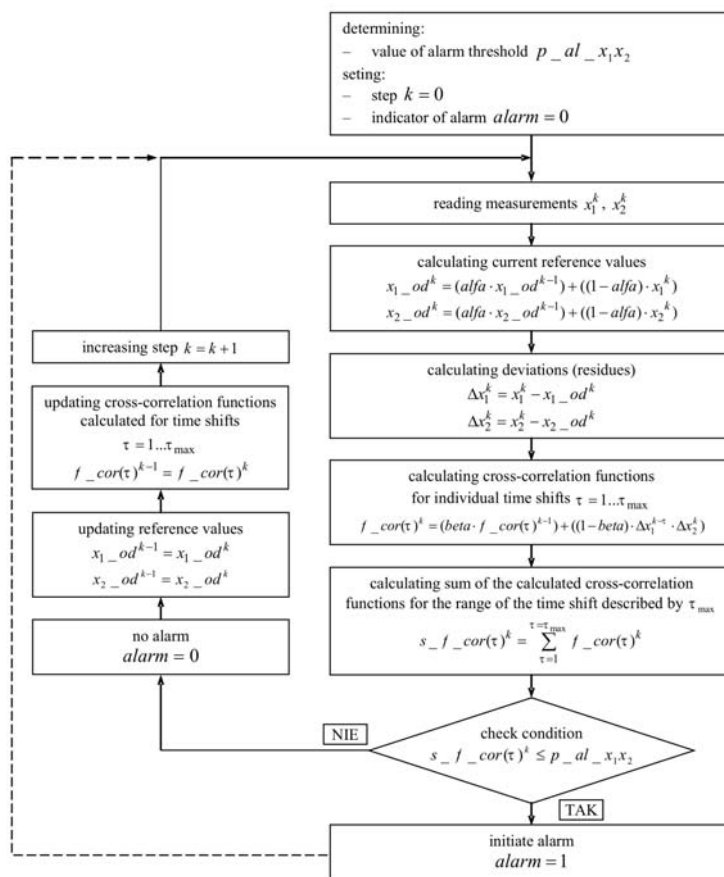
- filtrowanie rekursywne sygnałów, określane w literaturze przez *recursive averaging with fading memory (exponential smoothing)*; gdzie przyjęta nastawa współczynnika korekcyjnego dla filtra wynosiła $\alpha=0,995$,
- funkcje korelacji reszduów sygnałów, obliczane rekursywnie dla poszczególnych przesunięć czasowych $\tau=1 \dots \tau_{max}$; gdzie przyjęta nastawa

In the case of the signals of flow rate Q_1 and Q_2 the hitherto applied procedure [1, 3, 9] was used – its algorithm is presented in Figure 11, based on:

- recursive filtering of signals, described in the literature as *recursive averaging with fading memory (exponential smoothing)*; where the accepted setting of the weighting factor for the filter amounted to $\alpha=0.995$,
- cross-correlation functions of residues of signals calculated recursively for individual time shifts $\tau=1 \dots \tau_{max}$; where the accepted setting of the weighting factor for the filter amounted to

- współczynnika korekcyjnego dla filtra wynosiła $\beta=0,900$, a przesunięcia $\tau_{max}=100$ sec (dla porównania przyjęto identyczną wartość jak dla sygnałów ciśnienia i sygnałów słabych interakcji),
- sumę obliczonych funkcji korelacji dla zakresu przesunięcia czasowego opisanego przez τ_{max} , która gdy przekroczy wartość progu alarmowego informuje o pojawieniu się wycieku.

- $\beta=0.900$, and the time shift $\tau_{max}=100$ sec (for comparison the identical value was accepted for both the signals of pressure and the signals of weak interactions),
- sum of the calculated cross-correlation functions for the range of the time shift described by τ_{max} which informs about the occurrence of a leakage when it exceeds the value of alarm threshold.



Rys. 11. Algorytm detekcji wycieków
Fig. 11. Algorithm of detection of leakages

Analiza wyników (czasów wykrycia symulowanych wycieków i wielkości wykrytych wycieków) potwierdza, że przy użyciu sygnałów słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} możliwe jest prowadzenie zadawalająco skutecznej działalności diagnostycznej w zakresie wykrywania wycieków.

Co istotne, w odróżnieniu od dotychczas stosowanych sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu, sygnały słabych interakcji są bardziej odporne na zakłócenia i wynikającą stąd konieczność zmiany wartości progów alarmowych. W przypadku zaszumienia sygnałów słabych interakcji wartości progów alarmowych nie uległy zmianie, gdzie dla porównania w przypadku sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu po identycznym ich zaszumieniu wartości pro-

The analysis of the results (the detection times of the simulated leakages and the volume of the detected leakages) confirms that when we use the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} it is possible to carry out satisfactorily effective diagnostic activity in as far as leakage detection is concerned.

Vital is the fact that, in contrast to the hitherto used signals of pressure and flow rate, the signals of weak interactions characterized by more resistant to disturbances and resulting from this necessity of changing the values of alarm thresholds. In the case adding noise to the signals of weak interactions, the values of alarm thresholds did not change; whereas, in comparison, in the case of the signals of pressure and flow rate being noised identically, it was necessary

Tab. 2. Porównanie czasów wykrycia symulowanych wycieków przy użyciu sygnałów natężenia przepływu Q_1 i Q_2 , ciśnienia p_1 i p_2 , słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} ; gdzie: C – wielkość progów, zapewniająca nie wystąpienie alarmu dla stanu bez wycieku, D – wielkość progów uzyskana dla sygnałów zaszumionych szumem o odchyleniu standardowym 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego.

Tab. 2. Comparison of the detection times of simulated leakages by means of the signals of the flow rate Q_1 and Q_2 , the pressure p_1 and p_2 , the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} ; where C - the value of the threshold assuring the absence of the alarm for the state without a leak, D - the value of the threshold received for the signals with added noise of the standard deviation 0.5% of the value of the measuring range.

Dane symulowanych wycieków Data about simulated leakages		Zastosowane sygnały/ Using signals														
		natężenia przepływu / flow rate Q_1 and Q_2				ciśnienia / pressure p_1 i p_2				słabych interakcji / weak interactions m_{K1} i m_{K2}						
		niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}		szum _{0,5} noise _{0,5}		niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}		szum _{0,5} noise _{0,5}	niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}	szum _{0,5} noise _{0,5}
		C	D	C	C	C	D	C	C	C	C	C = D	C	C		
miejsce place [m]	wielk. volume [%] Q_0	-0,014	-0,055	-0,026	-0,055	0,005	0,092	0,018	0,092		0,570	0,570	0,570			
115	1,0	2,25	-	2,37	2,69	1,16	-	1,35	-	-	-	-	-			
	1,5	2,91	-	3,35	3,76	0,82	-	0,98	1,48	1,11	1,10	1,09				
	2,0	2,43	3,47	2,60	2,67	0,84	1,87	0,93	1,31	1,04	1,04	1,02				
	2,5	1,98	2,56	2,18	2,50	1,01	1,62	1,09	1,31	1,04	0,94	0,91				
	3,0	1,81	2,26	1,89	2,10	0,79	1,33	0,96	1,11	0,82	0,82	0,80				
	3,5	1,71	2,01	1,82	2,01	0,63	1,21	0,83	1,08	0,90	0,89	0,88				
	4,0	1,72	2,04	1,84	1,96	0,60	1,16	0,82	1,03	0,81	0,81	0,80				
	6,0	1,60	1,79	1,65	1,76	0,75	1,00	0,78	0,93	0,64	0,63	0,61				
155	1,0	2,34	-	-	-	1,20	-	1,39	-	-	-	-				
	1,5	2,56	4,41	2,75	3,28	0,95	-	1,02	1,71	1,12	1,10	1,06				
	2,0	2,22	3,75	2,36	2,80	1,12	2,26	1,19	1,51	1,16	1,16	1,15				
	2,5	0,97	1,29	1,01	1,19	0,40	0,67	0,42	0,51	0,41	0,41	0,41				
	3,0	1,81	2,28	2,03	2,24	0,91	1,32	0,94	1,13	0,91	0,92	0,91				
	3,5	1,91	2,39	2,11	2,32	0,87	1,19	0,92	1,05	0,87	0,87	0,86				
	4,0	1,71	1,98	1,82	1,91	0,74	1,02	0,79	0,90	0,75	0,74	0,73				
	6,0	1,46	1,75	1,59	1,72	0,71	0,92	0,76	0,87	0,71	0,71	0,71				
195	1,0	-	-	-	-	1,03	-	1,14	-	-	-	-				
	1,5	2,04	-	2,59	2,66	0,85	-	0,93	1,28	0,94	0,94	0,92				
	2,0	1,96	2,98	2,26	2,46	0,83	1,65	0,90	1,26	0,87	0,87	0,86				
	2,5	2,26	2,89	2,46	2,78	0,77	1,29	0,82	1,03	0,81	0,81	0,80				
	3,0	1,82	2,47	1,98	2,33	0,77	1,15	0,82	0,94	0,80	0,80	0,80				
	3,5	1,74	2,13	1,86	2,09	0,74	1,06	0,76	0,88	0,76	0,76	0,75				
	4,0	1,68	1,97	1,81	1,96	0,70	0,93	0,72	0,81	0,71	0,71	0,71				
	6,0	1,66	1,91	1,76	1,91	0,72	0,87	0,75	0,82	0,72	0,72	0,71				
235	1,0	-	-	-	-	1,03	-	1,28	-	-	-	-				
	1,5	2,35	-	-	-	0,90	-	1,01	1,74	1,02	1,01	0,97				
	2,0	2,01	2,95	2,43	2,85	0,86	1,64	0,87	1,05	0,91	0,90	0,90				
	2,5	2,09	2,74	2,26	2,67	0,73	1,40	0,84	1,04	0,87	0,86	0,85				
	3,0	1,95	2,64	2,15	2,65	0,73	1,29	0,85	0,97	0,74	0,74	0,75				
	3,5	1,89	2,24	2,10	2,22	0,83	1,14	0,80	1,00	0,86	0,86	0,85				
	4,0	1,97	2,31	2,05	2,29	0,59	1,08	0,69	0,92	0,61	0,61	0,60				
	6,0	1,79	2,00	1,87	2,01	0,77	0,99	0,74	0,86	0,81	0,81	0,81				
275	1,0	-	-	-	-	1,12	-	1,26	-	-	-	-				
	1,5	3,11	-	3,72	-	0,92	-	0,95	1,44	1,02	1,03	1,03				
	2,0	2,34	3,34	2,70	3,44	0,79	-	0,97	1,18	1,06	1,05	1,04				
	2,5	2,00	2,66	2,30	3,16	0,78	1,72	0,91	1,12	1,00	1,00	0,77				
	3,0	2,21	2,56	2,36	2,50	0,71	1,37	0,72	1,14	0,74	0,74	0,74				
	3,5	2,09	2,45	2,21	2,48	0,76	1,30	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00				
	4,0	2,11	2,47	2,22	2,46	0,83	1,25	0,93	1,02	0,98	0,98	0,98				
	6,0	1,95	2,16	2,04	2,18	0,44	1,07	0,57	0,78	0,44	0,44	0,45				
8,0	1,54	1,80	1,65	1,82	0,50	1,01	0,46	0,62	0,50	0,57	0,51					

gów alarmowych należało zmienić na kilkakrotnie większe. Jak pokazano w tabeli 2, zastosowanie tej samej wartości progów alarmowych, uzyskanych przykładowo przy zaszumieniu sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu szumem o odchyleniu stan-

to change the values of alarm thresholds into several times bigger. As it is shown in Table 2, applying the same value of alarm thresholds received, for example, with noising of the signals of pressure and flow rate with the noise of the standard deviation amounted to

dardowym równym 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego – w przypadku sygnałów nie zaszumianych skutkowałoby wydłużeniem czasów wykrycia oraz nie wykryciem wielu wycieków.

5. Podsumowanie

Prezentowane w pracy wyniki potwierdzają, że odpowiednio dobrane i dołączone do diagnozowanych rurociągów korektory, spełniające rolę obiektów badawczych, stwarzają możliwość pozyskiwania cennej informacji diagnostycznej, pozwalającej na polepszenie podatności diagnostycznej rurociągów, a stąd zwiększenie skuteczności diagnozowania wycieków.

Dołączenie do rurociągów korektorów nie wpływa na jakość funkcjonowania rurociągu i jest łatwe do zrealizowania.

6. References

- [1] Billman L., Isermann R.: *Leak detection methods for pipelines*. Automatica, vol. 23, no. 3, 1987, pp. 381-385.
- [2] Brzózka J., Dorobczyński L.: *Programowanie w Matlab*. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa, 1998.
- [3] Korbicz J. i inni: *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*. WNT, Warszawa, 2002, rozdział 21.
- [4] Lindstedt P.: *Element korekcyjny jako źródło informacji diagnostycznej*. ZEM PAN, zeszyt 2, 1995.
- [5] Lindstedt P.: *Formowanie sygnałów diagnostycznych*. ZEM PAN, zeszyt 2, 1997.
- [6] Lindstedt P.: *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*. Wydawnictwo Naukowe ASKON, Warszawa, 2002.
- [7] Lindstedt P.: *Weak interactions between objects in the signal-based and parametric diagnostics of transport-dedicated complex engineering systems*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, vol. 77 no. 3, 2005, pp. 222-227.
- [8] Lindstedt P., Ostapkowicz P.: *Diagnosing of the leakages from pipelines based on signals of weak interobject interactions*. Archiwum Transportu, Komitet Transportu PAN, tom 2, 2004.
- [9] Niederliński A.: *Systemy komputerowe automatyki przemysłowej. tom 2*, WNT, Warszawa, 1985.
- [10] Skinners S.: *Modern control system. Theory and application*. Addison Wesley, 1972.
- [11] Sobczak R.: *Lokalizacja wycieków z rurociągów*. Pomiary Automatyka Robotyka, nr 3, 1999, str. 11-16.
- [12] Söderström T., Stoica P.: *Identyfikacja systemów*. PWN, Warszawa 1997.

Praca finansowana przez Politechnikę Białostocką – praca własna W/WM/7/06.

0.5 % of the value of the measuring range – in the case of the signals which were not noised - it would result in prolonging of the detection times as well as in a situation when many leakages will not be detected.

5. Summary

The results presented in this work prove that correctors appropriately selected and joined to the diagnosed pipelines, working as testing objects, create possibility of obtaining valuable diagnostic information, which allows for improving the diagnostic susceptibility of pipelines and, hence, improving the efficacy of leak detection.

Joining correctors to the pipeline does not influence the quality of the pipeline's performance and is easy to realize.

Mgr inż. Paweł OSTAPKOWICZ

Politechnika Białostocka,
Wydział Mechaniczny
Katedra Automatyki i Robotyki
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45C
e-mail: ostad@pb.bialystok.pl

BADANIA SYMULACYJNE MIESZADŁA Z PRZEKŁADNIĄ PLANETARNĄ – CZ. I

THE SIMULATIVE TESTS OF PLANETARY-MOTION PADDLE – PART I

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych ruchu mieszadła napędzanego przekładnią planetarną. Dla istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego dobrano liczbę zębów satelitów (kół obiegowych) tak, aby zmniejszyć ilość mieszaniny zalegającej w rejonie ścianek pojemnika. Tory ruchu łopatek mieszadła wyznaczono wykorzystując równania rzutów na osie prostokątnego układu współrzędnych. W celu wybrania najkorzystniejszego rozwiązania spośród analizowanych wykorzystano dwa kryteria oceny – maksymalne wychylenie łopatki mieszadła oraz pole powierzchni pod torem ruchu łopatki. Przedstawiono przebiegi toru ruchu mieszadła przed i po modyfikacji.

***Słowa kluczowe:** mieszadło, tor ruchu łopatek, przekładnia planetarna, badania symulacyjne*

The paper presents the simulative tests of the paddle motion driven with a planetary gear. For the existing construction solution such a number of satellite teeth (planetary wheels) was chosen so that mixture quantity deposited near the container walls could be reduced. The paths of mixer paddles motion were determined using the equations of projections on the axes of the Cartesian coordinate system. To choose the best solution out of these analysed there were applied two evaluation criteria – the maximal deflection of the mixer blade and the area under the paddle motion path. There were displayed the runs of mixer motion path prior to and after modification.

