POSTĘPY nauki i techniki

Advances in Science and Technology

4/2010

Zespół Redakcyjny / *Editorial Committee*:
Gabriel Borowski – *redaktor naczelny* / *Editor-in-Chief*
Monika Wrona – *sekretarz redakcji* / *Secretary*
Renata Lis – *redaktor* / *Editor*
Sylwester Korga – *redaktor* / *Editor*

Czasopismo recenzowane / *Reviewed Journal*

Rada Programowa / *Programing Board*:

- Prof. dr hab. inż. Klaudiusz Lenik – *przewodniczący* / *Chairman* – Politechnika Lubelska
- Prof. dr hab. inż. Jerzy Bursa – Politechnika Śląska w Gliwicach
- Prof. dr hab. inż. Franciszek Kluza – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
- Prof. dr hab. inż. Mirosław W. Kindraczuk – National Aviation University, Kiev
- Prof. dr hab. inż. Mykhaylo Pashechko – Politechnika Lubelska
- Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pełczyński – Politechnika Lubelska
- Prof. dr hab. inż. Jan Senatorski – Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie
- Dr hab. inż. Marek Jakubowski, prof. PL – Politechnika Lubelska
- Dr hab. inż. Franciszek Lis, prof. PL – Politechnika Lubelska
- Dr hab. inż. Dorota Wójcicka-Migasiuk, prof. PL – Politechnika Lubelska
- Mgr inż. Chojnacki Paweł – Prezes Zarządu Oddziału SIMP w Lublinie

Adres Redakcji / *Editorial Office*:

Politechnika Lubelska
Katedra Podstaw Techniki
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38
tel. (81) 538 14 89, fax (81) 525 93 85
e-mail: pnt@pollub.pl, http://www.pnt.pollub.pl

© Copyright by Katedra Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej.

ISSN 2080-4075

Wydawca / *Publisher*:

Oddział SIMP w Lublinie
ul. Chmielna 2a
20-079 Lublin
http://www.lublin.simp.pl

Politechnika Lubelska
Katedra Podstaw Techniki
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38
http://www.kpt.pollub.pl

SPIS TREŚCI

Urszula Nowacka, Alina Gil
UWARUNKOWANIA PRAWNOAUTORSKIEJ OCHRONY PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH 5

Robert Lis
PROBLEM NADMIERNEGO ZAANGAŻOWANIA STUDENTÓW W AKTYWNOŚCI INTERNETOWEJ 12

Zygmunt Lenik
WYKORZYSTANIE ARKUSZA ORGANIZACYJNEGO Z PAKIETU VULCAN W ORGANIZACJI PRACY SZKOŁY 23

Renata Lis, Jerzy Montusiewicz
ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII CYFROWYCH DO POPRAWY JAKOŚCI FOTOGRAFICZNYCH MATERIAŁÓW TRANSPARENTNYCH 33

Jerzy Montusiewicz, Renata Lis, Krzysztof Dziedzic
CYFROWA RENOWACJA I RETUSZ ARCHIWALNYCH FOTOGRAFII 43

Michał Charlak, Marek A. Jakubowski
PORÓWNANIE SYSTEMÓW ROZMYTYCH I SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH ... 54

Jerzy Józwik
WYKORZYSTANIE SZTUCZNEJ SIECI NEURONOWEJ DO MODELOWANIA UGIĘĆ SPRĘŻYSTYCH PRZEDMIOTÓW OBRABIANYCH W PROCESIE SKRAWANIA TOCZENIEM 65

Piotr Penkała, Tomasz Gorecki
MODELOWANIE BRYŁOWE I POWIERZCHNIOWE W SYSTEMACH CAD/CAM 75

Klaudiusz Lenik, Sylwester Korga
MODELOWANIE OPORÓW TARCIA DLA OKREŚLONYCH WARUNKÓW PROCESÓW WYTŁACZANIA, PRZETŁACZANIA I WYCIĄGANIA 85

Jerzy Józwik
OCENA ODCHYŁKI PROSTOPADŁOŚCI OSI OBRABIARKI STEROWNEJ NUMERYCZNIE Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU QC10 BALLBAR 91

Tomasz Jachowicz
TECHNOLOGIA ODLEWANIA ROTACYJNEGO 103

Konrad Gauda
PROGNOZOWANIE ZMIAN POŁYSKU LUSTRZANEGO POWŁOK ORGANICZNYCH JAKO METODA SZACOWANIA TRWAŁOŚCI POKRYĆ 114

Mykhaylo Pashechko, Krzysztof Dziedzic, Mirosław Malec
MECHANIZM ZUŻYCIA POWŁOKI EUTEKTYCZNEJ OTRZYMANEJ METODĄ NAPAWANIA Z UŻYCIEM DRUTU PROSZKOWEGO 130

Gabriel Borowski, Michał Miłczak
BADANIA PRZYDATNOŚCI BRYKIETÓW Z POPIOŁÓW PALENISKOWYCH JAKO PODBUDOWY DROGOWE 136

Grzegorz Szwed, Jacek Majcher
MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA POLA ELEKTROSTATYCZNEGO W SEPARACJI ROZDROBNIONYCH NASION RZEPAKU 144

Halina Marczak
OCENA ZACISKANIA WYROBISK CHODNIKOWYCH NA PODSTAWIE POMIARÓW KONWERGENCJI 151

Mariusz Matejski, Mariusz Dramski, Sławomir Jaszczak, Tadeusz Graczyk
ANALIZA SYSTEMU ENERGETYCZNEGO POJAZDU GŁĘBINOWEGO W CELU MODYFIKACJI JEGO UKŁADU ZASILANIA 162

Agata M. Niewczas, Daniel Pieniak, Paweł Kordos, Leszek Gardyński
PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI WYPEŁNIEŃ STOMATOLOGICZNYCH NA PODSTAWIE BADAŃ LABORATORYJNYCH 172

Klaudiusz Lenik, Andrzej Czekaj, Zbigniew Tomaszewski, Franciszek Kida
ELEMENTY KUTE ZAWIESI KLASY 4 I 8 W ŚWIETLE ZNOWELIZOWANEJ DYREKTYWY 2006/42/WE I NORM ZHARMONIZOWANYCH 186

Urszula Nowacka[1)], Alina Gil[1)]

UWARUNKOWANIA PRAWNOAUTORSKIEJ OCHRONY PROGRAMÓW KOMPUTEROWYCH

Streszczenie. Obserwowany ostatnio globalny rozwój w zakresie techniki i technologii niesie za sobą szczególną potrzebę ochrony programów komputerowych, która zapewni rozwiązania prawne dające gwarancje skutecznej ochrony tego rodzaju (typu) osiągnięć. Artykuł jest opracowaniem ogólnym, wskazującym jedynie na najważniejsze uwarunkowania związane z prawnoautorską ochroną programów komputerowych.

Prawo wyłączne jako podstawowe prawo związane z ochroną własności intelektualnej jest najważniejszym prawem twórcy do wyłącznego korzystania w sposób zarobkowy lub zawodowy z wytworów własnego intelektu. Twórcy są ludźmi obdarzonymi przez naturę zdolnościami do tworzenia posiadających oryginalny i indywidualny charakter utworów. Warunki zapewniające wykorzystanie i rozwój ich talentu wynikają z dobrze funkcjonującego prawa autorskiego, co powinno przynosić korzyści zarówno twórcom (dając im możliwość uprawiania twórczości), jak i całemu społeczeństwu. Podstawowym przedmiotem prawa autorskiego jest utwór, czyli rezultat pracy człowieka, w którym przejawia się działalność twórcza o indywidualnym charakterze i który został ustalony w jakiejkolwiek postaci. Jednym z utworów w rozumieniu prawa autorskiego jest program komputerowy.

Program komputerowy rozumiany jest zwykle jako ciąg instrukcji wykonywanych przez komputer, realizujących określone zadanie. Barta i Markiewicz definiują program komputerowy jako zestaw instrukcji (rozkazów) przeznaczonych do użycia bezpośrednio lub pośrednio w komputerze w celu osiągnięcia określonego rezultatu [1].

Pierwsze regulacje dotyczące ochrony programów komputerowych w Polsce ukazały się w Ustawie o prawach autorskich i prawach pokrewnych [2] z 4 lutego 1994 r., która to Ustawa zawiera rozdział 7 zatytułowany „Przepisy szczególne dotyczące programów komputerowych". Rozdział ten nie jest regulacją samodzielną czy kompletną, a jak sam jego tytuł sugeruje, zawiera jedynie przepisy szczególne, czyli modyfikuje ogólne zasady prawa autorskiego w odniesieniu do programów komputerowych. Ochrona ta opiera się na Dyrektywie Rady 91/250/EWG z dnia 14 maja 1991 r. o prawnej ochronie programów komputerowych [3]. Niedawno weszła w życie nowa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/24/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie ochrony

[1)] Instytut Edukacji Technicznej i Bezpieczeństwa, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie.

prawnej programów komputerowych [4]. Nowa dyrektywa uchyla Dyrektywę 91/250/EWG (wraz ze zmianami). Dyrektywa ta ujednolica przepisy w poszczególnych krajach członkowskich w tym zakresie, co ułatwia swobodny przepływ produktów internetowych (komputerowych) w ramach Wspólnoty.

Dyrektywa 2009/24/WE potwierdza prawnoautorską ochronę programów komputerowych, chociaż nadal nie precyzuje czym jest program komputerowy, a jedynie w art. 1 ust. 1 tej dyrektywy czytamy, że zgodnie z przepisami niniejszej dyrektywy państwa członkowskie chronią prawem autorskim programy komputerowe w taki sposób, jak dzieła literackie w rozumieniu Konwencji Berneńskiej[1] o ochronie dzieł literackich i artystycznych, przy czym ustalono, że pojęcie „programy komputerowe" obejmuje także ich przygotowawczy materiał projektowy: opis procedur rozwiązania problemu, sieci przepływu itp. Stwierdzenie, że programy komputerowe podlegają takiej samej ochronie jak utwory literackie może być mylące, gdyż w rzeczywistości sposób ochrony programów komputerowych odbiega w znacznym stopniu od sposobu, w jaki chronione są inne rezultaty działalności twórczej człowieka.

W kolejnym ustępie Dyrektywy jest mowa o tym, że podlega ochronie każda forma (a nie treść) wyrażenia programu komputerowego: programy źródłowe, kod programu, programy wynikowe, programy aplikacyjne. Natomiast koncepcje i zasady, na których opierają się wszystkie elementy programu komputerowego, włącznie z tymi, na których opierają się ich interfejsy, nie podlegają ochronie prawa autorskiego na podstawie niniejszej dyrektywy.

Przepisy określone w polskiej Ustawie o prawach autorskich i prawach pokrewnych [2] są niemal identyczne jak w Dyrektywie. Art. 1 ust. 2 pkt. 1 Ustawy przesądza, że program komputerowy jest przedmiotem prawa autorskiego obok utworów literackich, muzycznych itp. Nie każdy jednak program komputerowy będzie podlegał ochronie. Musi on (podobnie jak chroniony utwór literacki) mieć twórczy i indywidualny charakter. Oznacza to, że aby uznać program komputerowy za utwór w rozumieniu prawa autorskiego musi on spełniać przesłanki z art. 1 ust. 1 Ustawy tj. „stanowić przejaw działalności twórczej o indywidualnym charakterze". W prawie autorskim twórczość i indywidualność określa się jako nowość subiektywną i obiektywną. Nowość subiektywna oznacza przede wszystkim, że dzieło stanowi rezultat działalności kreacyjnej konkretnego człowieka, natomiast nowość obiektywna oznacza, że dziełem obiektywnie nowym jest dzieło niepowtarzalne, a więc takie, które jeszcze nie powstało, a jednocześnie nie jest statystycznie prawdopodobne stworzenie takiego samego dzieła w przyszłości. Dzieło jest tym bardziej oryginalne, im większą swobodę doboru i zestawienia elementów ma twórca. Dzieło nie będzie więc oryginalne, jeżeli jego kształt jest całkowicie zdeterminowany przez cel pracy lub spełnianą funkcję, jeżeli jest wyni-

[1] Konwencja Berneńska o ochronie dzieł literackich i artystycznych z 9 września 1886 r. Była to pierwsza umowa w sprawie respektowania praw autorskich pomiędzy suwerennymi krajami (powstała z inspiracji Wiktora Hugo). Przed jej podpisaniem utwory powstałe w jednym kraju, mimo, że były chronione w nim prawem autorskim, nie były chronione żadnymi prawami w innych krajach.

kiem rutynowej, szablonowej pracy, czy też jeżeli jest jedynym z możliwych do osiągnięcia przez osoby podejmujące się tego samego zadania. Jeżeli spełnione są warunki twórczości i indywidualności, dane dzieło nazywane jest przez prawo autorskie utworem i podlega ochronie.

Utwory chronione są w prawie autorskim od chwili ustalenia (art. 1 ust. 1 Ustawy), co oznacza jakiekolwiek uzewnętrznienie utworu. Dla przyznania ochrony prawa autorskiego nie jest konieczne utrwalenie utworu, a więc zapisanie go na jakimkolwiek trwałym nośniku. Prawo autorskie chroni bowiem formę utworu, którą w przypadku programu komputerowego jest przede wszystkim jego kod, zapisany w jakimś języku programowania. Raczej mało prawdopodobne jest, aby dwóch programistów rozwiązujących jakiś bardziej obszerny problem napisało identyczne programy. Z tych też względów twórca programu nie musi się wykazać przy programowaniu żadnymi większymi umiejętnościami, a rezultat jego pracy, nawet nieudolny, może być chroniony przez prawo autorskie.

Ochrona prawa autorskiego nie jest uzależniona od spełnienia jakichkolwiek formalności (zarejestrowania dzieła czy wniesienia jakichkolwiek opłat). Programy komputerowe są utworami o specyficznym charakterze i dlatego art. 74 Ustawy zawiera szczególne przepisy związane z ochroną wyłącznie programów komputerowych. W zakresie, w jakim przepisy ogólne nie są sprzeczne z przepisami szczególnymi, mają także zastosowanie (inne przepisy zawarte w Ustawie) do programów komputerowych.

Przepisy ogólne prawa autorskiego dzielą prawa autorskie na osobiste i majątkowe. Osobiste prawa autorskie chronią więź twórcy z autorem, są nieograniczone w czasie i niezbywalne (do twórców programów komputerowych znajdują zastosowanie jedynie prawo do autorstwa utworu oraz prawo do oznaczania utworu swoim nazwiskiem lub pseudonimem lub udostępniania go anonimowo)[2].

Art. 74. ust. 4 Ustawy [2] określa natomiast, że autorskie prawa majątkowe (ograniczone w czasie do 70 lat po śmierci twórcy oraz zbywalne) do programu komputerowego obejmują prawo do:

a) trwałego lub czasowego zwielokrotnienia programu komputerowego w całości lub w części jakimikolwiek środkami i w jakiejkolwiek formie; w zakresie w którym dla wprowadzenia, wyświetlania, stosowania, przekazywania i przechowywania programu komputerowego niezbędne jest jego zwielokrotnienie, czynności te wymagają zgody uprawnionego,
b) tłumaczenia, przystosowania, zmiany układu lub jakichkolwiek innych zmian w programie komputerowym, z zachowaniem praw osoby, która tych zmian dokonała,
c) rozpowszechnienia, w tym najmu lub użyczenia, programu komputerowego lub jego kopii.

[2] Twórcy innych utworów maja ponadto prawa do nienaruszalności treści i formy utworu, decydowania o pierwszym udostępnieniu utworu publiczności oraz nadzoru nad sposobem korzystania z utworu.

Zwielokrotnieniem programu komputerowego będzie przeniesienie programu z jednego nośnika na drugi nośnik (np. z płyty na twardy dysk i odwrotnie, przekazanie z jednego komputera na drugi komputer, wyświetlanie na ekranie komputera lub wprowadzenie do nietrwałej pamięci RAM komputera – czasowe zwielokrotnienie). Prawa wyłączne do programu komputerowego zostały ograniczone w art. 75 Ustawy, w którym określono, że jeżeli umowa nie stanowi inaczej, zwielokrotnienie i opracowanie programu nie wymagają zgody uprawnionego, jeżeli są niezbędne do korzystania z programu komputerowego zgodnie z jego przeznaczeniem, w tym do poprawiania błędów przez osobę, która legalnie weszła w jego posiadanie. W art. 75 ust. 2 Ustawa zezwala na sporządzenie kopii zapasowej, jeżeli jest to niezbędne do korzystania z programu komputerowego. Jeżeli umowa nie stanowi inaczej, kopia nie może być używana jednocześnie z programem komputerowym. Wydaje się, że to zastrzeżenie powinno być oceniane z punktu widzenia ilości przekazywanych nośników programu komputerowego jego legalnemu użytkownikowi [5].

Dalej w Ustawie określono, że nie wymaga zezwolenia uprawnionego „obserwowanie, badanie i testowanie funkcjonowania programu komputerowego w celu poznania jego idei i zasad przez osobę posiadającą prawo korzystania z egzemplarza programu komputerowego, jeżeli będąc do tych czynności upoważniona dokonuje ona tego w trakcie wprowadzania, wyświetlania, stosowania, przekazywania lub przechowywania programu komputerowego". Przepis ten dotyczy więc wyłącznie osób, którzy zawarli umowę na korzystanie z egzemplarza programu komputerowego.

Ostatnim rodzajem czynności nie wymagającym zezwolenia jest w myśl Ustawy zwielokrotnienie kodu lub tłumaczenie jego formy (dekompilacja), jeżeli jest to niezbędne do uzyskania informacji koniecznych do osiągnięcia współdziałania niezależnie stworzonego programu z innymi programami komputerowymi, co pozwala na tworzenie programów komputerowych, które są zdolne do współdziałania z innymi programami (co często stanowi o wartości programu komputerowego).

Dekompilacja dozwolona jest Ustawą pod pewnymi warunkami:

- po pierwsze – czynności dokonywane są przez licencjobiorcę lub osobę uprawnioną do korzystania z egzemplarza programu, bądź przez inną osobę działającą na ich rzecz,
- po drugie – informacje niezbędne do osiągnięcia współdziałania nie były uprzednio łatwo dostępne dla licencjobiorcy lub innej osoby uprawnionej
- po trzecie – czynności te odnoszą się do tych części oryginalnego programu, które są niezbędne do osiągnięcia współdziałania.

Należy podkreślić, ze zakres działań, które nie wymagają zgody uprawnionego, jest węższy niż w przypadku utworów literackich. Dotyczy to w szczególności art. 77 prawa autorskiego - do programów komputerowych nie stosujemy przepisów o dozwolonym użytku osobistym (w tym art. 23 ust. 1 prawa autorskiego, z którego wynika, że bez zezwolenia twórcy wolno nieodpłatnie korzystać z już rozpowszechnionego utworu w zakresie własnego użytku osobistego, przy czym zakres własnego użytku

osobistego obejmuje korzystanie z pojedynczych egzemplarzy utworów przez krąg osób pozostających w związku osobistym, w szczególności pokrewieństwa, powinowactwa lub stosunku towarzyskiego).

Wynika z tego, że sporządzenie kopii utworu, dopuszczalne w zakresie wyznaczonym przepisami o dozwolonym użytku np. w odniesieniu do utworów literackich, nie jest dopuszczalne w przypadku programów komputerowych (np. aby dowolna gra mogła funkcjonować, konieczne jest użyczenie nośnika, na którym zapisano plik setup.exe lub inne jego udostępnienie, gdy tymczasem w odniesieniu do programów komputerowych użyczanie, czy też najem, nie są dopuszczalne).

Podmiotem praw autorskich, zarówno osobistych, jak i majątkowych, co do zasady jest twórca. Twórcy przysługuje wyłączne prawo do korzystania z utworu i rozporządzanie nim na wszelkich polach eksploatacji oraz do wynagradzania za korzystanie z utworu. Dotyczy to wszelkich form korzystania z utworu, bowiem przepis ma charakter otwarty. Wyjątek stanowią prawa majątkowe do programu komputerowego stworzonego przez pracownika w wyniku wykonywania obowiązków ze stosunku pracy, które w myśl Ustawy przysługują pracodawcy, o ile umowa nie stanowi inaczej. Uprawniony z tytułu praw majątkowych do programu komputerowego (twórca bądź pracodawca) może je zbyć w umowie o przeniesienie autorskich praw majątkowych, bądź udzielić innej osobie licencji, co oznacza podpisanie umowy o korzystanie z programu komputerowego w określonym zakresie (na określonych polach eksploatacji).

Wśród „specjalnych środków ochrony" (art. 7 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/24/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie ochrony prawnej programów komputerowych) na uwagę zasługuje ten przepis, który obliguje państwa członkowskie do zapewnienia właściwych środków w stosunku do osoby dopuszczającej się szeregu czynności, w tym [7]:

a) każda czynność wprowadzania do obrotu kopii programu komputerowego, jeśli dana osoba wiedziała lub miała podstawy do przyjęcia, że jest to kopia nielegalna;
b) posiadanie do celów komercyjnych kopii programu komputerowego, jeśli dana osoba wiedziała lub miała podstawy do przyjęcia, że jest to kopia nielegalna;
c) każda czynność wprowadzenia do obrotu lub posiadanie do celów komercyjnych wszelkich środków, których jedynym przeznaczeniem jest ułatwienie niedozwolonego usuwania lub obchodzenia jakichkolwiek urządzeń technicznych, które mogłyby zostać zastosowane do ochrony programu komputerowego.

Dodatkowo przepis ten przewiduje, że „każda nielegalna kopia programu komputerowego podlega konfiskacie, zgodnie z ustawodawstwem danego państwa członkowskiego".

W ostatnim okresie trwa ożywiona dyskusja nad możliwością uzyskania patentu na wynalazek dotyczący programu komputerowego lub wynalazek realizowany za pomocą komputera. Nic w tym dziwnego, że twórcy wiodących rozwiązań technicznych, w których jest wykorzystywany sprzęt komputerowy z oryginalnym oprogramowaniem dążą do uzyskania możliwie skutecznej i szerokiej ochrony prawnej.

W myśl art. 24 tej Ustawy Prawo własności przemysłowej (PWP) [6], programy do maszyn cyfrowych, a wiec programy komputerowe nie są uważane za wynalazki na które są udzielane patenty, gdyż program komputerowy nie jest wynalazkiem w rozumieniu tej Ustawy (wynalazkiem jest rozwiązanie o charakterze technicznym, które może zostać opatentowane, pod warunkiem, że spełnia wymogi: nowości, poziomu wynalazczego i przemysłowej stosowalności). Ponadto metody matematyczne, a więc także programy komputerowe (art. 28 pkt. 1 Ustawy PWP) nie są uważane za wynalazki, na które udzielane są patenty w rozumieniu art. 24 PWP.

Patent i prawo autorskie są wobec siebie komplementarne, ponieważ obejmują swoją ochroną dwa różne przedmioty: patent chroni wynalazek (rozwiązanie techniczne), natomiast prawo autorskie chroni formę wyrażenia. Z uwagi na właściwości programu komputerowego, który łączy w sobie z jednej strony cechy utworu przejawiające się w formie wyrażenia, z drugiej strony – cechy ujawniające się w funkcjonowaniu programu, można wysnuć wniosek, że obydwa środki ochrony (prawo autorskie i patent) uzupełniają się, tworząc szczelny system wyłączności przysługującej uprawnionemu z obydwu tytułów. Przyznanie patentu na określony wynalazek urzeczywistniany za pomocą komputera, nie niweluje ochrony przyznanej przez prawo autorskie programowi komputerowemu zawartemu w wynalazku. Paten przyznany jest na wynalazek, którego elementem zaledwie jest program komputerowy chroniony przez prawo autorskie jako utwór. Należy zaznaczyć, że Europejski Urząd Patentowy stosuje obecnie dość liberalne kryteria oceny zdolności patentowej wynalazków realizowanych przy użyciu komputera, w odróżnieniu od Urzędu Patentowego Rzeczpospolitej Polskiej) [8].

Przeciwników „patentowania oprogramowania" zaniepokoi pewnie przepis art. 8 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/24/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie ochrony prawnej programów komputerowych, zgodnie z którym „Przepisy niniejszej dyrektywy pozostają bez uszczerbku dla jakichkolwiek innych przepisów prawa, dotyczących na przykład praw patentowych, znaków towarowych, nieuczciwej konkurencji, tajemnicy handlowej, ochrony produktów półprzewodnikowych lub prawa zobowiązań" [7].

WNIOSKI

Polska notuje jeden z najwyższych wskaźników wzrostu w branży IT w Unii Europejskiej, jednak rynek nielegalnego oprogramowania w naszym kraju jest bardzo duży. Należy jednak zauważyć, że chociaż systematycznie wzrasta liczba przypadków, w których instytucje (w szczególności przedsiębiorstwa) płacą odszkodowania z tytułu korzystania z nielicencjonowanego oprogramowania. Prawo autorskie pozostaje wciąż podstawowym narzędziem ochrony w zakresie programów komputerowych. Ochrona dotyczy w tym wypadku jedynie kodu programowego, który chroniony jest w sposób analogiczny do tekstu literackiego. Mimo, iż przepisy dotyczące ochrony programów komputerowych funkcjonują już w polskim prawie wiele lat, dla osób korzystających

z produktów informatycznych (w szczególności przeciętnego obywatela) są one niezrozumiałe, ze względu na brak niezbędnej znajomości podstawowych zagadnień prawa autorskiego. Zapoznanie się wyłącznie z rozdziałem 7 Ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych z 7 lutego 1994 r., zawierającym przepisy szczególne dotyczące programów komputerowych jest niewystarczające z uwagi na fakt, iż rozdział ten nie jest regulacją samodzielną i modyfikuje jedynie ogólne zasady prawa autorskiego w odniesieniu do programów komputerowych.

PIŚMIENNICTWO

1. Brata J., Markiewicz R. Prawo autorskie i prawa pokrewne. Wyd. Wolters Kluwer Polska, Kraków 2009.
2. Ustawa z dn. 4 lutego 1994 r. – o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83) z późniejszymi zmianami.
3. Dyrektywa Rady 91/250/EWG z dnia 14 maja 1991 r. w sprawie ochrony prawnej programów komputerowych (Dz.U. WE nr L 122, z 17.05.1991) z późniejszymi zmianami.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/24/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie ochrony prawnej programów komputerowych (Dz.Urz. UE L z 2009 r. nr 111, poz. 16). Przepisy obowiązują od 25.05.2009 r.
5. Kuś I., Senda Z. Prawo autorskie i prawa pokrewne. Poradnik przedsiębiorcy, zmiany prawa w związku z dostosowaniem przepisów do prawa Unii Europejskiej. Wyd. Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2004.
6. Ustawa z dn. 30 czerwca 2000 r. Prawo własności przemysłowej (Dz.U. 2001 nr 49 poz. 508) z późniejszymi zmianami.
7. www.prawo.vagla.pl/node/8483 z dn. 2009-05-07
8. Nowicka A. Programy komputerowe w systemie prawa patentowego. www.uprp.pl/NR/rdonlyres/325C06D9-3EB1-446C-95DB-C85643672E5B/1041/AureliaNowicka.pdf

CONDITIONS COPYRIGHT PROTECTION FOR COMPUTER PROGRAMS

Summary

The recent global developments in technics and technology is creating a special need for protection of computer programs that will provide legal solutions offering guarantees the effective protection of this kind of achievements. The article is the general study, indicating only the most important factors associated with copyright protection of computer programs.

Robert Lis[1)]

PROBLEM NADMIERNEGO ZAANGAŻOWANIA STUDENTÓW W AKTYWNOŚCI INTERNETOWEJ

Streszczenie. Badania wykazały, ze najbardziej uzależniające od Internetu są często stosowane przez studentów komunikatory internetowe (0,26), przeglądanie stron rozrywkowych (0,25), a także przeglądanie stron edukacyjnych (0,22). Przeglądanie stron erotycznych najbardziej uzależnia studentów okłamujących swoich bliskich w celu ukrywania swego nadmiernego zainteresowania Internetem jako ucieczki od problemów, niepokoju, rozdrażnienia i nastroju depresyjnego. Internet ciągle jeszcze jest dla studentów ważnym źródłem przeżywanej na swój sposób satysfakcji czerpanej z uzyskiwanych korzyści przez coraz częstsze stosowanie większości różnych technologii internetowych.

ZAŁOŻENIA BADAWCZE

Korzystanie z Internetu przez studentów staje się coraz częściej przedmiotem różnych badań. W badaniach tych niejednokrotnie pojawia się problem uzależnienia od Internetu i jego poszczególnych technologi. Problemowi uzależnienia od Internetu poświęca się coraz więcej miejsca zarówno w analizach teoretycznych jak i w badaniach empirycznych.

Badania przeprowadzone przez D. Greenfielda na próbie 17251 użytkowników Internetu pokazały, że 8% z nich było zagrożonych uzależnieniem od Internetu a 6% było już uzależnionych [5]. J. Kadell w swoich badaniach zwrócił uwagę na pojawiający się problem uzależnienia od Internetu w środowisku studenckim [7].

Zjawisko uzależnienia od Internetu różnie jest opisywane i różnie też próbuje się je wyjaśniać. W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę spojrzenia na to zjawisko przez częstotliwość stosowania różnych technologii internetowych. Jaką one odgrywaj rolę w uzależnieniu od Internetu, jakie występują zależności pomiędzy częstotliwością stosowania różnych technologii internetowych a poziomem uzależnienia od Internetu studentów?

Nie wdając się w dyskusję nad kontrowersyjnym pojęciem*: uzależnienie od Internetu,* dla celów badawczych przyjęto za K. Young [12], iż poziom uzależnienia od Internetu danej osoby jest tym wyższy im częściej:

– czuje się zaabsorbowana Internetem do tego stopnia, że ciągle rozmyśla o odbytych sesjach internetowych i/lub nie może się doczekać kolejnych sesji;

1) Katedra Metod i Technik Nauczania, Politechnika Lubelska.

– odczuwa potrzebę zwiększenia ilości czasu spędzanego w Internecie, aby uzyskać większe zadowolenie (mieć więcej satysfakcji);
– podejmuje wielokrotnie nieudane próby kontrolowania, ograniczania lub zaprzestania korzystania z Internetu;
– odczuwa wewnętrzny niepokój, nastrój depresyjny albo rozdrażnienie wówczas kiedy próbuje ograniczać lub przerwać korzystanie z Internetu;
– zdarza się jej spędzać w Internecie więcej czasu niż pierwotnie planowała;
– ryzykuje utratę bliskiej osoby, ważnych relacji z innymi ludźmi, pracy, nauki albo kariery zawodowej w związku ze spędzaniem zbyt dużej ilości czasu w Internecie;
– zdarza się jej skłamać swoim bliskim, terapeutom albo komuś innemu w celu ukrycia swojego nadmiernego zainteresowania Internetem;
– używa Internetu w celu ucieczki od problemów, albo w celu uniknięcia nieprzyjemnych uczuć (np. poczucia bezradności, poczucia winy, niepokoju lub depresji).

Wymienione kryteria niejednokrotnie wykorzystywane są w badaniach jako cząstkowe wskaźniki pomiaru poziomu uzależnienia od Internetu. Tak też potraktowane zostały w prezentowanych badaniach – do pomiaru jednej zmiennej*: uzależnienie od Internetu*.

Drugą zmienną stanowiła *częstotliwość stosowania różnych technologii internetowych*, takich jak*:* strony WWW; poczta e-mail; ściąganie plików, programów; grupy, fora dyskusyjne; komunikatory; gry sieciowe; słuchanie radia i oglądanie telewizji przez Internet; korzystanie z wyszukiwarek internetowych; robienie zakupów przez Internet i in.

Badania przeprowadzono w 2007 r. na próbie losowej studentów edukacji techniczno-informatycznej Politechniki Lubelskiej (jednolite studia magisterskie stacjonarne IV i V rok). Do analizy zakwalifikowano dane od 100 studentów. W próbie tej było 62% mężczyzn i 38% kobiet. 43% studentów legitymowało się średnią ocen za ostatni rok studiów w przedziale od 3,6 do 4,0, 29% w przedziale 4,1–4,5, 18% w przedziale 3,0–3,5 i 10% powyżej 4,5. 68% pochodziło z miasta i 32% – ze wsi.

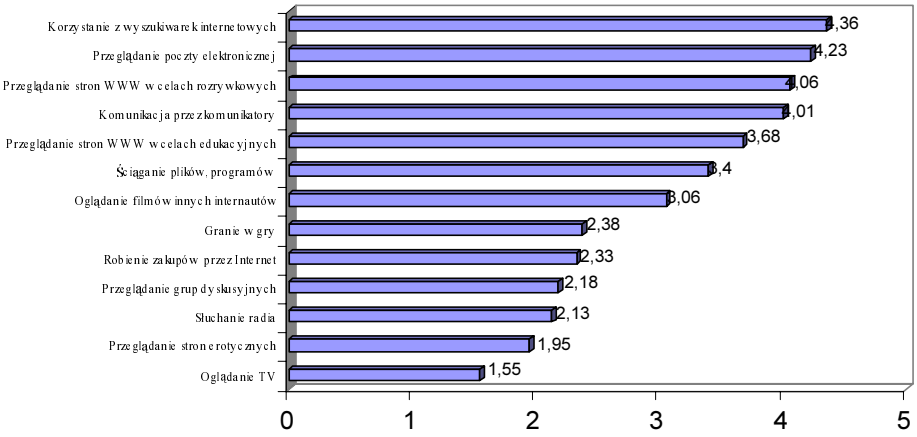
STOSOWANE TECHNOLOGIE INTERNETOWE

Częstotliwość stosowania różnych technologii internetowych przez studentów edukacji techniczno-informatycznej Politechniki Lubelskiej przedstawia tabela 1 i rysunek 1.

Z tabeli 1 i rysunku 1 wynika, że pierwsze miejsce w hierarchii częstotliwości stosowanych technologii internetowych przez studentów edukacji techniczno-informatycznej ze średnią częstotliwością 4,36 w skali od 1 do 5 zajmuje korzystanie z wyszukiwarek internetowych. Niewiele mniejszą popularnością wśród ankietowanych, tj. 4,23 cieszy się przeglądanie poczty elektronicznej. Również wysoką pozycję zajmuje przeglądanie stron WWW w celach rozrywkowych (4,06). Ponadto coraz popularniejsze wśród respondentów staje się korzystanie z komunikatorów internetowych, które zajmują czwarte miejsce w hierarchii częstotliwości stosowanych sposobów korzy-

Tabela 1. Częstotliwość stosowania różnych technologii internetowych przez studentów edukacji techniczno-informatycznej Politechniki Lubelskiej

Stosowane technologie internetowe	$\overline{X}$	Hierarchia
Przeglądanie stron WWW w celach edukacyjnych	3,68	5
Przeglądanie stron WWW w celach rozrywkowych	4,06	3
Przeglądanie poczty elektronicznej	4,23	2
Ściąganie plików, programów	3,4	6
Przeglądanie grup dyskusyjnych	2,18	10
Komunikacja przez komunikatory	4,01	4
Granie w gry	2,38	8
Słuchanie radia	2,13	11
Oglądanie TV	1,55	13
Korzystanie z wyszukiwarek internetowych	4,36	1
Robienie zakupów przez Internet	2,33	9
Oglądanie filmów innych internautów	3,06	7
Przeglądanie stron erotycznych	1,95	12



Rys. 1. Hierarchia częstotliwości stosowania różnych technologii internetowych (dane z tab. 1)

stania z Internetu z wynikiem 4,01. Dużą popularnością cieszy się również korzystanie ze stron WWW w celach edukacyjnych (3,68). Szóste miejsce w tej hierarchii zajmuje ściąganie plików i programów. Badani studenci dość często wykorzystują Internet do oglądania filmów innych internautów. Stosunkowo mniej ankietowanych gra w gry korzystając z Sieci (2,38). Robienie zakupów przez Internet wśród studentów zyskało

sobie dziewiąte miejsce w hierarchii z wynikiem 2,33, na kolejnym miejscu znalazło się przeglądanie grup dyskusyjnych. Badani studenci wykorzystają Internet również do słuchania radia. Ten sposób korzystania z Internetu znajduje się na 11 miejscu z wynikiem 2,13. Stosunkowo rzadko badani studenci przeglądają strony erotyczne (1,95). Ostatnie miejsce zajęło oglądanie telewizji przez Internet z wynikiem 1,55.

Wyniki tych badań w znacznym stopniu korespondują z ogólnopolskimi badaniami opublikowanymi przez CBOS w kwietnia 2007 r. [8] i GUS-u z roku 2007 [4].