***Keywords:** mixer, paddle motion path, planetary gear, simulative tests*

1. Wprowadzenie

Mieszanie jest bardzo rozpowszechnionym procesem w wielu gałęziach przemysłu, a w szczególności w przemyśle spożywczym i chemicznym. Jednym z parametrów określających jakość mieszania jest stopień zmieszania, który określa się stosunkiem rozproszczenia wzajemnego dwóch lub więcej składników odniesiony do stanu idealnego, który zostaje osiągnięty po doskonałym wymieszaniu układu. Jednym z problemów pojawiających się w przypadku mieszadeł z napędem planetarnym jest mała skuteczność mieszania składników w rejonie ścianek pojemnika. Niejednokrotnie przy złym doborze liczb zębów koła centralnego i satelitów niemożliwym staje się dokładne wymieszanie składników w całej objętości w związku z pojawieniem się „martwych stref” w otoczeniu ścianek naczynia, do których nie dociera mieszadło. Taki problem pojawił się w konstrukcji mieszadła wykorzystywanego do procesu mieszania środków farmaceutycznych.

1. Introduction

Mixing appears to be a very common process in numerous industrial branches, particularly in the food and chemical industry. One of the parameters determining the mixing quality is a mix degree which is expressed by a distribution ratio of two or more components referred to the ideal state obtained after the perfect intermix of the system. One of the hardships occurring in the case of mixers with driving gear proves to be low efficiency of components mixing near the container walls. An improper choice of teeth number of the central gear and satellites makes impossible to mix the components accurately in whole volume due to the “dead zones” appearing in the container walls vicinity where the mixer does not reach. This problem lies in the mixer construction used in the process of pharmaceuticals mixing.

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest zmiana liczby zębów satelity w istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym mieszadła z napędem planetarnym wpływająca na poprawę skuteczności mieszania zwłaszcza w otoczeniu ścianek naczynia.

W pracy wyznaczono równania opisujące położenie końca łopatkki w funkcji kąta obrotu jarzma θ , które wykorzystano do wykreślenia torów ruchu łopatkki. Na ich podstawie określono również liczbę punktów styku końca łopatkki ze ścianką pojemnika. Wyprowadzono zależności na maksymalne wychylenie łopatek mieszadła od osi symetrii pojemnika przechodzącej przez wybrany punkt kontaktu $-y_{max}$ oraz pole powierzchni $-P$ pomiędzy krzywą utworzoną przez koniec łopatkki, a osią symetrii pojemnika przechodzącą przez wybrany punkt kontaktu. Na tej podstawie wybrano rozwiązanie najkorzystniejsze z punktu widzenia ilości niewymieszanej masy pozostającej przy ściankach pojemnika.

3. Metodyka

Współrzędne końca łopatkki x oraz y wyznaczono na podstawie równań rzutów na osie nieruchomego układu współrzędnych (rys.1)

$$x = l_1 \cos \theta + l_2 \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (2)$$

gdzie: l_1 - promień jarzma, l_2 - promień łopatkki, i_p - przełożenie przekładni planetarnej, θ - kąt obrotu jarzma.

Na podstawie równań (1) i (2) wyznaczono toru ruchu końca łopatkki dla rozwiązania pierwotnego, w którym liczba zębów satelity $z_1 = 22$, koła centralnego o uzębieniu wewnętrznym $z_2 = 48$ oraz moduł $m_n = 3$ mm (rys.2).

W pierwszej fazie obliczeń poszukiwano takich kątów położenia jarzma, dla których osiągana jest największa odległość pomiędzy osią obrotu jarzma i końcem łopatkki. Jest to równoznaczne z położeniem w jednej linii łopatkki oraz jarzma. Położenie to określone jest równaniem

$$x^2 + y^2 = (l_1 + l_2)^2 \quad (3)$$

Jednocześnie po podniesieniu równań na położenie (1) i (2) do kwadratu oraz dodaniu stronami i porównaniu z zależnością (3) otrzymano

2. Work objective and scope

The aim of the present paper is a change of satellite teeth number in the existing construction of the mixer with planetary drive that could improve the mixing efficiency, especially in the container walls surroundings.

In this work there were determined the equations depicting a paddle end position in the function of shackle rotation angle beta used to plot the blade motion paths. On these grounds a number of paddle contact points with a container wall was also determined. The dependences were derived on the maximal deflection of the mixer blades from the container symmetry axis passing through a chosen contact point $-y_{max}$ and the area $-P$ between a curve formed by the paddle end and the symmetry axis of the container running through the chosen point. On these basis there was chosen the most favourable solution considering the volume of unmixed mass left on the container walls.

3. Methods

The blade end coordinates x and y were determined on the grounds of the equations of projections on the axes of stationary co-ordinate system (Fig.1)

$$x = l_1 \cos \theta + l_2 \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (2)$$

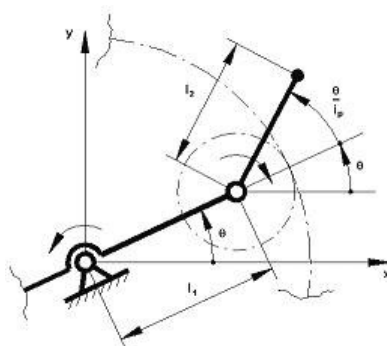
Where: l_1 - planetary cage radius, l_2 - paddle radius, i_p - epicyclic ratio, θ - planetary cage rotation angle.

On the grounds of the equations (1) and (2) there were determined the paths of the paddle end motions for the primary solution in which satellite teeth number $z_1 = 22$, the internal central gear $z_2 = 48$ and module $m_n = 3$ mm (Fig.2).

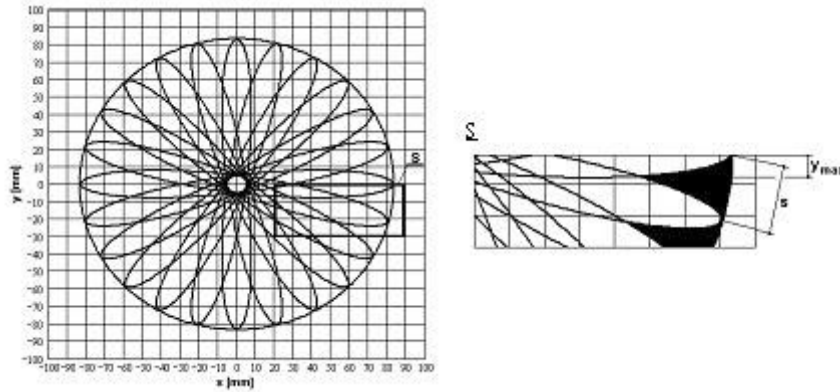
At the first computation stage, the angles of a planetary cage position were examined for which the longest distance between the planetary cage rotation axis and the blade end could be obtained. It amounts to a position of a blade and cage in one line. This position is defined with the equation:

$$x^2 + y^2 = (l_1 + l_2)^2 \quad (3)$$

At the same time after the equations square to (1) and (2) position then side addition and comparison to the equation (3) the following was obtained:



Rys.1. Schemat napędu mieszadła
Fig.1. Scheme of mixer driving gear



Rys.2. Tor ruchu końca łopatki dla rozwiązania pierwotnego oraz szczegół „martwymi strefami” w pobliżu ścianki naczynia
Fig.2. Path of the paddle end motion for the primary solution and detail with “dead zones” near the container wall

$$\cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right)\cos\theta + \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right)\sin\theta = 1 \quad (4)$$

Położenia jarzma, dla których osiągnięta jest największa odległość pomiędzy osią obrotu jarzma i końcem łopatki określone są zależnością

$$\theta = \frac{360^\circ k i_p}{1 - i_p}, \quad \text{gdzie } k \in N \quad (5)$$

Przełożenie zastosowanej przekładni, przy nieruchomym kole centralnym o uzębieniu wewnętrznym, wyznaczone metodą Willis'a wynosi

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 - |z_2|} \quad (6)$$

Wstawiając do wzoru (5) zależność na przełożenie (6) otrzymano

$$\theta = \frac{360^\circ k z_1}{|z_2|} \quad (7)$$

Następnie wyznaczono najmniejszą wartość $k > 0$ dla której $\theta = 0$ wykorzystując równanie

$$\frac{360^\circ k z_1}{|z_2|} - m 360^\circ = 0, \quad \text{gdzie } m \in N \quad (8)$$

Stąd

$$k = \frac{m |z_2|}{z_1} \quad (9)$$

Wykorzystując zależność (9) sporządzono tabelę analizowanych skojarzeń liczb zębów koła centralnego i satelity. Założono, że liczba zębów koła centralnego o uzębieniu wewnętrznym z_2 nie ulegnie zmianie w stosunku do rozwiązania pierwotnego. Założenie takie zapobiega nadmiernej ingerencji w istniejącą konstrukcję mieszadła. Rozpatrywana możliwa liczba zębów satelity wahała się w granicach $z_1 = 17 \div 24$, co podyktowane było z jednej strony uniknięciem korekcji kół zębatych, z drugiej zaś graniczną wartością przełożenia.

$$\cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right)\cos\theta + \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right)\sin\theta = 1 \quad (4)$$

The planetary cage positions characterizing with the greatest distance between the cage rotation axis and the blade end are described by:

$$\theta = \frac{360^\circ k i_p}{1 - i_p}, \quad \text{where } k \in N \quad (5)$$

A transmission ratio at the stationary internal central gear was determined with Willis' method

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 - |z_2|} \quad (6)$$

Placing the dependence of transmission ratio (6) into the formula (5) we obtain

$$\theta = \frac{360^\circ k z_1}{|z_2|} \quad (7)$$

Next, the lowest value $k > 0$ was determined for which $\theta = 0$ applying the equation

$$\frac{360^\circ k z_1}{|z_2|} - m 360^\circ = 0, \quad \text{where } m \in N \quad (8)$$

Hence

$$k = \frac{m |z_2|}{z_1} \quad (9)$$

Using the dependence (9), there was elaborated a table of the analyzed matchings of teeth number in the central gear and satellite. It was assumed that a teeth number in the internal central gear z_2 would not be changed in relation to the primary solution. This assumption prevents the excessive interference into the existing mixer construction. A considered possible satellite teeth number ranged within $z_1 = 17 \div 24$ that, on the one hand, allowed to avoid the gear correction, while on the other was connected with gear boundary value.

Tabela 1. Zestawienie analizowanych skojarzeń liczb zębów
Table 1. Comparison of the analyzed matchings of teeth number

Nr rozwiązania Solution No	z_1	z_2	i_p	m	k	$\Delta\theta$ [°]
1	17	48	-0,5484	17	48	7,5
2	18	48	-0,600	3	8	45
3	19	48	-0,6552	19	48	7,5
4	20	48	-0,7143	5	12	30
5	21	48	-0,7778	7	16	22,5
6	22	48	-0,8462	11	24	15
7	23	48	-0,9200	23	48	7,5
8	24	48	-1	1	2	180

Na podstawie tabeli stwierdzono, że rozwiązania 1, 3 i 7 są najkorzystniejsze pod względem liczby punktów, w których dochodzi do kontaktu łopatek mieszadła ze ściankami pojemnika. Liczba ta dla tych rozwiązań wynosi $k = 48$, co oznacza, że styk łopatek mieszadła ze ściankami naczynia będzie występował co $\Delta\theta = 7,5^\circ$. Rozwiązania te są pod tym względem korzystniejsze od pierwotnego, w którym liczba tych punktów wynosiła zaledwie $k = 24$.

Przeprowadzona dalsza analiza ruchu łopatek mieszadła miała na celu wybór najkorzystniejszego rozwiązania spośród 1, 3 i 7. W pierwszym etapie wykonano komputerową symulację ruchu łopatek mieszadła i zauważono, że nie tylko liczba punktów kontaktu jest istotnym parametrem decydującym wielkości „martwych stref”, ale też kształt toru ruchu łopatek. Wyznaczono, zatem kolejne dwa parametry decydujące o skuteczności mieszania w pobliżu ścianek naczynia:

- maksymalne wychylenie łopatek mieszadła od osi symetrii pojemnika przechodzącej przez wybrany punkt kontaktu $-y_{max}$, które powinno być jak największe,
- pole powierzchni $-P$ pomiędzy krzywą utworzoną przez koniec łopatki a osią symetrii pojemnika przechodzącą przez wybrany punkt kontaktu, które także powinno być jak największe.

W celu wyznaczenia y_{max} wykorzystano zależność na współrzędną y położenia końca łopatki w funkcji kąta obrotu jarzma θ

$$y = l_1 \sin\theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (10)$$

Wyznaczenie maksymalnego wychylenia łopatek od osi symetrii wymagało wyznaczenia ekstremum funkcji (10). Stąd obliczono jej pochodną

$$\frac{dy}{d\theta} = l_1 \cos\theta + \frac{l_2}{i_p} \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (11)$$

Z powodu braku możliwości analitycznego wyznaczenia miejsc zerowych pochodnej funkcję $\cos\theta$ rozwinięto w szereg Taylora uwzględniając pierwsze trzy wyrazy. Otrzymano wówczas

On the grounds of the Table, it was stated that solutions 1, 3 and 7 appear to be most efficient as regards a number of points in which the contact between the mixer blades and container walls is recorded. The number for these solutions is $k = 48$, it means that this contact will occur every $\Delta\theta = 7.5^\circ$. In this respect these solutions are better than the primary in which a number of these points amounted to only $k = 24$.

The further analysis of mixer paddle motion aimed to choose the best solution out of 1, 3 and 7. At the first stage the computer simulation of mixer blade motion was performed to find that not only the number of contact points constitutes a significant parameter deciding about “dead zones” size but a shape of blade motion path as well. Therefore, two further parameters deciding about the mixing efficiency near the container walls were established:

- maximal deflection of the mixer blades from the container symmetry axis running through a chosen contact point $-y_{max}$ which is expected to be the greatest,
- the area P between a curve formed by the paddle end and container symmetry axis going through a chosen contact point which is also supposed to be the greatest.