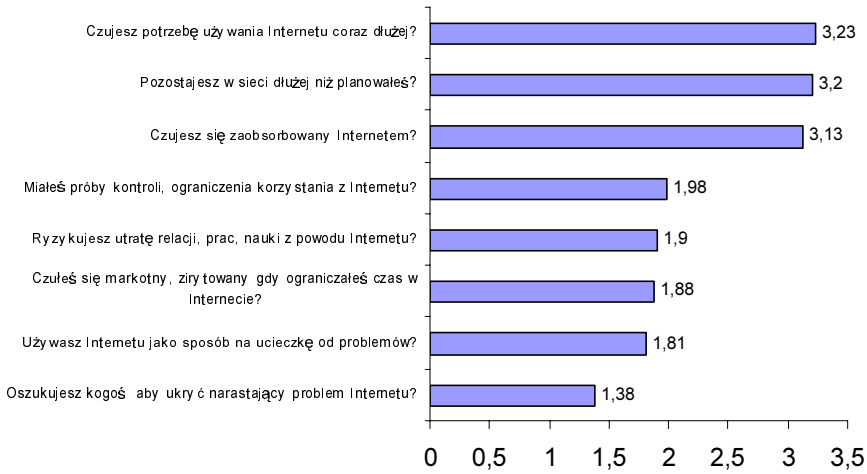
POZIOM UZALEŻNIENIA OD INTERNETU BADANYCH STUDENTÓW

Poziom uzależnienia zbadano przy pomocy przedstawionych wcześniej wskaźników – pytań diagnozujących. Badani odpowiadali na pytania mając do dyspozycji pięciostopniową skalę: od 1 – wcale, bardzo rzadko aż po 5 – bardzo często, zawsze. Wyniki obrazuje tabela 2 i rysunek 2.

Z tabela 2 i rysunek 2 wynika, iż najwyższe miejsce w hierarchii wskaźników uzależnienia zajmuje *potrzeba wydłużania czasu spędzanego w Internecie dla uzyskania większego zadowolenia, więcej satysfakcji* (średnia częstotliwość – 3,23 w skali od 1 do 5). Na zbliżonym poziomie w tejże hierarchii z wynikiem 3,2 znajduje się *wydłużanie czasu spędzanego w Sieci na dłużej niż się planowało.* Kolejnym wskaźnikiem uzależnienia, często występującym u studentów jest *zaabsorbowanie się Internetem do tego stopnia, że ciągle się rozmyśla o odbytych sesjach internetowych i/lub nie może się doczekać kolejnych sesji,* z częstotliwością występowania wynoszącą 3,13. Z dużo mniejszą częstotliwością (1,98) wystąpiło *podejmowanie wielokrotnie nieudanych prób kontrolowania, ograniczania lub zaprzestania korzystania z Internetu.* Z częstotliwością 1,9 wystąpiło *ryzykowanie utraty bliskiej osoby, ważnych relacji z innymi ludźmi, zaniedbywanie pracy, nauki albo kariery z powodu spędzania w Internecie zbyt dużo czasu.* Z częstotliwością 1,88 wystąpiło *odczuwanie wewnętrznego niepokoju, nastroju depresyjnego albo rozdrażnienia wówczas kiedy próbowało się ograniczać lub przery-*

Tabela 2. Wskaźniki uzależnienia od Internetu i ich częstotliwość występowania

Wskaźniki uzależnienia	$\overline{X}$	Hierarchia
Nadmierne zaabsorbowanie Internetem	3,13	3
Potrzeba dłuższego używania Internetu dla osiągania satysfakcji	3,23	1
Nieudane próby kontroli, ograniczenia korzystania z Internetu	1,98	4
Poirytowanie przy ograniczeniach czasu przebywania w Sieci	1,88	6
Pozostawanie w Sieci dłużej niż się planowało	3,2	2
Ryzykowanie utraty ważnych relacji z bliskimi osobami, pracy, nauki z powodu Internetu	1,9	5
Oszukiwanie bliskich aby ukryć nadmierne zainteresowanie Internetem	1,38	8
Używanie Internetu jako sposobu na ucieczkę od problemów?	1,81	7



Rys. 2. Hierarchia wskaźników uzależnienia od Internetu (dane z tab. 2)

wać korzystanie z Internetu. Siódme miejsce w hierarchii (1,81) zajmuje *używanie przez badanych studentów Internetu jako ucieczkę od problemów albo w celu uniknięcia nieprzyjemnych uczuć (np. poczucia bezradności, poczucia winy, niepokoju lub depresji).* Najmniejsza częstotliwość (1,38) wystąpiła przy *oszukiwaniu swoich bliskich w celu ukrycie swojego nadmiernego zainteresowania Internetem.*

Na podstawie wskaźników uzależnienia określono jego poziom u studentów edukacji techniczno-informatycznej. Wyznaczony on został na podstawie sumy punktów uzyskanych przez poszczególnych studentów przy odpowiedziach na wszystkie pytania diagnozujące. Przyjęto, iż niski poziom uzależnienia kształtował się w granicach od 0 do 24 punktów, średni od 25 do 31 a wysoki od 32 do 40 punktów. Wyniki te ilustruje tabela 3.

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że poziom uzależnienia wśród badanych studentów jest niski. Analiza uzyskanych wyników pokazuje, że zaledwie 4% badanych jest uzależnionych od Internetu. Średni poziom uzależnienia od niego można zauważyć u 23% badanych, natomiast niski u 73% ogółu badanych..

Niewielki procent studentów wykazuje uzależnienie od Internetu. Być może powodem takiego stanu rzeczy jest wysoka świadomość studentów na temat zagrożeń związanych z uzależnieniem. Rezultaty powyższych badań są podobne do wyników uzyskanych na innych polskich uczelniach. Przykładem mogą być badania na studentach

Tabela 3. Poziom uzależnienia od Internetu badanych studentów w punktach

Poziom uzależnienia od Internetu	Wartość %
Wysoki (od 32 do 40)	4
Średni (od 25 do 31)	23
Niski (od 0 do 24)	73

Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przeprowadzane pod kierunkiem L. Habera. Poziom uzależnienia od Internetu studentów tej uczelni kształtował się w granicach czterech procent [6].

Przedstawione wyniki potwierdzają hipotezę o niskim poziomie uzależnienia wśród badanych studentów edukacji techniczno-informatycznej. Poziom ten faktycznie jest zróżnicowany przez poszczególne wskaźniki.

ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY CZĘSTOTLIWOŚCIĄ STOSOWANYCH TECHNOLOGII INTERNETOWYCH A UZALEŻNIENIEM OD INTERNETU

Obliczone współczynniki korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi wskazują na istnienie pewnych zależności statystycznie istotnych na poziomie $p<0,05$. W tabeli 4 występują one w zaciemnionych polach.

Współczynniki korelacji (tab. 4) pomiędzy częstotliwością stosowanych technologii internetowych przez studentów a wskaźnikami ich uzależnienia od Internetu wskazują na szereg zależności

Tabela 4. Współczynniki korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi

Zmienne badane	A	B	C	D	E	F	G	H	Indeks zbiorczy
Przeglądanie stron WWW w celach edukacyjnych	0,32	0,26	0,13	0,14	0,16	0,07	0,13	-0,05	**0,22**
Przeglądanie stron WWW w celach rozrywkowych	0,04	0,32	0,21	0,08	0,33	0,00	0,18	0,24	**0,25**
Przeglądanie poczty elektronicznej	0,05	0,04	0,11	0,03	0,09	-0,18	-0,04	0,03	**0,03**
Ściąganie plików, programów	-0,11	0,25	-0,01	0,01	0,21	0,22	-0,16	0,12	**0,10**
Przeglądanie grup dyskusyjnych	0,14	0,25	0,09	0,00	0,16	-0,04	0,09	-0,05	**0,12**
Komunikacja przez komunikatory	0,19	0,19	0,26	0,17	0,16	-0,04	0,09	-0,05	**0,26**
Granie w gry	0,04	0,21	0,12	0,11	0,10	0,20	0,06	0,16	**0,17**
Słuchanie radia	0,19	0,25	-0,06	0,02	0,09	0,11	0,07	0,03	**0,13**
Oglądanie TV	0,05	0,20	-0,06	-0,04	-0,01	-0,08	0,10	0,04	**0,04**
Korzystanie z wyszukiwarek internetowych	0,07	0,16	-0,11	-0,09	0,06	0,04	-0,15	-0,02	**0,01**
Robienie zakupów przez Internet	0,10	-0,14	-0,20	0,03	-0,01	0,24	-0,06	0,02	**0,00**
Oglądanie filmów innych internautów	0,08	0,28	0,04	0,09	0,14	0,06	-0,07	0,21	**0,15**
Przeglądanie stron erotycznych	-0,06	0,13	0,10	0,20	0,12	0,12	0,30	0,28	**0,19**

Legenda: A. Czujesz się zaabsorbowany Internetem; B. Czujesz potrzebę używania Internetu coraz dłużej; C. Miałeś próby kontroli, ograniczenia korzystania z Internetu; D. Czułeś się markotny, zirytowany gdy ograniczałeś czas w Internecie; E. Pozostajesz w Sieci dłużej niż planowałeś; F. Ryzykujesz utratę relacji, prac, nauki z powodu Internetu; G. Oszukujesz kogoś aby ukryć narastający problem Internetu; H. Używasz Internetu jako sposób na ucieczkę od problemów.

Przeglądanie stron WWW w celach edukacyjnych wysoko koreluje z nadmiernym zaabsorbowaniem Internetem (0,32) oraz potrzebą coraz dłuższego używania go (0,26). Oznacza to, że studenci poszukując informacji naukowych nie tylko się w to bardzo angażują, ale także odczuwają chęć dłuższego pozostawania w Sieci, co świadczyć może o dużej ilości mało wiarygodnych danych i problemie odnalezienia rzetelnych. Istotny poziom korelacji uzyskany w indeksie zbiorczym (0,22) świadczy o tym, że jest to jeden z uzależniających sposobów korzystania z Internetu u badanych studentów. Okazuje się, że i przeglądanie stron WWW w celach edukacyjnych może być uzależniające tym bardziej, że jak pokazują wyniki badań J. Czapińskiego i T. Panka, 76% internautów korzysta z Internetu aby poszukiwać informacji potrzebnych do nauki [3]. Badania D. Batorskiego pokazują, że 69,3% ankietowanych wykorzystuje Internet do przeglądania stron WWW, z czego 58,8% zbiera w ten sposób materiały służące do nauki [1].

Przeglądanie stron WWW w celach rozrywkowych wysoko koreluje z takimi wskaźnikami jak: potrzeba dłuższego używania Internetu (0,32), dłuższe niż planowane pobyty w nim (0,33) oraz podejmowanie nieudanych prób kontroli i ograniczenia pobytów w Sieci (0,21) i używaniem go jako sposób na ucieczkę od problemów (0,24). Oznacza to, że badani studenci tracą poczucie czasu oraz nie kontrolują pobytów w Sieci. Rozrywka oferowana przez Internet jest również ucieczką od kłopotów dla wielu respondentów. Świadczy o tym również fakt, ze jest to jeden z trzech najbardziej uzależniających sposobów korzystania z Sieci (0,25) wśród studentów.

Przeglądanie poczty elektronicznej nie koreluje z żadnym ze wskaźników uzależnienia oraz nie ma wpływu na jego poziom. Poczta elektroniczna w chwili obecnej powoli przestaje być najpopularniejszą formą komunikacji internetowej na rzecz komunikatorów (np. Gadu-Gadu, Skype), które pozwalają na szybką wymianę informacji pomiędzy użytkownikami. O spadku jej popularności świadczy również fakt, iż 93,1% badanych studentów edukacji techniczno-informatycznej wskazuje miejsce zamieszkania jako miejsce najczęstszego korzystania z Internetu. Ponadto komunikatory nie wymagają wchodzenia na portale internetowe a wyłącznie komputera podłączonego do Sieci.

Ściąganie plików oraz programów wysoko koreluje z takimi wskaźnikami uzależnienia jak: potrzeba dłuższego korzystania z Internetu (0,25), pozostawanie w nim dłużej niż wyznaczony czas (0,21) oraz ryzykowanie utraty relacji z osobami bliskimi, nauki, pracy z jego powodu (0,22). Zainteresowanie studentów ściąganiem plików raczej nie słabnie. Badania pokazują, że popularność ściągania plików oraz programów z roku na rok rośnie. W 2005 roku 8% badanych przez Główny Urząd Statystyczny wykorzystywało do tego celu Internet a w roku 2006 i 2007 – już 12% [11]. Ściąganie plików i programów zajmuje szóste miejsce w hierarchii częstotliwości stosowanych sposobów korzystania z Internetu wśród studentów edukacji techniczno-informatycznej.

Przeglądanie grup dyskusyjnych wysoko koreluje tylko z jednym ze wskaźników: odczuwaniem potrzeby coraz dłuższego korzystania z Sieci (0,25). Badani studenci uczestnicząc w tych grupach są zaangażowani w takim stopniu, który wymaga wydłu-

żania czasu pobytów w Internecie. Wyniki badań Głównego Urzędu Statystycznego wskazują na szybki wzrost popularności czatów i forów dyskusyjnych (w 2005 r. 15% respondentów deklarowało uczestniczenie w nich, z kolei w 2006 r. 18% a w 2007 r. już 26%) [11].

Komunikacja przez komunikatory internetowe koreluje najwyżej z indeksem zbiorczym uzależnienia (0,26). Taki sam współczynnik korelacji tego sposobu użytkowania Internetu dotyczy także nieudanych prób kontroli i ograniczenia czasu przebywania w Internecie (0,26). Można by to interpretować, iż zarysowuje się tu pewien rodzaj uzależnienia od Internetu zwany socjomanią internetową, gdzie nasila się zastępowanie realnych i bezpośrednich kontaktów społecznych komunikacją wirtualną. Potwierdzeniem tego może być tez fakt, że jest to w tej chwili najczęstsza i najpopularniejsza metoda komunikacji przez Internet. Komunikatory internetowe pojawiły się niedawno, niemniej jednak bardzo szybko zyskały na popularności. W badaniach Pentoru z 2002 r. [9] nie występowały one w ogóle jako sposób korzystania z Internetu, natomiast w 2005 r. w badaniach na studentach Szkoły Głównej Handlowej korzystanie z nich deklarowało już 87% respondentów [2]. Znaczna większość posiadaczy Internetu korzysta z tej formy porozumiewania się a wśród badanych studentów edukacji techniczno-informatycznej cel ten zajmuje czwarte miejsce w hierarchii ze średnią częstotliwością występowania 4,01 w skali pięciostopniowej.

Granie w gry przez Internet koreluje z dwoma wskaźnikami: nieudane próby kontroli i ograniczenia czasu przebywania w Internecie (0,21) oraz ryzykowanie utraty ważnych relacji z innymi kosztem Internetu (0,20). Oznacza to, że im więcej czasu respondenci poświęcają grom internetowym, tym częściej są narażeni na zaniedbania bezpośrednich kontaktów z innymi oraz na niekontrolowane korzystanie z Internetu. Granie w gry przez Internet znajduje się dopiero na ósmym miejscu w hierarchii częstotliwości stosowanych sposobów korzystania z niego wśród badanych studentów.

Słuchanie radia internetowego przez badanych studentów koreluje jedynie z potrzebą używania Internetu coraz dłużej jako źródła satysfakcji (0,25). Respondenci korzystając z tego radia odczuwają potrzebę wydłużania sesji w Sieci. W hierarchii częstotliwości stosowanych sposobów korzystania z Internetu zajmuje jedenaste miejsce ze średnią częstotliwością występowania 2,13 w skali pięciostopniowej.

Również oglądanie telewizji internetowej przez badanych studentów, podobnie jak słuchanie radia, koreluje z potrzebą używania Internetu przez coraz dłuższe okresy czasu aby uzyskać większe zadowolenie i satysfakcję (0,20).

Korzystanie z wyszukiwarek internetowych nie koreluje z żadnym ze wskaźników uzależnienia od Internetu. Są one traktowane zapewne instrumentalnie jako swego rodzaju metasposób przy wykonywaniu wielu różnych czynności internetowych, a więc są jakby przezroczyste, przez które użytkownicy Internetu różnymi sposobami łatwiej mogą zaspokajać swoje potrzeby.

Dokonywanie zakupów przez Internet koreluje z dwoma wskaźnikami uzależnienia: nieudanymi próbami kontroli i ograniczenia czasu spędzanego w Sieci (-0,20) oraz z ryzykiem utraty ważnych relacji (0,24). Ujemny współczynnik korelacji oznacza

w tym przypadku, że ci studenci, którzy częściej robią zakupy przez Internet to rzadziej u nich występują nieudane próby kontroli i ograniczania korzystania z Internetu. Można powiedzieć, że bardziej panują nad racjonalnym użytkowaniem Internetu. Ale drugi współczynnik korelacji jest tu dodatni i może oznaczać w zestawieniu z poprzednim współczynnikiem ujemnym, że to racjonalne użytkowanie Internetu może się jednak odbywać kosztem zaniedbywania ważnych relacji z innymi osobami. Dodać tu trzeba, iż według sondażu GfK OnlineBus przeprowadzonego dla portalu eGospodarka kupowanie w Internecie nie jest jeszcze zbyt popularne. Co prawda 23% respondentów deklaruje, że korzysta z portalu aukcyjnego Allegro (1% z eBay), ale to korzystanie nie przekłada się na kupowanie i jest raczej przeglądaniem ofert lub weryfikowaniem cen. Jedynie 4% internautów stwierdziło, że kupuje coś w Sieci raz w miesiącu lub częściej. Kolejne 6% kupuje tam raz na 2–3 miesiące, sporadycznie zagląda do Sieci w celu kupienia czegoś 18% [10]. Zakupy w Internecie nie są również popularne wśród badanych studentów (dziewiąte miejsce w hierarchii (2,33).

Oglądanie filmów innych internautów koreluje z dwoma wskaźnikami uzależnienia: nieudanymi próbami kontroli i ograniczenia czasu spędzanego w Sieci (0,28) oraz z traktowaniem Internetu jako ucieczkę od problemów (0,21). Badani studenci nie tylko uciekają od problemów życiowych w świat wirtualny, ale również nie udaje im się panować nad racjonalnym użytkowaniem Internetu. W chwili obecnej serwisy społecznościowe umożliwiające publikowanie oraz przeglądanie filmów innych internautów zaczynają zyskiwać na popularności.

Przeglądanie stron erotycznych przez badanych studentów koreluje z trzema wskaźnikami: odczuwaniem zirytowania przy ograniczaniu czasu spędzanego w Sieci (0,20), oszukiwaniem innych, aby ukryć narastający problem nadmiernego zainteresowania Internetem (0,30) oraz z traktowaniem go jako sposób na ucieczkę od problemów (0,28). Oznacza to, że respondenci uciekają w ten sposób od problemów ukrywając to przed innymi oraz odczuwają dyskomfort psychiczny przy próbach ograniczania czasu spędzanego w Internecie przy przeglądaniu stron erotycznych. Występujące tu współczynniki korelacji mogą wynikać z faktu, iż to właśnie przeglądanie stron erotycznych jest jednym z najbardziej uzależniających czynników dla niektórych użytkowników Internetu.

Przedstawione wyniki potwierdzają hipotezę istnienia pewnych zależności pomiędzy uzależnieniem od Internetu a częstotliwością stosowania niektórych technologii internetowych.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Do najbardziej uzależniających technologii internetowych stosowanych przez badanych studentów należy komunikacja przez komunikatory internetowe. Może to świadczyć o rozwijaniu się tak zwanej socjomanii internetowej (0,26). Również do spo-

sobów uzależniających można zaliczyć przeglądanie stron rozrywkowych (0,25), a także przeglądanie stron edukacyjnych (0,22). Prawdopodobnie badani studenci coraz więcej, być może za dużo wagi, przywiązują do możliwości Internetu w zaspokajaniu potrzeb edukacyjnych i rozrywkowych. Przy przeglądaniu stron edukacyjnych czują się mocno zaabsorbowani i odczuwają potrzebę przedłużania sesji internetowych dla zwiększania swego zadowolenia i satysfakcji. Przeglądanie stron rozrywkowych wiąże się z kolei z przebywaniem w sieci dłużej niż się planowało (0,33), z odczuwaniem potrzeby wydłużania czasu przebywania w Sieci dla większego zadowolenia (0,32) i ucieczki od problemów (0,24) a także z niemożnością kontrolowania racjonalnego użytkowania Internetu (0,21).

2. Przeglądanie stron erotycznych wiąże się z oszukiwaniem swoich bliskich w celu ukrywania własnego nadmiernego zainteresowania Internetem (0,30), z ucieczką od problemów, unikaniem nieprzyjemnych uczuć (np. poczucia bezradności, poczucia winy, niepokoju lub depresji) (0,28), z rozdrażnieniem, niepokojem i nastrojem depresyjnym wówczas kiedy trzeba było przerywać lub ograniczać korzystanie z Internetu (0,20).

3. Cząstkowy wskaźnik uzależnienia od Internetu wiążący się z większością stosowanych technologii internetowych dotyczy zwiększania ilości czasu spędzanego w Sieci aby uzyskiwać większe zadowolenie, mieć więcej satysfakcji. Okazuje się, że Internet jest jeszcze ciągle ważnym źródłem zadowolenia i satysfakcji wynikających z uzyskiwania różnych korzyści zaspokajających różnorodne potrzeby i być może w dalszym ciągu doskonale uzupełnia a może nawet wypiera wiele bardzo wartościowych źródeł radości życia i zadowolenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Batorski D. Polacy i nowe technologie. Diagnoza społeczna 2005–2007 [online], http://conference2007.mwi.pl/fileadmin/files/mwi/11_KMWI/prezentac/czwarte/010_Dominik_Batorski.pdf, [09.09.2007].
2. Dąbrowska A., Janoś-Kresło M., Wójcik J. Stan wiedzy studentów SGH w zakresie możliwości wykorzystania Internetu, http://www.e-mentor.edu.pl/artykul_v2.php, [15.05.2007].
3. Czapiński J., Panek T. Diagnoza społeczna 2005. Warunki i jakość życia Polaków [online], http://www.witrynawiejska.org.pl/strona.php?p=1109, [06.08.2007].
4. Główny Urząd Statystyczny. Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w gospodarstwach domowych i przez osoby prywatne w 2007, http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUB_POZ_Wyk_techn_inf_tel_w_gosp_dom_i_os_pryw_2007.pdf, [09.09.2007].
5. Greenfield D. The Net Effel. Internet addiction and copulsive Internet use. The Center for Internet Studiem, 1999: 25–55.
6. Haber L. (red.): Psychologiczne aspekty korzystania z Internetu. Tekst-Graf, Kraków 2003.
7. Kansdell J.: Intrnet Addictionon Campus. The Vulnerability of College Students. Cyber Psychology & Behavior, No 1, 1998: 3–30.

8. MillwardBrown SMG/KRC. Raport z badań, http://dc1.sabela.pl/raport_IAB_2006.pdf, [28.05.2007].
9. Neska R. Profil polskich internautów, http://pentor.pl/16639.xml, [29.05.2006].
10. Szkodzin B. Badanie Internetu w Polsce II 2006 [online], http:// www.egospodarka.pl/13615,Badanie-Internetu-w-Polsce-II-2006,1,39,1.html, [17.06.2007].
11. Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w gospodarstwach domowych i przez osoby prywatne w 2007 [online], Główny Urząd Statystyczny, http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUB_POZ_Wyk_techn_inf_tel_w_gosp_dom_i_os_pryw_2007.pdf [09.09.2007].
12. Young K. Internet addiction. The emergence of a new clinical disorder. Cyber Psychology and Behavior, New York 1998; także: Young K. Pathological Internet use:A case that breaks the stereotype. Psychological Reports, 1996.

THE PROBLEM OF THE EXCESS STUDENTS ACTIVITIES SITE

Summary
Studies have show that the most addictive of the Internet are often used by students of messengers (0.26), browsing Internet entertainment site (0.25), as well as browsing the educational site (0.22). Browsing makes the most erotic of students hiding from her close excessive interest in Internet as an escape from problems, anxiety, irritability and depressive mood. Internet is still an important source for students lived in their own way of satisfaction drawn from the benefits derived by the increasingly frequent application of the majority of various web technologies.

Zygmunt Lenik[1)]

WYKORZYSTANIE ARKUSZA ORGANIZACYJNEGO Z PAKIETU VULCAN W ORGANIZACJI PRACY SZKOŁY

Streszczenie. W artykule omówiono i podano przykłady możliwości wykorzystania Arkusza Organizacyjnego z pakietu Vulcan do opracowania organizacji procesu dydaktycznego z zakresu projektowania zajęć dydaktycznych.

WSTĘP

W dobie rozwoju informatycznych systemów pojawiają się nowe, coraz bardziej atrakcyjne programy dedykowane specyficznym potrzebom szkoły, takim jak plan nauczania, arkusz organizacyjny, obsługa sprawdzianów, egzaminów gimnazjalnych, maturalnych itp.

Sukces na różnych płaszczyznach funkcjonowania szkoły uzależniony jest często od umiejętności adaptacji zastosowań programów z grupy administracyjnej. Sieć informatyczna powinna umożliwiać wymianę dokumentów pomiędzy nauczycielami, uczniami, rodzicami i dyrektorem.

Ogólny cel wdrożenia systemu usprawniającego organizację szkoły dotyczy usprawnień takich jak [1–6]:

– eliminacji możliwie wielu pracochłonnych, powtarzalnych czynności oraz ułatwienia rozwiązywania różnych zadań;
– ułatwienia dostępu do informacji potrzebnych w procesie zarządzania i organizacji szkoły (kartoteki osobowe, środki dydaktyczne, finanse szkoły, itd.,);
– wykonywania analiz, dotychczas nie podejmowanych lub podejmowanych wyjątkowo rzadko z racji ich uciążliwości (poziomu trudności, angażowania wielu osób, czasu itd.) przy użyciu metod tradycyjnych (zbiorcze analizy wyników nauczania, inwentaryzacje, analizy budżetu, zbierania opinii itp.);
– drukowania różnorodnych dokumentów oraz ich przesyłanie wśród zainteresowanych osób, w wymianie międzyszkolnej lub pomiędzy jednostką zarządzającą, a grupą szkół

Efektywnym elementem wdrożenia informatycznego systemu w szkole są możliwości wykonywania różnych przekrojowych zestawień i statystyk, niesporządzanych uprzednio ze względu na ich czasochłonność [1]. Możliwa staje się analiza wyników

1) Katedra Metod i Technik Nauczania, Politechnika Lubelska.

nauczania klasy lub indywidualnego ucznia w wybranym odcinku czasu i dowolnym zakresie przedmiotowym. Znaczenie informatyczne tak rozumianej analizy dla świadomego i skutecznego kierowania procesem kształcenia w odniesieniu do budzącego szereg zastrzeżeń tradycyjnego systemu oceniania nie ulega dyskusji. Możliwość uzyskania materiału porównawczego może być elementem poprawy procesu nauczania-uczenia się, oceny pracy ucznia i nauczyciela, ale także np. do informowania rodziców na wywiadówkach o przebiegu procesu kształcenia ich dziecka.

W szczególności dotyczy to informacji dotyczących budżetu, spisu z natury, danych osobowych uczniów i pracowników, korespondencji oraz wszelkiej innej dokumentacji szkoły, która po jednokrotnym wprowadzeniu do systemu informatycznego, może być wielokrotnie przetwarzana i wykorzystywana przez poszczególne programy systemu. I tak, np. rejestr osobowy wprowadzony do systemu kadrowego może być przeniesiony i wykorzystany w systemie płacowym, arkuszu organizacyjnym szkoły, katalogu bibliotecznym czy planie zajęć lekcyjnych. Możliwość choćby częściowego eliminowania konieczności wykonywania pracochłonnych, powtarzalnych czynności, oszczędza nie tylko czas, ale również wyklucza popełnianie błędów, pojawiających się w trakcie przepisywania.

Podsumowując, system planowania i wspomagania prac administracji szkolnej powinien obejmować: arkusz organizacyjny, system kadrowo-płacowy, układanie budżetu, planu lekcji, zastępstw i ich ewidencji, księgowość, inwentarz i magazyn, oraz informacje o przepisach prawnych [4, 5]. Do wymienionego zakresu zadań można jeszcze dodać: bibliotekę szkolną, pracę pedagoga szkolnego, szkolnej służby zdrowia, wychowawcy, świetlicy i sekretariatu.

W ramach wymienionych zadań ważną grupę w zastosowaniu technologii informacyjnych w szkole stanowią programy z grupy administracyjno-użytkowych. Wspomagają one pracę dyrektora w organizowaniu roku szkolnego i pozwalają na bieżący dostęp do nowo uchwalanych przepisów prawnych związanych ze szkolnictwem, usprawniają pracę szkolnej administracji i agend, np. takich jak biblioteka. Ich stosowanie jest wręcz niezbędnym elementem w obsłudze placówek oświatowych, gdzie dostęp do informacji i ich generowanie jest wymuszane krótkimi terminami realizacji. W związku z tym ich adaptacja do systemu zarządzania i kierowania szkołą jest podstawowym warunkiem prawidłowej realizacji tych procesów. Jednym z takich zadań jest tworzenie arkusza organizacyjnego szkoły, który zawiera przydziały obowiązków pracowników szkoły w zakresie prac dydaktyczno-wychowawczych.

PODSTAWOWE WIADOMOŚCI DOTYCZĄCE UŻYTKOWANIA PROGRAMU ARKUSZ ORGANIZACYJNY Z PAKIETU VULCAN

Współczesne placówki oświatowe stają przed koniecznością zapewnienia przygotowania różnych wariantów zestawień organizacji zajęć do ich analizowania i przetwarzania co jest możliwe dzięki odpowiednim aplikacjom. Przykładem programu

z takiej grupy jest Arkusz Organizacyjny firmy VULCAN stanowiący narzędzie, którego wykorzystanie zostanie omówione w niniejszej pracy w ramach problemu organizacji zajęć dydaktyczno-wychowawczych szkoły. Jego parametry użytkowe pozwalają na pełną obsługę w zakresie wymagań współczesnych placówek oświatowych [7].

Arkusz Organizacyjny jest programem, który służy swoją pomocą w zakresie następujących czynności [7, 8]:

- na bieżąco podsumowuje godziny oraz pokazuje, którym zajęciom nie przydzielono nauczyciela,
- przygotowuje przejrzysty wydruk gotowego arkusza (tzw. płachty),
- możliwości szybkiego wyeksportowania do Systemu Informacji Oświatowej (SIO) zgromadzonych przez niego danych,
- efektownie współdziała z programami użytkowymi z grupy arkuszy kalkulacyjnych, co nie wymaga posługiwania się mechanizmami tego programu, aby korzystać z jego możliwości,
- sporządza wiele użytecznych zestawień takich, jak np:
  - etaty w szkole,
  - wykazy obowiązków poszczególnych nauczycieli,
  - koszty wynagrodzeń,
  - przydziały poszczególnych nauczycieli,
  - przydziały dla poszczególnych oddziałów.

Omawiany program pozwala, by raz wprowadzone dane mogły być wielokrotnie wykorzystywane, np. jako podstawa do układania planu lekcji, a następnie planowania i rozliczania zastępstw. Przy pomocy programu Arkusz Organizacyjny można sprawić, by praca włożona w przygotowanie arkusza w poprzednim roku została wykorzystana w następnych latach. Oczywistym jest, że to co zaproponuje program, można dowolnie modyfikować.

Wykorzystanie poszczególnych możliwości Arkusza Organizacyjnego jest ściśle związane z zakresem danych wprowadzanych do programu. Jedną z takich czynności jest przygotowanie arkusza jako źródła danych do programu Plan Lekcji. Odbywa się to wg określonej procedury, która uwzględnia [8]:

- wprowadzenie listy oddziałów (klas), nauczycieli i przedmiotów,
- opisanie planu nauczania oddziałów,
- wskazanie, które lekcje mają odbywać się z podziałem na grupy, a które jako zajęcia międzyoddziałowe,
- przydzielenie lekcji nauczycielom,
- wprowadzenie liczby uczniów w poszczególnych oddziałach,

Jeśli chcemy wykorzystać program do obliczania kosztów wynikających z organizacji szkoły i przygotować dane do arkusza zbiorczego (np. dla organu prowadzącego) trzeba dodatkowo:

- wprowadzić dane pracowników administracji i obsługi,
- podać wszelkie informacje niezbędne do określenia wysokości wynagrodzeń pracowników,
- wprowadzić dodatkowe informacje o szkole i pracownikach zgodnie z życzeniami organu prowadzącego.

Jeżeli dane przygotowywane w tym programie mają być wykorzystywane do układania planu zajęć dydaktycznych, nie mogą przekraczać następujących maksymalnych liczb [8]:
– oddziałów – 99,
– pracowników – 200,
– nauczycieli i grup zajęć międzyoddziałowych (łącznie) – 250,
– zajęć i innych tytułów płatności – 200,
– grup w ramach jednych zajęć w oddziale – 7,
– nauczycieli w jednej grupie zajęć międzyoddziałowych – 10,
– oddziałów w jednej grupie zajęć międzyoddziałowych – 30,

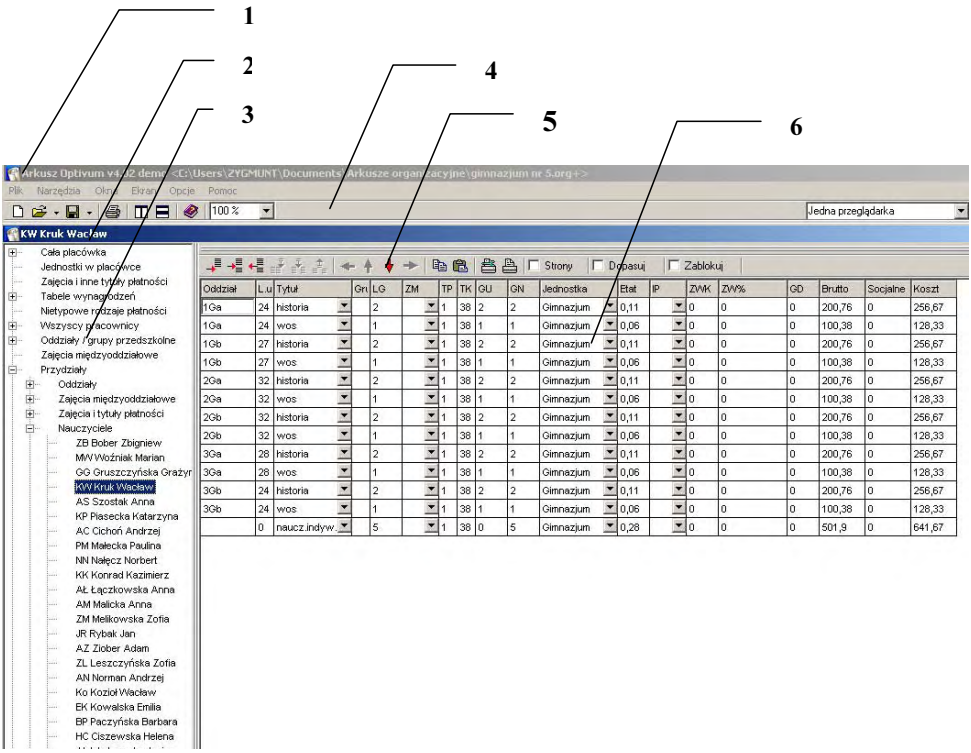
Określone wyżej parametry w pełni wystarczają do obsługi prawie każdej szkoły w zakresie wcześniej wymienionych zadań.

Należy jednak podkreślić, że jedną z głównych barier, która powoduje, że nie każda szkoła może sobie pozwolić na zakup i korzystanie z takiego programu, jest wysoki koszt licencji.

Arkusz Organizacyjny z pakietu VULCAN, jak większość aplikacji pracujących w systemie operacyjnym Windows, ma podobne do niego cechy budowy. Specyfiką tego programu jest jego pole robocze, które służy do wykonania konkretnych operacji ściśle przypisanych temu programowi. Niemniej jednak i tu można doszukać się pewnych cech charakterystycznych dla programów użytkowych, np. baz danych.

Rysunek 1 przedstawia najważniejsze elementy środowiska pracy Arkusza Organizacyjnego, którymi są [7, 8]:
1) pasek tytułu głównego okna programu,
2) pasek tytułu okna wielopanelowego,
3) drzewo danych,
4) pasek narzędzi programu,
5) pasek narzędzi przeglądarki,
6) przeglądarka (służąca do przeglądania i wprowadzania danych).

Na rysunku 1 widać, że firma Vulcan zastosowała elementy spotykane w menadżerach plików, np. drzewo folderów w Eksploratorze Windows, a zawartość pasków narzędzi jest podobna jak w innych aplikacjach tego typu. Oznacza to, że przy pracy na tym programie możemy spotkać wiele elementów znanych co ułatwia z nich korzystanie i daje duży komfort w jego użytkowaniu.



Rys. 1. Widok dwóch okien programu Arkusz Organizacyjny z pakietu VULCAN

PODSTAWOWE ZASADY PRACY Z ARKUSZEM ORGANIZACYJNYM Z PAKIETU VULCAN

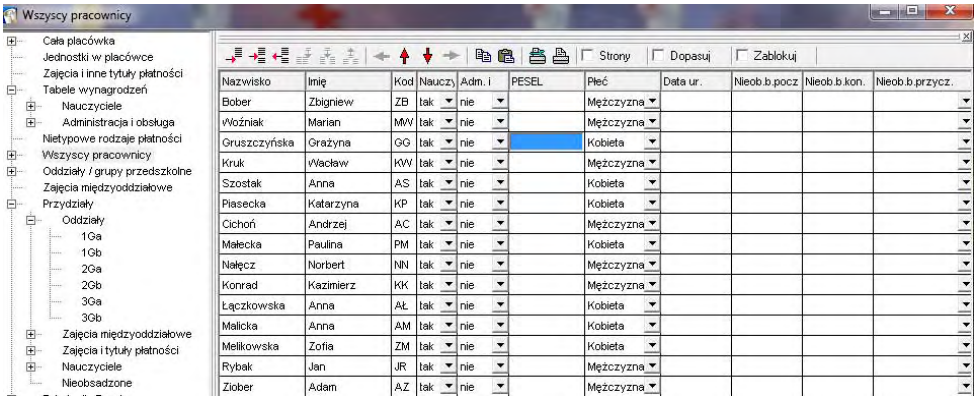
W pracy z programem Arkuszem Organizacyjnym ważna jest dokładność i prawidłowość w zakresie wprowadzanych danych do jego baz danych ze względu na to, że stanowią one podstawę do sporządzania zestawień w kolejnych modułach pakietu VULCAN. Błędne wprowadzenie danych na etapie sporządzania arkusza może spowodować generowanie błędów w kolejnych programach np. w Planie Lekcji i w efekcie będzie wymagać powtórzenia wszystkich czynności, co jest bardzo pracochłonne i irytujące zwłaszcza w czasie napiętych terminów dotyczących tworzenia dokumentów szkolnych (np. początek roku szkolnego).

Sporządzając Arkusz Organizacyjny należy wykonywać czynności według określonej kolejności następujących procedur wprowadzenia danych podstawowych, a mianowicie [8]:

– dane ogólne dotyczące szkoły (np. adres, godziny rozpoczęcia i zakończenia zajęć),
– lista pracowników, (np. nauczycieli, rys. 2),

– lista zajęć oraz innych tytułów płatności przypisywanych nauczycielom,
– lista oddziałów (klas).

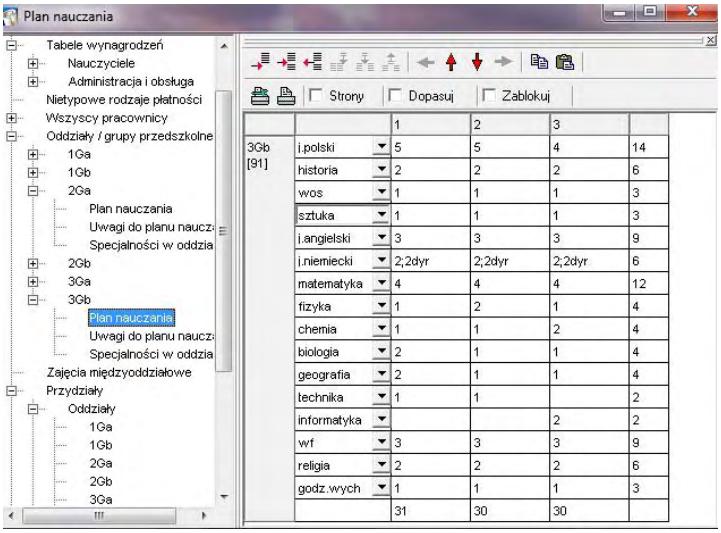
Jednym z elementów na tym etapie pracy, który ma ważne znaczenie przy tworzeniu planu lekcji bazującym na Arkuszu Organizacyjnym jest zastosowanie kodów identyfikacyjnych nauczycieli, najczęściej dwuliterowych (np. od imienia i nazwiska, Bober Zbigniew – ZB). Są one potrzebne przy sporządzaniu planów zajęć dla poszczególnych oddziałów, ponieważ zawężają gabarytowo tabele operacyjne (wykorzystywane przy tworzeniu planów) i prezentacyjne przedstawiające ułożone plany (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowa tabela z listą pracowników w arkuszu organizacyjnym

Następnie należy określić szczegółowe plany nauczania dla poszczególnych oddziałów. Dużym ułatwieniem na tym etapie pracy jest możliwość kopiowania planów między oddziałami o tej samej lub podobnej specjalności, co przedstawia rysunek 3. Stanowi to podstawę do dalszych etapów pracy. Błędnie określone plany oraz liczby godzin przyporządkowane przedmiotom powodują brak możliwości konkretnego przydzielenia zajęć nauczycielom i oddziałom. W celu prawidłowego określenia planu zajęć i przydzielonych mu godzin, należy sprawdzić sumę godzin dla całego oddziału w dolnej części tabeli. Taki układ danych w tabeli pozwala również planować siatkę godzin z uwzględnieniem całego cyklu kształcenia np. dla nauczania blokowego od klasy czwartej do szóstej tak, aby uwzględnić założenia co do liczby godzin z poszczególnych przedmiotów zgodnie z podstawą programową. Taka informacja w kolejnych latach tworzenia arkusza umożliwia sprawniejsze planowanie oraz ogranicza możliwości pomyłki, co do liczby realizowanych godzin w cyklu kształcenia.

Po ustaleniu planów nauczania należy uściślić siatki godzin oddziałów na opisywany rok szkolny (rys. 4) dokonując podziałów na grupy. Jest to ważne w przypadku zajęć laboratoryjnych, takich jak informatyka czy języki obce.

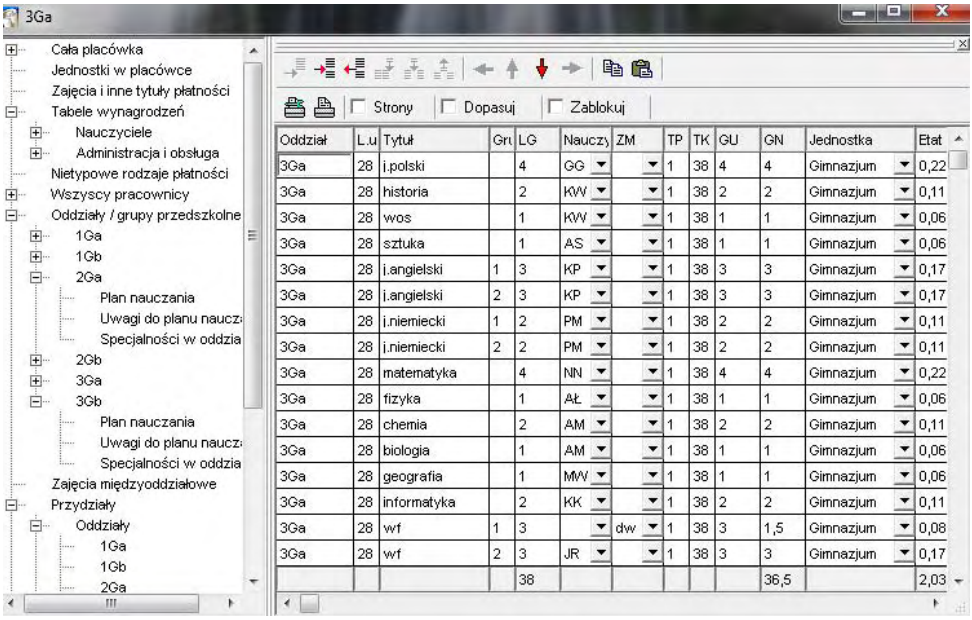


Rys. 3. Ekran przedstawiający plan nauczania dla trzeciej klasy szkoły gimnazjalnej w arkuszu organizacyjnym. Widoczne ilości godzin z poszczególnych przedmiotów oraz ich suma w danym roku nauczania.

Przy podziale na grupy problemy mogą się pojawić w przypadku zajęć wychowania fizycznego. Ze względu na różne liczebności zespołów dziewcząt i chłopców w poszczególnych klasach, często stosuje się łączenie ich w grupy międzyoddziałowe, widoczne jest to na rysunku 5 po to, by zapewnić odpowiednią liczebność, która zgodnie z wymaganiami dla tych zajęć waha się w przedziale od 13 do 26 uczniów. Stanowi to dodatkowe utrudnienie przy przydzielaniu konkretnych zajęć nauczycielom i wymaga dokładnego sprawdzania liczby przydzielonych im godzin w przydziałach tak, aby nie „zgubić" ich przy tworzeniu tygodniowego planu zajęć.

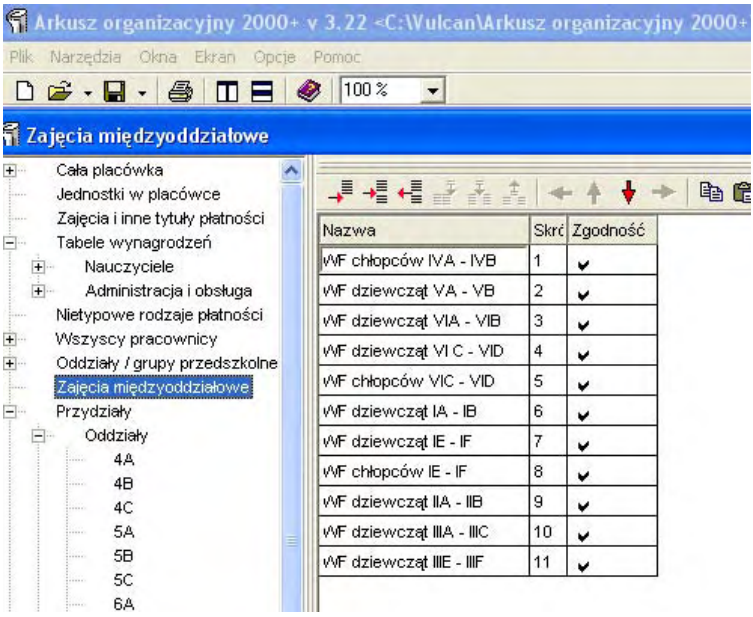
Rysunek 4 przedstawia dokładne liczby godzin przydzielone poszczególnym przedmiotom z uwzględnieniem podziału na grupy i zajęcia międzyoddziałowe. Charakterystyczne jest, że przy zajęciach międzyoddziałowych nie widnieje kod nauczyciela prowadzącego zajęcia. Jest to określone przy przydziale zajęć międzyoddziałowych i przedstawia to rysunek 6.

Po wprowadzeniu danych podstawowych należy przydzielić nauczycielom zajęcia w oddziałach i wspomnianych wcześniej grupach międzyoddziałowych. Rysunek 7 przedstawia dane dla jednego nauczyciela (Kruk Wacław – KW). Bardzo wygodne jest przy tym pokazywanie przez program podsumowania liczby godzin przydzielanych nauczycielom. Następnie, jeżeli jest taka konieczność, określamy przydziały zajęć pozalekcyjnych (np. zajęcia wyrównawcze, koła zainteresowań itp.) oraz nielekcyjnych (bibliotekarz, pedagog szkolny, psycholog itp.), a także innych tytułów płatności np. zniżka godzin i urlopy płatne.



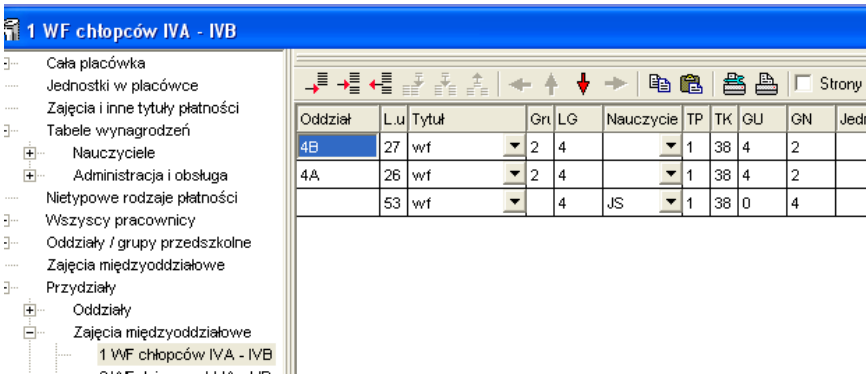
Oddział	L.u	Tytuł	Gru	LG	Nauczy	ZM	TP	TK	GU	GN	Jednostka	Etat
3Ga	28	j.polski		4	GG		1	38	4	4	Gimnazjum	0,22
3Ga	28	historia		2	KW		1	38	2	2	Gimnazjum	0,11
3Ga	28	wos		1	KW		1	38	1	1	Gimnazjum	0,06
3Ga	28	sztuka		1	AS		1	38	1	1	Gimnazjum	0,06
3Ga	28	j.angielski	1	3	KP		1	38	3	3	Gimnazjum	0,17
3Ga	28	j.angielski	2	3	KP		1	38	3	3	Gimnazjum	0,17
3Ga	28	j.niemiecki	1	2	PM		1	38	2	2	Gimnazjum	0,11
3Ga	28	j.niemiecki	2	2	PM		1	38	2	2	Gimnazjum	0,11
3Ga	28	matematyka		4	NN		1	38	4	4	Gimnazjum	0,22
3Ga	28	fizyka		1	AŁ		1	38	1	1	Gimnazjum	0,06
3Ga	28	chemia		2	AM		1	38	2	2	Gimnazjum	0,11
3Ga	28	biologia		1	AM		1	38	1	1	Gimnazjum	0,06
3Ga	28	geografia		1	MW		1	38	1	1	Gimnazjum	0,06
3Ga	28	informatyka		2	KK		1	38	2	2	Gimnazjum	0,11
3Ga	28	wf	1	3		dw	1	38	3	1,5	Gimnazjum	0,08
3Ga	28	wf	2	3	JR		1	38	3	3	Gimnazjum	0,17
				38						36,5		2,03

Rys. 4. Szczegółowa siatka godzin dla jednej z wybranych klas (3Ga) w arkuszu organizacyjnym

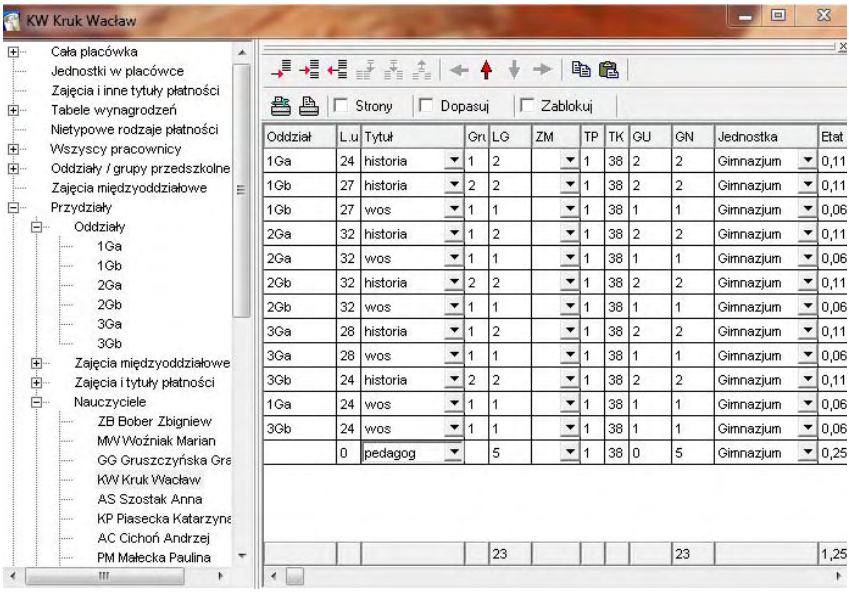


Nazwa	Skrć	Zgodność
WF chłopców IVA - IVB	1	✓
WF dziewcząt VA - VB	2	✓
WF dziewcząt VIA - VIB	3	✓
WF dziewcząt VI C - VID	4	✓
WF chłopców VIC - VID	5	✓
WF dziewcząt IA - IB	6	✓
WF dziewcząt IE - IF	7	✓
WF chłopców IE - IF	8	✓
WF dziewcząt IIA - IIB	9	✓
WF dziewcząt IIIA - IIIC	10	✓
WF dziewcząt IIIE - IIIF	11	✓

Rys. 5. Zdefiniowane zajęcia międzyoddziałowe w arkuszu organizacyjnym z wychowania fizycznego zadeklarowane dla całej szkoły



Rys. 6. Przydziały zajęć międzyoddziałowych w arkuszu organizacyjnym – określony przydział nauczyciela do prowadzenia zajęć z wychowania fizycznego (wf)



Rys. 7. Widok przydziałów zajęć lekcyjnych w konkretnych oddziałach dla przedmiotu dzielonego na grupy

Całość, lub jego elementy składowe można wydrukować, zapisując np. dane dla organu prowadzącego, sprawującego nadzór pedagogiczny lub sporządzając dla potrzeb administracyjno-decyzyjnych zestawienia w arkuszu kalkulacyjnym.

ZAKOŃCZENIE

Omówione w pracy możliwości wykorzystania Arkusza Organizacyjnego z pakietu Vulcan mogą w znacznym stopniu usprawnić organizację pracy szkoły, zwłaszcza w zakresie przydziału obowiązków dla nauczycieli. Oznacza to ograniczenie wykonywania żmudnych i pracochłonnych czynności związanych ze sprawdzaniem poprawności wprowadzanych danych i tworzenia bez konfliktowych planów nauczania. Dotyczy to w szczególności przydzielania odpowiedniego planu zajęć, którego pomysły realizacji zmieniają się bardzo dynamicznie w określonym czasie pracy nad tworzeniem planu lekcji.

Arkusz Organizacyjny stanowi podstawę do sporządzania innych ważnych dokumentów obowiązujących w organizacji pracy szkoły. Do nich należy np. Plan Lekcji. Współpraca Arkusza Organizacyjnego i Planu Lekcji w zakresie wykorzystania danych jest bardzo wygodna, ponieważ nie wymaga wielokrotnego wprowadzania tych samych informacji i umożliwia szybkie dostosowywanie zmian w przydziałach, które z różnych przyczyn zachodzą w okresie roku szkolnego np. (urlopy nauczycieli, zmiana liczebności klas, a więc możliwość likwidacji grup w danej klasie, czy zajęć międzyoddziałowych). Skrócenie czasu pracy nad tymi dokumentami jest szczególnie ważne na początku roku szkolnego, gdzie chodzi o zapewnienie jak najlepszych warunków pracy placówki.

PIŚMIENNICTWO

1. Elsner D. Doskonalenie kierowania placówką oświatową. Wokół nowych pojęć i znaczeń. Chorzów 1999.
2. Griffin R.W. Podstawy zarządzani organizacjami. PWN 1996.
3. Kwiatkowski St.M. Komputery w procesie kształcenia i zarządzania szkołą. Warszawa 1994.
4. Piskor J. Komputer w zarządzaniu szkołą. Biuletyn Informacyjny, 9, 2001.
5. Piskor J. Obszary wspomagania komputerowego w pracy dyrektora szkoły. Biuletyn informacyjny, 4, 1999.
6. Tanaś M. Edukacyjne zastosowania komputerów. Warszawa 1997: 163–164.
7. Tobor M. Arkusz Organizacyjny 2000+ Nowa jakość w nowych oknach. Biuletyn Informacyjny. Informatyka dla szkoły, 3, 2000.
8. Tobor M., Zięba J. Podręcznik użytkownika programu arkusz organizacyjny 2000+. Wrocław 2002.

USING OF ORGANIZING SHEET FROM VULCAN PACKAGE IN THE ORGANIZATION OF SCHOOL WORK

Summary

In this article it was discussed and given examples of possibilities using of the Organizing Sheet from Vulcan package to develop the teaching process organization from the design of classes.

Renata Lis[1], Jerzy Montusiewicz[2]

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII CYFROWYCH DO POPRAWY JAKOŚCI FOTOGRAFICZNYCH MATERIAŁÓW TRANSPARENTNYCH

Streszczenie. W artykule omówiono cyfrowe technologie poprawy jakości fotograficznych materiałów transparentnych, takich jak klisze fotograficzne i przeźrocza. Opisano proces digitalizacji materiałów analogowych oraz rodzaje uszkodzeń tych materiałów. Przedstawiono możliwości takich technologii, jak: FARE, Digital ICE, Digital ROC, Digital GEM, Digital DEE, Digital SHO. Zastosowanie tych technologii w procesie digitalizacji analogowych materiałów fotograficznych znacznie polepsza jakość otrzymanych materiałów końcowych oraz pozwala na automatyzację procesu retuszu i rekonstrukcji obrazów cyfrowych.

WSTĘP

Wraz z rozwojem fotografii cyfrowej coraz częściej analogowe materiały fotograficzne poddawane są digitalizacji. Proces ten pozwala na zachowanie materiałów analogowych w formie cyfrowej, a tym samym wielokrotne ich przetwarzanie i bezpieczną archiwizację. Również, dzięki digitalizacji materiały fotograficzne posiadające widoczne defekty mogą zostać poddane procesom rekonstrukcji i retuszu.

Do otrzymania cyfrowej postaci fotograficznych materiałów analogowych stosuje się skanery. Urządzenia te są obecnie powszechnie znane i stosowane zarówno przez profesjonalistów, jak i amatorów. Oprócz modeli uniwersalnych powstały też rozwiązania specjalistyczne, np. skanery do skanowania negatywów oraz slajdów, zawierające technologie polepszające jakość obrazów. Technologie te umożliwiają usuwanie defektów fotograficznych materiałów analogowych takich jak kurz, zadrapania czy załamania.

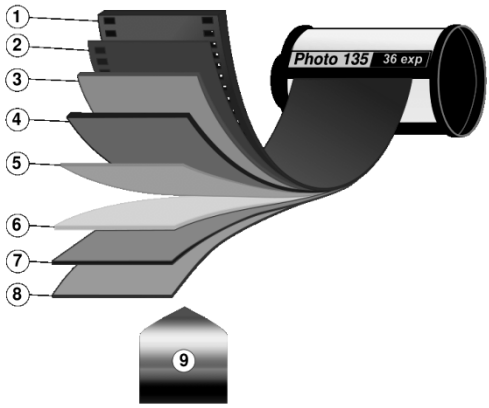
FOTOGRAFICZNE MATERIAŁY TRANSPARENTNE

Do fotograficznych materiałów transparentnych zalicza się między innymi klisze i przeźrocza. Klisza fotograficzna zbudowana jest z elastycznego, przezroczystego podłoża z naniesioną warstwą emulsji światłoczułej [Lis 2009]. W przypadku klisz barwo-

[1] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.
[2] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska; Katedra Informatyki, Wyższa Szkoła Umiejętności w Kielcach.

czułych, stosuje się kilka warstw emulsji poprzedzielanych odpowiednimi filtrami barwnymi (rys. 1).

Klisze fotograficzne można podzielić na negatywy, które służą do wykonywania odbitek oraz przeźroczy, głównie kolorowych, przeznaczone do bezpośredniego wyświetlania lub do przygotowania profesjonalnych kolorowych wydruków.



Rys. 1. Budowa barwoczułej kliszy fotograficznej: 1 – podłoże z tworzywa sztucznego, 2 – warstwa przeciwodblaskowa, 3 – emulsja czuła na światło czerwone, 4 – emulsja czuła na światło zielone, 5 – żółty filtr; 6 – emulsja czuła na światło niebieskie; 7 – filtr ultrafioletowy; 8 – warstwa ochronna; 9 – światło widzialne

Przeźroczem nazywa się obraz pozytywowy sporządzony na klatce filmu, przeznaczony do oglądania pod światło. Wyróżnia się przeźrocza kolorowe i czarno-białe o rozmiarach: od 24´35 mm, aż po 11´14 cali lub większe.

Sporządzanie przeźroczy odbywa się sposobem stykowym w kopioramkach, a materiałem pozytywowym jest specjalny film lub płyta przeźroczowa. Materiał ten jest niskoczuły, kontrastowy i drobnoziarnisty. Sporządzanie przeźroczy na zwyczajnym materiale negatywowym jest mniej wskazane, ponieważ uzyskuje się zbyt miękkie obrazy, pozbawione kontrastów.

Slajdy są natomiast przeźroczami, które zostały umieszczone w specjalnym uchwycie tzw. ramce do slajdów, która ułatwia trzymanie i przechowywanie oraz używanie w rzutnikach [Busch 2005].

USZKODZENIA TRANSPARENTNYCH MATERIAŁÓW FOTOGRAFICZNYCH

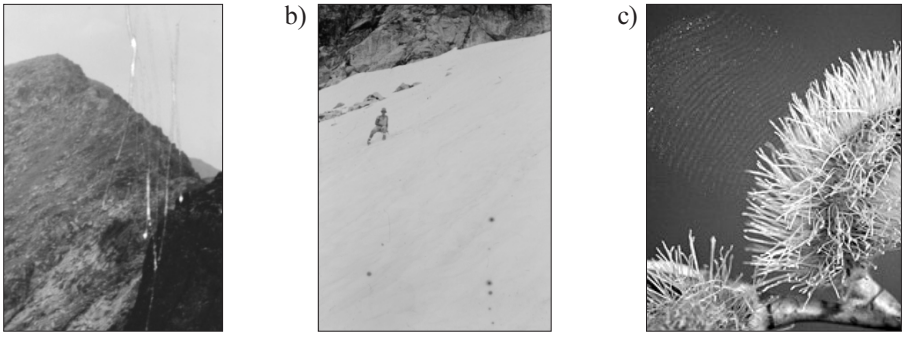
Wraz z upływem lat emulsja światłoczuła traci swoje własności powodując utratę odwzorowania barw. Również sama budowa kliszy powoduje znaczną podatność na

wszelkiego rodzaju uszkodzenia mechaniczne. Ogólnie, uszkodzenia materiałów fotograficznych w postaci negatywu oraz przeźrocza można podzielić na trwałe oraz usuwalne. Do uszkodzeń trwałych należą:

– zadry i zadrapania powstałe przy zacięciu się ramki ze slajdem w rzutniku, rys. 2.a);
– zadrapania w postaci długich poziomych rys na całej długości rolki powstałych na skutek drobnego zadarcia w bramce filmu podczas naświetlania, albo małego ziarenka piasku, które utkwiło w filcowej blokadzie światła w rolce filmu;
– małe, owalne pola powstające zazwyczaj podczas obróbki filmu (przyklejone do błony pęcherzyki powietrza); rzadziej jako efekt występowania wad w emulsji filmu, rys. 2.b);
– odciski palców, rys. 2.c);
– plamy po zamoczeniach;
– przebarwienie fragmentu zdjęcia na skutek nieprawidłowego przebiegu procesu utrwalania, lub zaświetlenia, rys. 3.a);

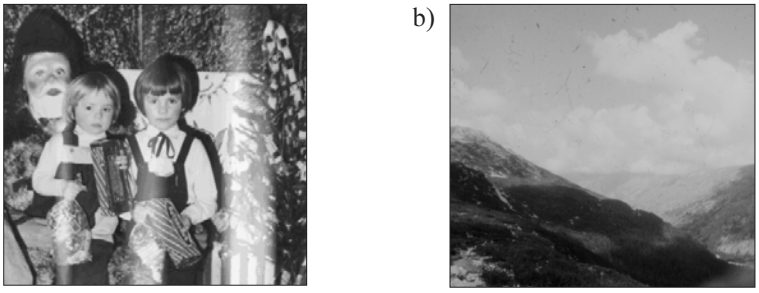
Odciski palców są trudne do usunięcia szczególnie z klisz filmowych, gdy tłuszcz ze skóry osiądzie na warstwie światłoczułej emulsji (zostanie wchłonięty w głąb warstwy i będzie częścią obrazu).

a) b) c)



Rys. 2. Przykłady uszkodzeń przeźroczy: a) zadrapania, b) plamy powstałe w procesie wywoływania, c) odcisk palca

a) b)



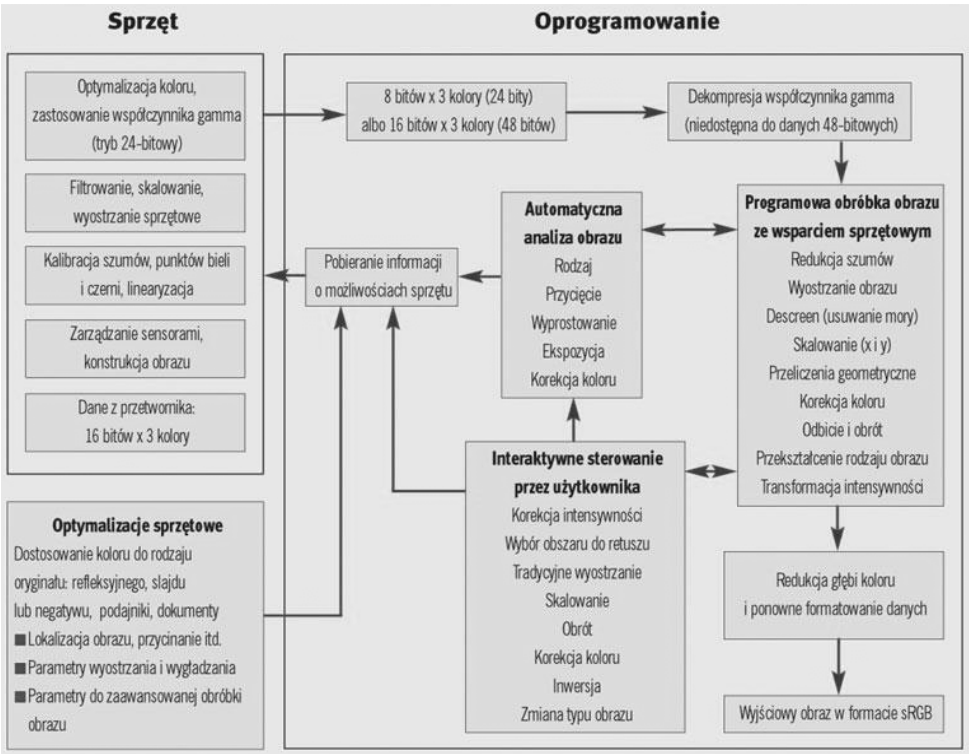
Rys. 3. Przykłady uszkodzeń przeźroczy: a) przebarwienia, b) pyłki i włosy [Montusiewicz 2008]

Uszkodzenia usuwalne, to:
– przyklejony kurz oraz paprochy;
– włosy, które przywarły do powierzchni na skutek naelektryzowania;
– nieprawidłowa kolorystyka.

Tego typu uszkodzenia należy usunąć przed skanowaniem, aby proces digitalizacji dodatkowo nie wzmacniał istniejących wad – dotyczy to szczególnie materiałów transparentnych [Montusiewicz 2008].

RODZAJE TECHNOLOGII POPRAWY JAKOŚCI OBRAZU

Cyfrowe technologie poprawy jakości materiałów fotograficznych polegają na wykorzystaniu możliwości skanera oraz specjalnego oprogramowania w postaci sterownika urządzenia. Przepływ danych pomiędzy tymi elementami jest różny w zależności od rodzaju stosowanych technologii. Inaczej przebiega proces poprawy kontrastu i barw skanowanego materiału a inaczej usuwanie defektów, takich jak, kurz czy zadrapania (rys. 4).



Rys. 4. Proces przepływu danych pomiędzy skanerem i jego oprogramowaniem

Cyfrowe technologie poprawy jakości obrazu dzielą się na:
– sprzętowe,
– programowe,
– sprzętowo-programowe.

Technologie sprzętowe polegają na wykorzystaniu właściwości urządzeń do poprawy wydajności działania aplikacji polepszających jakoś edytowanych materiałów.

Technologie programowe to specjalne algorytmy przetwarzające obraz cyfrowy przy pomocy programów do edycji grafiki bitmapowej. Przykładem takich technologii są wtyczki Image Enhancement Plug-ins stworzone przez programistów z firmy Kodak.

Najlepsze rezultaty poprawy jakości materiałów fotograficznych można uzyskać przy pomocy technologii sprzętowo-programowych. Łączą one możliwości sprzętu z odpowiednimi algorytmami, automatyzując proces usuwania defektów.

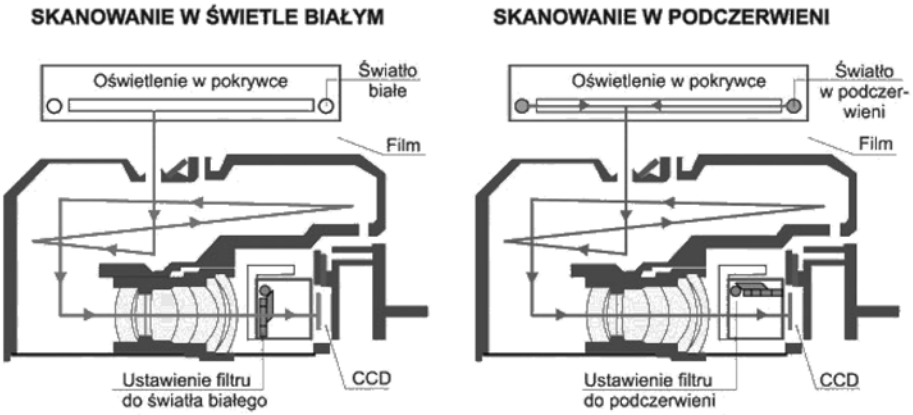
W większości przypadków proces poprawy jakości skanowanych materiałów z wykorzystaniem technologii sprzętowo-programowych przebiega w kilku etapach. Pierwszy polega na zeskanowaniu materiału przez skaner, następnie oprogramowanie dołączone do urządzenia poddaje otrzymany obraz szczegółowej analizie pod kątem uszkodzeń i zanieczyszczeń. W kolejnym etapie sporządzona zostaje mapa defektów. Końcowy etap polega na wykonaniu korekcji znalezionych defektów poprzez zastosowanie odpowiednich algorytmów [Gajlewicz 2003].

W przypadku digitalizacji transparentnych materiałów fotograficznych szczególnie wskazane jest stosowanie takich technologii sprzętowo-programowych, jak:
– Film Automatic Retouching and Enhancement (FARE) – usuwania defektów;
– Digital Image Correction and Enhancement (Digital ICE) – usuwanie kurzu i zarysowań;
– Digital Restoration Of Color (Digital ROC) – przywracanie kolorów i kontrastu;
– Digital Grain Equalization and Management (Digital GEM) – usuwanie efektu ziarna;
– Dynamic Exposure Extender (Digital DEE) – rozszerzenie dynamiki ekspozycji
– Digital Shadow and Highlight Optimize (Digital SHO) – optymalizacja kontrastu i jasności.

Usuwanie kurzu i zarysowań

Jedną z metod automatyzacji procesu usuwania defektów z transparentnych materiałów fotograficznych jest sprzętowo-programowa technologia stworzona w laboratoriach firmy Canon – Film Automatic Retouching and Enhancement (FARE). Polega ona na dwukrotnym zeskanowaniu materiału filmowego z wykorzystaniem różnych rodzajów światła. Pierwsze skanowanie wykonuje się korzystając z białego źródła światła, natomiast drugie – w podczerwieni (rys. 5).

W ten sposób uzyskuje się dwa obrazy cyfrowe – pierwszy będący dokładnym odwzorowaniem skanowanego materiału, a drugi zawierający tylko siatkę defektów. Po dokładnej analizie siatki, defekty zostają zidentyfikowane na pierwszym obrazie cyfrowym i usunięte (rys. 6).



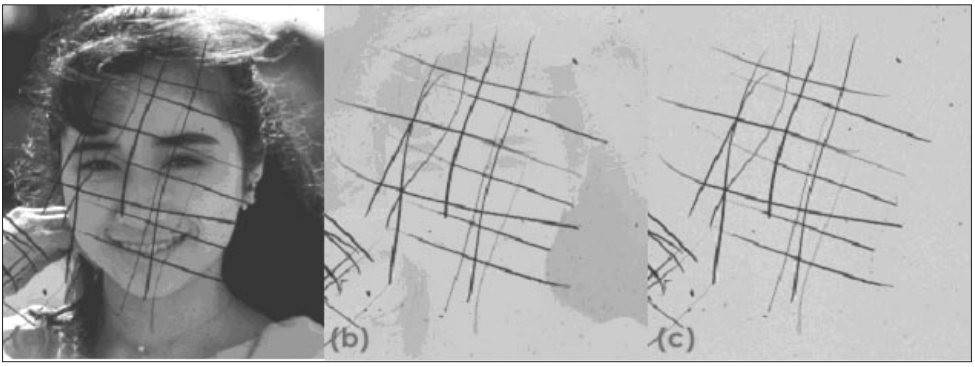
Rys. 5. Proces skanowania w świetle białym i podczerwonym

Rys. 6. Przykład zastosowania technologii FARE: a) zeskanowany materiał z użyciem światła białego, b) siatka defektów, c) efekt końcowy

Metoda ta wykorzystuje właściwości promieniowania podczerwonego, które posiada szerszy zakres długości fal niż światło białe. Zatem kiedy promienie spoza zakresu widzialnego, prześwietlają przezrocze, żaden z elementów obrazu nie jest widoczny. Na cząsteczkach kurzu i rysach światło się rozprasza, co powoduje spadek jego intensywności w tych miejscach. Wady zostają precyzyjnie zlokalizowane i po przeanalizowaniu – usunięte z obrazu [Gajlewicz 2003].