To determine y_{max} there was used a dependence of y coordinate of the blade end in the function of planetary cage rotation angle θ

$$y = l_1 \sin\theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (10)$$

Determination of the maximal blade deflection from the symmetry axis imposed establishing of the function extremum (10). Hence its derivative was calculated

$$\frac{dy}{d\theta} = l_1 \cos\theta + \frac{l_2}{i_p} \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (11)$$

As it was impossible to define analytically the derivative zero sites, the function $\cos(\theta)$ was developed into Taylor series including the first three terms. Then we obtained

$$l_1 \left(1 - \frac{\theta^2}{2} + \frac{\theta^4}{24}\right) + \frac{l_2}{i_p} \left(1 - \frac{\theta^2}{2i_p^2} + \frac{\theta^4}{24i_p^4}\right) = 0 \quad (12)$$

Jednym z rozwiązań powyższego równania spełniającym warunki zadania jest

$$\theta = \frac{-i_p}{A} \sqrt{2A(3B - \sqrt{3C})} \quad (13)$$

gdzie: $A = l_1 i_p^3 + l_2$, $B = l_1 i_p^3 + l_2$,

$$C = l_1^2 i_p^6 + l_2^2 - 2l_1 l_2 i_p (i_p^4 - 3i_p^2 + 1)$$

Równanie (13) umożliwia wyznaczenie kąta θ , przy którym osiągane jest maksymalne wychylenie łopatek mieszadła. Wstawiając uzyskane rozwiązanie do zależności (10) otrzymano zależność na maksymalne wychylenie łopatek mieszadła y_{max} .

$$y_{max} = -l_1 \sin\left[\frac{i_p}{A} \sqrt{2A(3B - \sqrt{3C})}\right] - l_2 \sin\left[\frac{1}{A} \sqrt{2A(3B - \sqrt{3C})}\right] \quad (14)$$

W celu wyznaczenia pola powierzchni pomiędzy krzywą utworzoną przez koniec łopatki, a osią symetrii pojemnika przechodzącą przez wybrany punkt kontaktu wykorzystano zależności (1) oraz (2). Następnie wyznaczono pochodną współrzędnej x po kącie θ i wykorzystano zależność na pole powierzchni pod krzywą określoną parametrycznie

$$P = \int_{\theta_p}^{\theta_k} y(\theta) \frac{dx(\theta)}{d\theta} d\theta \quad (15)$$

W wyniku rozwiązania otrzymano

$$P = \frac{l_2^2}{4} \sin\left(\frac{2\theta}{i_p}\right) - \frac{l_1 l_2 (i_p + 1)}{2(i_p - 1)} \sin\left[\frac{\theta(i_p - 1)}{i_p}\right] + \frac{l_1 l_2}{2} \sin\left[\frac{\theta(i_p + 1)}{i_p}\right] + \frac{l_1^2}{4} \sin(2\theta) - \frac{l_1^2 i_p + l_2^2}{2i_p} \theta \Bigg|_{\theta_p}^{\theta_k} \quad (16)$$

Dolna granica całkowania wynosi $\theta_p = 0$, natomiast górną θ_k wyznaczono z warunku

$$y = l_1 \sin\theta_k + l_2 \sin\left(\frac{\theta_k}{i_p}\right) = 0 \quad (17)$$

Podobnie jak w przypadku wyznaczania y_{max} , z powodu braku analitycznego rozwiązania równania $y = 0$ funkcję $\sin\theta$ rozwinięto w szereg Taylora i otrzymano wówczas

$$l_1 \left(\theta_k - \frac{\theta_k^3}{6}\right) + l_2 \left(\frac{\theta_k}{i_p} + \frac{\theta_k^3}{6i_p^3}\right) = 0 \quad (18)$$

Jednym z rozwiązań powyższego równania spełniającym warunki zadania jest

$$\theta_k = \frac{-i_p}{A} \sqrt{6DE} \quad (19)$$

gdzie: $D = l_1 i_p^3 + l_2$, $E = l_1 i_p + l_2$

Podstawiając górną i dolną granicę całkowania do równania (16) otrzymano

$$l_1 \left(1 - \frac{\theta^2}{2} + \frac{\theta^4}{24}\right) + \frac{l_2}{i_p} \left(1 - \frac{\theta^2}{2i_p^2} + \frac{\theta^4}{24i_p^4}\right) = 0 \quad (12)$$

One of the solutions of the above equations that meets conditions of the problem is

$$\theta = \frac{-i_p}{A} \sqrt{2A(3B - \sqrt{3C})} \quad (13)$$

where: $A = l_1 i_p^3 + l_2$, $B = l_1 i_p^3 + l_2$,

$$C = l_1^2 i_p^6 + l_2^2 - 2l_1 l_2 i_p (i_p^4 - 3i_p^2 + 1)$$

The equation (13) facilitates the θ angle determination at which the maximal mixer blade deflection is recorded. When the obtained solution was placed into the dependence (10) we have got the equation depicting the maximal deflection of the mixer paddles y_{max} .

To determine the area between the curve formed by the blade end and container symmetry axis going through the chosen contact point there were applied (1) and (2) dependences. Next, the derivative of coordinate x was determined along the angle θ and the dependence of the area under the curve defined parametrically was used

$$P = \int_{\theta_p}^{\theta_k} y(\theta) \frac{dx(\theta)}{d\theta} d\theta \quad (15)$$

As a consequence the following was obtained

$$P = \frac{l_2^2}{4} \sin\left(\frac{2\theta}{i_p}\right) - \frac{l_1 l_2 (i_p + 1)}{2(i_p - 1)} \sin\left[\frac{\theta(i_p - 1)}{i_p}\right] + \frac{l_1 l_2}{2} \sin\left[\frac{\theta(i_p + 1)}{i_p}\right] + \frac{l_1^2}{4} \sin(2\theta) - \frac{l_1^2 i_p + l_2^2}{2i_p} \theta \Bigg|_{\theta_p}^{\theta_k} \quad (16)$$

The bottom limit of integration is $\theta_p = 0$, while the top θ_k was determined from the condition

$$y = l_1 \sin\theta_k + l_2 \sin\left(\frac{\theta_k}{i_p}\right) = 0 \quad (17)$$

Similarly as in the case of y_{max} determination owing to a lack of an analytical solution of the equation $y = 0$, the function $\sin(\theta)$ was developed into Taylor series to get the following

$$l_1 \left(\theta_k - \frac{\theta_k^3}{6}\right) + l_2 \left(\frac{\theta_k}{i_p} + \frac{\theta_k^3}{6i_p^3}\right) = 0 \quad (18)$$

One of the solutions of the above equation meeting the conditions of the problem proves to be

$$\theta_k = \frac{-i_p}{A} \sqrt{6DE} \quad (19)$$

where: $D = l_1 i_p^3 + l_2$, $E = l_1 i_p + l_2$

Substituting the top and bottom limit of integration to the equation (16) we obtain

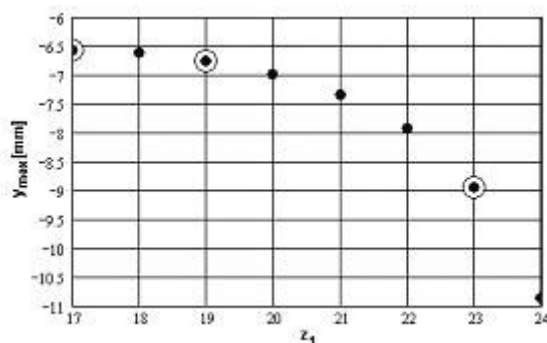
$$P = -\frac{l_1^2}{4} \sin\left(\frac{2i_p \sqrt{6DE}}{D}\right) - \frac{l_2^2}{4} \sin\left(\frac{2\sqrt{6DE}}{D}\right) + \frac{l_1 l_2 (i_p + 1)}{2(i_p - 1)} \sin\left[\frac{(i_p - 1)\sqrt{6DE}}{D}\right] - \frac{l_1 l_2}{2} \sin\left(\frac{(i_p + 1)\sqrt{6DE}}{D}\right) + \frac{l_1^2 i_p + l_2^2}{2D} \sqrt{6DE} \quad (20)$$

4. Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie uzyskanych zależności (14) i (20) sporządzono wykres zmian y_{max} oraz P w funkcji liczby zębów z_1 satelity.

4. Test results and their analysis

On the basis of the obtained dependences (14) and (20) the diagram of changes y_{max} and P was elaborated in the function of teeth number of satellite z_1 .

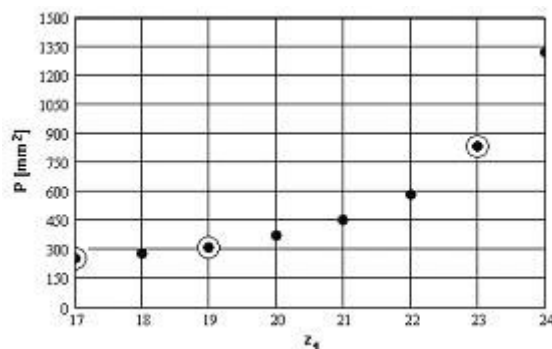


Rys.3. Maksymalne wychylenie łopatek mieszadła od osi symetrii pojemnika przechodzącej przez wybrany punkt kontaktu y_{max} w funkcji liczby zębów satelity z_1

Fig.3. Maximal deflection of the mixer blades from the container symmetry axis running through a chosen contact point y_{max} in the function of satellite z_1 teeth number

Pośród analizowanych rozwiązań 1, 3 i 7 najkorzystniejszym z punktu widzenia maksymalnego wychylenia łopatek jest rozwiązanie 7, dla którego moduł maksymalnego wychylenia wynosi $y_{max} = 8,95$ mm.

Out of the analyzed solutions 1, 3 and 7, regarding the maximal paddle deflection, the most advantageous solution appears to be No 7 for which the maximal deflection module is $y_{max} = 8.95$ mm.



Rys.4. Pole powierzchni P pomiędzy torem ruchu łopatki, a osią symetrii pojemnika przechodzącą przez wybrany punkt kontaktu w funkcji liczby zębów satelity z_1

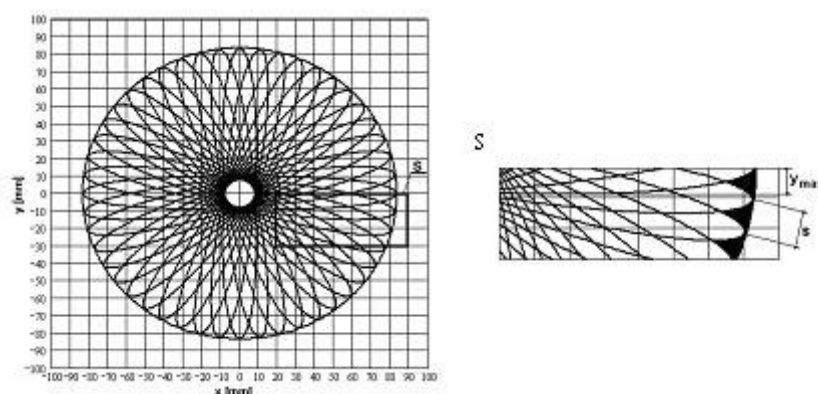
Fig.4. Area P between the blade motion trajectory and container symmetry axis going through a chosen contact point in the function of satellite z_1 teeth number

Podobnie jak w przypadku maksymalnego wychylenia łopatek najkorzystniejszym z punktu widzenia pola pomiędzy krzywą utworzoną przez koniec łopatki, a osią symetrii pojemnika jest rozwiązanie 7, dla którego pole powierzchni $P = 834$ mm².

Alike the case of the maximal blade deflection, the most favourable solution taking into account the area between the curve formed by the paddle end and the container symmetry axis proves to be No 7 for which the area $P = 834$ mm².

W wyniku przeprowadzonych analiz za najkorzystniejsze rozwiązanie w aspekcie skuteczności mieszania w pobliżu ścianek naczynia uznano rozwiązanie, dla którego liczba zębów satelity $z_1 = 23$. Trajektorie ruchu końca łopatki dla tego rozwiązania przedstawia rys.5.

The analyses showed that the most advantageous solution regarding the mixing efficiency near the container walls is the one for which the satellite z_1 teeth number is $z_1 = 23$. The trajectories of the blade end motion for this solution are presented in Fig.5.



Rys.5. Tory ruchu końca łopatki dla rozwiązania najkorzystniejszego ($z_1=23$) oraz szczegół z martwymi strefami w pobliżu ścianek

Fig.5. Paths of blade end motion for the best solution ($z_1=23$) and detail with dead zones in the walls vicinity

5. Podsumowanie

- 1) Najkorzystniejszym rozwiązaniem zarówno pod względem wielkości wychYLENIA łopatek mieszadła y_{max} jak i pola powierzchni P pomiędzy torem ruchu łopatki a osią symetrii pojemnika jest rozwiązanie 7, dla którego liczba zębów satelity wynosi $z_1=23$.
- 2) Moduły maksymalnych wychyleń łopatek dla rozwiązań 1 i 3 wynoszą odpowiednio $y_{max} = 6,56$ mm oraz $y_{max} = 6,77$ mm co stanowi 73,3% i 75,6% w stosunku do rozwiązania 7, dla którego $y_{max} = 8,95$ mm.
- 3) Pole powierzchni P pomiędzy torem ruchu łopatki, a osią symetrii pojemnika przechodzącą przez wybrany punkt kontaktu dla rozwiązań 1 i 3 wynoszą odpowiednio $P = 252$ mm² oraz $P = 317$ mm² co stanowi 30,2% i 38,0% w stosunku do rozwiązania 7, dla którego $P = 834$ mm².
- 4) W stosunku do rozwiązania pierwotnego ilość masy pozostająca przy ściankach dla rozwiązania 7 zmniejszyła się sześciokrotnie.

6. References

- [1] Jaśkiewicz Z.: *Poradnik inżyniera samochodowego: elementy i materiały*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990r.
- [2] Olędzki A.: *Podstawy teorii maszyn i mechanizmów*. WNT, Warszawa, 1997r.

5. Conclusions

- 1) Regarding the value of mixer paddle deflection y_{max} and P area between blade motion path and container symmetry axis, the most advantageous solution is No 7 for which satellite teeth number is $z_1 = 23$.
- 2) The modules of the maximal blade deflections for solutions 1 and 3 are $y_{max} = 6.56$ mm and $y_{max} = 6.77$ mm, respectively that constitute 73.3% and 75.6% as against No 7 for which $y_{max} = 8.95$ mm.
- 3) The area P between the blade motion trajectory and container symmetry axis running through a chosen contact point for the solutions 1 and 3 are $P = 252$ mm² and $P = 317$ mm² that make 30.2% and 38.0% compared to No 7 whose $P = 834$ mm².
- 4) In relation to the primary solution the volume of mass remaining at the walls for solution No 7 has reduced by 6 times.

Dr inż. Marek BORYGA

Dr inż. Andrzej GRABOŚ

Akademia Rolnicza w Lublinie

Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Podstaw Techniki

20-280 Lublin, ul. Doświadczalna 50A

e-mail: marek.boryga@ar.lublin.pl

e-mail: andrzej.grabos@ar.lublin.pl

ANALIZA WPŁYWU MODYFIKACJI GEOMETRII KRAWĘDZI ELEMENTU OPOROWEGO PŁYTKI WAHLIWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI STREFY KONTAKTU

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOMETRY MODIFICATION OF EDGE SUPPORT ELEMENT OF SELF ALIGNING PAD ON CONTACT ZONE PRO- PERTIES

W ślizgowym łożysku wzdłużnym z płytkami wahlowymi istotne jest zapewnienie samoczynnego obracania się płytek względem jednej (podparcie wzdłuż krawędzi) lub większej liczby osi (teoretyczne podparcie punktowe). Proces obrotu płytek w trakcie pracy łożyska wynika ze zmieniających się warunków eksploatacyjnych takich jak obciążenie, prędkość obrotowa wału, temperatura oleju zasilającego szczelinę smarną, przy czym powinien on przebiegać bez zakłóceń. W artykule przedmiotem badań jest segment wahlowy oparty na krawędzi elementu oporowego przebiegającej w kierunku promieniowym łożyska na całej szerokości płytki wahlowej. Przeprowadzona analiza uwzględnia zjawisko deformacji sprężystej segmentu wynikające z tworzonego w szczelinie smarnej pola ciśnienia hydrodynamicznego. Przyjęty model dyskretny segmentu umożliwia również wyznaczenie deformacji termosprężystych w następstwie występowania nierównomiernego pola temperatury w materiale płytek wahlowych wywołanego procesem wymiany ciepła między filmem olejowym a otoczeniem. Wielowariantowe badania symulacyjne z zastosowaniem metody elementów skończonych miały na celu określenie właściwości obszaru strefy kontaktu elementów współpracujących (położenie stref kontaktu, wartości naprężeń kontaktowych oraz naprężeń w strefie styku) w zależności od zmian geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego.

Słowa kluczowe: łożyska ślizgowe, symulacja komputerowa, metoda elementów skończonych, zagadnienia kontaktowe

Abstract: In a longitudinal slide bearing with self-aligning pads it is important to guarantee self-acting rotation of pads relatively to one axis (support along the edge) or to a larger number of axis (theoretical point support). The process of pads rotation during the bearing work results from changeable operating conditions such as: load, rotary velocity of shaft, temperature of oil supplying the bearing interface. However, this process should be without any disturbance. In this paper, the self-aligning element supported on edge of support element positioned in bearing radial direction on the whole width of self-aligning pad is analyzed. This analysis takes into consideration the elastic deformations of the segment resulting from the appearance in the bearing interface of hydrodynamic pressure field. The assumed segment discrete model allows for determining of thermo-elastic deformations due to presence of uneven temperature distribution in the self-aligning pads material caused by the process of heat exchange between the oil film and the environment. Multi-variants numerical simulation research with the use of finite element method (FEM) aimed at determining the contact zone properties of co-working parts (contact zones position, contact stresses values and stresses in the contact zone) depending on changes of geometry of supporting edge of support element.