Kolejną technologią poprawy jakości obrazu opierającej swoje działanie na właściwościach światła podczerwonego jest Digital Image Correction and Enhancement (Digital ICE) firmy Applied Science Fiction. Polega ona na wydzieleniu kurzu i zarysowań z zawartości obrazu poprzez utworzenie obok trzech podstawowych kanałów RGB - czwartego kanału D z defektami. Kanał ten otrzymywany jest dzięki zeskanowaniu materiału w podczerwieni. Następnie wbudowany do programu algorytm, na podstawie informacji z kanału D, usuwa wadliwe obszary zastępując je ekstrapolacją z sąsiednich fragmentów. W efekcie powstaje obraz w składowych RGB, pozbawiony zidentyfikowanych defektów (rys. 7).

a) b) c)



Rys. 7. Przykład zastosowania technologii Digital ICE; a) zdjęcie oryginalne, b) zeskanowany materiał z użyciem technologii ICE c) wydzielony kanał D

Przywracanie kolorów i kontrastu

Technologia Digital Restoration Of Color (Digital ROC) została opracowana w celu przywrócenia skanowanym materiałom fotograficznym utraconych kolorów i właściwego kontrastu (rys. 8).

Technologia ta działa poprzez analizę różnic koloru w kanałach RGB skanowanego materiału. W przypadku skanowania klisz analiza odbywa się w każdej warstwie filmu. Następnie za pomocą specjalnych algorytmów obliczana jest optymalna krzywa tonalna, która usuwa kolorowe przebarwienia i przywraca wyblakłym obrazom ich pierwotny wygląd [Chabros 2006].

a) b)

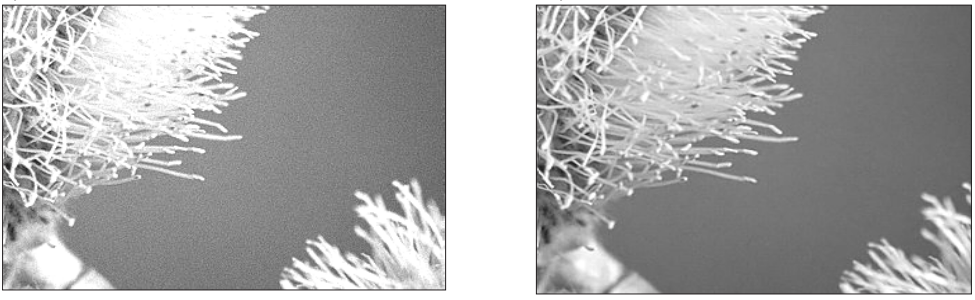
Rys. 8. Przykład zastosowania technologii Digital ROC; a) zdjęcie oryginalne, b) zeskanowany materiał z użyciem technologii ROC

Usuwanie efektu ziarna

Technologia Digital Grain Equalization and Management (Digital GEM) umożliwia zminimalizowanie efektu ziarna często pojawiających się na materiałach fotograficznych. Ziarno to jest produktem ubocznym kryształów halogenków srebra w światłoczułej emulsji fotograficznej – im wyższa czułość filmu, tym większe ziarno.

Technologia Digital GEM polega na analizie wzoru ziarna. Podczas skanowania algorytm zbiera informacje o obrazie i o wzorze występującego ziarna. Następnie minimalizuje wpływ ziarna na wygląd tworzonego cyfrowego obrazu. Technologia ta może być używana zarówno z konwencjonalnymi, jak i z czarno-białymi filmami. Za pomocą ustawień Digital GEM, można kontrolować poziom ziarna w obszarach jasnych i ciemnych (rys. 9).

a) b)



Rys. 9. Przykład zastosowania technologii Digital GEM; a) zdjęcie oryginalne, b) zeskanowany materiał z użyciem technologii GEM

Rozszerzenie dynamiki ekspozycji

Technologia Dynamic Exposure Extender (Digital DEE) opracowana przez firmę Applied Science Fiction służy do rozszerzenie dynamiki ekspozycji. Uwydatnia zacienione lub niedoświetlone części zdjęcia oraz poprawia kontrast w częściach wyblakłych, co pozwala na osiągnięcie naturalnie wyglądającej ekspozycji.

Podobne przeznaczenie ma technologia Digital Shadow and Highlight Optimize (Digital SHO) firmy Kodak. Jej zastosowanie pozwala na przywrócenie szczegółów ukrytych w cieniach na skutek fotografowania przy niewłaściwym oświetleniu lub źle użytą lampę błyskową. Algorytm Digital SHO optymalizuje zarówno kontrast, jak i jasność (rys. 10).

a) b)

Rys. 10. Przykład zastosowania technologii Digital SHO; a) zdjęcie oryginalne, b) zeskanowany materiał z użyciem technologii Digital SHO

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione rodzaje technologii polepszania jakości fotograficznych materiałów transparentnych umożliwiają automatyzację procesów rekonstrukcji i retuszu obrazów cyfrowych. Ich zastosowanie na etapie digitalizacji pozwala znacznie skrócić czas pracy z archiwalnymi materiałami fotograficznymi, na których bardzo często znajdują się zadrapania, zagięcia czy ubytki. Usunięcie tych defektów w programach do edycji grafiki bitmapowej wymaga znajomości działania poszczególnych programów oraz wiele czasu – nie gwarantując zadowalających efektów. Bowiem praca w takim programie odbywa się na materiale zeskanowanym a proces skanowania bez zastosowania omówionych technologii może powodować utratę wyrazistości niektórych szczegółów obrazu, przekłamania koloru czy wzmacnianie defektów zdjęcia.

Przedstawione w artykule przykłady działania technologii polepszania jakości fotograficznych materiałów transparentnych obrazują tylko pewien zakres ich możliwości. W rzeczywistości mnogość opcji i ustawień poszczególnych technologii pozwala na różnorodne ich zastosowanie – nie tylko w fotografii amatorskiej. Tym bardziej, iż algorytmy generujące działania polepszające jakość obrazów są cały czas rozwijane.

PIŚMIENNICTWO

1. Busch D.D. 2005. Skanowanie cyfrowe dla profesjonalistów. Wyd. RM, Warszawa.
2. Chabros R. 2006. Tradycyjne i komputerowe metody retuszu zdjęć archiwalnych. Politechnika Lubelska, niepublikowana praca mgr, promotor J. Montusiewicz.
3. Gajlewicz N. 2003. Skanery. Macworld, nr 4, 2003.
4. Lis R., Montusiewicz J., Dziedzic K. 2009. Digitalizacja klisz fotograficznych jako współczesny trend pokazywania obrazów archiwalnych. [w:] W. Liba, W. Walat (red.) Edukacja – Technika – Informatyka, teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej, Tom XII, Rzeszów.

5. Montusiewicz J., Dziedzic K., Lis R. 2008. Komputerowy retusz czarno-białych fotografii archiwalnych z wykorzystaniem programu Gimp. [w:] W. Walat (red.) Technika – Informatyka – Edukacja, teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej, Tom X, Rzeszów.
6. Steward W., 2002: Tajniki skanowania, Wyd. Mikom, Warszawa.

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE QUALITY OF TRANSPARENT PHOTOGRAPHIC MATERIALS

Summary
The article discusses the digital technologies to improve the quality of transparent materials such as photographic negatives and slides. Describes the process of digitization of analogue materials and the types of damage to these materials. The discusses possibilities of technologies such as FARE, Digital ICE, Digital ROC, Digital GEM, Digital DEE, Digital SHO. The application of these technologies in the process of digitization of analog photographic materials improves the quality of the materials and allows the terminal to automate the process of retouching and restoration of digital images.

Jerzy Montusiewicz[1], Renata Lis[2], Krzysztof Dziedzic[2]

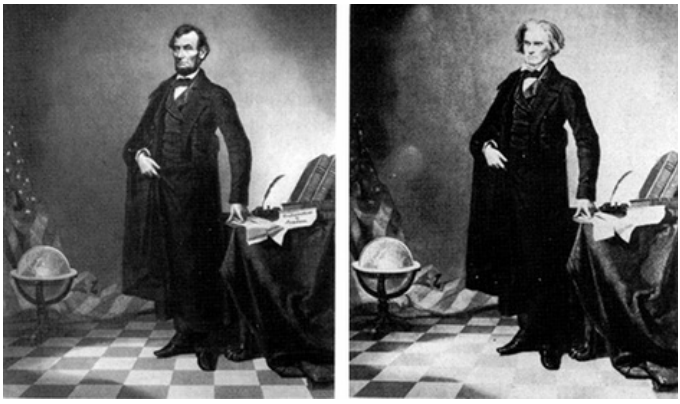
CYFROWA RENOWACJA I RETUSZ ARCHIWALNYCH FOTOGRAFII

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące cyfrowego retuszu i renowacji archiwalnych fotografii przy użyciu programu GIMP. Dokonano klasyfikacji usterek występujących na archiwalnych zdjęciach. Ponadto opisano opracowane procedury i zastosowane narzędzia przy retuszu zdjęcia z rodzinnego albumu.

IMPLIKACJE TERMINOLOGICZNE

W klasycznym ujęciu retusz to metody wprowadzania zmian, których zadaniem jest usunięcie wad obrazu fotograficznego (drobne plamki po pyłkach, rysy, zadrapania). Działania, które podejmował fotograf retuszując materiał obejmował zarówno metody chemiczne, mechaniczne oraz metody polegające na nakładaniu farb.

Pierwszy znany retusz został przeprowadzony w 1860 r. i dotyczył zdjęcia Abrahama Lincolna. Zastosowano tutaj mało wyrafinowaną metodę – aby poprawić posturę prezydenta Stanów Zjednoczonych jego tułów zastąpiono ciałem z portretu polityka Johna C. Calhouna (rys. 1).



Rys. 1. Zdjęcia po retuszu przedstawiające Abrahama Lincolna i zdjęcie źródłowe

[1] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska; Katedra Informatyki, Wyższa Szkoła Umiejętności w Kielcach.
[2] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

Upowszechnienie terminów retusz i renowacja zatarło ich właściwe znaczenie. Pojęcia te nie są precyzyjnie zdefiniowane w literaturze polskiej. Często używa się ich zamiennie na określenie tego samego procesu. Powoduje to pewne nieporozumienia terminologiczne.

Słowo *renowacja* pochodzi od łacińskiego *renovatio* – co dawniej znaczyło odnawianie łąk i pastwisk, a obecnie termin ten jest stosowany na określenie procesów odnowienia, odświeżenia czegoś [Dubisz 2006]. Synonimem tego słowa jest *rekonstrukcja*, z łacińskiego *construo* – zestawiam, składam części w całość i oznacza «odtworzenie czegoś na podstawie zachowanych fragmentów, szczątków, przekazów itp.; też: rzecz odtworzona» [Dubisz 2006]. Pojęcie to najczęściej jest używane w architekturze na określenie działań związanych z odbudową zabytków, a jest stosowane zamiennie z takimi słowami jak: restauracja, odbudowa.

W naukach informatycznych terminy renowacja i rekonstrukcja pojawiają się przy omawianiu algorytmów przetwarzania obrazów i dokumentów. Prace nad algorytmami umożliwiającymi rekonstrukcję zniszczonych materiałów przy pomocy komputera wciąż są rozwijane. Algorytmy te szczególnie sprawdzają się w archeologii, kryminalistyce czy medycynie [Tadeusiewicz 1997]. Z sukcesem są stosowane do odtworzenia brakujących elementów np. na starożytnych przedmiotach (rys. 2).

Rys. 2. Próba rekonstrukcji malowideł ze ścian grobowca w Dolinie Królów

Renowacja materiałów fotograficznych jest wspomagana retuszem. Proces ten umożliwia poprawienie, czy też wyeksponowanie pożądanych elementów i usunięcie zbędnych.

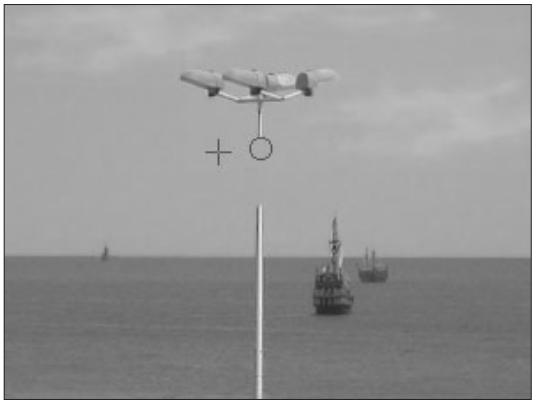
Etymologia słowa retusz pochodzi od francuskiego *retouche* i oznacza ono:

1. wykończenie, poprawka, uzupełnienie gotowego rysunku, obrazu;
2. mechaniczne lub chemiczne poprawienie negatywu lub pozytywu fotograficznego przez usunięcie zbędnych lub uwypuklenie istotnych szczegółów; retuszowanie;
3. ostateczna korekta stylistyczna rękopisu, wykończenie jakiegoś utworu, tekstu [Bańko 2005].

Retusz definiowany jest również jako: drobna poprawka wykonana na ukończonym już dziele plast., polegająca na domalowaniu, przemalowaniu lub stonowaniu; r. konserwatorski polega na uzupełnieniu ubytków w oryginale [Encyklopedia PWN 2010].

W języku angielskim słowo retusz rozumiane jest jako ulepszanie czegoś poprzez dodawanie lub edytowanie szczegółów lub usuwanie skaz. W przypadku tworzenia zdjęć portretowych wykonywany retusz służył upiększaniu twarzy poprzez niwelowanie zmarszczek, usuwaniu niedoskonałości skóry, np. piegów, krostek. Trend ten dotrwał do naszych czasów, szczególnie w przygotowywaniu portretów kobiet i mężczyzn.

Współcześnie retusz jest niezbędną częścią procesów edytorskich ilustrowanych czasopism i wydawnictw albumowych. Prawie każde zdjęcie aktora czy polityka, oddawane do publikacji jest wcześniej ulepszane, poprzez usunięcie zbędnych elementów a podkreślenie innych. Jest to tzw. „kolejny poziom zdjęcia", możliwy między innymi, dzięki algorytmowi firmy Kodak opatentowanej w 1996 roku pod nazwą *Technika klonowania dla cyfrowego retuszu obrazu* [Cok 1996]. Dzięki tej technice intensywnie zaczęły się rozwijać programy do cyfrowego retuszu, takie jak Photoshop, CorelPaint i inne. Obecnie większość edytorów grafiki bitmapowej posiada w swoim arsenale narzędzie o nazwie *kloner*. To właśnie dzięki niemu możliwe jest retuszowanie skaz skórnych poprzez kopiowanie pożądanych pikseli z obrazu i wstawianie ich w miejsce skazy.



Rys. 3. Przykład użycia narzędzia o nazwie *kloner*

W dobie powszechnej komputeryzacji większość działań człowieka również metody retuszu zostało zrewolucjonizowanych. Rozwój grafiki bitmapowej, sposobów zapisu oraz kompresji obrazu uzyskiwanego przy skanowaniu obiektów istniejących w wersji analogowej (stare fotografie, negatywy i slajdy), programów i narzędzi do ich oglądania oraz obróbki spowodował, że obecnie klasyczne metody retuszu zostały zastąpione przez metody wykorzystujące technologie komputerowe [Savchenko 2002].

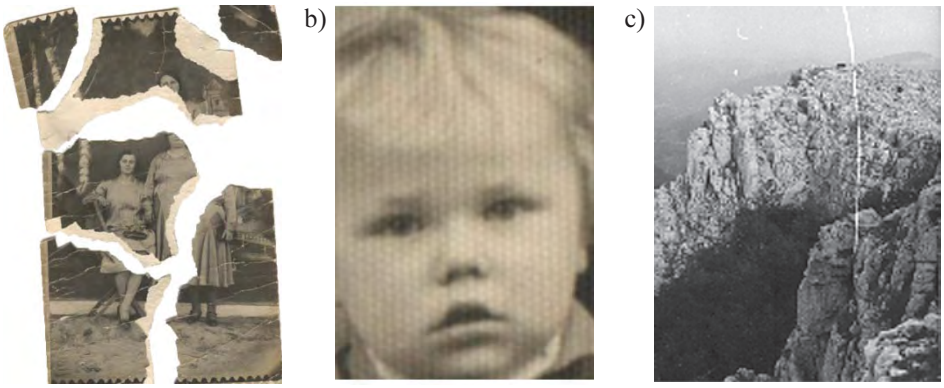
OPIS TYPOWYCH USZKODZEŃ ARCHIWALNYCH MATERIAŁÓW FOTOGRAFICZNYCH

Fotograficzne materiały archiwalne można podzielić na te, które zachowały się w postaci odbitek fotograficznych oraz klisz[2]. Odbitki w przeważającej większości występują w postaci odbitek na papierze lub wydruku w albumach oraz prasie, rzadziej jako zdjęcia na porcelanie (stosowane głównie na pomnikach nagrobnych).

Uszkodzenia archiwalnych materiałów fotograficznych w postaci odbitek wykonanych na papierze można podzielić na trwałe oraz usuwalne. Do uszkodzeń trwałych należą:

- porwanie zdjęcia, rys. 4.a), lub urwanie części zdjęcia (uszkodzenie elementów drugoplanowych, np. tła oraz obiektów pierwszoplanowych, np. fragmentu postaci);
- widoczna faktura papieru, rys. 4.b);
- zadrapanie ostrymi narzędziami, rys. 4.c) [Montusiewicz 2008];
- pomazania tuszem długopisu lub flamastrem, rys. 5.a);
- ziarnistość, rys. 5.b);
- odprysk emulsji na skutek załamania zdjęcia, rys. 5.c);
- rysy na negatywie powstałe w aparacie fotograficznym, rys. 6.a);
- plamy po zamoczeniach lub w czasie robienia odbitek – pierścienie Newtona, rys. 6.b);
- odbite pyłki lub włosy w trakcie robienia odbitki, rys. 6.c);
- przebarwienie fragmentu zdjęcia na skutek nieprawidłowego przebiegu procesu utrwalania;
- małe, okrągłe jasne obszary powstające jako efekt występowania wad w emulsji filmu (malutkie dziurki), bądź podczas obróbki filmu (powstanie pęcherzyków powietrza);
- odciski palców.

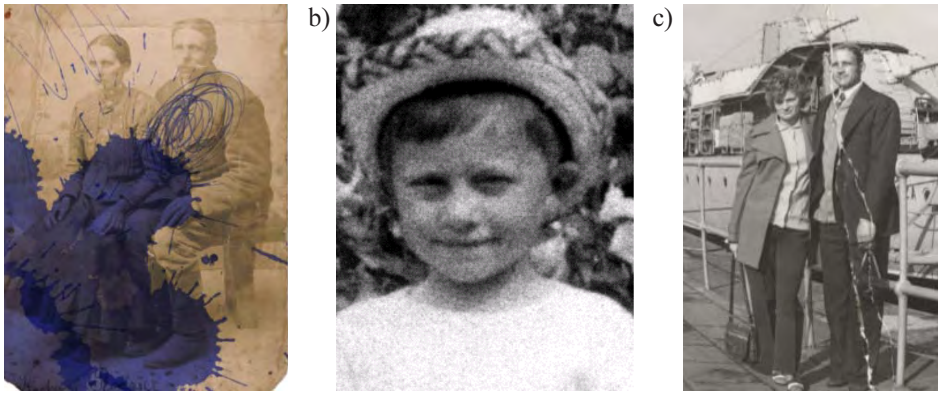
a) b) c)



Rys. 4. Przykładu uszkodzeń zdjęcia: a) podarcie; b) widoczna faktura papieru; c) zadrapanie

[1] Klisza fotograficzna nazywana jest również błoną fotograficzną. W większości opracowań poświęconych fotografii używa się jednak tego pierwszego pojęcia.

a) b) c)



Rys. 5. Przykłady uszkodzeń zdjęcia : a) poplamienie; b) ziarnistość; c) odprysk emulscji

a) b) c)

Rys. 6. Przykłady uszkodzeń zdjęcia: a) równoległe rysy powstałe przez zarysowanie w aparacie; b) plama przypominająca pierścień Newtona; c) pyłki i włosek

Główne uszkodzenia usuwalne, to:

- przyklejony kurz oraz paprochy;
- włosy, które przywarły do powierzchni na skutek naelektryzowania;
- zagięcia powstałe podczas nieostrożnego obchodzenia się z materiałem fotograficznym [Montusiewicz 2008].

RENOWACJA I RETUSZ MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH

Proces renowacji przebiega zazwyczaj według ustalonych etapów:

- określenie obszarów uszkodzeń,
- określenie wymiarów docelowych zdjęcia i rozdzielczości,
- ustawienie parametrów skanowania,
- wstępne skanowanie,
- zastosowanie filtrów eliminujących uszkodzenia zdjęcia [Fitzgerald 2008],
- skanowanie właściwe.

Zaznaczyć jednak trzeba, iż etapy te powinny być dostosowane do rodzaju rekonstruowanego materiału. Inaczej powinno się postępować w przypadku fotografii lekko uszkodzonych a inaczej w przypadku dużych ubytków.

Poprawna renowacja materiału umożliwia wykonanie skutecznego retuszu. Procesy te uzupełniają się. Pamiętać jednak należy, że retusz zdjęcia archiwalnego musi być poprzedzony analizą posiadanego materiału. Po pierwsze należy zakwalifikować zdjęcie do okresu historycznego aby dalsze działania nie spowodowały odrealnienia tego co tam zostało utrwalone. Oszacowanie zakresu koniecznych (niezbędnych) prac do wykonania. Dobór stosownych narzędzi do wykonania retuszu. Wykonanie właściwego retuszu.

Większość procesów pracy (workflow) związanych z cyfrowym retuszem zaleca następujące etapy:

– wykadrowanie obrazu;
– korekcja balansu bieli, ekspozycji, nasycenia barw;
– korekcja kontrastu przy użyciu krzywych;
– wydobycie cieni, podświetlenia;
– ponowna modyfikacja nasycenia barw w poszczególnych kanałach (RGB) obrazu;
– zmiana trybu mieszania i maskowania warstw (Kelby 2008);
– Wyostrzanie.

PRZYKŁAD REALIZACJI RENOWACJI I RETUSZU CZARNO-BIAŁEJ FOTOGRAFII ARCHIWALNEJ

Do przeprowadzenia renowacji i retuszu posłużyła mocno uszkodzona fotografia rodziny Głogowskich (rys. 7). Fotografia została wykonana w pierwszej połowie XX wieku w kolorze sepii. Zdjęcie posiada wielu różnych uszkodzeń i niedoskonałości: odpryski emulsji na skutek załamań fotografii, liczne plamki, zabrudzenia i osadzone pyłki, przebarwienie jednej z twarzy z powodu złego utrwalenia, rozmazanie konturów i nieostrość rysów postaci, utratę kontrastu. Poza tym zdjęcie nie posiada prawego górnego rogu, przez co została uszkodzona również część twarzy dziewczynki.

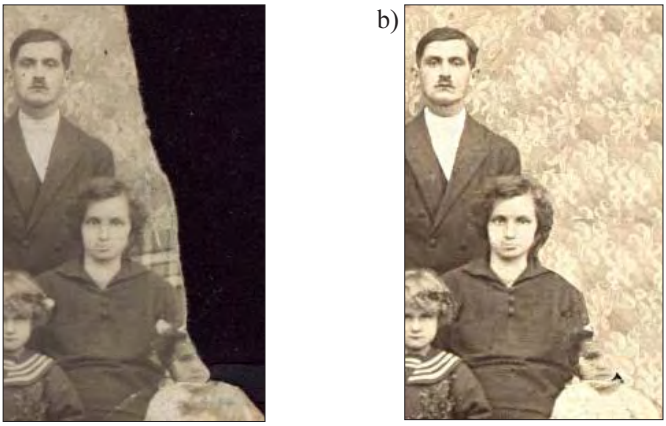
Rys. 7. Zdjęcie rodziny Głogowskich wykonane około 1935 r.

Rekonstrukcję a następnie retusz fotografii wykonano stosując bezpłatny program GIMP, który zawiera wiele zaawansowanych narzędzi do edycji obiektów grafiki bitmapowej [Gajda 2008].

Celem retuszu zdjęcia jest uzyskanie obrazu o tym samym rozmiarze (9 x 13 cm) w postaci wydruku, a także umieszczenie go w elektronicznym albumie. Zdjęcie zaimportowano do programu GIMP za pomocą skanera z rozdzielczością skanowania 300 dpi i zapisano je w formacie TIFF. Po wczytaniu pliku do programu GIMP zdjęcie zostało zapisane w wewnętrznym formacie programu. Poniżej podano kolejne fazy wykonywania rekonstrukcji i retuszu ilustrując je stosownymi zdjęciami:

1. Digitalizacja fotografii.
2. Uzyskanie bardziej nasyconego i „żywego" wyglądu zdjęcia.
   W tym celu wykorzystano następujące narzędzia: *Filtry -> Uwydatnienie -> Wyostrzenie* (ostrość 10), a następnie do regulacji poziomów tonalnych: *Kolory -> Poziomy* (poziomy wejścia: 31; 1, 14; 202).
3. Korekta brakującego tła zdjęcia, (rys. 8).
   Pierwszym krokiem było zduplikowanie warstwy *Tło*. Powstała w ten sposób nowa warstwa *Kopia tło*. Rekonstrukcja tła przebiegała trzyetapowo:
   – Za pomocą narzędzia *Zaznaczanie prostokątne* zaznaczano prostokątny obszar fotografii z zachowanym tłem, a następnie obszar ten kopiowano w tych fragmentach zdjęciach gdzie go nie było (prawy górny róg). Kopiowanie powtarzano wielokrotnie;
   – Za pomocą narzędzia *Ścieżki* zaznaczono tło wzdłuż krawędzi postaci kobiety i dziewczynki z prawej strony zdjęcia. Następnie przesunięto zaznaczenie w miejsce gdzie tło istnieje. Kolejnym krokiem było skopiowanie tła i przesunięcie zaznaczenia w pierwotne położenie. W ten sposób uzyskano tło na całym zdjęciu;
   – Ostatnim etapem było wygładzenie ostrych krawędzi po wielokrotnym kopiowaniu. W tym celu użyto narzędzia *Klonowanie*. Próbkę obrazu pobiera się z

a) b)



Rys. 8. Rekonstrukcja tła w urwanym fragmencie zdjęcia: a) oryginał; b) po retuszu

wciśniętym przyciskiem *Ctrl*, a następnie umieszcza w wybranym miejscu. Czynność tą wykorzystuje się do wygładzenia krawędzi kopiowanego tła.

4. Korekta zażółcenia twarzy starszej kobiety, (rys. 9).
   Na początku zduplikowanio warstwę *Kopia tło* i nadano jej nową nazwę *Babcia*:
   – za pomocą narzędzia *Ścieżki* zaznaczono twarz starszej kobiety;
   – kolejnym krokiem jest odwrócenie zaznaczenia *Zaznaczenie -> Odwróć* i wyczyszczenie pozostałej części rysunku *Edycja -> Wyczyść* oraz ponowne odwrócenie zaznaczenia;
   – do usunięcia zażółcenia użyto narzędzia *Kolory -> Odcień i nasycenie* (odcień 0, intensywność 6, nasycenie -22) oraz *Rozjaśnienie* (skala 10, intensywność 10, tryb cienie);
   – ostatnim krokiem była zmiana ustawień dla warstwy (tryb – nasycenie oraz Krycie 95).

a) b)

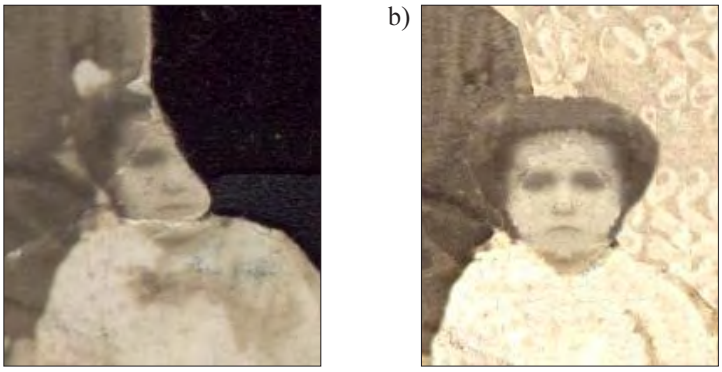
Rys. 9. Korekta zażółcenia twarzy kobiety: a) oryginał; b) po retuszu

5. Retusz brakującej części twarzy dziewczynki (rys. 10).
   Pierwszym krokiem było zduplikowanie warstwy o nazwie *Kopia tło* i przesunięcie jej na początek (warstwa pierwsza). Nowej warstwie nadano nazwę *Dziewczynka*. Stosując duże powiększenie twarzy dziewczynki dokonano następujących czynności:
   – istniejąca część twarzy nie stanowi nawet jej połowy, dlatego konieczne jest odtworzenie połowy twarzy i wyretuszowanie widocznych rys; do tego celu użyto narzędzia *Klonowanie* (skala 0,25);
   – odtworzono brakującą część twarzy poprzez odbicie istniejącej:
     - utworzono zaznaczenie istniejącej części twarzy narzędziem *Ścieżki*,
     - odwrócono zaznaczenie, wyczyszczono i ponownie odwrócono zaznaczenie,
     - skopiowano zaznaczenie z połowa twarzy,
     - przy użyciu narzędzia *Odbicie* odbito wzdłuż osi pionowej skopiowane zaznaczenie (w ten sposób uzyskano lustrzane odbicie twarzy),

- przesunięto zaznaczenie dopasowując go do istniejącej części twarzy,
- zakotwiczono oderwaną warstwę ze skopiowanym zaznaczeniem;

– ostatnim krokiem było dopasowanie dwóch połówek twarzy do siebie i rozjaśnienie całej twarzy, do tego celu użyto narzędzi: *Klonowanie* oraz *Rozjaśnienie* (intensywność 10).

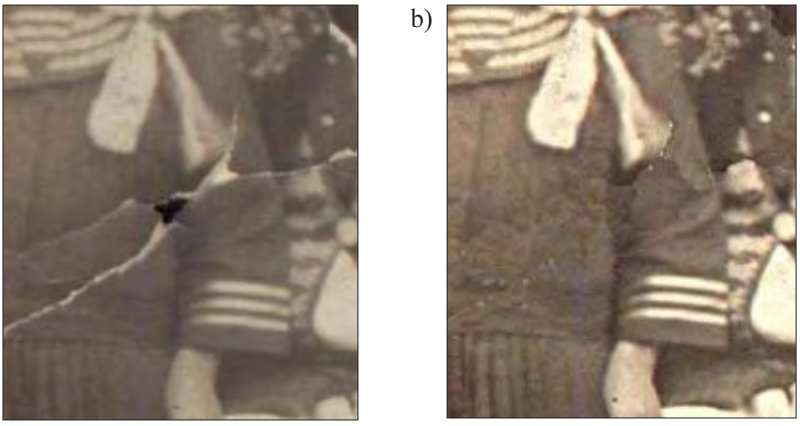
a) b)



Rys. 10. Rekonstrukcja części twarzy dziewczynki: a) oryginał; b) po retuszu

6. Retusz wyruszeń emulsji, pęknięć oraz zabrudzeń (rys. 11).
   W tym celu należy powrócić do warstwy *Kopia tło*.
   – do retuszu tych defektów użyto narzędzia *Klonowanie* (skala od 0,2 do 1,2), klonowanie należy prowadzić przy dużych powiększeniach poszczególnych fragmentach fotografii;
   – ostatnim krokiem jest uzyskanie lepszego kontrastu zdjęcia za pomocą narzędzia *Filtry -> Uwydatnienie -> Wzmocnienie.*

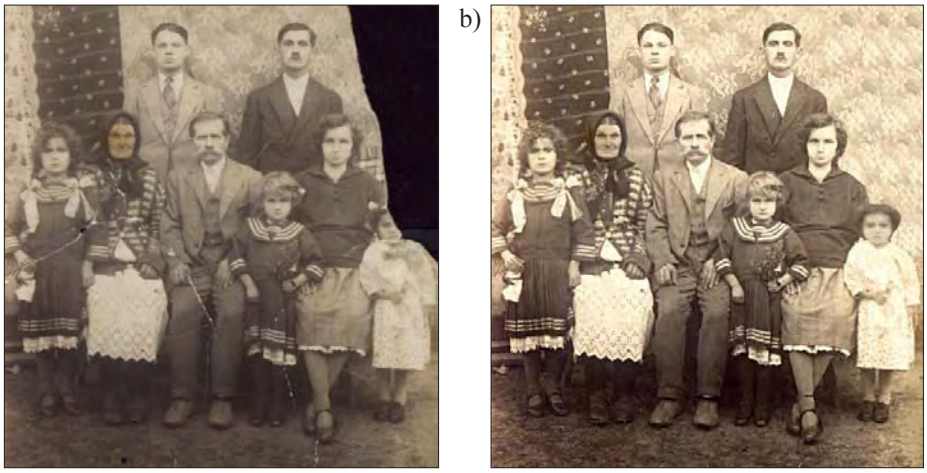
a) b)



Rys. 11. Usunięcie wyruszeń emulsji zdjęcia: a) oryginał, b) po retuszu

7. Zapisanie zdjęcia.
   Po wykonaniu kompletnego retuszu fotografii zdjęcie zapisano w formacie programu GIMP, dzięki czemu zachowano zdefiniowane warstwy i historię przebiegu procesu retuszowania, rys. 12. Następnie dokonano tzw. spłaszczenia zapisując zdjęcie z kompresją stratną w formacie .jpg.

a) b)



Rys. 12. Zdjęcie rodziny Głogowskich: a) oryginał; b) po retuszu

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Proces przeprowadzenia retuszu powinien być zawsze poprzedzony staranną analizą uszkodzeń fotografii i opracowaniem optymalnej strategii doboru narzędzi edycyjnych. W sytuacji, gdy zazwyczaj posiadamy tylko odbitkę fotograficzną, a negatyw już dawno uległ zniszczeniu, wykonanie retuszu uszkodzonego zdjęcia wymaga wykonania jego kopii. W tej sytuacji najlepszą i jednocześnie najszybszą techniką jest digitalizacja fotografii. Dzięki temu uzyskujemy materiał roboczy w postaci bitmapy, a jednocześnie możemy zastosować programy komputerowe do edycji grafiki rastrowej, posiadające wiele różnorodnych i specjalistycznych narzędzi.

Reasumując, aby proces retuszu przebiegał prawidłowo powinniśmy zastosować następujące etapy digitalizacji i edycji materiałów fotograficznych:

– utworzenie cyfrowej wersji fotografii poprzez zeskanowanie,
– wybranie odpowiednich ustawień skanowania niwelujących defekty kliszy,
– ustawienie odpowiedniej rozdzielczości skanowania z uwzględnieniem przeznaczenia retuszowanego zdjęcia,
– zastosowanie odpowiednich filtrów na etapie skanowania,
– zapisanie zeskanowanego obrazu w formacie umożliwiającym bezstratne przetwarzanie zdjęcia (.tif),

– utworzenie kopii oryginalnego pliku, na wypadek nieudanego retuszu,
– ustalenie układu zdjęcia (pionowy, poziomy) i odpowiednie wykadrowanie obrazu,
– edycja zdjęcia poprzez usunięcie defektów (rys, kurzu, plam itp.),
– dopasowanie kontrastu i zakresu tonalnego całej fotografii,
– usunięcie w razie potrzeby przebarwień,
– dopasowanie kolorystyki i zakresu tonalnego w określonych fragmentach obrazu w celu wydobycia świateł, półcieni, cieni i nasycenia kolorów,
– wyostrzenie całego obrazu.

PIŚMIENNICTWO

1. Bańko M. (red.) 2005. Wielki słownik wyrazów obcych. PWN, Warszawa.
2. Busch D.D. 2005. Skanowanie cyfrowe dla profesjonalistów. Warszawa.
3. Cok D.R. 1996. Cloning technique for digital image retouching. Patent number: 5555194, Eastman Kodak Company.
4. Dubisz S. (red.) 2006. Uniwersalny słownik języka polskiego. PWN, Warszawa.
5. Encyklopedia PWN (red.) 2010. PWN, Warszawa.
6. Fitzgerald M. 2008. Photoshop CS3. Restoration and Retouching Bible.
7. Gajda W. 2006. Praktyczne projekty GIMP. Helion, Gliwice.
8. Kelby S. 2008. System 7 punktów Scotta Kelbyego. Kluczowe techniki, które dzielą przeciętne zdjęcie od prawdziwej fotografi. Helion, Gliwice.
9. Latoś M. 1976. 1000 słów o fotografii. Warszawa.
10. Montusiewicz J., Dziedzic K., Lis R. 2008. Komputerowy retusz czarno-białych fotografii archiwalnych z wykorzystaniem programu Gimp. [w:] W. Walat (red.): Technika – Informatyka – Edukacja, teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej, Tom X, Rzeszów.
11. Savchenko V., Kojekine N., Unno H. 2002. A Practical Image Retouching Method. Proceedings of the First International Symposium on Cyber Worlds, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA.
12. Sütterlin K. 1960. Retusz i wykańczanie zdjęć. Warszawa.
13. Tadeusiewicz R., Korohoda P. 1997. Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji.
14. Tuma T. 2006. Kreatywna fotografia cyfrowa. Montaż retusz i techniki artystyczne. Warszawa.

DIGITAL RESTORATION AND RETOUCHING OF ARCHIVE PHOTOGRAPHS

Summary

The article presents the issues of retouching and restoration of archival photographs using GIMP. A classification of faults occurring or archival photographs is compiled. Furthermore, a description is given of the prepared procedures and the applied tools for retouching photos from the family album.

Michał Charlak[1], Marek A. Jakubowski[2]

PORÓWNANIE SYSTEMÓW ROZMYTYCH I SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

Streszczenie. W pracy opisano podstawowe pojęcia dotyczące podstawowego modelu matematycznego systemów neurorozmytych potraktowanych jako tzw. „czarna skrzynka" oraz różnych jego wersji. W skrócie przedstawiono wybrane kierunki badań dotyczących fuzji obu technologii. Praca zawiera elementarny opis nowej klasy systemów tzw. inteligencji obliczeniowej.

WSTĘP

Nazwa system rozmyty oznacza przede wszystkim modele procesów zdefiniowanych w sposób niepełny (tzw. procesy źle definiowalne lub mało rozpoznawalne). Liczba możliwych modeli rozmytych (w tym neurorozmytych i sztucznych sieci neuronowych) możliwych do zastosowania w konkretnej sytuacji bywa zwykle duża. Poszczególne modele różnią się pomiędzy sobą niekiedy znacznie.

W literaturze rzadko spotyka się systematykę modeli rozmytych oraz ich porównanie z systemami neurorozmytymi oraz sztucznymi sieciami neuronowymi. Sztuczne sieci neuronowe możemy rozważać jako „uniwersalne aproksymatory" systemów ciągłych.

Systemy rozmyte możemy uważać jako szczególny przypadek ogólnej teorii systemów. Zgodnie z koncepcją rewolucji naukowych Thomasa S. Kuhna można stwierdzić, że teoria systemów ogólnych stanowiła rewolucję w nauce. Pojawienie się ogólnej teorii systemów doprowadziło do gruntownej zmiany teoretycznego układu odniesienia i sposobu postrzegania badanych obiektów i procesów. Należy podkreślić fakt, że ogólna teoria systemów zrodziła sie przede wszystkim z dążenia do integracji nauk. Szczególną pozycję ojca ogólnej teorii systemów zajmuje Ludwik von Bertalanffy. Zadaniem ogólnej teorii systemów było ujawnienie i opisanie w sposób teoretyczny prawidłowości budowy, zachowania się, funkcjonowania i rozwoju systemów. Natomiast współczesne badania systemowe są niezmiernie wielostronne. Prawie każda poszczególna część tych badań przekształciła się obecnie w odrębną dyscyplinę naukową np. Ogólna teoria systemów, matematyczna teoria systemów itd. Powstały też odrębne

[1] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.
[2] Katedra Metod i Technik Nauczania, Politechnika Lubelska.

kierunki w tradycyjnych naukach, przykładowo: ujęcie systemowe w biologii, lingwistyce, psychologii, socjologii, itp.

Pojęcie podzbioru rozmytego może być przypisane bezpośrednio L.A. Zadehowi, gdyż wywodzi się z inspiracji jego pracy z roku 1965.

Celem modelu jest uchwycenie funkcjonowania pewnego systemu. Na konstrukcję modelu można patrzeć jak na proces, w którym bada się relacje pomiędzy zbiorem obiektów zwanych zmiennymi i parametrami modelu i pewnych innych obiektów zwanych spójnikami lub funktorami modelu. Zmienne modelu odpowiadają pewnym charakterystykom modelowanego układu. Mówiąc inaczej dwie klasy modeli można zidentyfikować i rozróżniać za pomocą typów spójników stosowanych w procesie modelowania. Pierwszą klasę modeli, wykorzystującą operacje algebraiczne, takie jak dodawanie, odejmowanie, różniczkowanie, nazywamy modelami matematycznymi. Zarówno parametry, jak i wartości zmiennych tych modeli są zasadniczo określone przez wartości liczbowe.

Drugą klasę modeli, wykorzystujących spójniki typu logicznego, takie jak *i, lub* oraz *jeżeli- to,* będziemy nazywali modelami logicznymi. Zawierają one przeważnie parametry natury lingwistycznej. Do roku 1970 większość modeli, które stosowali projektanci systemów, była typu matematycznego. Począwszy od roku 1970 przede wszystkim na podstawie prac w dziedzinie sztucznej inteligencji i baz danych zaczęto poważnie traktować modele typu logicznego jako narzędzie tworzenia systemów. Logika rozmyta była i jest z powodzeniem stosowana przy obu typach modelowania. O ile podzbiory rozmyte mogą być wykorzystane przy obu sposobach modelowania, o tyle obecnie stosuje się je głównie w klasie modeli logicznych, zwanych modelami na podstawie reguł lub modelami na podstawie wiedzy [1].

Współcześnie prowadzone są badania dotyczące opracowania metod identyfikacji systemów rozmytych (szczególnie z wykorzystaniem rozmytych równań relacyjnych i sztucznych sieci neuronowych), analizy reguł uczenia się sieci neuronowych jako podstawy identyfikacji systemów których podstawą są rozmyte reguły oraz badania dotyczące wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prowadzenia rozmytych wnioskowań.

MODELE SYSTEMÓW ROZMYTYCH I NEURO-ROZMYTYCH

Przedstawione poniżej modele i porównania zostały zaczerpnięte z artykułu Blanco A., Delgado M., Requena I.„Relating fuzzy systems and neural networks" [2].

Ogólnie możemy traktować system jako tzw. „czarną skrzynkę" do której wchodzą sygnały wejściowe (tworzą one zbiór sygnałów wejściowych) natomiast wychodzą z niej sygnały wyjściowe, które tworzą zbiór sygnałów wyjściowych. W terminach klasycznej teorii modeli matematycznych można sformułować następujący opis matematyczny zachowania się systemu:

$$y = F(x);\ F: X \rightarrow Y x\text{: input}, x \in X \subseteq R^p\ y\text{: output}, y \in Y \subseteq R^q \quad (1)$$

Model matematyczny systemu przedstawiony powyżej stanowi numeryczne odwzorowanie relacji wejście-wyjście, nazwiemy go modelem „rzeczowym" (crisp model – CS).

W zbiorze modeli CS można wyróżnić podzbiór „ciągłych systemów rzeczowych" (CCS).

Modele CCS posiadają ciągłe relacje typu wejście-wyjście (najczęściej ze względu na określone normy w przestrzeni euklidesowej). W tym modelu może wystąpić tylko skończona liczba nieciągłości. Modele CS nie opisują ani relacji typu wejście-wyjście w przypadku źle zdefiniowanych sygnałów ani „nie w pełni" znanych sygnałów. Nie opisują także źle zdefiniowanych ani „nie w pełni znanych" zachowań systemu. W celu opisu zachowania systemów rozmytych wprowadzimy model FS (system rozmyty).

System rozmyty rozważamy jako „czarną skrzynkę" dla której zarówno sygnały wejściowe jak i wyjściowe stanowią zbiory rozmyte (definiowane w rozmytych przestrzeniach sygnałów). Z dotychczasowych rozważań wynika fakt, że każdy system CS może posiadać wersję rozmytą (przede wszystkim lingwistyczną). Wersję rozmytą systemu CS można skonstruować poprzez operacje „fuzzyfikacji" (rozmycia) sygnałów wejściowych i/lub wyjściowych. W tym przypadku można zastosować po pierwsze: operacje odwzorowania stosownych sygnałów do postaci zmiennych lingwistycznych. Druga metoda to odwzorowanie systemu oryginalnego do postaci rozmytych relacji (głównie typu wejście-wyjście). W obu przypadku system CS (system „rzeczowy") będzie stanowił część systemu FS (systemu rozmytego). Ponadto podobnie jak w przypadku systemów typu CCS możliwość konstrukcji użytecznych modeli matematycznych w celu rozmycia systemu CS jest ograniczona wyłącznie do przypadku przestrzeni R^p i R^q. To znaczy, że rozmyte wejścia i wyjścia muszą stanowić odpowiednie podzbiory przestrzeni R^p i R^q.

Zgodnie z drugą metodą odwzorowania sygnałów wejścia i wyjścia systemu CS (postać rozmytych relacji) podstawę opisu stanowi zbiór rozmytych relacji. Będzie to zatem „system oparty na regułach" (system based on rules SBR). Najprostszą postać reguły rozmytej przedstawia następująca reguła R:

$$R\text{: jeżeli } x \text{ jest } A \text{ wtedy } y \text{ jest } B \quad (2)$$

gdzie A i B stanowią odpowiednio podzbiory (labels) przestrzeni sygnałów wejściowych i wyjściowych. Ogólnie rzecz ujmując stanowią one rozmytą wersję zdań logicznych na temat związków pomiędzy zmiennymi x i y. Mechanizm działania systemu SBR jest następujący: w przypadku dowolnego wejścia rozmytego A' (rozmyty podzbiór przestrzeni sygnałów wejściowych) system SBR „produkuje" rozmyte wyjście B' z wykorzystaniem modułu rozmytych wnioskowań. W literaturze przedmiotu (literatura z zakresu logiki rozmytej) występują opisy zastosowań w praktyce dwóch głównych metod wnioskowań (tzw. ogólne opisy wnioskowań- general approximations to inference in fuzzy logic).

Pierwszą metodę stanowi tzw. „złożona reguła wnioskowań" (the compositional rule of inference), natomiast drugą metodę stanowi tzw. „mechanizm wnioskowań ograniczony do wartości prawdy" (mechanism of inference restricted to truth values).

Należy podkreślić fakt, że „złożona reguła wnioskowań", jako najprostsze rozszerzenie logiki klasycznej jest obecnie najczęściej używaną metodą wnioskowań. Natomiast techniki, których podstawę stanowi druga z wymienionych metod w praktyce są używane bardzo rzadko. Pomimo tego posiadają one te zalety, że mogą być na bieżąco uaktualniane oraz istnieje możliwość wprowadzenia zależności funkcjonalnych pomiędzy poprzednikami i konkluzjami reguł. Współcześnie obie główne metody wnioskowań są wspomagane technologiami sztucznych sieci neuronowych. Przykładowo A. Blanco, Delgado M., Requena I. [2] przedstawili już w 1994 r. nową metodę wnioskowań w oparciu o kombinację logiki rozmytej i sztucznych sieci neuronowych w celu ekstrapolacji złożonych relacji pomiędzy poprzednikami i konkluzjami rozmytych reguł. Metoda ta nie wymaga wiedzy *a priori* na temat reguł. Natomiast Nafarieh A., Keller J. w 1991 roku opisali nowy „mechanizm wnioskowań ograniczony do wartości prawdy" [3].

Kolejny podsystem systemu rozmytego FS, który krótko zostanie scharakteryzowany to system rozmytych równań relacyjnych FRE (fuzzy relational equations).

W systemie FRE relacje pomiędzy zbiorami sygnałów typu wejście-wyjście są opisane z wykorzystaniem rozmytych równań relacyjnych. Wzór 3 przedstawia prosty zapis systemu rozmytych równań relacyjnych:

$$B_i = A_i \oplus R_i, \quad i = \{1,2,..., I\}, \tag{3}$$

gdzie: R_i są to rozmyte relacje pomiędzy przestrzenią sygnałów wejściowych i wyjściowych systemu, natomiast operację $\oplus$ stanowi złożenie dwóch operacji, *t*-conorm/*t*-norm (obie operacje są typu ciągłego). Jednakże w systemach rozmytych stosowanych w praktyce mamy do czynienia z dyskretnymi reprezentacjami zmiennych wejściowych i wyjściowych.

Proces dyskretyzacji może być przedstawiony w następujący uproszczony sposób. (opis w przestrzeni jednowymiarowej tzn. $p = q = 1$). Przypadek jednowymiarowy może być łatwo rozszerzony do przypadku ogólnego.

Niech A oznacza zbiór rozmyty scharakteryzowany przez funkcję przynależności, której podstawę stanowi przedział liczb rzeczywistych $[u_0, u_1] \subseteq$ R. Niech k będzie liczbą całkowitą, która oznacza, że podstawa zbioru A jest podzielona na k-1 przedziałów w celu otrzymania k punktów ekstremalnych:

$$s_i = u_0 + [(i - 1)(u_i - u_0)] / (k - 1), \; i = \{1, 2, ..., k\}. \tag{4}$$

Z wektorem $s = (s_1, s_2, ..., s_k)$ związany jest następujący wektor:

$$a = (a_1, a_2, ..., a_k) = (A(s_1), ..., A(s_k)), \; a_i = A(s_i) \in [0, 1].$$

Łączne reprezentacje różnych zmiennych wejściowych i wyjściowych mogą być przedstawione jako wektory $(x_1, x_2, \ldots, x_i, ..., x_n)$ oraz $(y_1, y_2, \ldots, y_i, ..., y_m)$, gdzie

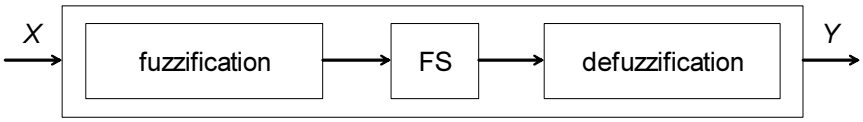
odpowiednio $x_i, y_j \in [0, 1]$. Wynika stąd ważny wniosek, że dowolny system FS może być opisany matematycznie jako odwzorowanie pomiędzy $[0, 1]^n$ oraz $[0, 1]^m$ [2].

Należy podkreślić fakt, że dyskretyzacja opisana powyżej nie jest jedyną możliwą. Można np. użyć tzw. *a*-przecięć. Wybór sposobu dyskretyzacji zależy od konkretnych zastosowań systemu rozmytego.

Podkreślmy, że dla określonych konkretnych przypadków dyskretnej reprezentacji stosowny system FS może stanowić część systemu CS (crisp systems).

W związku z powyższym nazwa system ciągły (Continuous System) powinna oznaczać systemy zarówno crisp lub fuzzy, gdzie mamy do czynienia z odwzorowaniem ciągłym zmiennych wejście-wyjście. Dopuszczalna jest w tym przypadku skończona liczba nieciągłości. Wspomniany przypadek wymaga dalszej analizy.

Należy wprowadzić nowy typ systemu rozmytego „rozmyty system aproksymacji' (FSA – fuzzy system approximator). Systemy FSA będą stanowiły część systemów CS. Są one reprezentowane przez zbiór mierzalnych relacji pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi, które posiadają wartości (crisp) ścisłe. Rozważany przypadek przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Architektura rozmytego systemu aproksymacji [2]

Jak wynika z rysunku 1 system FSA posiada moduły fuzzyfikacji – rozmywania i defuzzyfikacji – antyrozmywania. Ponadto relacje pomiędzy zmiennymi wejściowymi, a wyjściowymi systemu są ciągłe.

W wyniku dotychczasowych rozważań można wyróżnić bardziej ogólny typ systemu rozmytego. Nazwiemy go UA (uniwersalny aproksymator). Do systemów typu UA zaliczymy np. systemy FSA działające w oparciu o system RBS. Ogólnie rzecz ujmując zawsze istnieje możliwość konstrukcji konkretnego systemu FSA w celu aproksymacji danego systemu CS z określoną dok ładnością. Szczegóły można znaleźć w literaturze [4].

Ponadto z punktu widzenia zastosowań inżynierskich ten typ systemów rozmytych można zaliczyć do systemów typu „rozmyty sterownik" (fuzzy controller – FC).

Należy podkreślić fakt bujnego rozwoju teorii oraz udanych implementacji tego typu rozmytych systemów.

W celu porównania wyróżnionych dotychczas typów systemów rozmytych i systemów sztucznych sieci neuronowych wprowadzimy system typu NN (sztuczna sieć neuronowa).

Niech system typu NN dla potrzeb niniejszych rozważań oznacza sztuczną wielowarstwową sieć neuronową z „wnioskowaniem do przodu" (feedforward), która posiada n neuronów w warstwie wejściowej oraz m neuronów w warstwie wyjściowej. Jak wynika z literatury przedmiotu [5] sieci neuronowe wielowarstwowe z „wnioskowaniem do przodu" stanowią doskonałe aproksymatory funkcji (proces uczenia poprzez algorytm wstecznej propagacji błędów).

Ogólnie rzecz ujmując topologię rozmytych sieci neuronowych FNN [Fuzzy neural networks] można opisać w następujący sposób: występują pary sygnałów typu wejście- wyjście (x_1, ..., x_i, ..., x_r) oraz (out_1, ..., out_2, ..., out_s) odpowiednio. Wyjścia out_j są określone poprzez operacje max-min typu: $out_j = \max[\min(x_j, w_{ij})]$, gdzie w_{ij} są to elementy macierzy wag W. Sieci tego typu tworzą odwzorowanie sygnałów wejście-wyjście typu: $[0, 1]^n$ do $[0, 1]^m$.

PORÓWNANIE SYSTEMÓW ROZMYTYCH I SIECI NEURONOWYCH

Opis relacji pomiędzy poszczególnymi typami systemów

Rysunek 2 przedstawia w formie graficznej porównanie opisanych typów systemów rozmytych i sieci neuronowych. Schemat na rysunku 2 stanowi rodzaj diagramu Venna. Występuje tutaj relacja inkluzji zbiorów (zgodnie z treścią rozważań poprzedniego punktu). Natomiast strzałki reprezentują następujące typy relacji pomiędzy modelami:

$$\text{model-1} \rightarrow \text{model-2},$$

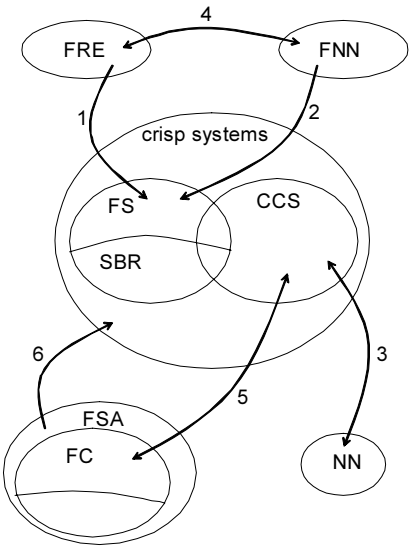
oznacza sytuację, gdzie model-1 formalnie stanowi przypadek szczególny modelu-2 lub, że każdy przykład modelu-1 może być aproksymowany poprzez zastosowanie odpowiedniego typu modelu-2:

$$\text{model-1} \leftrightarrow \text{model-2}.$$

Należy podkreślić fakt, że powyższe relacje są symetryczne tzn., że oba modele mogą być formalnie równoważne oraz co najmniej zastępowalne w zastosowaniach praktycznych.

Zgodnie z rysunkiem 2 można wyróżnić następujące typy relacji pomiędzy modelami systemów rozmytych i sieci neuronowych (numeracja relacji jest zgodna z numerami strzałek – rys. 2):

1. Relacja typu: model rozmytych równań relacyjnych → model systemu rozmytego. Jest to relacja typu: przyczynowo – skutkowego. System rozmytych równań relacyjnych zawsze jest również systemem rozmytym. Natomiast przypadek odwrotny nie zawsze jest słuszny. Twierdzenie typu: „dowolny system rozmyty może być opisany poprzez układ stosownych równań relacyjnych" jest w ogólnym przypadku fałszywe. Istnieją bowiem systemy rozmyte dla których układ stosownych rozmytych równań relacyjnych nie posiada rozwiązań!



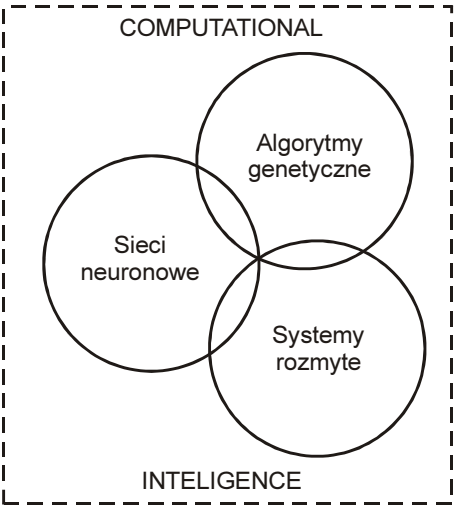
Rys. 2. Porównanie systemów rozmytych i sieci neuronowych [2]

Ponadto należy podkreślić fakt, że zadanie identyfikacji (uczenia) systemu rozmytego poprzez układ rozmytych równań relacyjnych typu wejścia-wyjścia nie jest wykonalne bez znajomości *t*-conorm/*t*-norm dla stosownych par w relacji. Zadanie identyfikacji może dotyczyć tylko rozmytych systemów np. max-min, max-produkt, itp.

2. Relacja typu model rozmytych sieci neuronowych → system rozmyty.
   Przypadek analogiczny do poprzedniego. Dowolny system rozmytych sieci neuronowych jest systemem rozmytym. Odwrotna zależność jest możliwa pod warunkiem znajomosci specyficznych *t*-norm i *t*-conorm stosownych par relacji. W literaturze przedmiotu można znaleźć szczegółowe badania w/w zagadnienia (identyfikacji rozmytych systemów z wykorzystaniem rozmytych sieci neuronowych). Jednakże współcześnie w literaturze przedmiotu brak jest ogólnych dowodów twierdzenia, że FNS jest uniwersalnym aproksymatorem funkcji [2].
3. Relacja typu model rozmytych równań relacyjnych ↔ rozmyte sieci neuronowe.
   Ogólnie jest to relacji typu równoważności. Dla danego układu rozmytych równań relacyjnych możliwa jest jego identyfikacja z wykorzystaniem rozmytych sieci neuronowych. Relacja odwrotna również jest możliwa. Warunek konieczny w/w równoważności to znajomość *t*-norm/*t*-conorm dla stosownych par wejść-wyjść!
4. Relacja typu model systemu ciągłego ↔ sieć neuronowa.
   Dowolna funkcja może być aproksymowana przez wielowarstwową sieć neuronową z „wnioskowaniem do przodu" zgodnie z powszechną zasadą uniwersalnego aproksymatora [2]. Ponadto dowolna sieć neuronowa wielowarstwowa jest systemem ciągłym. Zatem omawiana relacja jest typu równoważności.

5. Relacja typu model systemu ciągłego → rozmyty sterownik.
   Każdy system FC jest systemem CS. Zgodnie z literaturą przedmiotu [2] aproksymatory systemów rozmytych są aproksymatorami uniwersalnymi. Tzn., że dla danego systemu typu CCS zawsze można znaleźć odpowiedni system FSA (z dowolną dokładnością).
6. Relacja typu model systemu FSA → model CS.
   System FSA jest zgodnie z definicją (wzór 1) systemem rzeczowym (Crisp System).

Fuzja obu technologii (sztuczne sieci neuronowe, systemy rozmyte) w ramach systemów inteligencji obliczeniowej



Rys. 3. Koncepcja systemu inteligencji obliczeniowej [6]

Geneza terminu „inteligencja obliczeniowa" – rys historyczny

W ostatnich latach ogromnym zainteresowaniem cieszy się problematyka dotycząca sieci neuronowych, algorytmów genetycznych i systemów rozmytych. Zagadnienia te są częścią nauki określanej w literaturze angielskiej terminem Computational Intelligence. Wzajemne powiązania (rys. 3) między sieciami neuronowymi, algorytmami genetycznymi i systemami rozmytymi były powodem zorganizowania przez IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – USA) Światowego Kongresu „Computational Intelligence". Na Kongres ten złożyły się 3 konferencje, które odbyły się w dniach od 26 czerwca do 2 lipca 1994 r. w Orlando na Florydzie:

a) IEEE International Conference on Neural Networks,
b) IEEE International Conference on Fuzzy Systems,
c) IEEE International Conference on Evolutionary Computation.

W latach 1995–1997 każda z tych konferencji jest organizowana osobno, aby w roku 1998 powtórnie przyjąć formę Kongresu, tym razem zorganizowanego w Anchorage na Alasce. Jak wynika z rysunku 3, zagadnienia sieci neuronowych, algorytmów genetycznych i systemów rozmytych mogą być rozpatrywane niezależnie jedno od drugiego, ale niezwykle ważne są ich wzajemne powiązania. W szczególności algorytmy genetyczne można zastosować do znalezienia wag i topologii sieci neuronowej oraz bazy reguł i funkcji przynależności systemu rozmytego. Z kolei sieci neuronowe umożliwiają wyznaczenie odpowiednich parametrów właściwym algorytmom genetycznym (tzw. parametry krzyżowania i mutacji), a ponadto filozofię sieci neuronowych można wszczepić na grunt systemów rozmytych, które w ten sposób nabierają cechy systemów uczących się. Ponadto metody zbiorów rozmytych pozwalają odpowiednio dobrać zarówno wspomniane wyżej parametry algorytmów genetycznych, jak i współczynniki charakteryzujące szybkość uczenia sieci neuronowych.

Należy także podkreślić fakt, że w literaturze światowej znane są i cenione monografie autorów polskich. Dotyczą one dziedzin [6]:

a) sieci neuronowych – książka profesora Jacka Żurady [7] oraz profesora Andrzeja Cichockiego (współautor [8]),
b) systemów rozmytych – książka profesora Witolda Pedrycza [9],
c) algorytmów genetycznych – książka profesora Zbigniewa Michalewicza [10] .

Fuzja technologii: systemy rozmyte sztuczne sieci neuronowe – krótki przegląd badań

Sztuczne sieci neuronowe posiadają unikalne właściwości uczenia się maszynowego oraz przetwarzania informacji numerycznej. Natomiast systemy rozmyte posiadają unikalne właściwości przetwarzania informacji tzw. lingwistycznej. Nie budzi większego zdziwienia fakt, że fuzja obu technologii od dłuższego czasu stanowi przedmiot intensywnych badań w licznych ośrodkach na świecie. Wymienimy tylko najważniejsze kierunki badań:

1) M.M. Gupta i J. Qi rozwinęli trzy podstawowe modele tzw. rozmytego neuronu [11],
2) H. Ishibuchi ze współpracownikami wprowadzili miary możliwości i konieczności (possibility and necessity measures) do podstawowego algorytmu wstecznej propagacji błędów w sieci neuronowej [12] oraz architekturę sieci neuronowej, która uczy się na podstawie rozmytych reguł typu: „jeżeli-to” [13],
3) J.M. Keller, H. Tahani [14] oraz J.M. Keller, R.R. Yager, H. Tahani [15] badali przydatność algorytmu wstecznej propagacji błędów w systemach rozmytych,
4) K. Hirota, W. Pedrycz [16] oraz Y. Hayashi ze współpracownikami [17] badali zagadnienia projektowania sieci neuronowych z logiką rozmytą,
5) B. Kosko zbudował tzw. rozmytą pamięć asocjacyjną (ang. FAM – fuzzy associative memory) z wykorzystaniem rozmytego algorytmu Hebba (fuzzy Hebbian learning), współpracowała ona z rozmyta bazą reguł typu: „jeżeli-to” [18],

6) L.X. Wang, J.M. Mendel badali model neuro-rozmytego systemu eksperckiego [19].
7) Ze względu na nowe możliwości wynikające z wprowadzenia systemu rozmytego typu 2 przez J.M. Mendla nowy kierunek badań to analiza możliwości budowy systemu hybrydowego: „sieć neuronowa-system rozmyty typu 2" (pomysł autorów artykułu).

WNIOSKI

1. Zgodnie z rozważaniami tej pracy każdy system FSA jest systemem CS. W praktyce zastąpienie modelu FSA przez model CS jest możliwe poprzez wykorzystanie odpowiednich założeń teoretycznych i metod rozmywania i antyrozmywania funkcji przynależności elementu do podzbioru rozmytego.
2. Bujny rozwój systemów „inteligencji obliczeniowej" (badania teoretyczne i implementacje softwarowe) świadczy o wysokiej użyteczności fuzji obu technologii: systemów rozmytych i sztucznych sieci neuronowych.
3. Nowy kierunek badań to analiza możliwości budowy systemu hybrydowego: „sieć neuronowa-system rozmyty typu 2".

PIŚMIENNICTWO

1. Yager R.R., Filew D.P. Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. WNT, J. Wiley, Warszawa 1995.
2. Blanco A., Delgado M., Requena I. Relating fuzzy systems and neural networks. Badania Operacyjne i Decyzje, 4/1995: 5–11.
3. Nafarieh A., Keller J. A new approach to inference in approximate reasoning. Fuzzy Sets and Systems, 1991, 41: 17–37.
4. Castro J. Delgado M. Fuzzy systems with defuzzyfication are universal approximators. Submitted to IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1994.
5. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural networks, 1989, 2: 359–366.
6. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
7. Żurada J. Introduction to artificial neural systems. West Publishing Company, Boston 1992.
8. Cichocki A., Unbehauen R. Neural networks for optimization and signal processing. Wiley, Chichester 1993.
9. Pedrycz W. Fuzzy control and fuzzy systems. Wiley, New York 1993.
10. Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = evolution programs. Springer Verlag, Berlin 1994.
11. Gupta M.M., Qi J. On fuzzy neuron models. [in:] Fuzzy logic for the management of uncertainty, L.A. Zadeh, J. Kacprzyk, Eds. John Wiley& Sons Inc., New York 1992.

12. Ishibuchi H., Fujioka R., Tanaka H. Possibility and necessity pattern classification using neural networks. Fuzzy Sets and Systems, 48, 1992: 331–340.
13. Ishibuchi H., Fujioka R., Tanaka H. Neural networks that learn from fuzzy if-then rules. IEEE Transactions on Fuzzy Systems 1(2), 1993: 85–97.
14. Keller J.M., Tahani H. Back-propagation neural networks for fuzzy logic. Information Sciences 62, 1992: 205–221.
15. Keller J.M., Yager R.R., Tahani H. Neural network implementation of fuzzy logic. Fuzzy Sets and Systems, 45, 1992: 1–12.
16. Hirota K., Pedrycz W. Fuzzy logic neural networks: design and computations. [in:] Proceedings of the IJCNN'91 (2), Singapore 1991: 1588-1593.
17. Hayashi Y., Czogała E., Buckley J.J. Fuzzy neural controller. [in:] Proceedings of the 1st International Conference on Fuzzy Systems and neural Networks, San Diego, 1992: 197–202.
18. Kosko B. Neural networks and fuzzy systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992
19. Wang L.X., Mendel J.M. Generating fuzzy rules by learning from examples. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 22 (6), 1992: 1414–1427.

COMPARISON OF FUZZY LOGIC SYSTEMS AND ARTIFICAL NEURAL NETWORKS

Summary
In this article we short describe fundamental mathematical model of neuro-fuzzy system treat as 'black box' known in cybernetic and various version of this fundamental model. Short we characterize some direction in the research about fusion two technology: fuzzy systems and artificial neural systems. In our article we short describe elementary notion: new technology: computational intelligence.

Jerzy Józwik[1)]

WYKORZYSTANIE SZTUCZNEJ SIECI NEURONOWEJ DO MODELOWANIA UGIĘĆ SPRĘŻYSTYCH PRZEDMIOTÓW OBRABIANYCH W PROCESIE SKRAWANIA TOCZENIEM

Streszczenie. W pracy przedstawiono przykład wykorzystania sztucznej sieci neuronowej MLP do predykcji ugięcia sprężystego wałka, przeznaczonego do obróbki tokarskiej. Zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów eksperymentalnych strzałki ugięcia wałka zamocowanego w szczękach uchwytu tokarskiego bez podparcia. W analizach numerycznych uwzględniono wyniki kompletnych badań ugięcia, wałków o średnicach 16, 20, 25 i 30 mm. Analizowano najbardziej popularny przypadek zamocowania przedmiotu na obrabiarce.
Słowa kluczowe: proces skrawania, odkształcenia sprężyste, modelowanie, sztuczne sieci neuronowe.

WSTĘP

Modelowanie procesu skrawania a szczególnie odkształceń sprężystych i cieplnych przedmiotu obrabianego w aspekcie sterowania jakością obrabianego elementu jest jednym z priorytetowych zadań. Wiele modeli szeroko prezentowanych w literaturze ma najczęściej charakter uproszczony i kończy się na etapie rozpoznania podstawowych zależności pomiędzy badanymi wielkościami [1, 4, 12, 13]. Na podstawie prezentowanych wyników badań, błędy obróbki powodowane odkształceniami sprężystymi i cieplnymi są funkcją bardzo wielu zmiennych, których uwzględnienie podczas modelowania utrudnia, a czasami uniemożliwia wykorzystanie niektórych metod. Spotykane w literaturze modele - opracowane z zastosowaniem aparatu matematycznego posiadają szereg ograniczeń, chociażby z powodu dużej liczby założeń modelowanych związków [1, 4, 7, 9]. Powodem małej użyteczności modeli analityczno - doświadczalnych jest często fakt, iż badania mające na celu opracowanie strategii prognozowania prowadzone są w warunkach laboratoryjnych, które nie uwzględniają wielu czynników występujących w warunkach przemysłowych [10, 11].

Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych stanowi alternatywne rozwiązanie powyższych problemów [2, 5, 14]. Opracowane modele z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych mogą mieć charakter wielowymiarowy, mogą uwzględniać bardzo wiele zmiennych wejściowych i wyjściowych oraz odwzorowywać bardzo

1) Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

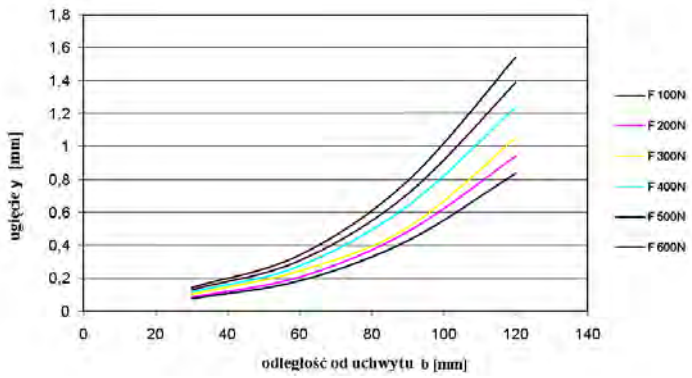
złożone związki nieliniowe. Uwzględniając złożoność procesu skrawania i konieczność odwzorowywania skomplikowanych funkcji, sugerowana jest często potrzeba stosowania narzędzi inteligentnych, potrafiących poradzić sobie z problemem wielowymiarowości [2, 3, 5, 6, 14, 15, 17].

Modelowanie określonych w tytule niniejszej pracy związków przy zastosowaniu strategii „samo uczenia się", pozwoli na diagnozowanie stanu geometrycznego przedmiotu na etapie przygotowania produkcji, dobór optymalnych warunków obróbki, a przez to minimalizację błędów wykonania gotowego wyrobu.

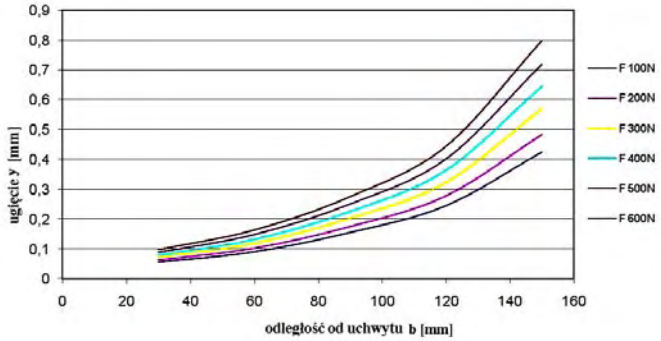
METODYKA BADAŃ I PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Głównym celem badań eksperymentalnych było pozyskanie danych, niezbędnych do zbudowania modelu, opartego na sztucznych sieciach neuronowych. Model ten będzie odzwierciedlał złożone związki pomiędzy sprężystymi odkształceniami przedmiotu obrabianego y podczas obróbki tokarskiej a wartością składowej promieniowej siły skrawania $F=F_r$, położeniem punktu jej przyłożenia b i jego średnicą d. Badania rozpoznawcze i zasadnicze przeprowadzono na tokarce uniwersalnej S32.

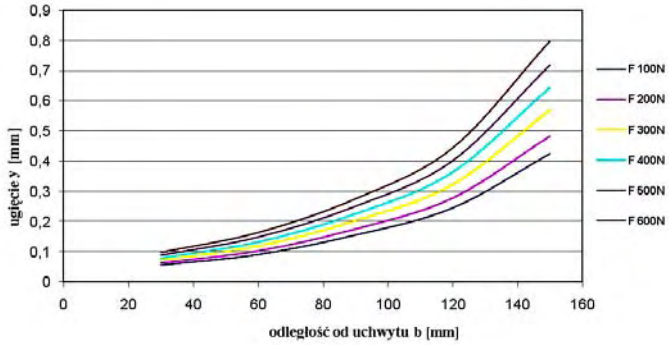
Symulowaną wartość składowej promieniowej siły skrawania $F=F_r$ zadawano przy wykorzystaniu siłomierza piezoelektrycznego Kistler (Typ 9257B) współpracującego ze wzmacniaczem ładunku (Typ 56017B) i sumatorem analogowym. Do pomiaru ugięcia sprężystego zastosowano laserowy czujnik przemieszczeń (optoNCDT1605/2) firmy Micro-Epsilon Masstechnik. Wartość siły F przyjęto na poziomie 100, 200, 300, 400, 500 i 600 N. Obciążeniu poddawano kolejno wałki o średnicach d równych 16, 20, 25 i 30 mm, siłą F położoną w odległościach b = 30, 60, 90, 120, 150 mm. W efekcie przeprowadzonego doświadczenia pozyskano dane, które wykorzystano do zbudowania zbiorów danych uczących walidacyjnych i testujących. Wybrane wyniki pomiarów eksperymentalnych przedstawiono na rysunkach 1–4.