Keywords: slide bearing, numerical simulation, finite element method, contact problems

1. Wstęp

Zjawisko samoczynnego obracania się segmentów wahlowych łożyska wzdłużnego w trakcie jego eksploatacji umożliwia uzyskiwanie optymalnych charakterystyk łożyska, takich jak: wzrost grubości minimalnej

1. Introduction

The phenomenon of automatic rotation of self-aligning segments of axial bearing during operating (exploitation) allows for obtaining optimal characteristics of the bearing, such as: the increase of the

filmu olejowego, spadek momentu tarcia, obniżenie się przyrostu temperatury w szczelinie smarnej [4,5]. Proces wahań płytek wahliwych winien przebiegać łatwo i bez zakłóceń. Czynniki, które temu sprzyjają to możliwie równomierny rozkład nacisków kontaktowych oraz spadek ich maksymalnych wartości. Wyniki wcześniejszych badań autorów [2] dały podstawę do przeprowadzenia dalszych analiz symulacyjnych, głównie w kierunku uzyskania pożądanych właściwości strefy styku segmentu wahliwego i elementu oporowego na drodze modyfikacji geometrii krawędzi oparcia. Należy podkreślić, że uzyskiwane wyniki badań strefy kontaktu zależą w dużym stopniu od dokładności opracowanego modelu dyskretnego segmentu wahliwego w odniesieniu do problemu wyznaczania jego deformacji sprężystych i termosprężystych. W celu uzyskania możliwie dokładnych wyników analizy wykorzystano metodę elementów skończonych z zastosowaniem systemu I-DEAS.

2. Model dyskretny

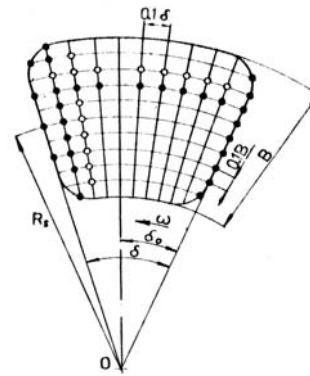
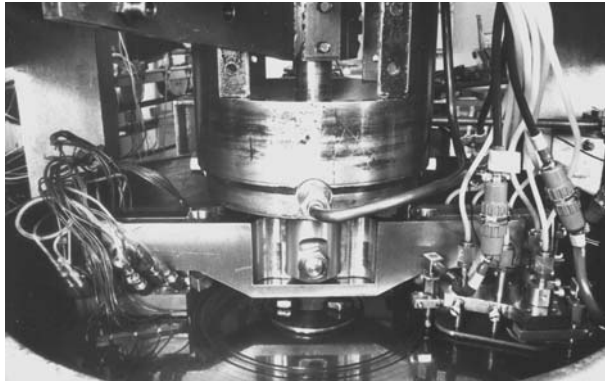
Model geometryczny segmentu wahliwego oraz elementu oporowego został przygotowany przy wykorzystaniu systemu I-DEAS zgodnie z dokumentacją techniczną segmentu przygotowanego do badań doświadczalnych [1, 3]. Uwzględniono obciążenie segmentu rozkładem ciśnienia hydrodynamicznego generowanego w szczelinie smarnej oraz rozkładem temperatury na powierzchni roboczej segmentu. Wartości tych obciążeń uzyskane zostały na podstawie badań doświadczalnych [1]. Stanowisko badawcze do badań eksploatacyjnych ślizgowych łożysk wzdłużnych przedstawiono na rys.1. Obok na schemacie pokazano rozmieszczenie czujników do pomiaru ciśnienia w szczelinie smarnej łożyska oraz czujników do pomiaru temperatury oleju w pobliżu powierzchni ślizgowej. Pomiarów wartości ciśnienia oraz temperatury dokonywano po uzyskaniu przez układ trybologiczny stanu ustalonego, gdy rejestrowane wartości temperatury, ciśnienia oraz momentu tarcia w założonym okresie nie zmieniały się. Czas osiągnięcia stanu ustalonego przez badany układ wynosił w zależności od założonych parametrów eksploatacyjnych, głównie prędkości obrotowej wału oraz obciążenia od kilkunastu do kilkudziesięciu minut.

Model dyskretny uwzględniał wymianę ciepła pomiędzy powierzchniami swobodnymi segmentu a otoczeniem na drodze przejmowania ciepła, przy czym założono współczynnik przejmowania ciepła $\alpha = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ oraz temperaturę otoczenia $T_o = 25^\circ\text{C}$. Kształt płytki wahliwej będącej wycinkiem pierścienia określają następujące parametry (Rys.1): promień średni $R_s = 159 \text{ mm}$, szerokość segmentu $B = 100 \text{ mm}$, kąt rozwarcia $\delta = 40^\circ$, grubość płytki $H = 5 \text{ mm}$, pro-

minimal thickness of oil film, decrease of friction moment, decrease of temperature rise in the bearing interface [4, 5]. The process of self aligning of self aligned pads should be easy and with no disturbances. Factors which are favorable in reaching this conditions include: proportional distributions of contact pressures and decrease of their maximal value. The results of the authors [2] former research provided the basis for conducting the further simulation analyses, mainly, in order to obtain the desired properties of the contact zone of self aligning segment and supporting element by means of support edge geometry modification. It should be noted that he obtained results of contact zone analysis depend to a large extent on the precision of the worked out self aligning segment discrete model in relation to the issue of determining its elastic and thermo-elastic deformities. In order to obtain as precise results of the analysis as possible, the finite element method with the application of system I-DEAS was applied.

2. Discrete model

The geometrical model of self aligning segment and supporting element was made using the I-DEAS system according to the technical data of the segment prepared for experimental research [1, 3]. The segment loading by distribution of hydrodynamic pressure generated in the bearing interface and by temperature distribution on the segment working surface was taken into consideration. These loads values were obtained on the basis of experiments [1]. The test stand for exploitation research of axial slide bearings is shown in Fig. 1. Next to Fig. 1, on the schema are presented positions of sensors for measuring of pressure in the bearings interface and positions of sensors for measuring of oil temperature near the slide surface. The measurement of pressure and temperature values was done after the tribologic system reached the stable state and when the registered temperature, pressure and friction moment values did not change. The time of reaching the stable state by the analyzed system was several minutes, depending on the assumed operating parameters, mainly the shaft rotary velocity and load. The discrete model took into consideration the heat exchange between the segment free surfaces and the environment on the way heat transfer, yet, it was assumed that heat transfer coefficient $\alpha = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ and the environment temperature $T_o = 25^\circ\text{C}$. The shape of the self aligning pad, which is part of ring-shaped section is determined by the following parameters (Fig. 1): mean radius $R_s = 159 \text{ mm}$, segment width $B = 100 \text{ mm}$, spreading angle $\delta = 40^\circ$, pad thickness $H = 5 \text{ mm}$, corner radius of bottom support edge in segment $r_{seg} = 2.5 \text{ mm}$ and corner radius of support edge of supporting element $r_{pod} = 2 \text{ mm}$. The load on



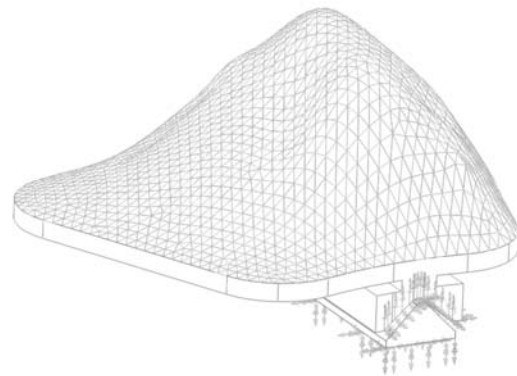
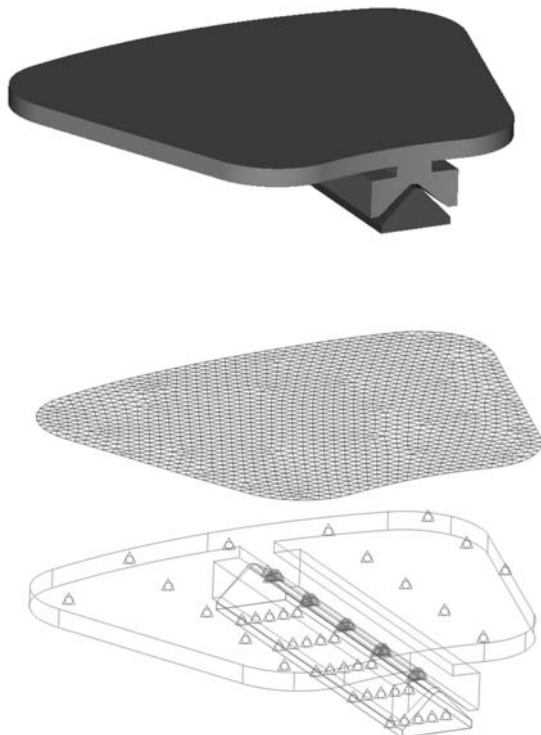
Rys.1. Stanowisko badawcze oraz geometria powierzchni roboczej segmentu wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych (o – ciśnienie; ● – temperatura)
 Fig. 1. Research stand and geometry of segment working surface with placing of measuring points (pressure, temperature)

mień zaokrąglenia dna krawędzi oparcia w segmencie $r_{seg} = 2,5$ mm oraz promień zaokrąglenia krawędzi oparcia elementu oporowego $r_{pod} = 2$ mm. Obciążenie przypadające na pojedynczy segment wahliwy wynosi 9000 N (opowiadające tej wartości średnie naciski na powierzchni ślizgowej płytki wynoszą 0,84 MPa), natomiast prędkość obrotowa wału $n = 500$ obr/min.

Modyfikacja geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego polega na wprowadzeniu dodatkowej krzywizny w kierunku promieniowym, która wywołuje pojawienie się zmiennego luzu między powierzchnią oporową segmentu a elementem opo-

one self aligning segment is 9000 N (relevant to that value mean stresses on the pad slide surface are 0.84 MPa), however, the shaft rotary velocity is $n = 500$ rpm.

The modification of supporting edge of support element geometry is based on implementation of additional curvature in the radial direction. This curvature causes the appearance of changeable clearance between the segment supporting surface and support element, yet, the assumed support edges profile is symmetrical to the mean radius of the segment. Simulations were made for the chosen clearance



Rys.2. Model dyskretny segmentu wahliwego oraz modele obciążenia ciśnieniem hydrodynamicznym oraz obciążenia termicznego
 Fig. 2. Discrete model of self aligning segment and models of hydrodynamic pressure load and thermal load

rowym, przy czym założony profil krawędzi oparcia jest symetryczny względem promienia średniego segmentu. Przeprowadzono badania symulacyjne dla wybranych wartości luzów, które wynosiły: 0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 mm. Odpowiadają one odpowiednio wartościom promienia krzywizny krawędzi oparcia zmieniającego się w zakresie od 125000 mm do 4167 mm. Przypadek szczególnie stanowił wariant, w którym profil krawędzi stanowi odcinek prostej (wartości luzów na całej długości krawędzi oparcia są równe 0).

3. Wyniki badań

Rysunek 3 prezentuje uzyskane wartości nacisków kontaktowych w postaci map dla wszystkich wariantów modyfikacji geometrii oparcia elementu oporowego. Przy założeniu braku luzów powierzchni oparcia segmentu i elementu oporowego kontakt występuje na całej szerokości segmentu B , przy czym obszary maksymalnych nacisków koncentrują się w pobliżu zewnętrznego oraz wewnętrznego promienia segmentu. W miarę zwiększania wartości luzów (co odpowiada zmniejszaniu się promienia krzywizny krawędzi elementu oporowego) stwierdzono jakościowe oraz ilościowe zmiany właściwości strefy kontaktu. Widoczny jest proces przemieszczania się strefy maksymalnych nacisków z obszarów skrajnych krawędzi kontaktu w kierunku środka krawędzi oparcia. Kolejne spostrzeżenie dotyczy zmniejszania długości obszaru styku przy jednoczesnym wzroście wartości maksymalnych nacisków. Należy zauważyć, że w przypadku dwóch najmniejszych luzów (0,01 mm oraz 0,02 mm) stwierdzono znacznie bardziej równomierny rozkład nacisków kontaktowych przy jednoczesnym spadku wartości maksymalnych.

Zmiany wartości maksymalnych nacisków kontaktowych oraz zredukowanych naprężeń kontaktowych wg hipotezy Hubera przedstawiono na rysunku 4.

4. Wnioski

- Zmiana geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego w kierunku promieniowym przeprowadzona w niewielkim stopniu wpływa korzystnie na zwiększenie równomierności rozkładu nacisków kontaktowych oraz zmniejszanie się ich wartości maksymalnych.
- Modyfikacja zarysu krawędzi oparcia elementu oporowego opisana w niniejszym artykule umożliwia wprowadzenie dodatkowego stopnia swobody w postaci możliwości obrotu segmentu względem osi prostopadłej krawędzi oparcia. Stan taki może sprzyjać poprawie charakterystyk eksploatacyjnych łożyska np. zmniejszeniu momentu tarcia, zwiększaniu grubości filmu olejowego.

values, which were as follow: 0.01; 0.02; 0.05; 0.10; 0.15; 0.20; 0.30 mm. They are relevant to the values of curvature radius of support edges varying within the range of 125000 mm to 4167 mm. A special case was a variant in which the edge profile was the line segment (clearance values on the whole length of supporting edge are equal 0).

3. Results of analysis

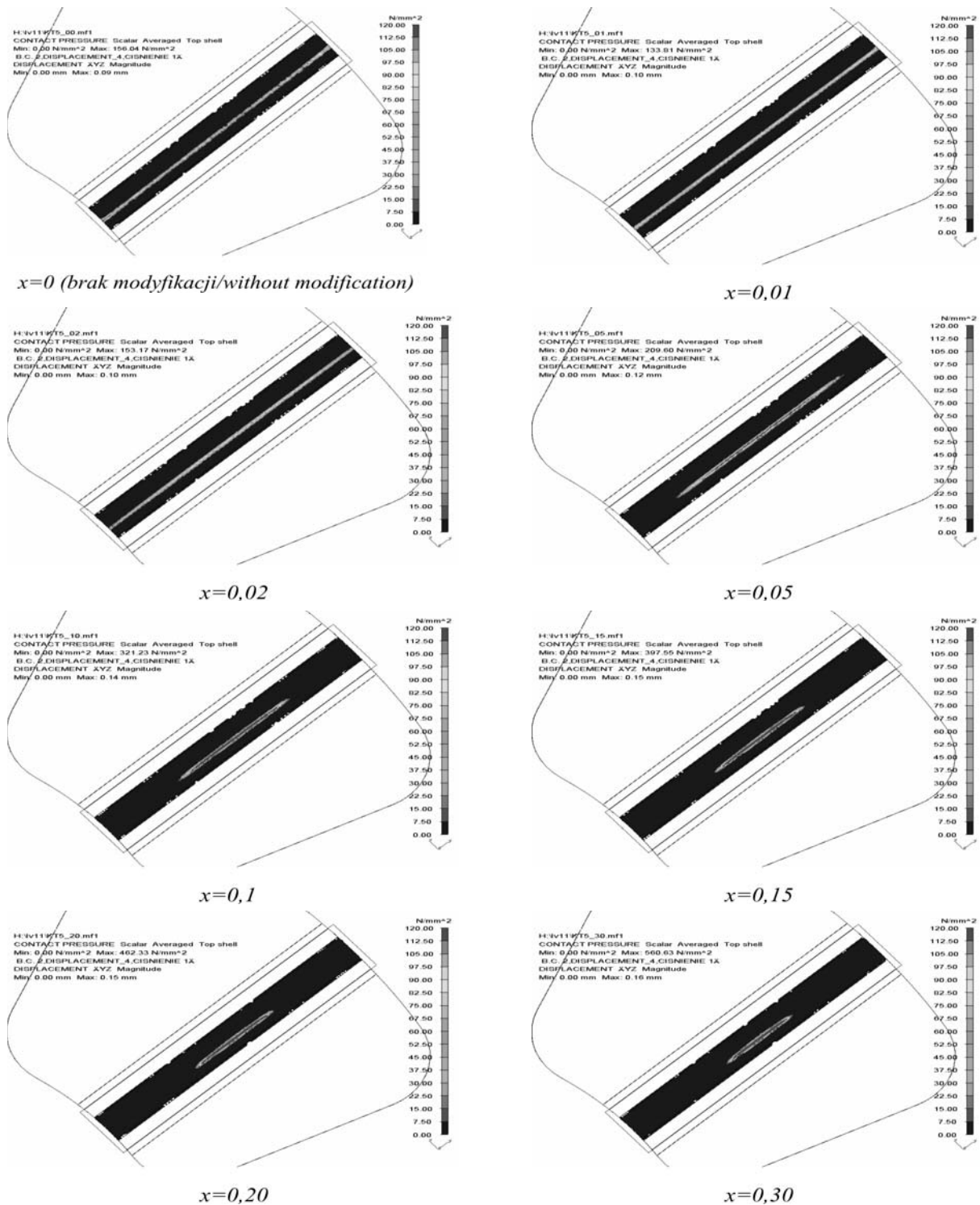
The Fig. 3 shows the obtained values of contact pressures in the form of diagrams for all variants of the supporting element geometry modifications. Assuming that there was no clearance between segment supporting surface and support element, the contact was on the whole width of the segment B ; however, the zones of maximal pressures were near the external and internal segment radius. While enlarging the clearance values (which is relevant to decreasing of curvature radius of support element edge) it was stated that quantity and quality changes of contact zone properties.