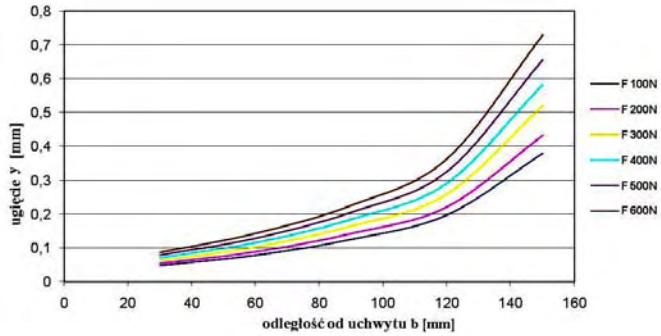
Rys. 1. Krzywe eksperymentalne ugięcia wału ϕ 16 dla różnych wartości promieniowej siły obciążającej w funkcji jej położenia od uchwytu



Rys. 2. Krzywe eksperymentalne ugięcia wału ϕ 20 dla różnych wartości promieniowej siły obciążającej w funkcji jej położenia od uchwytu



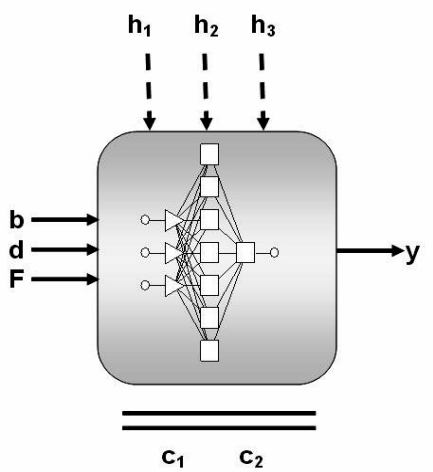
Rys. 3. Krzywe eksperymentalne ugięcia wału ϕ 25 dla różnych wartości promieniowej siły obciążającej w funkcji jej położenia od uchwytu



Rys. 4. Krzywe eksperymentalne ugięcia wału ϕ 30 dla różnych wartości promieniowej siły obciążającej w funkcji jej położenia od uchwytu

MODELOWANIE I WYNIKI

W oparciu o wyniki eksperymentalne przygotowano zbiory danych uczących i kontrolnych. Populację zestawów przypadków eksperymentalnych podzielono na trzy podzbiory: uczący, walidacyjny i testujący. W wyniku wielokrotnych poszukiwań wytypowano sieci neuronowe typu wielowarstwowy perceptron MLP (multilayer perceptron network) oraz sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF – radial basic function). Jako najlepszą sieć, którą wykorzystano do zbudowania modelu, w oparciu o kryterium minimum błędu RMS, wybrano sieć MLP o strukturze składającej się z jednej warstwy ukrytej o 7 neuronach (rys. 5).



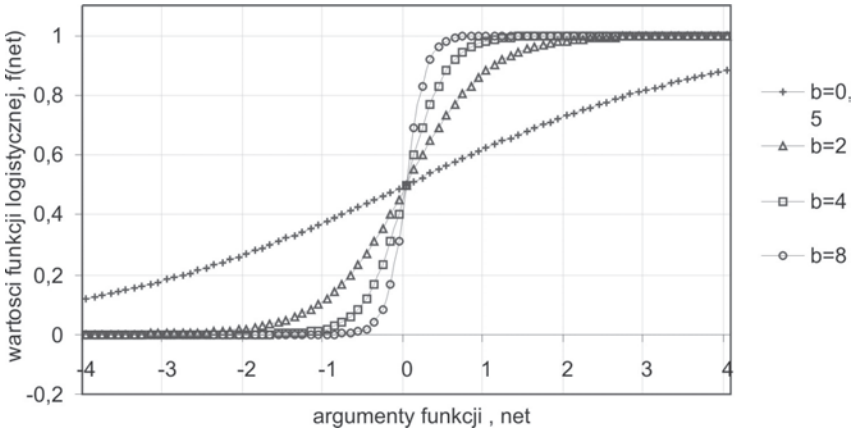
Rys. 5. Architektura sztucznej sieci neuronowej wykorzystanej do modelowania MLP 3:3-7-1:1: b, d, F – zmienne wejściowe, y – zmienna wyjściowa, h_1, h_2, h_3 – wielkości zakłócające, c_1, c_2 – wielkości stałe, b – odległości punktu przyłożenia siły F, d – średnica wałka, F – promieniowa siła obciążająca

Warstwę wejściową sieci stanowi: *d* - średnica wałka, *F* – siła promieniowa oraz położenie punktu przyłożenia promieniowej siły obciążającej przedmiot *b*. Jako zmienną wyjściową (w warstwie wyjściowej) wybrano ugięcie sprężyste przedmiotu *y* wywołane składową promieniową *F*. Do wielkości stałych c_i (gdzie i=1; 2) zaliczono brak zmienności przekroju poprzecznego próbki oraz niezmienny sposób zamocowania. Wielkości zakłócające h_i (gdzie i=1; 2; 3) stanowiły zaś: zmienna sztywności systemu OUPN, zmienna temperatura otoczenia, błędy toru pomiarowego sił i odkształceń. Sieć o tak zdefiniowanej strukturze uczono algorytmem wstecznej propagacji błędu BP (back propagation) stosując logistyczną funkcję aktywacji neuronów ukrytych (1).

$$f(net) = \frac{1}{1 + \exp^{-b \cdot net}} \tag{1}$$

gdzie: b – parametr, net – argument funkcji logistycznej.

Przebieg zmian wartości funkcji aktywacji *f(net)* opisanej równaniem (1) w zależności od parametru b przedstawiono na rysunku 6. Wzrastająca wartość parametru *b* powoduje, że charakterystyki stają się bardziej strome, a przy dużych wartościach b, np. 8, niewielkie odchylenie wartości *net* od poziomu zerowego powoduje, że funkcja *f(net)* znajdzie się w stanie nasycenia (rys. 6).



Rys. 6. Przebieg zmian wartości logistycznej funkcji aktywacji w zależności od parametru b

W wyniku złożonej procedury uczenia, walidacji i testowania otrzymano model, na podstawie którego można w łatwy i szybki sposób ocenić sprężyste ugięcie przedmiotu obrabianego klasy wałek. W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń parametrów regresji zmiennej wyjściowej modelu (ugięcia sprężystego przedmiotu *y*) bazującego na sieci MLP 3:3-7-1:1 uczonej algorytmem BP.

Charakterystyki regresyjne wyznaczono niezależnie dla zbiorów: uczącego, walidacyjnego i testującego. Na podstawie danych wartości zmiennej *y* (w powyżej wymienionych zbiorach) określono wartość średnią a następnie odchylenie standardowe i

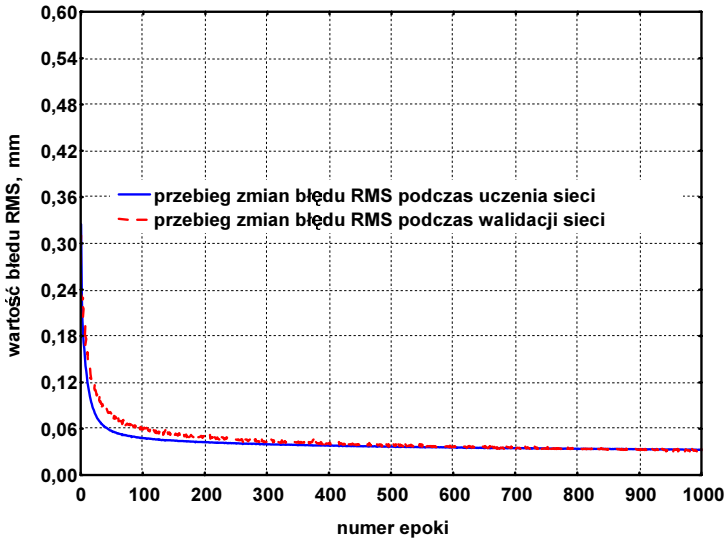
Tabela 1. Statystyki regresyjne ugięcia sprężystego przedmiotu y dla sieci MLP 3:3-7-1:1 uczonej algorytmem BP

Parametr	W zbiorze uczącym	W zbiorze walidacyjnym	W zbiorze testującym
Średnia	0,3737	0,3768	0,3549
Odchylenie standardowe	0,0335	0,0381	0,0288
Średni błąd	0,0017	0,0021	0,0019
Odchylenie błędu	0,0029	0,0036	0,0042
Średni błąd bezwzględny	0,0027	0,0032	0,0038
Iloraz odchyleń standardowych	0,0865	0,0944	0,1458
Korelacja	0,9962	0,9960	0,9901

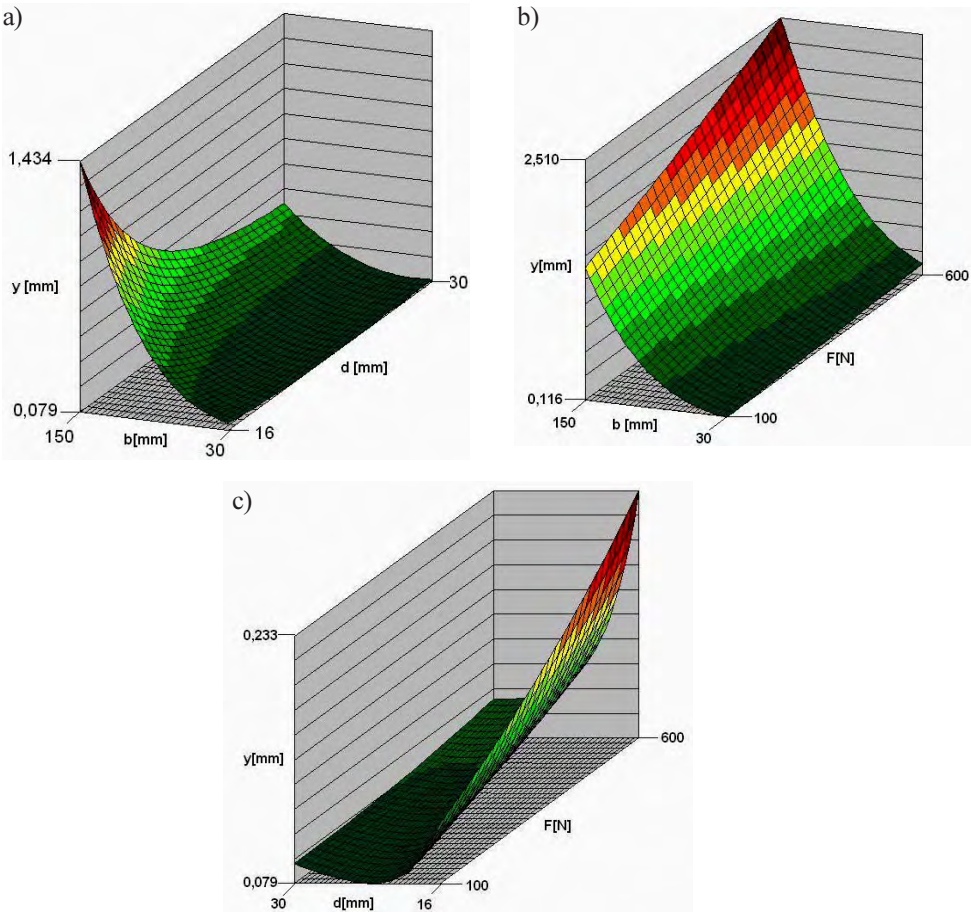
średni błąd – jako moduł różnicy pomiędzy wartością zadaną i uzyskaną na wyjściu. Ponadto określono średni błąd bezwzględny jako różnicę pomiędzy wartością zadaną a wartością uzyskaną na wyjściu oraz odchylenie standardowe błędu. W oparciu o uzyskane wyniki obliczeń wyznaczono iloraz odchyleń standardowych dla błędów i dla danych. Iloraz ten stanowi główny wskaźnik jakości zbudowanego modelu, wskazuje na stopień dokładności predykcji. Małe wartości ilorazu odchyleń standardowych dla błędów i dla danych (dużo poniżej 1, np. 0,3; 0,2; 0,1 i mniej) świadczą o dobrej realizacji regresji przez sieć, czyli dobrym oszacowaniu wyjścia modelu za pomocą sieci.

Przyjęta w procesie modelowania struktura sieci (architektura, funkcja aktywacji neuronów ukrytych oraz algorytm uczenia) charakteryzuje się najniższą wartością błędu RMS (root square error). Na rysunku 7 zaprezentowano przebieg zmian wartości błędu RMS podczas uczenia i walidacji sieci MLP 3:3-7-1:1, w kolejnych epokach uczenia algorytmem wstecznej propagacji błędu. Wartość błędu RMS wraz z postępem uczenia maleje, a wyraźnie obserwowana zbieżność wartości błędów dla zbioru walidacji i uczenia świadczy o prawidłowym przebiegu procesu uczenia. Ostateczna weryfikacja modelu w oparciu o zbiór danych testujących wykazała niższe wartości błędu RMS niż dla zbiorów testującego i walidacji, co świadczy o wysokim stopniu zdolności sieci do poprawnej predykcji modelowanych związków.

Neurony wyjściowe modelu „prezentują" wyniki symulacji numerycznej (predykcji) wartości ugięcia sprężystego *y*, obarczone błędem odwzorowania. Na rysunku 8 przedstawiono powierzchnie odpowiedzi nauczonej sieci neuronowej MLP 3:3-7-1:1. Zaprezentowane charakterystyki przedstawiono w funkcji średnicy wałka *d* i odle-



Rys. 7. Przebieg zmian wartości błędu RMS podczas uczenia i walidacji sieci MLP 3:3-7-1:1 w kolejnych epokach uczenia algorytmem wstecznej propagacji błędu



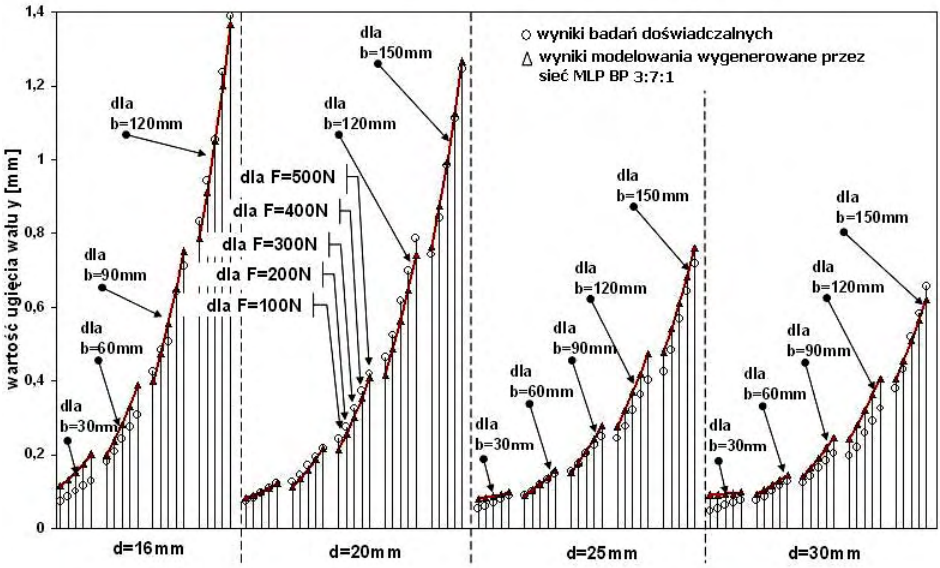
Rys. 8. Predykcja wartości ugięcia sprężystego y na podstawie modelu w postaci sieci neuronowej MLP 3:3-7-1:1, w funkcji: a) średnicy wałka d oraz odległości punktu przyłożenia siły F od uchwytu b, b) siły promieniowej F oraz odległości od uchwytu b, c) średnicy wałka d oraz siły promieniowej F.

głości punktu przyłożenia siły *F* od uchwytu *b* (rys. 8a), siły promieniowej *F* oraz odległości od uchwytu *b* (rys. 8b) jak również w funkcji średnicy wałka *d* i siły promieniowej *F* (rys. 8c).

Przedstawione na rys. 8 wyniki symulacji numerycznej potwierdzają nieliniowy charakter zmian odkształceń sprężystych przedmiotu zarówno w funkcji średnicy wałka d oraz odległości punktu przyłożenia siły *F* od uchwytu *b* jak również wartości składowej promieniowej *F* siły obciążającej. Można przypuszczać, że z uwagi na możliwość dowolniej liczby miar predykcji, wykorzystanie odpowiednio skonfigurowanej sieci neuronowej przyniesie lepsze wyniki niż model regresyjny wielu zmiennych.

Na rysunku 9 zaprezentowano wyniki ugięcia sprężystego wału *y* podpartego w uchwycie trójszczękowym, wygenerowane przez sieć MLP 3:3-7-1:1 na tle wyników badań eksperymentalnych.

Przedstawione wyniki wskazują na wysoki stopień korelacji z wynikami badań doświadczalnych. Zaprezentowane krzywe odpowiedzi sieci dotyczą wałków o średnicach 16, 20, 25 i 30 mm.



Rys. 9. Wyniki ugięcia sprężystego wału y podpartego w uchwycie trójszczękowym, wygenerowane przez sieć MLP 3:3-7-1:1 na tle wyników badan eksperymentalnych

Zestawienie wyników badań i odpowiedzi modelu numerycznego przedstawiono dla różnych wartości położenia punktu przyłożenia *b* składowej promieniowej siły skrawania, jak również zmiennej jej wartości *F*.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opracowany model predykcji ugięć sprężystych przedmiotu obrabianego pozwoli na wyprzedzające przewidywanie geometrii wyrobu już na etapie przygotowania produkcji. Zaprezentowane w pracy wyniki modelowania wykazują wysoką zgodność odpowiedzi modelu z otrzymanymi wynikami badań eksperymentalnych. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych wydaje się być dobrą alternatywą w stosunku do takich narzędzi numerycznych jak: MES, MEB, MRS.

W analizowanym modelu sztuczne sieci neuronowe z zadowalającą dokładnością spełniają postawione im zadanie predykcji uwzględniając realne wyniki badań eksperymentalnych uzyskanych podczas badań na obiekcie rzeczywistym. Sztuczne sieci neuronowe, jako narzędzie numeryczne, nie tylko ułatwiają proces modelowania, ale niejednokrotnie są jedynym sposobem zbudowania wiarygodnego, użytecznego i łatwego w stosowaniu modelu.

Poruszane w pracy problemy są niezwykle istotne w przypadku kształtowania części maszyn podatnych na działanie sił generowanych podczas skrawania (np. smukłe wałki, tuleje cylindrowe silników spalinowych, tuleje cienkościenne wykorzystywane w połączeniach pasowanych, itp.). Z uwagi na rangę analizowanych problemów a szczególnie ich znaczenie utylitarne uzasadnione jest dalsze rozszerzenie zbudowanego modelu o odkształcenia będące efektem generowania podczas skrawania ciepła. Zaprezentowane w pracy wyniki badań eksperymentalnych, jak również modelowania, dają optymistyczne przesłanki w odniesieniu do możliwości zbudowania użytecznego modelu mechanicznego procesu skrawania, a w przyszłości modelu termomechanicznego - pozwalającego na predykcję sprężystych i cieplnych odkształceń przedmiotu obrabianego. Wykorzystanie takiego modelu w strukturze sterowania z modelem, umożliwi wpływanie na trajektorię ostrza narzędzia i minimalizację błędów obróbkowych.

PIŚMIENNICTWO

1. Asao T., Mizugaki Y., Sakamoto M. Precision turning by means of a simplified predictive function of machining error. Annals of the CIRP. 41(1), 1992: 447–450.
2. Azouzi R., Guillot M. On-line optimalization of the turning process using an inverse process neurocontroller. Transaction of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering. 120, 1998: 101–108.
3. Józwik J., Lipski J. Application of neural network to modeling of workpiece deformations during turning process. Maintenance and Reliability, nr 4, 2002.
4. Kops L., Gould M., Mizrach M. A search for equilibrium between workpiece deflection and depth of cut: key to predictive compensation for deflection in turning. 2 Manuf. Sci. Eng., ASME PED, 68 (2) 1994: 819-825.
5. Li X., Venuvinod P.K., Djorjevich A., Liu Z. Predicting Machining Errors in Turning Using Hybrid Learning. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 18, 2001: 863–872.
6. Li X., Venuvinod P.K., Chen M.K. Feed Cutting Force Estimation from the Current Measurement with Hybrid Learning. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 16, 2000: 859–862.
7. Li X. Real -Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 4. Cutting-Force-Induced Errors. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 17 (2001), 665–669.
8. Osowski S. Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym. WNT, Warszawa 1996.
9. Liu Z.Q. Finite difference calculations of the deformations of multi-diameter workpieces during turning. Journal of Materials Processing Technology, 98, 2000: 310–316.
10. Luttervelt C.A., Childs T.H.C., Klocke F., Venuvinod P.K. Present situation and future trends in modelling of machining operations. Progress Report of the CIRP working group „Modelling of Machining Operations". Annals of the CIRP, 47 (2), 1998: 587–626.

11. Ehmann K.F., Kapoor S.G., DeVor R.E., Lazoglu I. Machining Process Modeling: A Review. Transaction of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 119, 1997: 655–664.
12. Mayer J.R.R., Phan A.V., Cloutier G. Prediction of diameter errors in bar turning: a computationally effective model. Applied Mathematical Modeling, 24, 2000: 943–956.
13. Phan A.V., Cloutier G., Mayer J.R.R. A finite element model for predicting tapered workpiece deflections in turning. Computer Modeling and Simulation in Engineering, 4, 1999: 138–142.
14. Orr Mark J.L. Recent advances in radial basis function net-works. Technical report, Institute for Adaptive and Neural computation, Edinburgh University, 1999.
15. Liao T. Warren, Chen L.J. Manufacturing process modeling and optimalization based on multi-layer perceptron network. Transaction of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 120, 1998: 109–119.
16. Lipski J., Szabelski K., Warmiński J., Litak G., Zaleski K. Identification of cutting process using neural network. Technical University of Budapest, International Workshop: Nonlinear Dynamics and Control in COST Action P4, 1999.
17. Moriwaki T., Zhao C. Neural network approach to identify thermal deformation of machining center. Proceedings of 8th International IFIP WG5.3 Conference, PROLAMAT'92, Tokyo, Japan, 1992: 685–697.

THE USE OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO FLEXIBLE DEFLECTION WORKPIECE MODELLING IN TURNING

Summary
In this paper the example of possible use of the artificial neural network ANN application for prediction of flexible deflection workpiece during turning process is presented. Some results of modeling and experimental verification are introduced. The results relate to a chosen way of workpiece clamp on the lathe namely in three-jaw chuck. In numerical analyses complete results of flexible deflection for different diameters of workpiece (16, 20, 25, 30 and 35 mm) are discussed The author of the paper analyzed the typical example of clamp of workpiece on the lathe.
Keywords: cutting process, workpiece deflection, modeling, artificial neural network.

Piotr Penkała[1], Tomasz Gorecki[1]

MODELOWANIE BRYŁOWE I POWIERZCHNIOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

Streszczenie. Wymagania obecnie stawiane przedmiotom projektowania, czyli konstruowanym obiektom, różnią się od wymagań formułowanych tradycyjnie, nie tylko tym, że są coraz ostrzejsze. Pojawiają się wymagania jakościowo nowe, wynikające z tego, że ustawicznie zwiększa się wielkość projektowanych urządzeń i systemów w sensie rozległości i różnorodności obejmowanej tematyki, a także w sensie kompleksowości powiązań zewnętrznych i ponoszonych kosztów. Projektowanie i konstruowanie w systemach komputerowych opiera się o zasadę tworzenia modeli geometrycznych. Narzędzia i metody modelowania geometrycznego muszą być starannie wybrane a znajomość ich jest konieczna do świadomego ich stosowania. W doborze tych metod projektant musi uwzględniać dalsze procesy projektowe, tak, aby model był podstawą całego procesu rozwoju produktu, a nie źródłem problemów projektowych.
Słowa kluczowe: konstruowanie, model geometryczny, modelowanie bryłowe, modelowanie powierzchniowe.

WSTĘP

Projektowanie i konstruowanie należą do dziedziny działań twórczych związanych z tworzeniem środków technicznych lub opracowaniem przedsięwzięć organizacyjnych w związku z wystąpieniem pewnej, rozpoznanej wcześniej potrzeby. Opracowane i wytworzone środki techniczne powinny tę potrzebę zaspokoić. Działania twórcze związane z obmyślaniem środków technicznych stanowią proces projektowo-konstrukcyjny. Istotą tego procesu jest dobór cech konstrukcyjnych tworzonego środka technicznego i ich zapisanie, czyli opracowanie dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, będącej podstawą do przygotowania procesu wytwarzania.

Wymagania stawiane obecnie przedmiotom projektowania, czyli konstruowanym obiektom, różnią się od wymagań formułowanych tradycyjnie, nie tylko tym, że są coraz ostrzejsze. Pojawiają się wymagania jakościowo nowe, wynikające z tego, że ustawicznie zwiększa się wielkość projektowanych urządzeń i systemów w sensie rozległości i różnorodności obejmowanej tematyki, a także w sensie kompleksowości powiązań zewnętrznych i ponoszonych kosztów.

[1] Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Powyższe żądania w stosunku do rezultatów projektowania narzucają nowe wymagania dla systemu projektującego. Są to m.in.:
– konieczność angażowania dużej liczby projektantów do jednego zadania,
– konieczność angażowania specjalistów z różnych dziedzin do jednego zadania,
– konieczność angażowania dużych środków finansowych,
– uzyskanie najwyższej jakości projektowania.

To natomiast tworzy nowe żądania w stosunku do procesu projektowania, np.:
– konieczność starannego planowania procesu, dekompozycji zadań i koordynacji prac różnych zespołów,
– umożliwienie współuczestnictwa osobom spoza zespołu projektującego,
– niezbędność optymalizacji działań projektowych ze względu na czas i koszty,
– racjonalizacja zbierania i przechowywania informacji.

Projektowanie jest procesem przetwarzania masowej informacji, a doskonałym narzędziem do realizacji tego celu jest komputer wraz z odpowiednim oprogramowaniem. Niemal od początku rozwoju komputerów poświęcano szczególnie dużo uwagi tej klasie ich zastosowań.

PODSTAWY MODELOWANIA W SYSTEMACH CAD/CAM

Projektowanie i konstruowanie w systemach komputerowych opiera się o zasadę tworzenia modeli geometrycznych wykorzystujących zarówno wiedzę pochodzącą z nauk matematycznych jak i technicznych. Zaawansowane systemy CAD/CAM/CAE oferują szerokie możliwości w zakresie modelowania geometrycznego. Polecenia w poszczególnych programach różnią się pewnymi atrybutami, w każdym z nich można wyróżnić pewne uogólnione metody modelowaniu geometrycznego. Ze względów utylitarnych znajomość tych metod jest bardzo istotna. Okazuje się, że ten sam model geometryczny można wykonać na wiele różnych sposobów. W przypadku złożonego modelu geometrycznego liczba tych sposobów jest praktycznie nieograniczona. Modele wykonane na różne sposoby nie są równoznaczne. Z nieograniczonej liczby hipotetycznych sposobów tworzenia modeli geometrycznych tylko nieliczny procent zapewnia wykonanie poprawnego modelu geometrycznego. Jest to o tyle istotne, że w przeciwieństwie np. do programów graficznych, w których celem jest zapewnienie „dobrego wyglądu" modelu, model w zaawansowanym systemie CAD/CAM/CAE jest tworzony tak, aby spełniał wiele różnych zadań i mógł być zastosowany do wielu dalszych procesów projektowych, w tym między innymi [3]:
– wykonania dokumentacji technicznej,
– analizy kinematycznej,
– analizy dynamiki elementów i zespołów,
– weryfikacji funkcjonalności produktu,
– obliczenia inżynierskiego np. metodą elementów skończonych,

– weryfikacji ergonomicznej,
– zaprojektowania operacji wytwórczych i ich weryfikacji,
– zaprojektowania operacji eksploatacyjnych i ich weryfikacji,
– wizualizacji produktu,
– zapisu dodatkowych informacji uzyskanych w procesie projektowym,
– wprowadzania zmian w projekcie.

Te wszystkie zadania muszą być wykonane na bazie jednego z wcześniej przygotowanych modeli geometrycznych. Dlatego też narzędzia i metody modelowania geometrycznego muszą być starannie wybrane a znajomość ich jest konieczna do świadomego ich stosowania. W doborze tych metod projektant musi uwzględniać dalsze procesy projektowe, tak, aby model był podstawą całego procesu rozwoju produktu, a nie źródłem problemów projektowych.

Rozróżnia się następujące rodzaje komputerowych modeli geometrycznych:
– modele bryłowe,
– modele powierzchniowe,
– modele krawędziowe.

Modele te różnią się zasadniczo między sobą. Modele krawędziowe składają się i punktów i krawędzi. Krawędziami mogą być linie proste lub krzywe. Modele powierzchniowe są zbudowane z powierzchni (niekoniecznie płaskich) oraz krawędzi ograniczających te powierzchnie. Natomiast modele bryłowe zbudowane są z powierzchni i krawędzi ograniczających te powierzchnie oraz dodatkowo przestrzeni ograniczonej przez te powierzchnie. Model bryłowy najwierniej odzwierciedla rzeczywiste przedmioty. Należy zauważyć, że rodzaj modelu nie ma nic wspólnego ze sposobem wyświetlania danego modelu na ekranie komputera. Model bryłowy może być wyświetlany jako tzw. model drutowy i nie znaczy to wcale, że jest to model krawędziowy.

MODELOWANIE BRYŁOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

W modelowaniu bryłowym zasadniczą rolę odgrywają płaskie (dwuwymiarowe) profile, służące do definiowania poszczególnych operacji: wyciągnięć, wycięć itd. Przy tworzeniu modelu mogą być stosowane również inne obiekty (np. krzywe) jednak profile pozostają zasadniczym elementem definiowania kształtu bryły. Modelowanie bryłowe pozwala w zasadzie na uzyskanie dowolnych kształtów, procedura ich tworzenia, a zwłaszcza edycji, nie jest jednak optymalna z punktu widzenia użytkownika tworzącego modele o bardzo dużym stopniu skomplikowania. Z tego też względu modelowanie bryłowe jest stosowane głównie tam, gdzie najważniejsze jest spełnienie założeń konstrukcyjnych dotyczących funkcjonalności projektowanego wyrobu, zaś estetyka odgrywa mniejszą rolę.

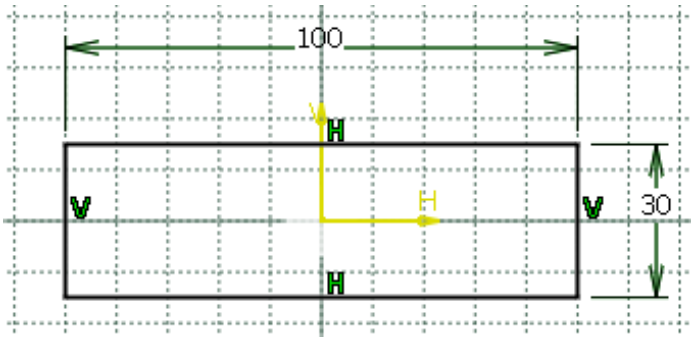
Podstawowymi metodami tworzenia modeli bryłowych są :
– wyciągnięcie lub obrót profilu,

– edycja cech modelu bryłowego,
– operacje logiczne na bryłach.

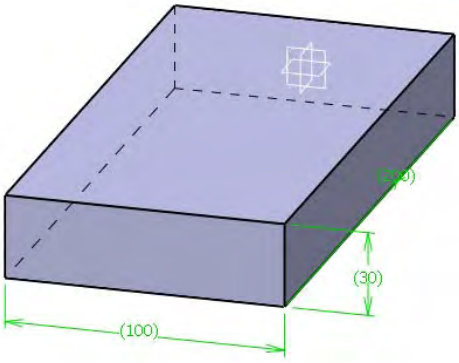
Wyciągnięcie lub obrót profilu

Pierwsza metoda – wyciągnięcie lub obrót profilu, polega na wyciągnięciu pewnego wcześniej zdefiniowanego profilu wzdłuż zadanego odcinka prostej lub krzywej lub obrót profilu względem pewnej osi. Załóżmy, że profilem będzie prostokąt o wymiarach a = 100 mm, b = 30 mm (rys. 1).

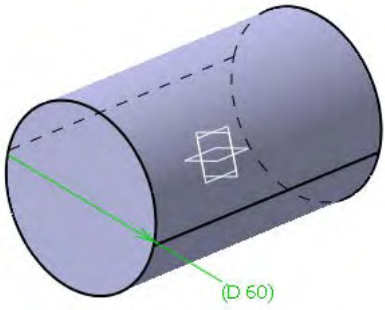
Gdy dokonamy wyciągnięcia tego profilu wzdłuż odcinka o długości 200 mm prostopadłego do płaszczyzny szkicu, otrzymamy prostopadłościan o wymiarach 100 × 30 × 200 mm (rys. 2). Natomiast, gdy dokonamy obrotu profilu względem osi będącej zarazem jednym z boków prostokąta, da nam w to w efekcie walec (rys. 3).



Rys. 1. Szkic profilu wraz z wymiarami



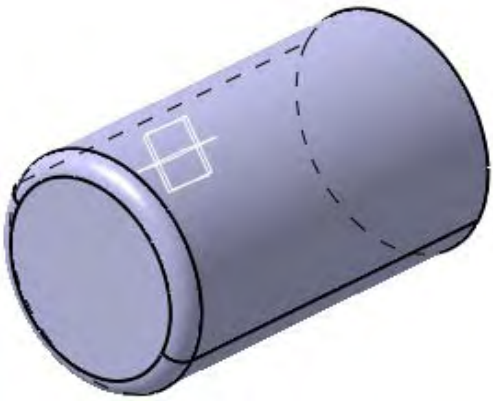
Rys. 2. Bryła uzyskana w wyniku wyciągnięcia profilu



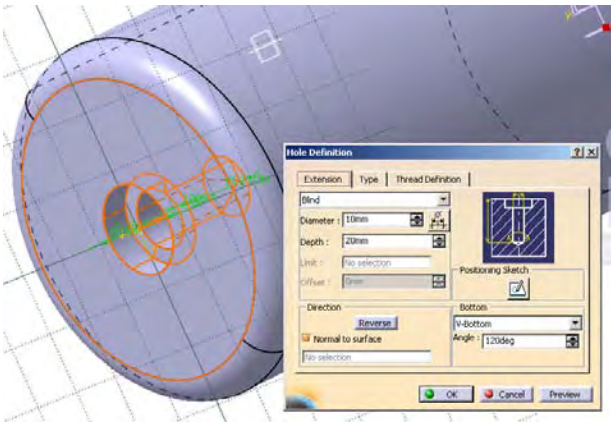
Rys. 3. Bryła uzyskana w wyniku operacji obrotu profilu

Edycja cech modelu bryłowego

Edycja cech modelu bryłowego jest najbardziej efektywnym sposobem modelowania. Polecenia edycyjne są związane najczęściej z pewnymi operacjami technologicznymi. Polecenia te obejmują proste operacje, jak np. fazowanie czy zaokrąglanie krawędzi (rys. 4) lub bardziej złożone operacje, jak np. tworzenie złożonych otworów (rys. 5).



Rys. 4. Zaokrąglenie jako cecha krawędzi walca



Rys. 5. Otwór jako cecha powierzchni bryły

Do wykonania polecenia edycyjnego danej cechy musimy już posiadać model geometryczny, a wykonanie polecenia edycyjnego nadaje modelowi jakieś nowe cechy. Dana cecha jest bezpośrednio związana z pewną częścią modelu, np. zaokrąglenie jest dodatkową cechą krawędzi, a otwór jest cechą powierzchni bryły.

MODELOWANIE POWIERZCHNIOWE W SYSTEMACH CAD/CAM

W modelowaniu powierzchniowym również mogą być (i są) wykorzystywane profile, jednak zasadniczą rolę przy tworzeniu modelu odgrywają punkty kontrolne, służące do definiowania krzywych – zarówno płaskich, jak i przestrzennych. Na krzywych tych z kolei rozpinane są powierzchnie. Powierzchnie takie można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą te, które mogą być opisane za pomocą wzorów matematycznych, na przykład powstałe przez obrót krzywych stożkowych (parabola, hiperbola); powierzchnie takie są stosowane m.in. do definiowania kształtu złożonego. Druga grupa to powierzchnie swobodne, składające się z nieskończonej liczby punktów, opisywanych jedynie przez ich współrzędne. Współrzędne te nie są powiązane zależnościami matematycznymi. Pozwala to na dużą elastyczność przy modelowaniu – z tego względu modelowanie powierzchniowe stosowane jest głównie tam, gdzie występują bardzo złożone kształty modeli lub istotna jest estetyka wykonania, np. przy projektowaniu artykułów codziennego użytku [1].

Modelowanie powierzchniowe znajduje zastosowanie w przypadku, gdy powierzchnia elementu projektowanego ma zbyt skomplikowany kształt, aby zamodelować ją tradycyjnymi metodami modelowania bryłowego. Funkcje modelowania powierzchni są nastawione na modelowanie złożonych kształtów powierzchni i w takim przypadku doskonale się sprawdzają. Często jest tak, że w całej konstrukcji jeden lub kilka elementów mają złożone kształty i muszą być modelowane metodami modelowania powierzchni - wynikiem tego procesu są modele powierzchniowe tych elementów. Reszta elementów konstrukcji jest zamodelowana innymi technikami i zapisana jako modele bryłowe. Dla zgodności form modelu całej konstrukcji modele powierzchniowe są przekształcane na modele bryłowe. Takie modele noszą nazwę modeli hybrydowych. Są one tworzone technikami modelowania powierzchniowego i za pomocą zestawu funkcji, przekształcających je do formy modelu bryłowego, przekształcane w następnej fazie do modelu bryłowego. Dalej takie modele bryłowe mogą być edytowane tradycyjnymi technikami modelowania bryłowego [2].

Do tworzenia modeli powierzchniowych można stosować kilka metod. Najważniejsze z nich to:

– wyciągnięcie równoległe profilu lub wzdłuż zadanej ścieżki,
– obrót profilu wokół wybranej osi,
– operacje przycinania i łączenia powierzchni,
– edycja cech modelu powierzchniowego,
– modelowanie swobodne,
– rozwinięcie powierzchni na profilach [4].

Cztery pierwsze metody są bezpośrednim przeniesieniem metod stosowanych w modelowaniu bryłowym, i jako takie, dla głównego zastosowania, czyli odzwierciedlenia kształtu powierzchni, która nie da się określić technikami modelowania bryłowego, nie wnoszą nic nowego. Za pomocą tych czterech pierwszych metod dają się zamode-

lować tylko takie kształty, które dają się zamodelować bezpośrednio metodami modelowania bryłowego. Dwie ostatnie metody są najbardziej wydajne dla modelowania złożonych kształtów.

Modelowanie powierzchniowe poprzez wyciągnięcie równoległe profilu lub wzdłuż zadanej ścieżki

Ten sposób modelowania jest bardzo zbliżony do modelowania brył poprzez wyciągnięcie profilu. Jedyną różnicą jest to, że model powierzchniowy posiada tylko ścianki boczne, brak jest „wypełnienia", z którym mamy do czynienia w modelowaniu bryłowym. Wynika z tego, że w modelowaniu powierzchniowym można wyciągać profil, który nie jest domknięty.

Sposób postępowania w tego typu modelowaniu jest podobny do modelowania bryłowego tzn. konieczne jest w pierwszym kroku narysowanie profilu, a następnie, w drugim kroku następuje jego przesunięcie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny konturu. Możemy też przesuwać kontur wzdłuż zadanej ścieżki (prostej lub krzywej), którą wcześniej zdefiniujemy.

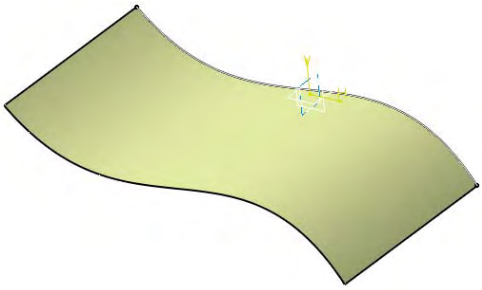
Modelowanie poprzez wyciągnięcie w programie CATIA przeprowadzamy w module ***Generative Shape Design***. Następnie wchodzimy do szkicownika (funkcja *Sketcher*). Po narysowaniu odpowiedniego profilu wychodzimy ze szkicownika. Narysowany profil wyciągamy za pomocą narzędzia ***Extrude*** (rys. 6).

W otwartym oknie ***Extruded Surface Definition*** wybieramy:

- *Profile* – profil, który chcemy przesunąć (nasz narysowany profil).
- *Direction* – płaszczyznę, względem, której przesuwamy narysowany kontur (dla zamkniętego, płaskiego profilu jest to płaszczyzna równoległa do profilu; dla linii jest to każda płaszczyzna równoległa do linii).
- *Reverse Direction* – kierunek przesunięcia.
- *Extrusion Limits* – długość przesunięcia ustalana za pomocą okien *Limit 1*, *Limit 2*.

Rys. 6. Okno narzędzia Extrude

Wybór potwierdzamy naciskając ***OK***. Efekt końcowy widoczny jest na rysunku 7. Powierzchnia powstała poprzez wyciągnięcie profilu – krzywej spline.



Rys. 7. Tworzenie modelu powierzchni poprzez przesunięcie profilu

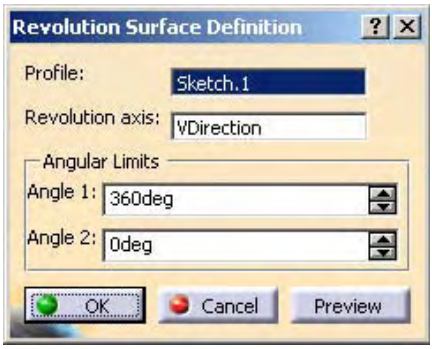
Modelowanie powierzchniowe poprzez obrót profilu wokół wybranej osi

Modelowanie to umożliwia otrzymanie powierzchni obrotowej. Sposób postępowania przy tego typu modelowaniu jest analogiczny jak w modelowaniu bryłowym, tzn. wymagane jest kolejno narysowanie profilu, a następnie jego obrócenie wokół osi obrotu. Podobnie jak w modelowaniu bryłowym poprzez obrót, oś obrotu musi być wcześniej zdefiniowana lub może być osią symetrii automatycznie rozpoznawaną przez program.

Do modelowania stosujemy moduł *Generative Shape Design*. Narysowany profil obrócimy przy pomocy narzędzia ***Revolve*** (rys. 8)

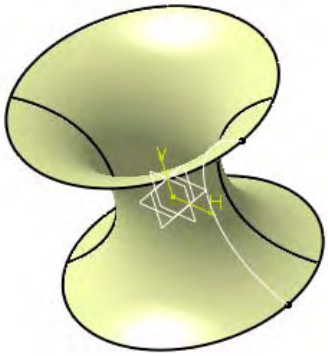
W oknie ***Revolution Surface Definition*** wybieramy:

- profil, który chcemy obrócić – pole *Profile*;
- oś obrotu – pole *Revolution Axis*;
- zakres obrotu – pole *Angular Limits*.



Rys. 8. Okno narzędzia Revolve

Efekt końcowy widoczny jest na rysunku 9.



Rys. 9. Powierzchnia wykonana poprzez obrót profilu

PODSUMOWANIE

W modelowaniu bryłowym zasadniczą rolę odgrywają płaskie (dwuwymiarowe) profile, służące do definiowania poszczególnych operacji: wyciągnięć, wycięć itd. Oczywiście, przy tworzeniu modelu mogą być stosowane również inne obiekty (np. krzywe) jednak profile pozostają zasadniczym elementem definiowania kształtu bryły. Modelowanie bryłowe pozwala w zasadzie na uzyskanie dowolnych kształtów, procedura ich tworzenia, a zwłaszcza edycji, nie jest jednak optymalna z punktu widzenia użytkownika tworzącego modele o bardzo dużym stopniu skomplikowania. Z tego też względu modelowanie bryłowe jest stosowane głównie tam, gdzie najważniejsze jest spełnienie założeń konstrukcyjnych dotyczących funkcjonalności projektowanego wyrobu, zaś estetyka odgrywa mniejszą rolę.

W modelowaniu powierzchniowym również mogą być (i są) wykorzystywane profile, jednak zasadniczą rolę przy tworzeniu modelu odgrywają punkty kontrolne, służące do definiowania krzywych – zarówno płaskich, jak i przestrzennych. Na krzywych tych z kolei rozpinane są powierzchnie. Powierzchnie takie można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą te, które mogą być opisane za pomocą wzorów matematycznych, na przykład powstałe przez obrót krzywych stożkowych (parabola, hiperbola); powierzchnie takie są stosowane m.in. do definiowania kształtu odbłyśników lamp. Druga grupa to powierzchnie swobodne składające się z nieskończonej liczby punktów, opisywanych jedynie przez ich współrzędne. Współrzędne te nie są powiązane zależnościami matematycznymi. Pozwala to na dużą elastyczność przy modelowaniu – z tego względu modelowanie powierzchniowe stosowane jest głównie tam, gdzie występują bardzo złożone kształty modeli lub istotna jest estetyka wykonania, np. przy projektowaniu artykułów codziennego użytku.

W wielu przypadkach korzystne jest połączenie obu sposobów modelowania. Przykładowo, w pierwszym etapie projektowania elementu urządzenia gospodarstwa do-

mowego (odkurzacz, robot kuchenny) można wykorzystać techniki powierzchniowe, aby uzyskać estetyczny wygląd wyrobu, a następnie na podstawie utworzonych powierzchni zdefiniować model bryłowy, który może posłużyć np. do analizy wytrzymałościowej lub symulacji pracy. Takie połączenie modelowania bryłowego i powierzchniowego nazywamy modelowaniem hybrydowym.

PIŚMIENNICTWO

1. Kazimierczak G., Pacuła B. Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2004.
2. Skarka W., Mazurek A. Catia – podstawy modelowania i zapisu konstrukcji. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
3. Tarnowski W. Podstawy projektowania technicznego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
4. Winkler T. Komputerowy zapis konstrukcji. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.

SOLID AND SURFACE MODELING IN CAD/CAM SYSTEMS

Summary

The requirements currently placed on the subjects of design, which is engineered objects, differ from the requirements traditionally formulated, not only because they are getting tougher. Appear qualitatively new requirements arising from the fact that the constantly increasing size of the proposed equipment and systems in terms of breadth and diversity of the male subjects, and also in terms of external relations of the complexity and costs. Design and construction of computer systems based on the principle of geometric modeling. Tools and methods for geometric modeling must be carefully selected, and the knowledge they need to be conscious of their use. In choosing these methods, the designer must take into account a further design processes, so that the model was based on the entire product development process, not a source of design problems.

Keywords: construction, geometric model, solid modeling, surface modeling.

Klaudiusz Lenik[1)], Sylwester Korga[1)]

MODELOWANIE OPORÓW TARCIA DLA OKREŚLONYCH WARUNKÓW PROCESÓW WYTŁACZANIA, PRZETŁACZANIA I WYCIĄGANIA

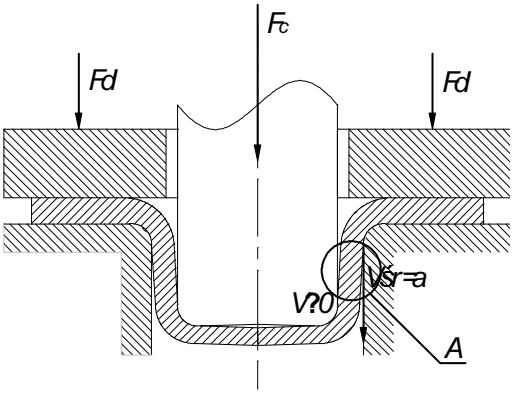
Streszczenie. Do opracowania modelu numerycznego procesu zastosowano metodą elementów skończonych. Budowanie analizowanego procesu uwarunkowane jest koniecznością szczegółowego opisania warunków współpracy zmodelowanym obiektom. Model tarcia przyjęty w tym przypadku będzie miał istotne znaczenie dla wyników uzyskiwanych w obliczeniach numerycznych. Ważnym aspektem zastosowania modelowanych obiektów jest możliwość ich współpracy z Metodą Elementów Skończonych. Wykonanie analizy numerycznej pozwala na indywidualne rozpatrywanie badanego zjawiska jednak w tym przypadku wykorzystanie tej metody wymaga porównania i ewentualnych korekt warunków brzegowych. Zastosowanie tej metody traktowane jest jako wykorzystanie jej do badania zjawisk tarcia ślizgowego w procesie obróbki plastycznej. Zaletą takiego modelowania jest możliwość wielokrotnego eksperymentowania z różnymi warunkami procesu. Mimo faktu tworzenia uproszczonego modelu wybór parametrów obliczeń związany jest ze stworzeniem warunków jak najbardziej odpowiadających warunkom doświadczalnym. Metoda MES może być wykorzystywana do teoretycznego określenia wielkości przewidywanych odkształceń w warunkach obróbki plastycznej z uwzględnieniem zachowanych praw tarcia ślizgowego.

WSTĘP

Obróbka plastyczna na zimno jako odrębny dział obróbki plastycznej jest stosowana w szerokim zakresie w różnych gałęziach przemysłu. Rozumiana jest jako rozległy zbiór metod wytwarzania składający się z wielu procesów technologicznych realizowanych w wyniku odkształcenia plastycznego materiału za pomocą specjalistycznego oprzyrządowania.

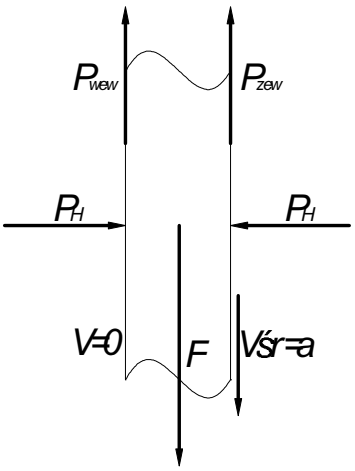
Obróbka plastyczna na zimno charakteryzuje się wieloma zaletami pod względem technicznym jak również ekonomicznym dzięki którym możliwa jest realizacja procesów wytwórczych. Składa się ona ze określonych operacji dzięki którym możliwe jest kształtowanie z rozdzieleniem materiału lub kształtowanie plastyczne. Realizacja tego typu procesów związana jest z koniecznością odpowiedniego dobrania wielu parametrów. Można do nich zaliczyć np.: siłę nacisku, odpowiedni dobór materiału, temperaturę, kształt części roboczych tłoczników i wykrojników, szybkość przesuwania się

[1)] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

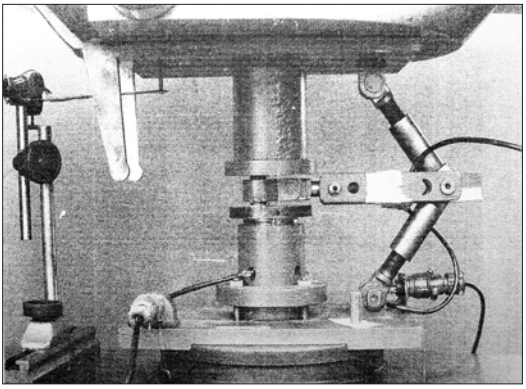


Rys. 1. Schemat oddziaływania sił tarcia w procesie wytłaczania z dociskaczem

stempli jak również procesy tarcia. Praca dotyczy problemów symulacji i analizy zjawiska oporów tarcia w procesach obróbki plastycznej tj.: wytłaczanie, przetłaczanie, wyciąganie. Mimo tego, że tarcie w obróbce plastycznej odgrywa zarówno negatywną jak i pozytywną rolę jego znaczenie jest ogromne. Niekorzystne warunki tarcia w procesie wytwórczym powodują zwiększone zużycie narzędzi, konieczność stosowania większych sił jak i powodują nierównomierność odkształceń w wyrobach końcowych. W niektórych przypadkach niewłaściwy dobór współczynnika tarcia może uniemożliwić przebieg całego procesu [1, 2].



Rys.2. Rozkład sił na powierzchni blachy analizowanego wycinku wytłoczki A



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego

STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

W procesach wytłaczania należącego do obróbki plastycznej na zimno występują zróżnicowane warunki tarcia i inne prędkości badanych punktów po obu stronach odkształcanego elementu (rys. 1). Różnica prędkości, rozkład sił i prędkości została pokazany na wycinku próbki na rysunku 2.

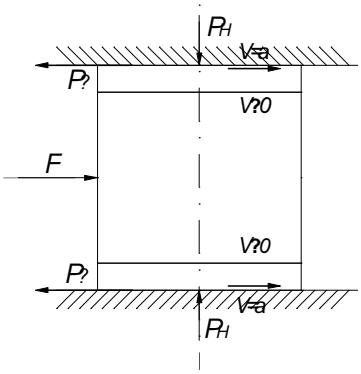
Zaprojektowane w Katedrze Podstaw Techniki stanowisko badawcze do modelowania procesów tribologicznych umożliwia badanie oporów tarcia w warunkach procesu spęczania. Widok stanowiska został pokazany na rysunku 3.

Przedstawione urządzenie służy do badania oporów tarcia metali, w szczególności gdy jeden z elementów pary trącej doznaje odkształceń plastycznych (układ tribologiczny sztywno-plastyczny). Urządzenie umożliwia modelowanie procesów tarcia w warunkach zbliżonych do panujących. Zapewnia ono możliwość prowadzenia badań w warunkach nacisku normalnego i przesuwania materiału po narzędziu. Możliwe jest badanie sił spęczania i stycznych działających na powierzchni styku. Przedstawione urządzenie umożliwia jednocześnie pomiary nacisków i przemieszczeń przy działaniu siły normalnej i stycznej. Uwzględnia również zmianę prędkości przesuwania poziomego materiału w modelowanych procesach obróbki plastycznej.

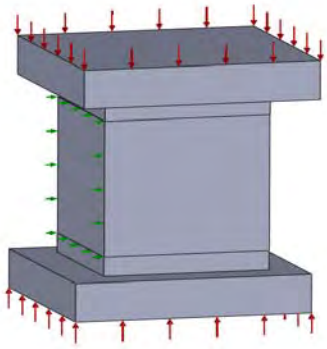
Urządzenie składa się z dwóch płyt 1 i 2, do których mocowane są wymienne płyty robocze 6 i 7, pomiędzy którymi zamocowana jest próbka 3 materiału badanego. Otoczona jest ona obejmą 8 złączoną poprzez wymienne cięgło 5 z dwoma śrubami 4 połączonymi przegubowo z cięgłem 5 oraz płytkami 1 i 2 urządzenia, przy czym na cięgle 5 i przy płycie 2 naklejono tensometry. Powierzchnia boczna próbki jest styczna z uchwytem opaski.

Po wykonaniu badań w warunkach laboratoryjnych wykonano analizę numeryczną omawianego w pracy zjawiska wytłaczania.

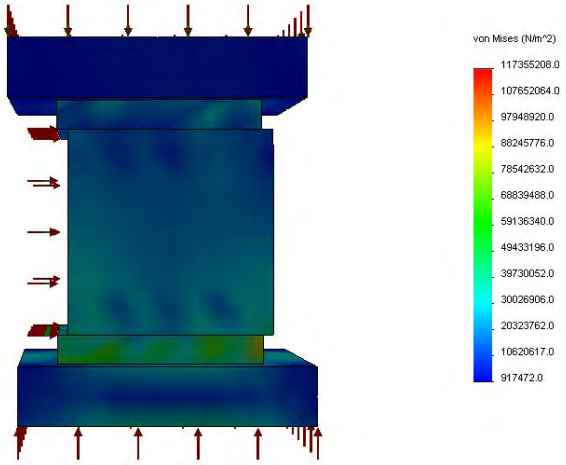
Modelowanie procesów obróbki plastycznej w tym wypadku wytłaczania uwarunkowane jest koniecznością tworzenia zestawów kontaktowych między badanymi płasz-



Rys. 4. Stan rozłożenia przyłożonych sił i powstałych oporów tarcia dla badanej próbki



Rys. 5. Widok modelu badawczego z określonymi warunkami brzegowymi



Rys. 6. Stan naprężeń wyznaczony za pomocą MES

czyznami z uwzględnieniem współczynników tarcia charakterystycznych dla poszczególnych materiałów [3, 4].

Stan rozłożenia oporów tarcia został pokazany na rysunku 4. Schemat ten posłużył do stworzenia modelu badawczego wykorzystanego w MES. Stworzony model trójwymiarowy wraz z określonymi warunkami brzegowymi pokazano na rysunku 5.

Wykorzystanie MES pozwoliło określić jak zachowa się model badawczy względem zadanych stanów obciążeń. Dzięki temu uzyskano gradient naprężeń w badanej próbce oraz określono obszary przemieszczeń tłoczonego materiału (rys. 6).

Przeprowadzenie badań przyjętego układu w procesie przemieszczenia i odkształcenia próbki daje możliwość analizy procesu wytłaczania. Ważnym aspektem zastosowania modelowanych obiektów jest możliwość ich współpracy z Metodą Elementów Skończonych oraz określanie oporów tarcia między współpracującymi płaszczyznami. Wykonanie analizy numerycznej pozwala na indywidualne rozpatrywanie badanego zjawiska oraz przeprowadzenie serii badań z możliwością przyjmowania różnorodnych warunków brzegowych, jak np. nacisk prasy, odległość pracy suwaka, określenie cech materiałowych tłoczonej blachy itp. [3, 4].

WNIOSKI

Metoda MES może być wykorzystywana do teoretycznego określenia wielkości przewidywanych odkształceń w warunkach obróbki plastycznej z uwzględnieniem zachowanych praw tarcia ślizgowego. Stosowanie przybliżonych warunków brzegowych niecałkowicie odzwierciedlających współpracę elementów w warunkach rzeczywistych może powodować uzyskanie rezultatów odbiegających od wyników pomiarów laboratoryjnych.

Metodę tą zastosowano do badania zjawisk oporów tarcia w procesach tłoczenia blach. Zaletą takiego modelowania jest możliwość wielokrotnego eksperymentowania z różnymi warunkami procesu. Wybór parametrów obliczeń związany jest ze stworzeniem warunków jak najbardziej odpowiadających warunkom doświadczalnym.

PIŚMIENNICTWO

1. Lenik K., Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M. 2009. Stanowisko do oceny przydatności płynnych środków smarnych w modelowych warunkach procesu wytłaczania. Zaawansowana Tribologia, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom: 69–74.
2. Lenik K., Borowski G. Stanowisko do badania procesów tarcia. Patent WUP PL-170088B1.
3. Romanowski P. Poradnik obróbki plastycznej na zimno. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
4. Lenik K., Korga S. Wykorzystanie MES do modelowania procesów tarcia w warunkach odkształceń plastycznych. International Scientific Journal – Amme, luty 2010: 121–124.

MODELING OF FRICTION RELUCTANSE TO CERTAIN CONDITIONS REDRAWING, CLINCHING AND EXTRUDE PROCESSES

Summary
Finie element metod was applied in elaboration of the numerical model of the extrusion process. The completion of the analyzed process depends on the necessity of detailed description of cooperation conditions with the modeled object. In the presented case the assumed frictional model is of great importance for the obtained calculation results. The important aspect of the modeled object applications is the possibility to use Finite Element Method. The numerical analysis provides individual consideration of investigated phenomena but at the same time requires some verification of boundary conditions. The application of this method can be treated as the use for the examination of slide friction phenomena during plastic working. The advantage of this modeling is the possibility to perform numerous experiments at different process conditions. Despite the fact that the constructed model is simplified, the choice of computational parameters is connected to the creation of conditions which are very close to the experimental ones. The Finite Element Method can be successfully used for theoretical determination of expected strain in conditions of plastic working with the consideration of slide friction laws.

Jerzy Józwik[1)]

OCENA ODCHYŁKI PROSTOPADŁOŚCI OSI OBRABIARKI STEROWNEJ NUMERYCZNIE Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU QC10 BALLBAR

Streszczenie. W pracy przedstawiono wybrane systemy diagnostyczne obrabiarek CNC. Dokonano analizy możliwości pomiarowych typowych błędów i odchyłek identyfikowanych za pomocą nowoczesnych urządzeń diagnostycznych. Przeprowadzono ocenę prostopadłości osi sterowanych pionowego centrum obróbczego CNC FV580A z wykorzystaniem systemu QC10 Ballbar. Wyniki pomiarów zestawiono z wynikami uzyskanymi dla zbliżonej klasy centrum obróbczego HSC 105 linear. Uzyskane rezultaty badań pozwoliły na ocenę charakteru błędu prostopadłości osi i umożliwiły podjęcie działań zmierzających do minimalizacji wpływu odchyłki prostopadłości osi na wyniki obróbki.
Słowa kluczowe: dokładność geometryczna obrabiarki, diagnostyka obrabiarek, błędy obrabiarek CNC, odchyłka prostopadłości osi.

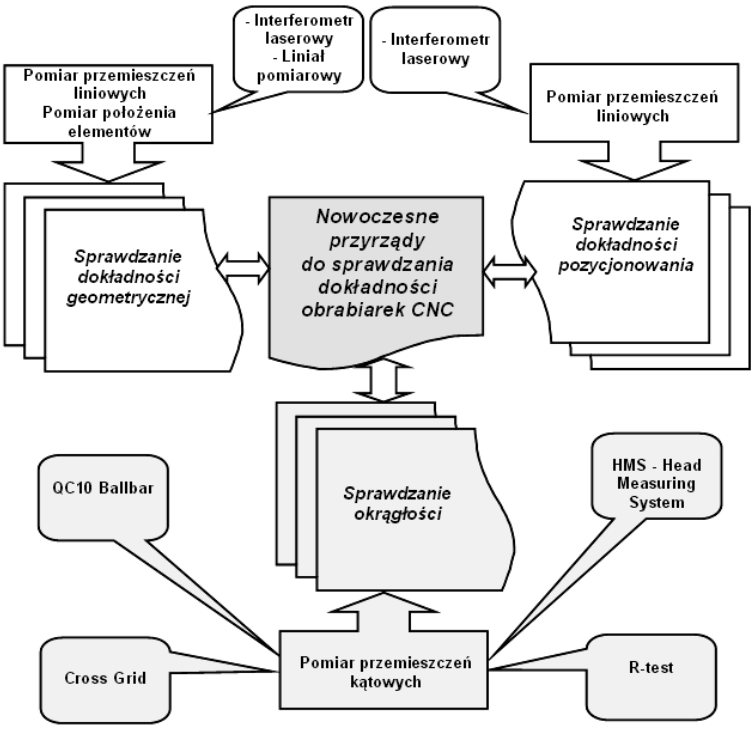
WPROWADZENIE

Diagnostyka obrabiarek sterowanych numerycznie jest bardzo ważnym zagadnieniem, które jest rozpatrywane zarówno przez producentów, jak również użytkowników maszyn [1–5]. Diagnostykę stanu technicznego elementów i zespołów obrabiarek przeprowadza się okresowo lub doraźnie w przypadku awarii [6–9]. Badania diagnostyczne obrabiarek CNC są znormalizowane i opisane w Normie Międzynarodowej ISO 230 (z ang. Acceptance code for machine tools), która jest zatwierdzona przez Polski Komitet Normalizacyjny. Polskie Normy PN-ISO 230 [21] określają zarówno ogólne przepisy badania obrabiarek, jak i szczegółowe metody wyznaczania poszczególnych odchyłek oraz tolerancje ograniczające ich dopuszczalne wartości.

SYSTEMY DIAGNOSTYCZNE I KALIBRACYJNE OBRABIAREK CNC

W procesie diagnozowania stanu zespołów mechanicznych obrabiarek wykorzystywane są różne metody, dzięki którym dokonuje się pomiarów dokładności geometrycznej obrabiarki (rys. 1) [10–20]. Obecnie najbardziej powszechnymi metodami kontroli obrabiarek są metody oparte na sprawdzaniu okrągłości (np. urządzeniem QC10

1) Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

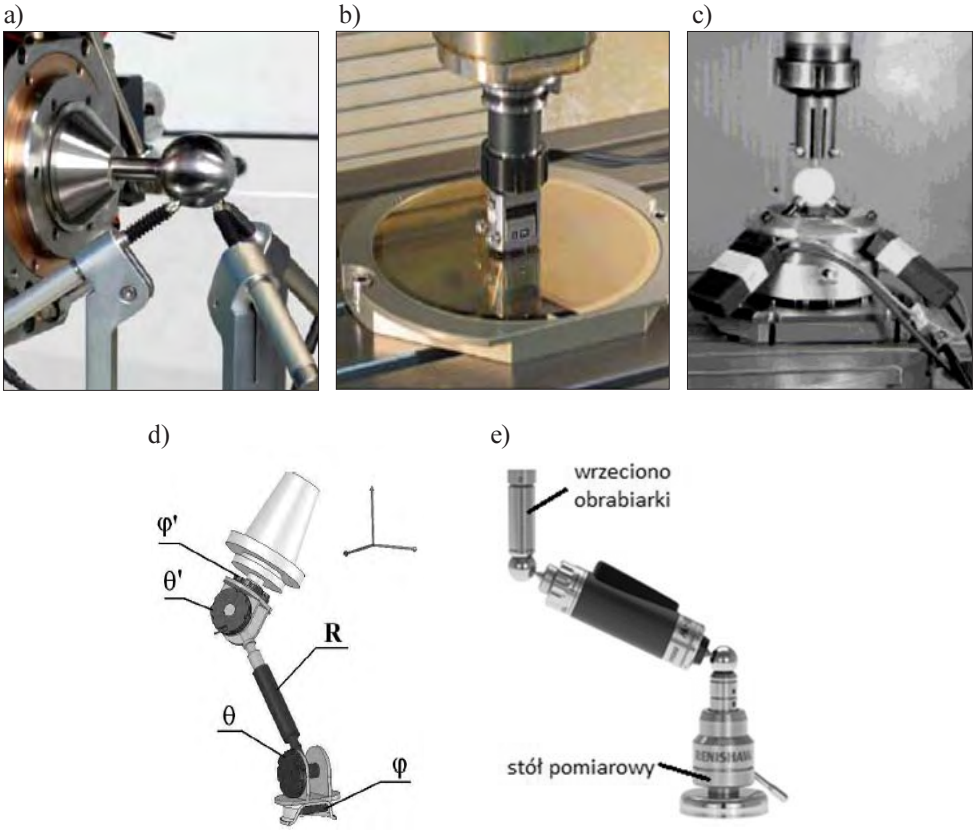


Rys. 1. Nowoczesne przyrzady do sprawdzania dokladnosci obrabiarek CNC [2]

Ballbar [1–3, 6, 10, 12, 14]) lub pomiarze przemieszczeń liniowych (interferometria laserowa). Celem pomiarów jest wyznaczenie maksymalnej wartości odchyłki związanej z danym rodzajem błędu. Systemy diagnostyczne i kalibracyjne obrabiarek CNC bazujące na teście okrągłości pozwalają na wyznaczanie kluczowych parametrów maszyn. Pozwalają również na ich monitorowanie (w skali czasu rzędu miesięcy, kwartałów, lat), co w efekcie powoduje zmniejszenie ryzyka produkcji braków i ponoszenia strat. Stosując najnowsze narzędzia diagnostyczne, takie jak np. QC10 Ballbar, *QC20-W* Ballbar, Cross Grid, R-test, HMS – Head Measuring System (rys. 2), podczas kilkuminutowego pomiaru użytkownik może ustalić, czy maszyna nadaje się do realizacji odpowiednich zadań technologicznych [2, 10, 13]. Dzięki testom diagnostycznym wszelkie naprawy i remonty mogą być odpowiednio wcześniej zaplanowane.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU QC10 BALLBAR

Narzędzie pomiarowe QC10 Ballbar pozwala określić obszary robocze obrabiarki o zwiększonych odchyłkach geometrycznych. Dopuszczalne wartości odchyłek są przedstawione w normach dla każdego rodzaju niedokładności geometrycznych i od-

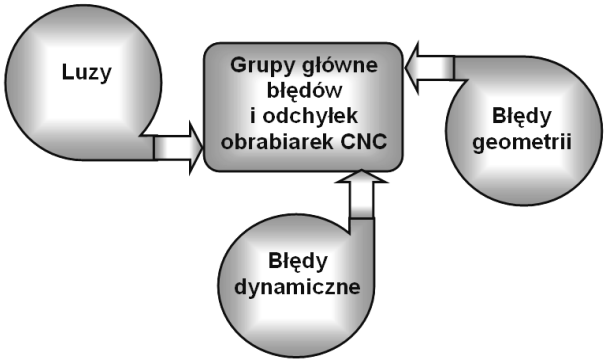


Rys. 2. Wybrane narzedzia diagnostyczne obrabiarek CNC: a) Head Measuring System [22], b) Cross Grid [11] , c) R-Test [16], d) pręt wektorowy [17–20], e) QC20-W Ballbar [2]

noszą się do całej powierzchni roboczej obrabiarki. Pomiar i interpretacja błędów maszyny są realizowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w PN-ISO 230-4. Wykorzystanie testu QC10 pozwala na określenie wielu błędów i odchyłek, które można zaklasyfikować do trzech głównych grup: luzów, błędów geometrii oraz błędów dynamicznych, związanych z regulacją napędów (rys. 3). Ponowny test, po wprowadzeniu kompensacji, jest zazwyczaj potwierdzeniem poprawności pracy maszyny.

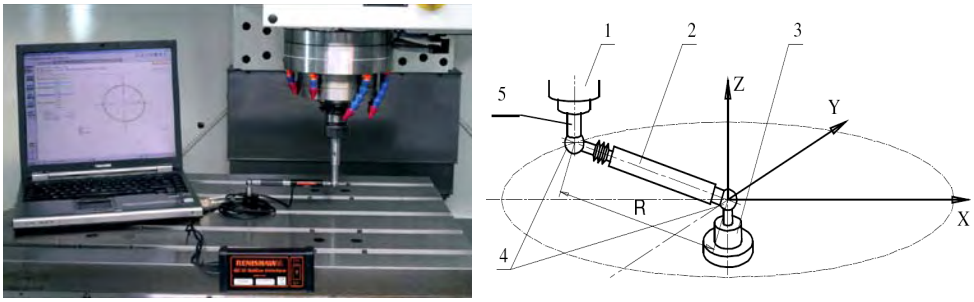
Test QC10 wymaga wykonania przez maszynę interpolacji kołowej (ruchu po okręgu) w wybranej płaszczyźnie dla ustalonej lokalizacji i posuwu (rys. 4). Pomiędzy wrzecionem a stołem maszyny mocowana jest sonda diagnostyczna (Ballbar), z przetwornikiem przemieszczeń, który bardzo dokładnie mierzy promień okręgu w całym zakresie interpolowanego ruchu maszyny.

Spośród najważniejszych odchyłek identyfikowanych podczas testu urządzeniem QC10 Ballbar nalezy wymienić: odchyłkę okrągłości, odchyłkę prostopadłości osi, odchyłkę okresową oraz błąd nawrotu, luz zwrotny w badanej osi i luz poprzeczny. Inne



Rys. 3. Główne grupy błędów i odchyłek obrabiarek CNC [2]

a) b)



Rys. 4. Zasada pomiaru diagnostycznego frezarek CNC szybkim testem QC10 Ballbar: a) widok ogólny, b) zasada przygotowania testu;1 – wrzeciono frezarki, 2 – przetwornik pomiarowy (teleskopowy pret kinematyczny), 3 – podstawka magnetyczna centrujaca, 4 – koncówki kuliste, 5 – uchwyt magnetyczny, R – promien zarysu nominalnego [4, 12]

alternatywne metody pomiaru np. luzu zwrotnego są dużo bardziej czasochłonne. Zastosowanie QC10 Ballbar pozwala w ciągu kilku minut na pozyskanie informacji o geometrii i błędach dynamicznych maszyny, których wykrycie klasycznymi metodami byłoby bardzo czasochłonne. Wśród pozostałych błędów identyfikowanych przez system QC10 Ballbar sa: blad prostoliniowosci, blad cykliczny, blad spirali, blad skali, błąd nadążania, zmianę offsetu, zmianę promienia i inne. [16].

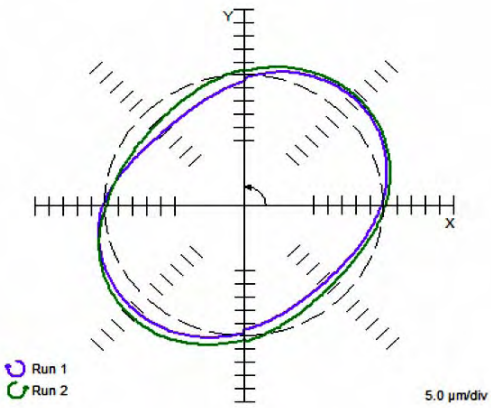
ODCHYŁKA PROSTOPADŁOŚCI OSI OBARABIARKI CNC (SQUARENESS)

Odchyłka prostopadłości osi obrabiarki CNC jest jedną z najważniejszych odchyłek identyfikowanych przez system QC10 Ballbar. Wykres uzyskany podczas testu QC10 Ballbar przybiera kształt owalny o osi głównej położonej pod kątem 45° lub 135° (rys. 5).

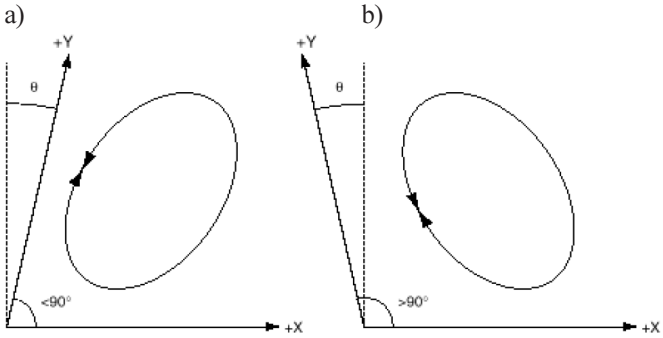
Oś odchylenia wykresu jest jednakowa dla obydwu kierunków przebiegu interpolacji zarówno w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, jak i w kierunku przeciwnym.