The process of displacement of maximal pressures zone from external parts of edge contact zone into the center of support edge can be seen. Another observation concerns the decreasing of length of contact zone with the increasing of maximal pressures values at the same time. It should be noted that in the case of the two smallest clearances (0.01 and 0.02 mm), more proportional distribution of contact pressures with the decrease of maximal values at the same time was observed.

Changes of values of maximal contact pressures and equivalent contact stresses according to Huber hypothesis are shown in Fig. 4.

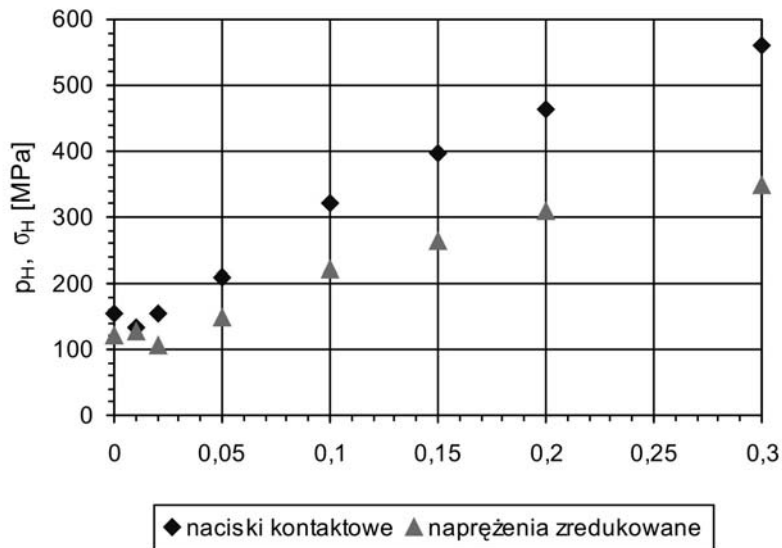
4. Conclusions

- The change of geometry of the supporting edge of support element in the radial direction conducted to a small extent, positively influences the increase of uniformity of contact pressures distribution and the decrease of their maximal values.
- The modification of the outline of the supporting edge of support element described in this paper allows for implementation of additional degree of freedom in the form of possibility of segment movement in relation to the perpendicular axis of supporting edge. This state can be favorable for improving the bearing operating characteristics e.g. decreasing of friction moment, increasing of oil film thickness.



Rys.3 Rozkłady nacisków kontaktowych w zależności od założonych wartości luzów x [MPa]
 Fig. 3. Distributions of contact pressures depending on assumed clearance values x [MPa]

- Stwierdza się potrzebę prowadzenia dalszych badań w różnych warunkach eksploatacyjnych łożyska głównie w odniesieniu obciążeń siłowych oraz cieplnych segmentu łożyska z uwzględnieniem modyfikacji geometrii oparcia elementu oporowego.
- Further research are needed in various bearing operating conditions mainly in aspect of force loads and heat loads of bearing segment with taking into consideration the modification of the geometry of support element.



Rys. 4. Zależność maksymalnej wartości nacisków kontaktowych oraz zredukowanych naprężeń kontaktowych od wartości luzu x
 Fig. 4. Dependency of maximal value of contact pressures and equivalent contact stresses versus clearance values x

5. References

- [1] Kuśmierz L., Ponieważ G., Jonak J.: *Termosprężyste deformacje segmentu wahliwego ślizgowego łożyska wzdłużnego – porównanie wyników eksperymentu oraz badań modelowych.* - XXII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Tom3, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia-Jurata 2005
- [2] Ponieważ G., Kuśmierz L.: *Badania symulacyjne właściwości strefy styku segmentu wahliwego z elementem oporowym.* – XXII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Tom 4, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia-Jurata 2005
- [3] Kuśmierz L., Ponieważ G., Jonak J.: *Wpływ nierównomiernego pola temperatury w płycie wahliwej ślizgowego łożyska wzdłużnego na proces jej deformacji.* - XV Konferencja: Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. Politechnika Warszawska, Kazimierz Dolny 2005
- [4] Huebner K.H.: *A Three-Dimensional Thermohydrodynamic Analysis of Sector Thrust Bearings.* ASLE Transactions, vol. 17, 1974
- [5] Brockett T. S., Barrett I., E., Allaire P., E.: *Thermoelastohydrodynamic Lubrication in Thrust Bearings,* ROMAC Report #378, Department of Mechanical, Aerospace and Nuclear Engineering, University of Virginia, 1994.
- [6] System I-DEAS NX Series.

Dr inż. Leszek KUŚMIERZ
Dr inż. Grzegorz PONIEWAŻ
 Politechnika Lubelska
 Wydział Mechaniczny
 Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
 ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
 l.kusmierz@pollub.pl
 g.poniewaz@pollub.pl

KRYTYKA PRZEPISÓW I STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ DOTYCZĄCYCH WSPOMAGANIA KIERUJĄCYCH POJAZDAMI ZA POMOCĄ LUSTER NA DROGACH O NIEDOSTATECZNEJ WIDOCZNOŚCI

CRITICISM OF REGULATIONS AND APPLICATIONS REGARDING MIRRORS WHICH ASSIST ROAD PARTICIPANTS ON ROADS WITH LIMITED VISIBILITY

W artykule poddano analizie przepisy i stosowane rozwiązania dotyczące wspomagania kierujących pojazdami za pomocą luster które są umieszczone na drogach w miejscach o niedostatecznej widoczności. Wynika to z określonej konfiguracji terenu w którym znajduje się droga. Oceniono przepisy w których określone są wymagania w stosunku do budowy luster oraz ich ustawienie na drogach. Omówiono zasadnicze wady polegające na zapisaniu nieprecyzyjnych wymagań dotyczących krzywizn luster oraz dużej różnorodności rozwiązań, wymiarów i ich kształtu. Wskazano na konieczność szkolenia kierujących pojazdami w zakresie obserwacji otoczenia przy wykorzystaniu luster umieszczonych na drogach.

Słowa kluczowe: lustra drogowe, bezpieczeństwo, ograniczona widoczność

Regulations and applications regarding mirrors which assist road participants and are located on roads with limited visibility were thoroughly analyzed in this article. It is resulting from specific terrain configuration where a road is built. Regulations which include all requirements of mirrors design and mirrors localization have been evaluated. Main weaknesses resulting from imperfect regulations regarding mirrors curvature and wide variety of applications, dimensions and shapes have been reviewed. It has been pointed out that trainings for road participants in observation of the surroundings using road mirrors is crucial.

Keywords: road mirrors, safety, limited visibility

1. Wstęp

Możliwość obserwacji dostatecznie długiego odcinka drogi, po której ma zamiar poruszać się uczestnik ruchu drogowego jest warunkiem koniecznym do niezagrożonego kolizją lub wypadkiem udziału w tym ruchu. Przy czym ważna jest nie tylko obserwacja obszaru, po którym ma zamiar się poruszać, ale także obszary innych dróg dojazdu pozostałych uczestników ruchu w takim zakresie aby nie stwarzać sytuacji zaskakujących innych uczestników ruchu [1]. Każdy powinien mieć możliwość obserwacji na tyle dostatecznie długiego odcinka, aby mógł wykonać np. manewr hamowania w celu zatrzymania i tym samym uniknięcia kolizji [2]. W większości przypadków drogi są tak wykonane, że kierujący ma możliwość obserwacji bezpośredniej wystarczająco dużego obszaru. Natomiast gdy występują naturalne zasłonięcia, powinni być wspomagani np. przez urządzenia widoczności pośredniej.

1. Preface

Necessary condition for safe participation in road traffic is a possibility for traffic participant to observe as longest road section as it is possible. Not only observation of area close and in front of observer is important but also areas with other access roads not to create possibility of suddenly surprising other traffic participants [1]. Each participant should have possibility to observe such a long road section that in case of emergency breaking this maneuver could be carried out safely [2]. In most cases roads are built in such a way that traffic participants have possibility to directly observe large enough part of the road. However, when natural screens occur those participants should be assisted by e.g. devices of indirect visibility.

Uregulowania prawne dotyczące kształtowania dróg zapisano między innymi w rozporządzeniu MTiGM „W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie” [4], oraz innych związanych z tym zagadnieniem aktach prawnych. Przepisy te narzucają takie kształtowanie dróg, aby uczestnicy ruchu drogowego z dostatecznie dużych odległości mogli obserwować bezpośrednio sytuacje na drodze w miejscach, których będą za chwilę się znajdowali i dostosowywać do aktualnej sytuacji swoje zachowanie. W szczególnych konfiguracjach terenu występują utrudnienia. Uniemożliwiają one zapewnienie możliwości obserwacji bezpośrednio dostatecznie dużego odcinka drogi ze względu na niezagrożone kolizją kontynuowanie ruchu. Takie sytuacje występują w miejscach gdzie np. stoi budynek (kolidujący z rozbudową drogi) zasłaniający obszar ważny ze względu na zagrożenia wypadkowe – rys 1. Schemat modelu sytuacji rzeczywistej pokazano na rysunku 2.

Podobne utrudnienia występują, gdy w otoczeniu drogi są strome wzniesienia np. w terenie górskim. Aby zapewnić w takich miejscach uczestnikom ruchu możliwość obserwacji ustawiane są na obrzeżach jezdni specjalne lustra sferyczne za pośrednictwem, których można obserwować niewidoczne bezpośrednio obszary - rysunek 3.

Odległość widoczności ze względu na zatrzymanie (tzw. długość dynamiczna samochodu) jest obliczana z wyrażenia:

$$L_{WH} = 0,278 \ t_r v_m + \frac{v_p^2}{254(\psi_{xR}\eta \pm i_n)} [m]$$

gdzie: v_m – prędkość miarodajna [km/h]; t_r – czas reakcji kierowcy [s], V_0 – prędkość samochodu na początku hamowania [m/s], η – współczynnik wykorzystania przyczepności podłużnej, ψ_{xR} – współczynnik przyczepności podłużnej, i_n – spadek lub wzniesienie drogi („+” jazda w górę, „-” jazda w dół).

Długość drogi hamowania i odległość widoczności ze względu na zatrzymanie określa się uwzględniając, że podczas hamowania energia kinetyczna samochodu jest zmniejszana. Podstawowym czynnikiem procesu hamowania jest przyczepność opony z nawierzchnią. Długość drogi hamowania wyznacza się z porównania pracy hamowania i energii kinetycznej samochodu. Ponadto dodaje się długość odcinka drogi przejechaną w czasie reakcji t_r kierowcy z prędkością początkową (w Polsce przyjmuje się prędkość miarodajną v_m); minimalny czas reakcji ocenia się na $0,96 \div 1,27$ s;

Law regulations regarding building of roads are included among others in decree of Ministry of Transport and Shipping ‘About the technical conditions that public roads and their placement should meet’ [4]. All regulations require such road shape that all traffic participants could observe road situation directly in places where they would appear in the following moment and finally so they could adjust their behavior to current situation. Some difficulties may occur in particular terrain configurations. They could make it impossible a directly observation of a large enough section of road for safe participation in the traffic. Such situations occur in places where e.g. a building stands in a way of the road development, and which obscures the area important in terms of accident dangers – figure 1. Scheme of real situation model is shown on figure 2.

Similar difficulties occur when the road is surrounded by steep hills e.g. in mountainous terrains. In such cases special spherical mirrors are placed on road verges to make it possible for road participants to observe areas that cannot be seen directly – figure 3.

Braking visibility distance L_{WH} (so called vehicle dynamic distance) is calculated from the following formula:

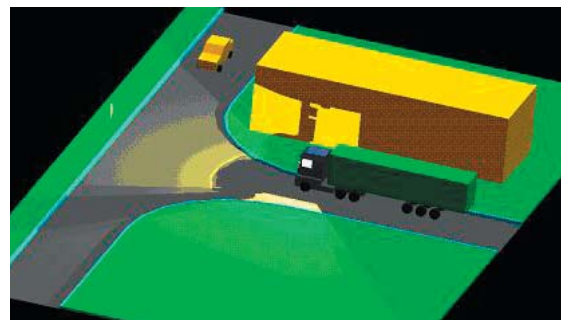
$$L_{WH} = 0,278 \ t_r v_m + \frac{v_p^2}{254(\psi_{xR}\eta \pm i_n)} [m]$$

where: v_m – reliable velocity [km/h]; t_r – driver reaction time [s], V_0 – car velocity at the beginning of breaking [m/s], η – longitudinal traction adhesion utilisation coefficient, ψ_{xR} – longitudinal traction adhesion coefficient, i_n – road sloping up or sloping down („+” up hill drive, „-” down hill drive).

Breaking distance and braking visibility distance is being determined by taking into account, the fact that during breaking the vehicle kinetic energy is being decreased. The essential factor of the braking process is tyre’s adhesion to the surface. Braking distance is being established by comparing vehicle braking work and kinetic energy. Apart from that, the road distance covered with the initial velocity during the driver reaction time (t_r) gets added to the equation. (In Poland reliably velocity v_m is used): minimal reaction time is estimated at $0,96 \div 1,27$ s;



Rys.1. Przykład ograniczenia widoczności na skrzyżowaniu dróg przez budynek zasłaniający część drogi
Fig. 1. Example of visibility limitation by a building obscuring part of the road intersection



Rys.2. Schemat modelu sytuacji rzeczywistej
Fig. 2. Scheme of real situation model



Rys.3. Przykład instalacji luster w miejscu ograniczenia widoczności na skrzyżowaniu dróg z prawej i lewej strony przez strome wzniesienia powodujące zasłonięcia
Fig. 3. Example of mirror application at the intersection where visibility for road participants is limited from both sides by steep hills

2. Ocena obowiązujących wymagań

Wymagania dotyczące luster ustawianych na drogach w Polsce są zapisane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach, Dz. U. Nr 220 z 23.12.2003 r. poz. 2181 – załącznik nr 4 do rozporządzenia [3]. Poniżej zamieszczono cytaty dosłowny punktu 9 tego załącznika.

„9. Lustra drogowe

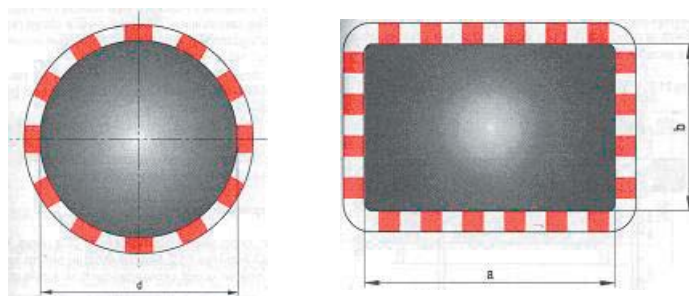
Lustra drogowe wypukłe U – 18, o zwiększonym kącie obserwacji, stosuje się w miejscach, gdzie stojące przy drodze budynki, słupy, drzewa itp. ograniczają

2. Current requirements review

Requirements regarding road mirrors in Poland are written down in the decree of Infrastructure Ministry from the 3rd of July 2003 referring to technical conditions for the road signs and signals and safety devices of the traffic and conditions of their placement on the roads, Official Journal of Laws no. 220 from 23rd of December 2003 position 2181 – attachment no. 4 to the decree [3]. Quotation from point 9th of the attachment could be found below.

“9. Road mirrors

Convex road mirrors U-18 with increased observation angle are applied in places where buildings next to roads, poles, and trees etc. cause visibility



Rys.4. Lustra drogowe okrągłe U - 18a oraz prostokątne U - 18b
Rys.4. Lustra drogowe okrągłe U - 18a oraz prostokątne U - 18b

widoczność kierującym pojazdami. Dotyczy to przede wszystkim:

- Skrzyżowań dróg i ulic osiedlowych,
- Wyjazdów z posesji,
- Przystanków komunikacji zbiorowej usytuowanych na łukach dróg (torów) lub ulic,
- Dróg wewnętrznych w zakładach produkcyjnych, obiektach handlowych itp.

Lustra drogowe powinny być zamocowane na wysokości minimum 2,0 m od poziomu chodnika (pobocza).

Stosuje się dwa rodzaje lusterek drogowych:

- Okrągłe U – 18a,
- Prostokątne U – 18b.

W tabeli 1. przedstawiono zalecane w rozporządzeniu lustra drogowe w zależności od odległości obserwacji katowej.

Tab.1. Rodzaje i wymiary lusterek drogowych U – 18”

Tab. 1. Types and dimensions of Road mirrors U-18”

Rodzaj lustra Mirror type	Średnica lub długość boków lustr Diameter or length of sides of the mirror	Minimalna odległość obserwacji katowej Minimal length of angular observation
	[mm]	[m]
okrągłe Round	φ 500, φ 600	9÷12
	φ 700, φ 800, φ 900	15÷22
prostokątne Rectangular	400 x 600	9÷12
	600 x 800	15÷22
	800 x 1000	22÷27

Koniec cytatu w.w. przepisów w zakresie budowy lusterek

Jeśli porównamy te wymagania z wymogami dotyczącymi lusterek stosowanych w pojazdach zapisanych w regulaminie nr 46 EKG ONZ - Jednolite przepisy dotyczące homologacji lusterek wstecznych i pojazdów w zakresie umieszczenia lusterek wstecznych, to wnioski są następujące:

1. dla lusterek na drogach nie określono rodzaju wypukłości np. promienia krzywizny wycinka sfery, walca lub innej powierzchni, którym powinno być lustro,
2. tym samym nie określono wartości dopuszczalnych odchyłek promienia tej krzywizny, która decyduje o zniekształceniu obrazu przekazywanego przez lustro,
3. nie określono wartości minimalnej współczynnika odbicia powierzchni lustrzanej, co jest szczególnie ważne w nocy,
4. wprowadzono dowolność wymiarów lustra w ramach zdyskretyzowanego typoszeregu,
5. wprowadzono określenia: lustra o zwiększonym kącie obserwacji, minimalna odległość obserwacji katowej.

Ad1. Brak ustalenia rodzaju wypukłości np. wartości promienia krzywizny (sferycznej czy walcowej) powoduje sytuację, w której każdy producent w sposób

limitację dla uczestników ruchu. Dotyczy to przede wszystkim:

- Drogi skrzyżowań i osiedli mieszkaniowych,
- Wyjścia z posesji,
- Stacje publicznego transportu zbiorowego umieszczone na łukach dróg i torów,
- Drogi wewnętrzne w zakładach przemysłowych, obiektach handlowych itp.

Lustra drogowe powinny być zamocowane na wysokości minimum 2 metry nad poziomem nawierzchni (pobocza).

Stosuje się dwa rodzaje lusterek drogowych:

- Okrągłe U-18a,
- Prostokątne U-18b.

W tabeli 1. przedstawiono zalecane w rozporządzeniu lustra drogowe w zależności od odległości obserwacji katowej.

The end of quotation of above mentioned regulations regarding mirrors construction.

Comparison of above mentioned requirements with those from UN EEC regulation no. 46 regarding homologation of rear mirrors and vehicles regarding scope of rear mirrors placement leads to following conclusions:

1. type of convex for the road mirrors has not been defined, e.g. curvature radius of sphere slice or cylinder slice or other surface,
2. thereby permissible value of curvature radius deviations which decide about image distortion has not been defined,
3. minimal value of reflection coefficient of mirror surface has not been defined, which is a crucial parameter at night,
4. Arbitrary choice of mirror dimensions, within discontinuous one kind of series, has been brought in,
5. some definitions have been introduced: mirrors with increased observation angle, minimal length of angular observation.

Ref. 1. type of convexity has not been defined, e.g. value of curvature radius (sphere or cylinder). It causes situation where any manufacturer has full freedom to

dowolny a zatem nie ujednolicony kształtuje lustro. W efekcie uczestnicy ruchu potrzebują długiego czasu adaptacji, aby przekaz wizualny transmitowany przez takie lustro był przez nich zrozumiany.

Ad 2. Nie określenie dopuszczalnych wartości odchyłek promienia krzywizny na całej jego powierzchni dopuszcza jego dużą nieregularność. Tym samym dopuszcza się znaczne zniekształcenia obrazu pokazywanego przez to lustro. Wydłuża to czas zrozumienia informacji.

Ad 3. Nie określenie wartości minimalnej współczynnika odbicia powierzchni lustrzanej wprowadza pełną dowolność, co przy małych wartościach tego współczynnika tłumi znacznie przekaz wizualny i utrudnia obserwację np. w słabym świetle.

Ad 4. Dowolność rozmiarów i kształtu w połączeniu z dowolnością wartości promienia krzywizny sfery lustra powoduje istnienie dużej niejednorodności zniekształcenia obrazu. Tym samym kierujący potrzebuje znacznie dłuższego czasu do odebrania przekazu wizualnego transmitowanego przez zwierciadło, zrozumienia go i podjęcia właściwej decyzji. Utrudnienia tym powodowane mogą skutkować popełnieniem błędów, tworząc tym samym zagrożenie wypadkowe. Niedostateczne wykształcenie i zrozumieniu informacji potęgują zagrożenia wypadkowe.

Ad 5. Wprowadzone pojęcia są niezdefiniowane, niejasne i nieprecyzyjne. Odpowiedni regulamin Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych w zastosowaniu do samochodów precyzyjnie określa parametry zwierciadła które musi być zabudowane na pojeździe aby zapewnić możliwość obserwacji określonych obszarów otoczenia pojazdu.

W ramach badania zagadnienia ograniczenia przekazu wizualnego w szczególnej konfiguracji otoczenia drogi, został opracowany przez autora, matematyczny model zjawiska w postaci algorytmu obliczeniowego [3]. W algorytmie wykorzystano elementarne zagadnienie odbicia promienia świetlnego w zwierciadle – rysunek 5.

Wyznaczając wokół pojazdu obszar na płaszczyźnie xy np. zgodny z obowiązującymi przepisami lub też z oczekiwaniami, można określić:

- czy dla danego zwierciadła i jego umieszczenia na drodze, kierujący może objąć wzrokiem żądany obszar,
- jakie warunki należy spełnić (wysokość, szerokość, promień krzywizny, zwierciadła, parametry jego umieszczenia na drodze, ustawienia), aby kierujący mógł objąć wzrokiem zadany obszar dla konkretnego miejsca,
- granice możliwości wykorzystania zwierciadeł do widzenia pośredniego obszarów otoczenia drogi

produce mirrors. As a result traffic participants need a long adaptation period in order for the image transmission by mirror to be understandable for them.

Ref. 2. not defining a permissible value of curvature radius deviations on whole mirror's surface allows big irregularity. Thereby significant distortion/defects of image transferred by mirror are permissible. Of course period of time needed to understand information is much longer.

Ref. 3. not defining a minimal value of reflection coefficient of mirror surface brings in a total freedom. In case of small values of that coefficient image transmission is suppressed and observation e.g. in dim light is difficult.

Ref. 4. a liberalization of mirror dimensions and shapes along with that of convex radius value result in significant heterogeneity of image distortion/defect. Because of that a driver needs much more time to receive and understand image transmission from road mirror and after that to make proper decision. Those difficulties might cause many faults which might lead to a collision danger. Insufficient training of information comprehension only intensifies those threats.

Ref. 5. Introduced definitions are not clear and precise. Appropriate regulation of ECE UN regarding vehicles defines precisely all mirror parameters. A mirror has to be mounted in the vehicle in such a way as to allow observing definite areas behind vehicle.

Within research regarding problem of image transmission limitations in specific road surroundings, the author created a mathematical model of this effect which is represented by analytical algorithm [3]. This algorithm is based on elementary problem of light reflection in the mirror – figure 5.

Evaluating area around vehicle on the 'xy' surface, e.g. compliant with current regulations or expectations it is possible to define:

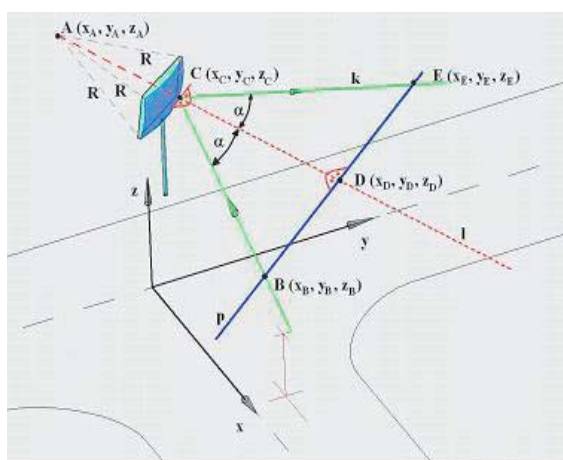
- if with a mirror placed on the road, a driver may observe requested area,
- what are conditions (length, width, curvature radius, parameter of placement, adjustment) that have to be met so that the driver could see requested area for a particular place,
- limits of mirror applications for indirect observation of areas near the road for particular vehicle category and technical issues,

dla konkretnej kategorii pojazdu oraz rozwiązań konstrukcyjnych,

- wrażliwość obiektu badań (który jest funkcją wielu zmiennych) na poszczególne zmienne.

Opisany powyżej model matematyczny przekazu wizualnego z otoczenia pojazdu transmitowanego przez zwierciadła posłużył do stworzenia programu obliczeniowego w języku programowania C++ przy wykorzystaniu biblioteki Open GL, działający pod systemem Microsoft Windows [3]. Na rysunku 6 pokazano przykład obrazu generowanego przez program, który operator programu widzi na ekranie monitora komputera. W określonym przedziale wartości można:

- powiększać lub zmniejszać przedstawiony obiekt, co ułatwia oglądanie szczegółów,
- zmieniać kierunek obserwacji.



Rys.5. Elementarne zagadnienie odbicia w zwierciadle
Fig. 5. Elementary problem of reflection in mirror

Obsługa programu polega na zadawaniu wartości takich wielkości jak np. ustawienie pojazdu, nastawienie zwierciadła. Ponadto zadawane jest umieszczenie względem drogi i pojazdu:

- „punktów ocznych”,
- obszarów, które kierujący powinien obserwować,
- zwierciadła, które rozpatrujemy (jego szerokość, wysokość oraz promień krzywizny, miejsce ustawienia).

Pozwala on prowadzić badania w celu doboru optymalnych parametrów zwierciadła oraz jego umieszczenia na drodze w celu wspomaganie uczestników ruchu przy wykorzystaniu zjawiska widoczności pośredniej.

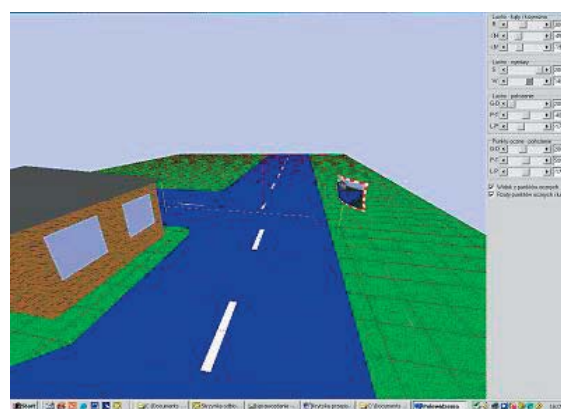
3. Podsumowanie i wnioski

Dowolność rozwiązań w wyżej omówionym zagadnieniu zapisana w przepisach powoduje dużą różnorodność stosowanych lusterek. W efekcie zrozu-

- sensitivity of tested object (which is function of many variables) for respective variables.

Above mentioned mathematical model of image transmission from vehicle surroundings by mirrors was used to prepare computing program in C++ and Open GL program library [3]. Example of generated image by above mentioned program has been shown on the figure 6. In specific range of values it is possible to:

- increase or decrease presented object, which makes seeing some details easier,
- change direction of observation.



Rys.6. Symulacja komputerowa obserwacji pośredniej przez zwierciadło na drodze

Fig. 6. Computer simulation of indirect observation in the road mirror

Program operation is based on variables input such as vehicle position, mirror set up. Position with respect to the road and vehicle of below listed items can also be introduced:

- ‘eyes points’,
- areas, which should be in sight of the observer,
- mirrors (width, height and curvature radius, placement).

This program allows carrying test to select optimal parameters of mirror and their placement on the road. Finally it allows assisting traffic participants with indirect visibility effect.

3. Summary and conclusions

Freedom of solutions for the above mentioned problem written down in regulations causes a large variety of used road mirror applications. Understan-

mienie tak nie ujednoliconego zniekształconego przekazu wizualnego staje się znaczącym problemem dla uczestników ruchu drogowego. Nie jasny i w krótkim czasie nie zrozumiały obraz przekazywany przez lustro może powodować podejmowanie błędnych działań i w efekcie powstawanie kolizji lub wypadku. Wobec braku argumentów za istnieniem takiej różnorodności konstrukcji zwierciadeł a istnienia przeciwwskazań i przy jednoczesnym braku precyzyjnych wymagań w stosunku do ich budowy wydaje się konieczne zaproponowanie ujednoliconych rozwiązań i doprecyzowania wymagań w zakresie ich konstrukcji. Należy również opracować jednolite zasady umieszczania takich lusterek w miejscach o ograniczonej widoczności bezpośredniej. Umiejętność korzystania z zwierciadeł na drogach powinno być elementem szkolenia w ramach prowadzonych kursów dla otrzymania prawa jazdy. Należy również przeprowadzić propagowanie umiejętności korzystania z lustra przez kierowców którzy wcześniej uzyskali prawo jazdy. Kierujący pojazdem otrzymuje zmysłem wzroku ponad 90% ważnych z racji bezpieczeństwa informacji niezbędnych do kierowania pojazdem. Dbłość o niezakłócony przekaz wizualny jest podstawowym elementem systemu bezpieczeństwa czynnego uczestników ruchu drogowego w eksploatacji infrastruktury transportu.

4. References

- [1] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria Ruchu*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2001.
- [2] Olejnik K.: *Ergonomiczne aspekty zapewnienia widoczności kierującemu pojazdem mechanicznym w świetle wymagań obowiązujących w Polsce*. Referat na sympozjum Komitetu Ergonomii przy PAN, Kraków 2001.
- [3] Olejnik K.: *Wstęp do modelowania obserwacji otoczenia z miejsca kierującego pojazdem za pośrednictwem zwierciadeł*. Kwartalnik - Transport Samochodowy. ITS Warszawa 4/2004 r.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 31.12.02.: w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, Dz. U. 32/2003 poz. 262.
- [5] Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz z 23 grudnia 2003 r.: w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunkach ich umieszczania na drogach Dz. U. R. P. Nr 220/2003 pozycja 2181.

Dr inż. Krzysztof OLEJNIK

Instytut Transportu Samochodowego
03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 80,
tel. (+48 22) 811-32-31 w. 303
e-mail: krzysztof.olejnik@its.waw.pl

ASPEKTY DOTYCZĄCE OPISU PRZENOSZENIA CIEPŁA PODCZAS IMPREGNACJI PÓŁPRODUKTÓW WŁÓKIENNICZYCH

ASPECTS FOR THE DESCRIPTION OF THE HEAT TRANSFER DURING THE IMPREGNATION OF TEXTILE SEMI FINISHED PRODUCTS

Tworzywa kompozytowe coraz częściej są stosowane jako materiały konstrukcyjne, ponieważ w wielu przypadkach jeden rodzaj materiału nie może spełnić wszystkich wymagań. W zakresie technologii tworzyw sztucznych powszechnie stało się zwłaszcza wzmacnianie tworzyw sztucznych włóknami. Jednakże ta klasa materiałów nie została dotychczas zbadana w wystarczającym stopniu, przy czym brak wyczerpującego opisu dotyczy zwłaszcza przenoszenia ciepła w materiałach kompozytowych tego typu. Tematem niniejszego opracowania jest więc zagadnienie przenoszenia ciepła w tworzywach sztucznych wzmacnianych włóknem w zależności od użytego półproduktu włókienniczego (np. przędzy lub tkaniny). Do opisu zastosowano samodzielnie stworzone narzędzie obliczeniowe. Wyniki tych obliczeń zostaną porównane z wartościami doświadczalnymi.

Słowa kluczowe: *termoplastyczne tworzywa kompozytowe, technologia tekstylii, oprogramowanie symulacyjne, nawijanie włónka, impregnacja*

Composite materials are used as construction materials increasingly since a material alone can not meet frequently the demanded requests. At that established just in the field of the plastic processing the fibre reinforced plastics. This material class is not sufficiently examined up to now, at which the heat transfer of such composites is not sufficient in particular described yet. The heat transfer in fibre reinforced plastics will be described in dependence of the used textile semi finished product (for example textile thread or fabric) in which a self developed calculation tool is used. Definitely the calculated results are compared with experimental values.

Keywords: *thermoplastic composites, textile technology, simulation software, filament-winding, impregnate*

1. Wprowadzenie

Tworzywa sztuczne, a zwłaszcza tworzywa wzmacniane włóknem, które ze względu na swe niezwykle specyficzne właściwości znajdują zastosowanie w produkcji lekkich, wytrzymałych i sztywnych elementów konstrukcyjnych, stały się – obok materiałów metalowych – jedną z najważniejszych kategorii materiałów.

Począwszy od zastosowań w przemyśle stocznym, lotniczym i kosmonautycznym, w ciągu ostatnich lat otwierały się wciąż nowe obszary zastosowania tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknami.

Obecnie w przemyśle motoryzacyjnym i elektrycznym, w budownictwie, lotnictwie i kosmonautyce, w przemyśle sportowym i rozrywkowym, jak również w licznych dziedzinach życia codziennego [4] stosuje się wielkie ilości materiałów zdefiniowanych przez [1]

1. Introduction

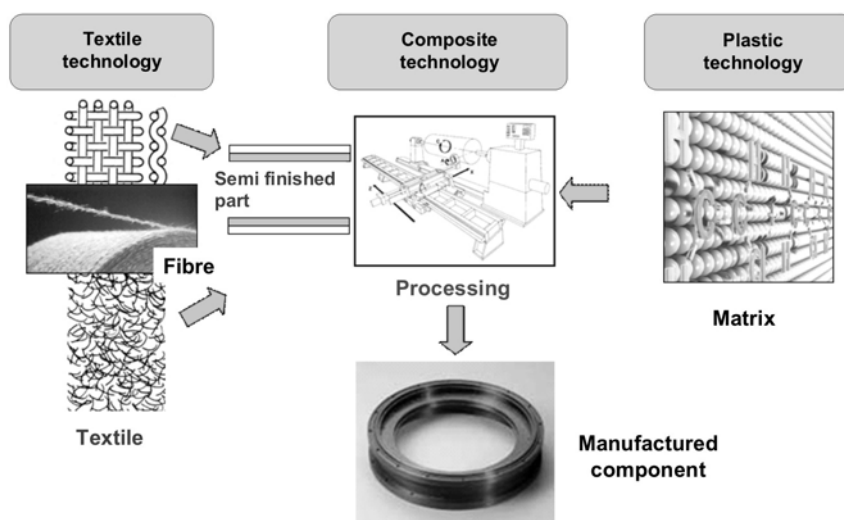
Next to the metallic materials the plastics and in particular the fibre reinforced plastics, which are preferably used for the production of lightweight, high-strength and stiff components due to their excellent specific properties, became one of the most significant material categories.

Departing from applications in the ship as well as air and space travel technology, new areas of application were opened up in the last years for fibre reinforced plastics (FRP). Today great amounts of the of [Ehr99] as fibre reinforced plastics defined materials are used in the construction of vehicles, the electric industry, the building industry, the aerospace industry, the sport and leisure industry as well as in numerous applications of the daily life [4]. With the aid of this, to be designated as indispensable, FRP it's possible to create customized materials that fit to almost every

jako kompozytowe tworzywa sztuczne wzmocnione włóknami. Za pomocą tychże tworzyw kompozytowych, o których należy powiedzieć, że są niezastąpione, można – w wyniku celowego połączenia materiałów systemu osnowy (np. tworzywo sztuczne) oraz wzmocnienia (np. tworzywo włókiennicze) [3] – wytworzyć materiały dostosowane indywidualnie prawie do każdej potrzeby, co sprawia, że tworzywa kompozytowe są stosowane coraz chętniej jako materiały konstrukcyjne. Z połączenia włókna i matrycy w procesie przetwarzania powstaje materiał, z którego równocześnie formowana jest struktura lub element konstrukcyjny (patrz np. rys. 1).

Jednym z ważniejszych procesów przetwórczych, zwłaszcza w przypadku tych elementów konstrukcyjnych, od których wymaga się symetrii ruchu obrotowego, jest metoda nawijania włókien.

problem through the possibility of targeted combining of matrix system (e.g. plastics) and reinforcement system (e.g. textile fabric) [3] so that FRP are used as construction materials increasingly. In this case the material, represented as in fig. 1, is made from the combination of fibre and matrix in the processing and is shaped simultaneously to the components form. As a significant manufacturing process, in particular for rotationally symmetrical components, the filament winding process can be named.



Rys. 1. Schemat procesu produkcji elementu z tworzywa kompozytowego
 Fig. 1. Schematic of the production process of FRP components

2. Nawijanie włókien z zastosowaniem tworzyw termoplastycznych

Według [2] podstawą metody nawijania włókien jest ciągle, wspomagane komputerowo – odbywające się z zadaną prędkością i zgodnie ze zdefiniowanym wzorem – odkładanie włókienniczych półproduktów wzmacniających na obracający się pozytywny rdzeń formy (patrz rys. 1). Forma rdzenia nawojowego umieszczonego pomiędzy konikiem a wrzeciennikiem odpowiada późniejszemu elementowi. W przypadku rur często są używane rdzenie metalowe o lekko stożkowej geometrii (od 1° do 2° nachylenia ułatwiającego oddzielenie od formy). Rdzenie te można – po zakończeniu procesu twardnienia – oddzielić poprzez ściągnięcie gotowej bryły z rdzenia. Pierwsze miejsce w zakresie produkcji przemysłowej

2. Filament winding with thermoplastics

According to [2] the basis of the filament winding process is the continuous computer-aided deposition of textile reinforcing semi finished products on a rotating positive core, in a predefined pattern and with specified speed (fig. 1). In this case the core between tailstock and headstock is equivalent to the shape of the later component. For tubes often metal cores with slightly conical geometry (1° to 2° draft angle) are used. After curing, the produced hollow part can be demoulded by pulling of the core. In the foreground of the industrial manufacturing is the filament winding process with thermosetting plastics [6] that is the impregnation of the semi finished product between take-off and wind-up on the mandrel with the thermosetting matrix in a waterproofing-bath. Since thermosetting

zajmuje metoda nawijania na mokro z zastosowaniem tworzyw duroplastycznych [6] – półprodukt pomiędzy ściągnięciem i odłożeniem na trzpieniu nawojowym styka się z duroplastycznym materiałem matrycy w kąpieli impregnacyjnej.

Ponieważ duroplasty w porównaniu z termoplastami mają wiele cech niekorzystnych (patrz tabela 1), coraz bardziej wzrasta zainteresowanie nawijaniem z zastosowaniem tych drugich tworzyw.

Według [7] „twardnienie” matryc termoplastycznych następuje – inaczej niż w przypadku utwardzania kompozytów z zastosowaniem matryc termoplastycznych (wywoływanego przez sieciowanie chemiczne związków nienasyconych w łańcuchu molekularnym lub jeszcze nie wysyconych, zdolnych do reakcji grup końcowych bądź pobocznych) – w wyniku:

- topienia się polimeru,
- konsolidacji pod wpływem ciepła,
- jak też ochłodzenia matrycy.

Wadą w przypadku nawijania z użyciem matrycy termoplastycznej jest jednakże z jednej strony znacznie wyższa temperatura obróbki, a z drugiej strony – lepkość wyższa o kilka dziesiątych wykładników potęgi. Aby uzyskać mimo to dobre wyniki pod wzglę-

show also some disadvantages in comparison with thermoplastics (see Tab. 1) the winding with last-named plastics is increasingly interesting.

According to [7] the curing of thermoplastic matrix systems is carried out by

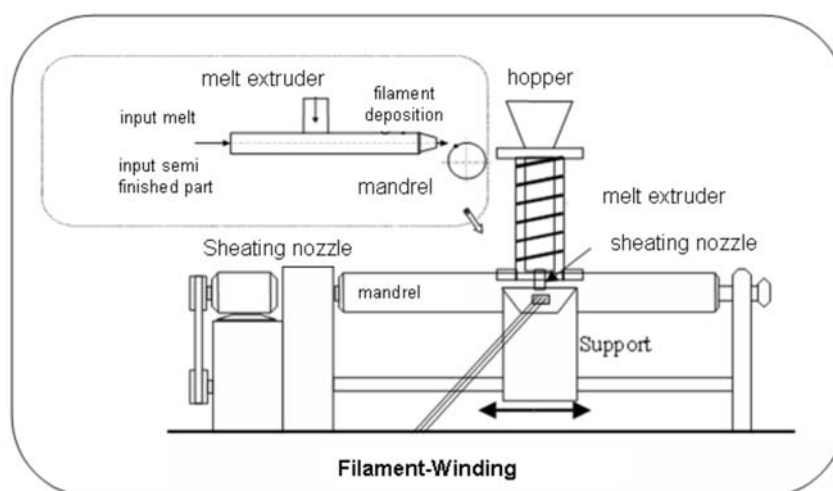
- the melting of the polymer,
- the consolidation under heat influence,
- as well as the cooling down of the matrix

unlike the curing of thermosetting materials results from chemical cross linking of unsaturated bonds in the molecular chain or not yet more saturated reactive groups.

Disadvantageous while winding with thermoplastic matrix is on the one hand the clearly higher processing temperature as well as on the other hand the around some 10er powers higher viscosity. However to achieve good results in terms of the impregnation of the fibres in filament winding the winding process with impregnation nozzle is combined with the extrusion technology (fig. 2). At that the textile semi finished product in the nozzle is contacted first of all with the polymer melt and passes then a thermal compensation stretch in that differences between melt temperature and filament temperature are compensa-

Tab. 1: Właściwości termoplastycznych tworzyw kompozytowych
Tab. 1. Properties of thermoplastic FRP

Wady / Disadvantages	Zalety / Advantages
<i>Właściwości / Properties</i>	
- Duża lepkość stopu / High melt viscosity - Złe właściwości układania w temperaturze pokojowej / Bad drape ability at room temperature	- Duża wytrzymałość na rozciąganie / High percentage elongation after fracture - Wysoka udarność / High impact strength - Wysoka wytrzymałość resztkowa w przypadku obciążenia udarowego / High residual strength at impact - Wysoka wytrzymałość na ściskanie w przypadku podwyższonej temperatury lub wilgotności / High pressure resistance at increased temperature / humidity - duża zdolność pochłaniania energii / High energy consumption property
<i>Trwałość / Resistance</i>	
- Mała trwałość powierzchni / Small surface hardness - Skłonność matrycy do pełzania / Inclination to creep of the matrix	- Dobra odporność chemiczna / Good chemical resistance - Niewielkie wchłanianie wilgoci / Small moisture absorption - Dobra palność / Good fire performance - Biokompatybilność / Biocompatibility - Możliwość późniejszego kształtowania / Subsequent plastic deformation - Prostota łączenia w wyniku procesu spawania / Simple joining through welding - Możliwość ponownego wykorzystania / Possibly for recycling
<i>Przetwarzanie / Processing</i>	
- Wysokie temperatury przetwarzania / High processing temperatures - konieczność kontrolowanego stygnięcia (w przypadku termoplastów częściowo krystalicznych) / Necessity of controlled Cooling's down (for semi crystalline thermoplastics)	- Brak konieczności reakcji polimeryzacji / No polymerization reaction necessary - Potencjalnie szybsza produkcja / Potentially faster manufacturing - mniejsze obciążenie miejsca pracy wzgl. obciążenia środowiska podczas produkcji / Smaller job and/or. environmental pollution during the manufacturing - Możliwość nawijania niegeodezyjnego / No geodesic deposition possible - Możliwość nawijania nieciągłego / Discontinuous deposition possible



Rys. 2. Metoda nawijania z bezpośrednią impregnacją stopem
 Fig. 2. Filament-Winding-Process with direct melt impregnation

dem impregnacji włókien podczas nawijania, zgodnie z rys. 2 połączono metodę nawijania za pomocą dyszy impregnującej z techniką wytłaczania.

W tym przypadku półwyrob włókienniczy w dyszy styka się najpierw ze stopem, a następnie przechodzi przez odcinek wyrównawczy, w którym stop i materiał włókienniczy wyrównują swoją temperaturę. Ponadto materiał przechodzi przez stożek, w którym następuje konsolidacja, tzn. wniknięcie stopu do półwyrobu włókienniczego.

Oprócz opisu właściwości przepływowych duże znaczenie dla późniejszej jakości kompozytu ma – w przypadku opisu przedstawionego tu procesu – zwłaszcza przenoszenie ciepła. Jako że opis procesów przepływu oraz własności wytrzymałościowych przedstawiono już w sposób wyczerpujący w innym miejscu [4], w dalszej kolejności należy dokładniej przeanalizować przechodzenie ciepła oraz jego obliczanie.

Przedstawiany jest przy tym w szczególności model, za pomocą którego w prosty sposób można opisać przewodzenie ciepła w tworzywie kompozytowym w zależności od półproduktu włókienniczego.

3. Opis narzędzia obliczeniowego

Ponieważ przewodnictwo cieplne w kompozytowych tworzywach wzmocnianych włóknem zależy zarówno od zastosowanego włókna i użytej matrycy, jak też od orientacji włókien, w celu prostej prognozy przewodzenia ciepła w polimerach zostało stworzone narzędzie obliczeniowe na podstawie arkusza roboczych programu Excel®. Uwzględniono przy tym zwłaszcza wzmocnienie tworzywa przez różne półprodukty włókiennicze, np. rovingi, przędzę (półprodukty włókniste), a także tkaniny i maty (pół-

ted. Furthermore the material ran through a cone in that the consolidation, that is the intrusion of the melt into the textile semi finished product occurred.

Next to the description of the flow behaviour also the heat transfer represents a significant role for the later compound quality in the here presented process.

While the description of the flow processes as well as the strength behaviour were already fully described at other places [4], the heat transfer and the calculation of the same will be examined more closely in the following.

In particular a model is presented that offers the possibility to describe in a simple and easy way the thermal conductivity depending on the used textile semi finished part.

3. Description of the calculation tool

As the thermal conductivity in fibre reinforced plastics (FRP) is depending both on the used fibres, the used matrix system and fibre orientation, a calculation tool based on Excel® worksheets was developed for easy prediction of the thermal conductivity in polymers.

In particular thoughts have been given to the strengthening of the plastic by different textile semi finished products, that is roving, yarns (fibre semi

produkty powierzchniowe). Podstawę dla narzędzia obliczeniowego stanowi ustalenie profilu temperatury; można w tym celu wykorzystać dwie metody.

Z jednej strony rozwiązanie analityczne (równ. 1) z zastosowaniem funkcji błędu Gaussa (równ. 2) do wyznaczania rozkładu temperatury ciała półnieskończonego jednorodnego, którego temperatura powierzchni zmienia się nagle z T_0 do T_1 , jak też liczbowe wyznaczanie wg równania 3. Rysunek 3 przedstawia siatkę służącą do wyznaczania dwuwymiarowego przepływu ciepła, przy czym równ. 3 określa rozszerzenie do przypadku wielowymiarowego.

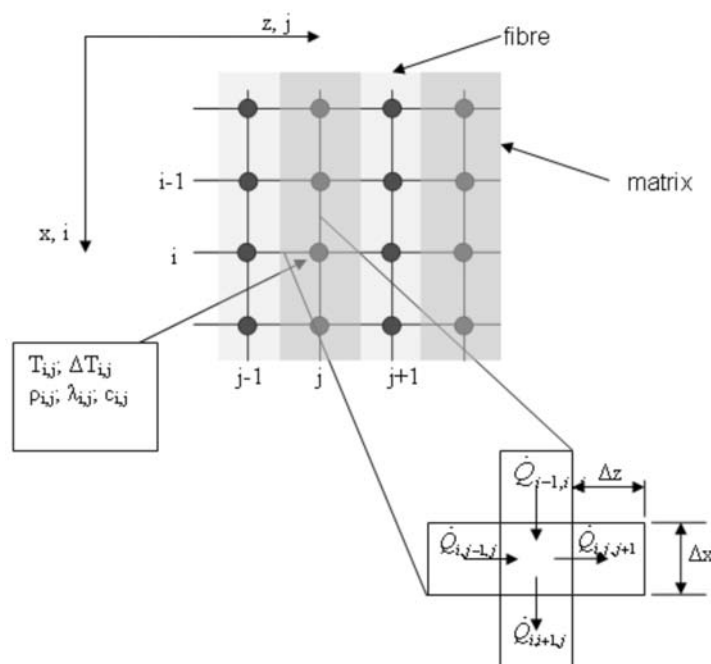
Najpierw obliczany jest profil temperatury tworzywa kompozytowego (z zastosowaniem metody numerycznej), następnie zaś ustalane są własności tworzywa (za pomocą rozwiązania analitycznego). Warunkami obowiązującymi są, w przypadku badania

finished products), as well as fabrics and mats (face semi finished products). The determination of the temperature profile is the basis of the calculation tool in which 2 methods are available here. On the one hand the closed solution (1) with the aid of the Gaussian error function (2) for the calculation of the temperature distribution of a semi-infinite homogeneous body, whose surface temperature changes suddenly from T_0 to T_1 as well as the numeric definition in equation (3). Fig. 3 shows the grid for the definition of the two-dimensional heat flow in which (3) indicates the enhancement onto the multidimensional case.

First of all the temperature profile of the composite is calculated with the numeric method whereupon then the determination of the material values occurs by means of the closed solution.

$$\frac{T - T_1}{T_0 - T_1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-z^2} dz = erf(z) = erf\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t}}\right) \quad (1)$$

$$erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-z^2} dz \quad (2)$$



Rys. 3. Siatka służąca do wyznaczania dwuwymiarowego przepływu ciepła
Fig. 3. Grid for the definition of the two-dimensional heat flow

ciała półnieskończonego, nieustalone pole temperatury (ze względu na skokową zmianę temperatury na brzegu), jak również rozwinięcie odwracalnej funkcji aproksymacyjnej dla całki prawdopodobieństwa Gaussa. W wyniku otrzymuje się wartość zastępczą dla przewodnictwa temperaturowego i cieplnego badanego ciała w celu dalszej iteracji obliczenia.

The requirements for the validity are in this case the consideration of semi-infinite body, an unsteady temperature field through sudden temperature change at the edge as well as the development of a reversible approximation function for the Gaussian error integral. The result supplies a replacement value for the temperature and heat conductivity of the considered

W obrębie modelu obliczeniowego porównywane są przy tym rozwiązania liczbowe i analityczne w celu stwierdzenia dokładności bądź też weryfikacji modelu. Ustala się przy tym maksymalną różnicę obu rozwiązań na poziomie $\pm 0,05^\circ\text{C}$, dzięki czemu wybraną metodę można uznać za wystarczająco dokładną.

Rysunek 4 przedstawia porównanie zastosowania modelu numerycznego oraz rozwiązania analitycznego do obliczania rozkładu temperatur, jak również ich wzajemną różnicę, przy czym zawiera się ona w zakresie $\pm 0,05^\circ\text{C}$, a tym samym model obliczeniowy można uznać za wystarczająco dokładny.

body for the further iteration of the calculation. Within the calculation model the numeric one and the closed solution were compared in order to state the accuracy and/or verify the model. A maximum difference of $\pm 0.05^\circ\text{C}$ between the two solutions was determined so that the chosen procedure can be accepted as sufficiently exact.

Fig. 4 shows the comparison in the application of the numeric model and the closed solution during the calculation of the temperature sequence as well as the difference between each other, while the temperature difference is less than $\pm 0.05^\circ$ so that the model can be accepted as sufficient exact.

$$\begin{aligned} \Delta T_{i,j,k} = & \frac{\Delta t}{\Delta x_{i,j,k}^2} \cdot \frac{2}{c_{i,j,k} \cdot \rho_{i,j,k}} \cdot \left[\frac{\left(T_{i+1,j,k} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i+1,j,k}} \right)} + \frac{\left(T_{i-1,j,k} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i-1,j,k}} \right)} \right] \\ & + \frac{\Delta t}{\Delta z_{i,j,k}^2} \cdot \frac{2}{c_{i,j,k} \cdot \rho_{i,j,k}} \cdot \left[\frac{\left(T_{i,j+1,k} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i,j+1,k}} \right)} + \frac{\left(T_{i,j-1,k} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i,j-1,k}} \right)} \right] \\ & + \frac{\Delta t}{\Delta y_{i,j,k}^2} \cdot \frac{2}{c_{i,j,k} \cdot \rho_{i,j,k}} \cdot \left[\frac{\left(T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i,j,k+1}} \right)} + \frac{\left(T_{i,j,k-1} - T_{i,j,k} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_{i,j,k}} + \frac{1}{\lambda_{i,j,k-1}} \right)} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

W celu maksymalnego uproszczenia narzędzia obliczeniowego, które opisuje zależność przewodnictwa cieplnego od:

- zastosowanych włókien,
- zawartości objętości włókien,
- zastosowanej matrycy, a także
- orientacji włókien (w półprodukcie włókienniczym),

jako podstawę wybrano arkusze obliczeniowe programu Excel®, których maskę wprowadzania przedstawia rys. 5.

4. Wyniki obliczeń

Podczas pierwszych badań model obliczeniowy został nie tylko zbadany poprzez porównanie metody liczbowej i analitycznej pod kątem możliwości ich zastosowania, lecz również porównano go z danymi uzyskanymi metodą eksperymentalną. Rysunek

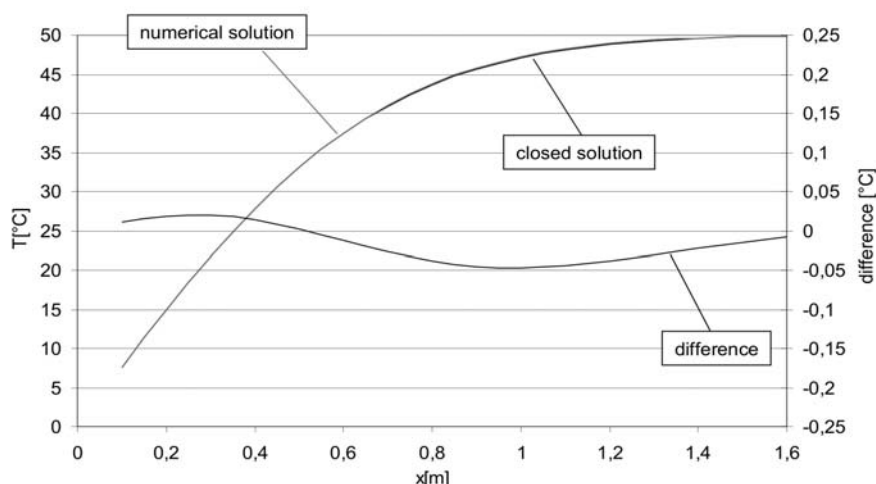
To get the here introduced calculation tool, which describes the dependence of the thermal conductivity on

- the used fibre
- the fibre volume content
- the used matrix, as well as
- the orientation of the fibres (in the textile semi finished product),

as simply as possible in the operation, Excel work sheets were chosen whose input mask is shown in fig. 5.

4. Calculation results

In first investigations the calculation model was not examined only through the comparison of numeric and analytical procedure with regard to his use, but it was compared also with experimentally determined data. Fig. 6 shows the comparison for two carbon fibre



Rys. 4. Porównanie rozwiązania analitycznego i przybliżenia numerycznego
Fig. 4. Comparison of closed solution and numeric approximation

	Matrix	Faser	
dt	0,00375 s	3,75E-03 s	
dx, dy, dz	0,001 m	0,001 m	Gekoppelt
λ	0,4 W/m K	1 W/m K	
ρ	950 kg/m ³	1500 kg/m ³	
c	2050 J/kg K	500 J/kg K	
a	2,05392E-07	1,33E-06	

Ergebnisse:	
Berechnete T-Leitfähigkeit	3,06903E-07 m ² /s
Dichte des Verbundes	1220,769231 kg/dm ³
Wärmekap. des Verbundes	1112,381853 J/kg K
Wärmeleitf. d. Verbundes	0,416762171 W/m K

Faser	640	0,00000064 m ³ (Volumen)
Matrix	660	0,00000066 m ³ (Volumen)
Faser-Volumen-Anteil		0,492307692
Matrix-Volumen-Anteil		0,507692308
Faser-Masse		0,00096 kg
Matrix-Masse		0,000627 kg
Faser-Massen-Anteil		0,604914934
Matrix-Massen-Anteil		0,395085066

Ausgangstemperatur T₀: 100 °C
Zieltemperatur T₁: 0 °C

Startbedingungen (Strg+s)
Berechnung starten (Strg+m)

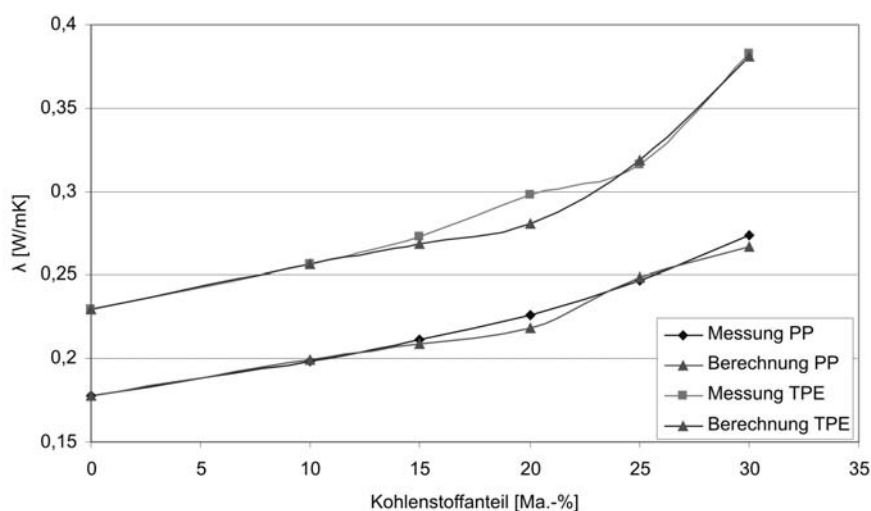
Rys. 5. Maska wprowadzania danych do narzędzia obliczeniowego [Fro 05]
Fig. 5. Input mask of the calculation tool [Fro05]

6 przedstawia porównanie dwóch wzmocnionych włóknem węglowym termoplastów: polipropylenu i elastomeru termoplastycznego, przy czym przewodnictwo cieplne przez fazę włóknistą jest przedstawione w tym przypadku dla nieregularnie wzmocnionego, tzn. quasi-izotropowego materiału kompozytowego. Także w przypadku wyższej zawartości włókien można tu stwierdzić wysoką zgodność pomiędzy testami a obliczeniami.

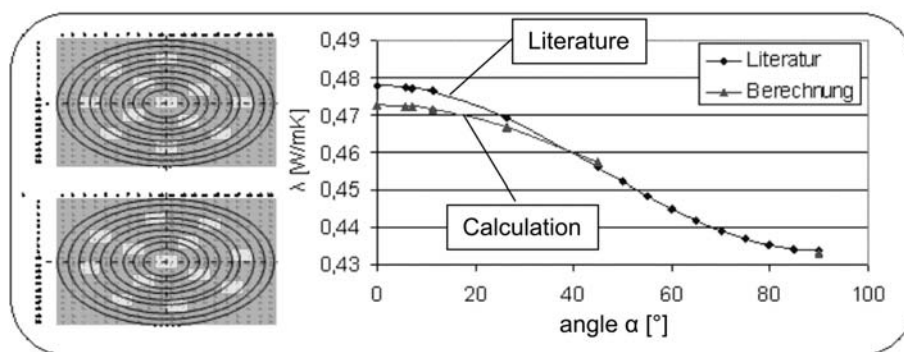
Ponadto na rys. 7 zamieszczono porównanie wartości obliczeniowych i podręcznikowych dla wzmocnienia za pomocą przędzy w zależności od kąta skręcenia włókien. Także w tym przypadku uzyskuje się wysoką zgodność wyników.

reinforced thermoplastics (PP and TPE) at which the thermal conductivity is here plotted versus the fibre part for a random reinforced that is a quasi isotropic composite material. Also at higher fibre volume fractions a good correlation can be found here between experiment and calculation.

Fig. 7 keeps on plotting the comparison of calculation and literature values for a reinforcing using thread versus the fibre bending angle. The good correlation of the results is here proved, too.



Rys. 6. Porównanie obliczonego i zmierzonego przewodnictwa cieplnego
Fig. 6. Comparison of the calculated and experimental thermal conductivity



Rys. 7. Przewodnictwo cieplne w zależności od kąta skręcenia włókien
Fig. 7. Thermal conductivity in dependence of the fibre bending angle

5. Podsumowanie

Przedstawione opracowanie prezentuje narzędzie obliczeniowe służące do wyznaczania przewodnictwa cieplnego i temperaturowego w kompozytowych tworzywach sztucznych wzmocnianych włóknem i umożliwiające wykonywanie obliczeń w prosty i przyjazny dla użytkownika sposób przy użyciu arkuszy obliczeniowych programu Excel®.

Przy jego użyciu można łatwo analizować struktury kompozytowe i wyznaczać ich właściwości przewodnictwa cieplnego i temperaturowego. Dzięki wykorzystaniu arkuszy obliczeniowych programu Excel® obliczenia można wykonywać z wystarczającą dokładnością prawie wszędzie bez użycia specjalistycznego oprogramowania.

5. Summary

The present article introduces a calculation tool for the determination of the heat and temperature conductivity in fibre reinforced plastics. By use of Excel® worksheets in this calculation tool a simple and user friendly calculation is possible. In this way it is possible to design and dimension composites in an easy and simple way and to calculate their heat and temperature conductivity. By the use of Excel® worksheets a calculation is possible almost everywhere and without special software with sufficient accuracy.

6. References

- [1] Ehrenstein G., W.: *Polymer-Werkstoffe*, Carl-Hanser-Verlag, 1999
- [2] Flemming M., Ziegmann G., Roth, S.: *Faserverbundbauweisen - Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1999
- [3] Frommann L., Ziegmann G.: *Möglichkeiten und Grenzen des Diaphragmaverfahrens bei der Umformung naturfaserverstärkter Kunststoffe in der Fahrzeugindustrie*, Workshop: Polymere der Zukunft, Teil 3: Neue Kunststoffe, Wolfsburg, 19. September 2000
- [4] Frommann L.: *Prozessmodellierung zur Untersuchung der Imprägnierung textiler Halbzeuge mit Thermoplasten Dissertation*, Clausthal, 2002
- [5] Frommann, L., Reckzügel, M.: *Berechnungstool zur Vorhersage der Wärmeleitfähigkeit in Faser-Kunststoff-Verbunden*, KEM, Heft 9, September 2005, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen, Germany
- [6] Green J.: *Overview of filament winding*, Filament Winding 2001, Second international convention for filament winding technology, 17.-19. October 2001, Hotel Metropole, Brussels, Belgium
- [7] Menges G.: *Werkstoffkunde Kunststoffe*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1990
- [8] Neitzel M., Breuer, U.: *Die Verarbeitungstechnik der Faser-Kunststoff-Verbunde*, Carl Hanser Verlag, 1997

Prof. Dr.-Ing. Lars FROMMANN

Westfälische Hochschule Zwickau
Institut für Produktionstechnik
Postfach 201037, 08012 Zwickau
Besucheradresse: Rasmussen-Bau
Äußere Schneeberger Str. 15-19 Ecke Amalienstr., Raum 420/421
Tel.: ++49 (0)375 536 1721
Fax: ++49 (0)375 536 1713
e-mail: Lars.Frommann@fh-zwickau.de

Prof. Dr.-Ing. Matthias RECKZÜGEL

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg
FB Maschinenbau und Versorgungstechnik
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg
Tel.: 0911 - 5880 1829
Fax: 0911 - 5880 5135
e-mail: matthias.reckzuegel@fh-nuernberg.de