Wartością błędu prostopadłości jest kąt zawarty pomiędzy dwoma osiami sterowanymi numerycznie w danej płaszczyźnie pomiarowej. W przypadku przedstawionym na rys. 5 kąt ten jest mniejszy niż 90°. Błąd prostopadłości osi obrabiarki osiąga wartość zero tylko wtedy, gdy osie testowanej płaszczyzny są idealnie prostopadłe względem siebie. Jednostką błędu prostopadłości jest [μm/m], istnieje możliwość wyboru innych jednostek wyniku testu (takich jak: μm/mm, μm/ft, kąt w stopniach lub sekundach). Wyboru dokonuje się poprzez odpowiednie ustawienie parametrów oprogramowania. Gdy kąt pomiędzy dwoma osiami liczony w ich dodatnim kierunku nie przekracza wartości 90°, to wtedy błąd prostopadłości przybiera wartości ujemne (rys. 6a). Natomiast gdy kąt pomiędzy dwoma osiami, liczony w ich dodatnim kierunku przekracza wartość 90°, to wtedy błąd prostopadłości przybiera wartości dodatnie (rys. 6b).

Odchylenie prostopadłości osi może mieć charakter lokalny lub może występować na całej długości osi, zarówno w płaszczyźnie poziomej jak również pionowej.



Rys. 5. Graficzne przedstawienie odchyłki prostopadłości identyfikowanej podczas testu kołowego systemu QC10 Ballbar



Rys. 6. Odchyłka prostopadłości: a) błąd ujemny (negative) , b) błąd dodatni (positive) [12, 14]

W celu jednorazowej oceny błędu prostopadłości osi obrabiarki CNC zaleca się wielokrotne przeprowadzenie testu w kilku miejscach wzdłuż prowadnic obrabiarki. Dzięki temu można ustalić, czy błąd ma charakter lokalny, czy też globalny (tzn. czy występuje wzdłuż całej długości prowadnic). Jeżeli błąd ma charakter lokalny (występuje tylko na pewnej długości osi), to należy starać się używać obszar prowadnic, gdzie wpływ błędu prostopadłości jest najmniejszy. Natomiast jeśli prowadnice wykazują błąd prostopadłości na całej długości, wtedy niezbędne jest przeprowadzenie korekcji ustawienia prowadnic. Jeśli po przeprowadzeniu korekcji ustawienia prowadnic błąd prostopadłości osi nie zostanie zminimalizowany, to należy dokonać wymiany prowadnic na nowe.

STANOWISKO BADAWCZE ORAZ WARUNKI POMIARU

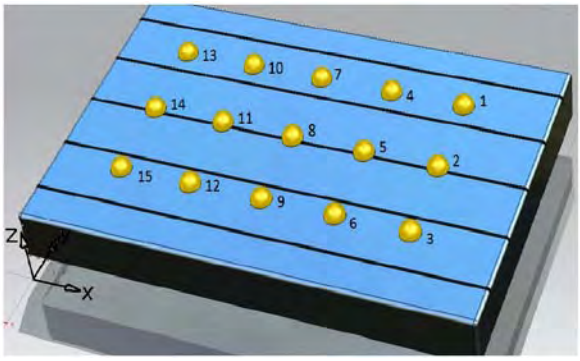
Badania przeprowadzono na czteroosiowym, pionowym centrum frezarskim FV580A wyposażonym w system sterowania numerycznego firmy FANUC (rys. 7 b, d) oraz pięcioosiowe centrum obróbkowe HSC 105 linear (rys. 7 a, c), wyposażone w sterowanie firmy Heidenhain. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 20 °C. Współczynnik rozszerzalności cieplnej dla obrabiarki wyniósł 11 μm/°C. Do obsługi oprogramowania QC10 użyto stacjonarnego komputera spełniającego odpowiednie wymagania sprzętowe.

Przebieg eksperymentu

Przed rozpoczęciem badań diagnostycznych wykonano następujące czynności:

- podłączono urządzenie QC10 Ballbar do stacjonarnego komputera poprzez interfejs szeregowy RS232,
- wybrano płaszczyznę pomiarów XY (rys. 8),
- określono miejsca pomiarowe na stole frezarki – 15 punktów pomiarowych rozmieszczonych równomiernie w układzie „prostokąta" (rys. 8),
- ustalono wartości prędkości ruchu posuwowego dla stołu obrabiarki: v_f=500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000 mm/min,
- dokonano wyboru wartości promienia trzpienia pomiarowego (L=100, 150), rys. 4b,
- ustalono kąt realizacji testu: 360°,
- określono wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej obrabiarki 11μm/°C oraz temperaturę 20 °C,
- do pamięci układu sterowania CNC wprowadzono program realizujący ruch pomiarowy,
- dokonano kalibracji teleskopowego pręta kinematycznego,
- zamontowano na stole frezarki teleskopowy pręt kinematyczny (rys. 6),
- na frezarce uruchomiono program realizujący ruch pomiarowy i rozpoczęto procedurę pomiarową.

Rys. 7. Stanowisko badawcze: a) HSC 105 linear, b) FV580A, c) HSC z urządzeniem QC10, d) FV-580A z urządzeniem QC10



Rys. 8. Schemat stołu obrabiarki wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi, wykonany w programie graficznym NX 6.0

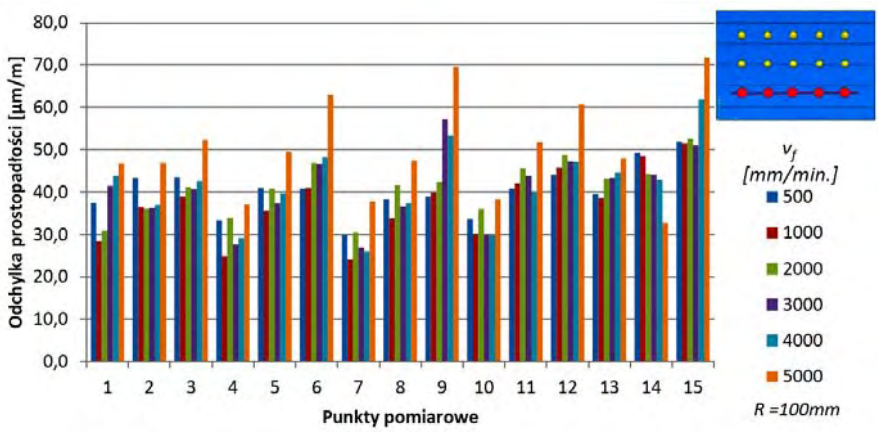
Punkty pomiarowe znajdujące się na stole obrabiarki, zostały rozmieszczone równomiernie. W punktach tych dokonano pomiarów z różnymi parametrami interpolacji kołowej (różne długości kinematycznego pręta pomiarowego, różne posuwy). Odległość „zewnętrznych" punktów od krawędzi stołu wynosiła 150 mm. Odstępy pomiędzy punktami w osi X i Y wynosiły 60 mm.

Wykonano 184 pomiary w piętnastu punktach rozmieszczonych jak na rysunku 8. Badania eksperymentalne przeprowadzono przy użyciu dwóch długości pręta kinematycznego: 100 mm oraz 150 mm oraz sześciu różnych prędkości posuwu (v_f= 500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000 mm/min). Podczas wykonywania pomiarów nie stwierdzono zakłóceń pochodzących od czynników zewnętrznych. Pomiary wykonano według zaleceń firmy Renishaw zgodnie z normą ISO 230.

Analiza wyników badań eksperymentalnych dla promienia pomiarowego *R = 100 mm*

W efekcie przeprowadzonych pomiarów dla promienia pomiarowego *R = 100 mm,* uzyskano wyniki w postaci wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki CNC. Odchyłki te przedstawiono w funkcji prędkości ruchu posuwowego oraz położenia punktu pomiarowego na stole obrabiarki (rys. 9). W zasadzie odchyłka prostopadłości osi nie zależy od prędkości ruchu posuwowego stosowanego w teście kołowości. Zaobserwowano jednak, że im większa wartość ruchu posuwowego, tym większe wartości zarejestrowanych odchyłek prostopadłości osi. Zauważono również, że w punktach pomiarowych 3, 6, 9, 12, 15 (rys. 8) występują zwiększone wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki. Na rysunku 9 w prawym górnym rogu umieszczono schemat stołu obrabiarki z naniesionymi punktami pomiarowymi.

Zaobserwowano, że punkty pomiarowe 3, 6, 9, 12, 15 znajdują się w jednej linii w osi X (rys. 9). Świadczy to o lokalnym charakterze występowania maksymalnej odchyłki prostopadłości osi w płaszczyźnie X-Y obrabiarki. Maksymalna odchyłka prostopadłości wyniosła 71,8 μm/m, zaś minimalna odchyłka prostopadłości wyniosła 24,1 μm/m. Prawie we wszystkich punktach pomiarowych, maksymalne wartości odchyłki prostopadłości wystąpiły dla ruchu posuwowego v_f= 5000 mm/min

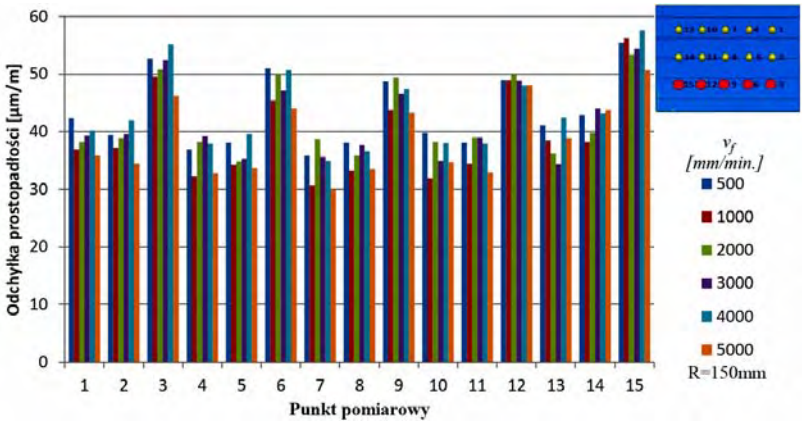


Rys. 9. Przebieg zmian odchyłki prostopadłości osi w piętnastu punktach na stole obrabiarki CNC w funkcji prędkości ruchu posuwowego v_f, dla R = 100 mm

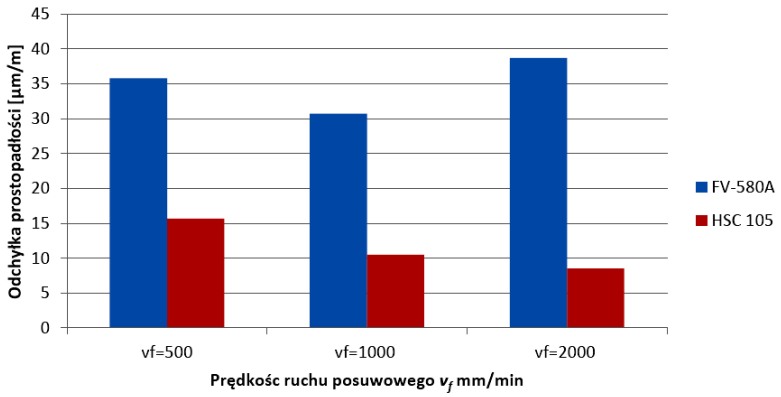
Analiza wyników badań eksperymentalnych dla promienia pomiarowego *R = 150 mm*

Na rysunku 10 przedstawiono przebieg zmienności odchyłek prostopadłości dla promienia pomiarowego *R = 150 mm.* Cechą szczególną jest powtarzalny charakter zmian w punktach 3, 6, 9, 12, 15. Kolorem czerwonym zaznaczono schematycznie położenie punktów o podwyższonych wartościach odchyłki prostopadłości. Przyczyną powstania takiego przebiegu wykresu może być zużycie prowadnic w pewnym obszarze, lub też niewłaściwe wypoziomowanie stołu obrabiarki. W większości przypadków, maksymalne wartości odchyłki prostopadłości zarejestrowano przy prędkości ruchu posuwowego $v_f = 4000$ *mm/min*. Maksymalna wartość odchyłki prostopadłości wyniosła 57,6 *μm/m* zaś minimalną 30 *μm/m*.

W celach porównawczych dokonano oceny prostopadłości osi obrabiarki HSC 105. Próby wykonano dla losowo wybranego punktu pomiarowego oznaczonego nr 7 na rysunku 8. Test kołowości przeprowadzono dla promienia pomiarowego *R = 150 mm,* przy trzech prędkościach ruchu posuwowego v_f (500, 1000, 2000 *mm/min*). Uzyskane wyniki zestawiono na wykresie porównawczym (rys. 11). Przedstawione na wykresie wartości odchyłki prostopadłości dla obrabiarki FV580A oraz obrabiarki HSC 105 wskazują na dużo lepszą dokładność geometryczną obrabiarki HSC 105. Zaobserwowano, że odchyłki dla obrabiarki FV580A przybierają wartości dodatnie i są ponad dwukrotnie większe niż odchyłki prostopadłości obrabiarki HSC 105. Dla obrabiarki HSC 105 przy prędkości ruchu posuwowego v_f = 500–2000 *mm/min* zaobserwowano spadek wartości odchyłek prostopadłości. Maksymalną wartość odchyłki prostopadłości zaobserwowano dla prędkości ruchu posuwowego v_f = 2000 *mm/min* i wynosi ona 38,7 *μm/m*. Efektem występowania na obrabiarce odchyłki prostopadłości jest brak wzajemnej prostopadłości frezowanych płaszczyzn.



Rys. 10. Przebieg zmian odchyłki prostopadłości osi w piętnastu punktach na stole obrabiarki CNC w funkcji prędkości ruchu posuwowego v_f, dla R = 150 mm



Rys. 11. Porównanie odchyłki prostopadłości osi obrabiarki FV580A i HSC 105 linear, w punkcie pomiarowym 7, dla R = 150 mm

Wynika to ze złego wzajemnego ustawienia prowadnic osi X i Y, zużycia prowadnic lub ich odkształceń sprężystych oraz cieplnych. Powodem dużej wartości odchyłki prostopadłości osi obrabiarki może być także nadmierny luz. Inną przyczyną może być również niewłaściwe lub nieprecyzyjne wypoziomowanie stołu obrabiarki.

Przyczyna ta jednak – wskutek pomiarów interferometrem laserowym została w ostateczności wykluczona. Potwierdził to również test zrealizowany na różnych wysokościach w kierunku osi Z, z którego wynika powtarzalny charakter błędu na każdej z nich. W oparciu o przeprowadzone pomiary stwierdzono lokalny charakter występowania odchyłki prostopadłości osi pionowego centrum obróbczego FV580A. Jako zalecany sposób przeciwdziałania błędom obróbki wynikającym z lokalnego występowania odchyłki prostopadłości osi jest unikanie obróbki w zidentyfikowanej przestrzeni roboczej obrabiarki. Jest to przestrzeń, w których odchyłka prostopadłości osi obrabiarki osiąga maksymalne wartości i występuje w obszarze wyznaczonym punktami pomiarowymi 3, 6, 9, 12, 15.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Systemy diagnostyczne i kalibracyjne pozwalają na wyznaczanie kluczowych parametrów obrabiarek i tym samym ich monitorowanie. Efektem tego jest zmniejszenie ryzyka produkcji braków i ponoszenia strat.

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, na pionowym centrum frezarskim FV-580A stwierdzono, że w pewnym obszarze pomiarowym, otrzymano odchyłki o wartościach znacznie większych, niż w pozostałych lokalizacjach. Charakterystyczne punkty pomiarowe, w których występowały odchyłki o podwyższonych wartościach to: 3, 6, 9, 12, 15 (rys. 8). Punkty te, leża w jednej linii równoległej w osi X. Takie rozmieszczenie sugeruje lokalne zużycie prowadnic obrabiarki.

Doraźnie, środkiem zaradczym zmierzającym do zminimalizowania wpływu tak znaczącej odchyłki prostopadłości osi na wyniki obróbki, jest zmiana położenie uchwytu mocującego przedmiot obrabiany na obrabiarce. Ponieważ wartość odchyłki prostopadłości osi występuje również w pozostałych punktach pomiarowych (rys. 8) jedynym sposobem jej minimalizacji jest korekta ustawienia prowadnic, zaś w ostateczności ich wymiana. Podczas dokonywania pomiarów na pionowym centrum frezarskim FV-580A, nie zauważono czynników zewnętrznych mogących mieć wpływ na bezpośrednie wyniki pomiaru.

Ocena porównawcza centów obróbczych – eksploatowanego pionowego centrum frezarskiego FV-580A i nowego HSC 105 wskazuje istotne różnice odchyłki prostopadłości osi w badanej płaszczyźnie X-Y. Wyniki wskazują na większe zużycie eksploatacyjne centrum FV-580A o czym świadczy dwukrotnie wyższa wartość odchyłki prostopadłości uzyskana w trakcie realizacji testów.

Dla uzyskania wymaganej dokładności realizowanych ruchów i precyzji zajmowanych położeń, nie wystarczy tylko naprawa bieżących usterek. Konieczne staje się częste systematyczne badanie diagnostyczne połączone z ewentualną regulacją np. układów sterowania, napędów, itp. Ważnym obszarem związanym niezawodnym działaniem maszyn i urządzeń CNC jest racjonalne, uzasadnione naukowo, przewidywanie ich stanów przyszłych. Możliwość prognozowania stanu technicznego obrabiarki stanowi wyzwanie we współczesnym przedsiębiorstwie. Wiedza z zakresu diagnostyki maszyn i urządzeń CNC, a w szczególności metod diagnostycznych oraz metod przewidywania stanu przyszłych może pozwolić na osiąganie wymiernych korzyści utylitarnych.

PIŚMIENNICTWO

1. Durica I., Kuric I. Calibration and machine performance monitoring. 9th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing, Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2008.
2. Honczarenko J., Kwaśniewicz J. Nowe systemy pomiarowe do sprawdzania dokładności obrabiarek CNC. Mechanik, 12, 2008: 1012–1016.
3. Józwik J. i in. Ocena testu QC10 do kontroli of-line obrabiarek sterowanych numerycznie CNC. Maintenance and Reliability, nr 3, 2010.
4. Józwik J. i in. Prognozowanie dokładności obrabiarki CNC na podstawie szeregu czasowego. Cz. 1. Wybrane urządzenia diagnostyczne obrabiarek CNC. 10th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2009.
5. Józwik J. i in. Prognozowanie dokładności obrabiarki CNC na podstawie szeregu czasowego. Cz. 2. Prognozowanie odchyłki okrągłości i prostopadłości osi obrabiarki CNC. 10th International Conference Automation in Production Planning and Manufacturing. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina. Slovakia, 2009.
6. Kakino Y., Ihara Y., Shinohara A. Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method, Hasnser Verlag Publishers, 1993.
7. Kráľ J. et al.: Verifikácia presnosti NC a CNC trojosej frézy. Acta Mechanica Slovaca, 12, 3, 2008: 229–232.

8. Lei W.T., Sung M.P., Liu W.L., Chuang Y.C. Double ballbar test for the rotary axiss of five-axis CNC machine tools. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47, 2, 2007: 273–285.
9. Nakazawa H., Ito K. Measurement system of contouring accuracy on NC Machine Tools. Bull. Japan Soc. Prec. Eng., 12, 4, 1978: 189.
10. Rżysko T.: Nowe systemy pomiarowe do stosowania na tokarkach CNC. Mechanik, 10, 74, 2001: 665.
11. Research on Error Modelling and Identification of 3 Axis NC Machine Tools Based on CrossGrid Encoder Measurement. Journal of Physics: Conference Series 48, 2006: 91–100.
12. Staniek R. Badanie dokładności obrabiarek Szybkim Testem QC10 (Ballbar). Praca niepublikowana. Poznań 2005.
13. Szafarczyk M. Urządzenie do sprawdzania dokładności obrabiarek 5-osiowych. Mechanik 4, 79, 2005: 268.
14. Ślązak Ł., Magdziak M. Nowoczesne systemy pomiaru przedmiotów na obrabiarkach NC. Mechanik, 5-6, 81, 2007: 483–489.
15. Uhlmann E., Hohwieler E., Geisert C. Monitoring of Slowly Progressing Deterioration of CNC-Machine Axes. 2nd I'PROMS Virtual International Conference 3–14 July 2006 Intelligent Production Machines and Systems. Elsevier, 2006.
16. Weikert S. R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools, CIRP Annals, 53, 1, 2004: 429.
17. Wypysiński R. Zastosowanie niezależnego układu współrzędnych do badania dokładności maszyn NC. XII Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2008, Pomiary Automatyka Robotyka, Warszawa 2008.
18. Wypysiński R. Vector Bar for accuracy testing of NC lathes. IV International Conference on Machining and Measurement of Sculptured Surfaces, No A/2/MMSS06.
19. Wypysiński R. Wektorowa metoda sprawdzania maszyn NC na przykładzie tokarek. XI Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2007, Pomiary Automatyka Robotyka, mat. na płycie CD, Warszawa 2007.
20. Wypysiński R. Zastosowanie niezależnego układu współrzędnych do badania dokładności maszyn NC. XII Konferencja Naukowo-Techniczna Automation 2008. Pomiary Automatyka Robotyka, mat. na płycie CD, Warszawa 2008.
21. PN-ISO 230-4:1999 – Przepisy badania obrabiarek. Badania okrągłości w obrabiarkach sterowanych numerycznie.
22. www.fidia.com/english/acc_eng_fr.htm

ASSESSMENT OF SQUARENESS ERROR OF CNC MACHINE TOOL AXES USING THE QC10 BALLBAR SYSTEM

Summary
The paper presents some diagnostic systems of CNC machine tools. An analysis of the measurement capabilities of typical errors and defects identified by modern diagnostic equipment is presented. Squareness error assessment of CNC vertical machining centre FV580A axis is realized. The measurement results were compared with results obtained for a similar class machining center HSC 105 linear. Obtained results of the tests allowed the assessment of squareness error, and allowed to take action to minimize the impact of this error on the results of cutting.
Keywords: geometric accuracy of machine tools, CNC machine tools diagnostic, CNC machine errors, squareness error.

Tomasz Jachowicz[1)]

TECHNOLOGIA ODLEWANIA ROTACYJNEGO

Streszczenie. W artykule scharakteryzowano proces odlewania rotacyjnego tworzyw polimerowych. Przedstawiona została klasyfikacja metod odlewania tworzyw polimerowych oraz podstawy realizacji procesu technologicznego odlewania rotacyjnego. Omówiono rozwiązania konstrukcyjne poszczególnych rodzajów maszyn do odlewania rotacyjnego tworzyw. Scharakteryzowano wady i zalety tych maszyn przetwórczych oraz czynniki wpływające na rozwój konstrukcji form i maszyn do odlewania rotacyjnego.
Słowa kluczowe: odlewanie tworzyw, odlewanie rotacyjne, polimery, maszyny do przetwórstwa tworzyw.

WPROWADZENIE

Odlewaniem nazywa się przeprowadzenie tworzywa ze stanu ciekłego, plastycznego lub rzadziej stałego w stan stały bez stosowania ciśnienia bądź pod niewielkim ciśnieniem (zwykle nie przekraczającym 0,3 MPa), przy użyciu formy odlewniczej z jednym lub kilkoma gniazdami formującymi w temperaturze normalnej lub podwyższonej, po czym następuje wyjęcie z gniazda formy odlewniczej przedmiotu, zwanego w tym przypadku odlewem [11]. Odlewanie tworzyw dzieli się na normalne i obrotowe oraz wylewanie i zalewanie. Wśród metod odlewania obrotowego wyróżnia się odlewania odśrodkowe oraz odlewanie rotacyjne [3, 11].

Cechą charakterystyczną odlewania normalnego jest swobodne wypełnianie gniazda formującego formy odlewniczej na skutek działania siły grawitacji (przy odlewaniu bezpośrednim, zwanym także bezciśnieniowym) bądź też efekcie działania niewielkiego ciśnienia (podczas odlewania pośredniego, zwanego niskociśnieniowym) [7, 11]. W odlewaniu normalnym wykorzystuje się tworzywa utwardzalne w stanie ciekłym lub plastycznym. Przygotowanie tworzywa odbywa się przed samym procesem odlewania i polega na zmieszaniu (przeważnie mechanicznym) oraz odgazowaniu mieszaniny. Mieszanina do odlewania zawiera dodawane w ustalonej kolejności w określonych proporcjach: polimer, utwardzacz, rozcieńczalnik, napełniacz, środki barwiące, przyspieszacz i inne niezbędne składniki dodatkowe.

Odlewanie obrotowe jest procesem przetwórczym, w którym wykorzystuje się siłę odśrodkową działającą na tworzywo odlewane, znajdujące się w gnieździe formującym formy wewnętrznej dzielonej bądź wykorzystuje się również ciśnienie zewnętrzne.

1) Katedra Procesów Polimerowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Przy pomocy odlewania obrotowego wytwarza się przede wszystkim zbiorniki, rury i inne elementy osiowo symetryczne, w szczególności o wyjątkowo dużych wymiarach zewnętrznych, których nie można otrzymać przy zastosowaniu innych metod przetwórstwa polimerów [2, 5]. Podczas odlewania obrotowego załadowana tworzywem forma wykonuje wraz z układem narzędziowym ruch obrotowy lub planetarny, w efekcie czego na ciekłe lub uplastycznione tworzywo oddziałuje siła odśrodkowa. Jeżeli forma odlewnicza wykonuje ruch obrotowy wokół jednej osi, mamy do czynienia z odlewaniem odśrodkowym, natomiast jeśli forma odlewnicza wykonuje wokół dwóch lub więcej osi ruch planetarny, z ewentualnym kołowo-zwrotnym ruchem pomocniczym, wtedy proces takiego odlewania nazywany się odlewaniem rotacyjnym [2, 5, 11].

Wylewanie jest jedną z metod otrzymywania folii i polega na wypływie ze stałym natężeniem tworzywa w stanie plastycznym lub rzadziej ciekłym na przesuwające się podłoże. Grubość folii jest regulowana albo przez odległość między walcami albo przez szerokość szczeliny w głowicy wylewającej [11].

Zalewanie jest odmianą odlewania, którego celem jest regeneracja elementów maszyn oraz zabezpieczanie przed uszkodzeniem lub dostępem powietrza elementów konstrukcyjnych (głównie w elektronice) [11].

ROZWÓJ ODLEWANIA ROTACYJNEGO

Pierwsze przykłady zastosowania odlewania rotacyjnego miały miejsce już kilkaset lat temu, czego przykładem było wytwarzanie przez szwajcarskich cukierników czekoladowych, pustych w środku, jaj [12, 16]. Dziewiętnastowieczny rozwój metalurgii wykorzystał metodę odlewania rotacyjnego do wytwarzanie odlewów ze żeliwa i metali nieżelaznych, czego przykładem może być brytyjski patent Petersa z 1855 r. na wytwarzanie pocisków artyleryjskich [15]. Na początku ubiegłego stulecia w Stanach Zjednoczonych przy pomocy odlewania rotacyjnego wykonywano przedmioty z wosku oraz gipsu. W obszarze przetwórstwa tworzyw polimerowych odlewanie rotacyjne po raz pierwszy wykorzystano w latach dwudziestych i trzydziestych XX w. do przetwórstwa polichlorku winylu w postaci plastizolu i wytwarzania początkowo niewielkich elementów z tworzyw, między innymi rękawic, butów i główek lalek, zaś w późniejszym okresie części o większych wymiarach, takich jak słupki drogowe, boje i zderzaki samochodowe [15, 16]. Przykłady przedmiotów wykonanych metodą odlewania rotacyjnego zostały przedstawione na rysunku 1.

Technologia odlewania rotacyjnego najpierw rozwijała się w USA, w Europie rozpowszechniła się w latach sześćdziesiątych XX w. W początkowym okresie szerszy rozwój tej metody przetwórstwa tworzyw ograniczało przekonanie o jej małej wydajności, ograniczonej ilości tworzyw możliwych do przetwórstwa i niewielkiej różnorodności kształtów możliwych do uzyskania. Zdecydowanym przełomem w rozpowszechnieniu się odlewania rotacyjnego w branży tworzyw było opracowanie w końcu lat pięćdziesiątych technologii wytwarzania polietylenu w postaci proszku (Pallmann),

Rys. 1. Przykłady przedmiotów wykonanych metodą odlewania rotacyjnego: lalka z lat pięćdziesiątych XX w. [16], przenośna toaleta, zbiornik i kajak [9]

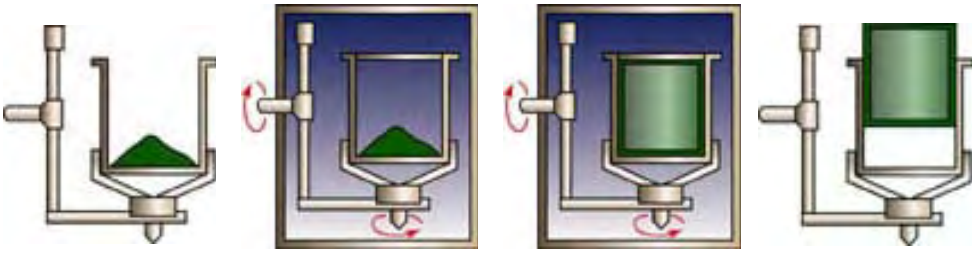
specjalnie na potrzeby odlewania rotacyjnego [15]. W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych następował stały wzrost wykorzystania odlewania rotacyjnego, spowodowany zwiększeniem się ilości odmian polietylenu możliwego do zastosowania w omawianej technologii, a także wprowadzeniem do niej nowych tworzyw, takich jak PA, PC, PP, PS, ABS. Istotne znaczenie miało pojawianie się nowych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn do odlewania rotacyjnego, czego przykładami są maszyny typu karuzelowego (McNeil), *Rock'n'Roll* (Engel) oraz ogrzewane gorącym olejem (Krauss Maffei) [14]. Lata dziewięćdziesiąte przyniosły skokowy wzrost zastosowania odlewania rotacyjnego, co wiązało się przede wszystkim z możliwością uzyskiwania wyrobów o coraz bardziej skomplikowanych kształtach oraz opracowaniem specjalnych tworzyw dla tej technologii. Wyraźny wpływ na wzrost dynamiki rozwoju odlewania rotacyjnego mają nowoczesne komputerowe systemy sterowania i regulacji oraz pojawienie się programów komputerowych do symulacji i optymalizacji procesu odlewania rotacyjnego (Rotolog™) [9, 10]. Na początku XXI wieku pojawiły się maszyny do odlewania rotacyjnego, w których cały proces wytwórczy udało się zautomatyzować, począwszy do zasypania tworzywa do formy odlewniczej na wyjęciu gotowego odlewu skończywszy (Persico) [9]

PROCES ODLEWANIA ROTACYJNEGO

Odlewanie rotacyjne (ang. *rotational moulding* lub *rotomoulding*) jest jedną z nielicznych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych, która umożliwia otrzymywanie elementów z tworzyw typu powłokowego, to znaczy pustych w środku, w jednej operacji technologicznej, bez szwu i śladów łączenia. Cechą charakterystyczną odlewania rotacyjnego jest równomierne rozprowadzenie stopionego tworzywa po ściankach gniazda formującego na skutek działania siły odśrodkowej. W celu wytworzenia siły odśrodkowej o odpowiedniej wartości forma odlewnicza wykonuje ruch obrotowy lub planetarny, co najmniej wokół dwóch osi [2, 6]. Kształt gniazda formującego formy

do odlewania rotacyjnego odzwierciedla zewnętrzną powierzchnię odlewanego zbiornika, podczas gdy powierzchnia wewnętrzna jest kształtowana swobodnie na skutek ruchu tworzywa pod wpływem siły odśrodkowej. W omawianej technologii forma jest dzielona i składa się z kilku części, a jej budowa jest uzależniona od kształtu odlewu i konieczności takiego ułożenia linii podziału formy, aby umożliwić poprawne usunięcie gotowego odlewu z formy [3, 5, 6]. Tworzywo jest wprowadzane do formy najczęściej w postaci proszku lub mikrogranulek, po czym na skutek ogrzewania formy odlewniczej ulega stopieniu w jej gnieździe. Forma do odlewania rotacyjnego jest ogrzewana przy pomocy gazów spalinowych lub gorącego powietrza. Ruch spalin ogrzewających formę wzmagany jest przez wentylator, co powoduje wyrównanie temperatury w całej komorze i poprawę współczynnika wnikania ciepła do formy. Forma odlewnicza posiada gniazdo o kształcie i wymiarach odpowiadających kształtowi i wymiarom zewnętrznym odlewu, dzięki czemu gotowy odlew nie zawiera naddatków materiału po wyjęciu z formy, bowiem ewentualny nadmiar (lub niedomiar) tworzywa nie zmienia kształtu odlewu, a jedynie wpływa na grubość ścianek. Zestalenie (lub utwardzenie) tworzywa następuje w obracającej się formie, którą po zastygnięciu odlewu zatrzymuje się, otwiera i z jej gniazda wyjmuje gotowy element [2, 6, 13] . Otrzymywane odlewy, niekoniecznie wydrążone, dają możliwość efektywnego konkurowania tej technologii w niektórych obszarach zastosowań z technologiami wtryskiwania lub wytłaczania z rozdmuchiwaniem.

Odlewanie rotacyjne jest procesem cyklicznym i wyróżnia się w nim następujące fazy: załadunek, ogrzewanie, chłodzenie oraz wyładunek, przedstawione na rysunku 2 [5, 6, 13]. W fazie załadunku do otwartej formy wsypywana jest odważona porcja tworzywa, najczęściej w postaci proszku. Jeżeli tworzywo przed rozdrobnieniem do postaci proszku nie było barwione, wówczas barwnik w postaci proszku jest mieszany z proszkiem tworzywa przed załadunkiem. W fazie nagrzewania forma jest już zamknięta i rozpoczyna się jej nagrzewanie w sposób zależny od rodzaju maszyny. Wtedy sproszkowane tworzywo przechodzi w stan plastyczny lub ciekły i na skutek siły odśrodkowej wywołanej ruchem obrotowym formy zaczyna przylegać do powierzchni ścianek formy. Najczęściej stosowanymi zamknięciami do formy są szybko zwalniane zaciski. Faza chłodzenia zaczyna się w momencie, w którym zakończy się etap równo-



Rys. 2. Fazy procesu odlewania rotacyjnego: od lewej – załadunek, ogrzewanie, chłodzenie i wyładunek [9]

miernego pokrywania ścianek formy odlewniczej tworzywem, zapewniający osiągnięcie założonej uprzednio grubości ścianki odlewu. Po wyłączeniu grzania i rozpoczęciu chłodzenia (zazwyczaj zimnym powietrzem) ruch planetarny formy wciąż jest kontynuowany, a tworzywo stopniowo zestala się przyjmując ostateczny kształt odlewu. W fazie wyładunku, po czasie, gdy tworzywo ostygnie do temperatury, w której utrzymuje stały kształt i możliwe jest wyciągnięcie wyrobu bez jego odkształcenia, forma jest otwierana, a odlew zostaje usunięty z formy. Następnie kolejna odmierzona porcja proszku tworzywa jest wprowadzana do formy i proces się powtarza [5, 13].

Istotą tej odmiany odlewania jest odpowiednia zależność między prędkościami obrotowymi wokół poszczególnych osi, gwarantująca zachowanie właściwej grubości ścianek odlewu i jego żądaną jakość. Wzajemny stosunek prędkości ruchu obrotowego wokół poszczególnych osi ma podstawowy wpływ na kierunek ruchu tworzywa wewnątrz formy, jednorodność jego rozprowadzenia oraz równomierność grubości ścianek [3, 4, 13]. Często stosunek tych prędkości jest określany w warunkach produkcyjnych dla poszczególnych rodzajów odlewów wyłącznie metodą doświadczalną i jest objęty ścisłą tajemnicą firmową.

MASZYNY DO ODLEWANIA ROTACYJNEGO

Występowanie wielu odmian maszyn do odlewania rotacyjnego wynika z wielu czynników, wśród których do ważniejszych zalicza się: duże zróżnicowanie pod względem kształtu i wymiarów elementów z tworzyw wykonywanych tą metodą przetwórstwa, wpływające bezpośrednio na wielkość formy odlewniczej i współpracującej z nią maszyny przetwórczej; następnie sposób nagrzewania form odlewniczych oraz zastosowany rodzaj ich napędu, a także ilość form, decydującą o wydajności odlewania [8, 14]. Nowoczesne maszyny do odlewania rotacyjnego różnią się także stopniem zautomatyzowania procesu.

Można zatem wyróżnić ważniejsze z kryteriów podziału maszyn do odlewania rotacyjnego, którymi są: rozwiązanie konstrukcyjne, sposób nagrzewania formy odlewniczej oraz stopień automatyzacji. Ponadto niektóre z rodzajów maszyn odlewniczych dzielą się dodatkowo według ilości wrzecion (lub zespołów wrzecionowych), wzajemnego ich położenia oraz sposobu sterowania tymi zespołami [8, 14].

Ze względu na rozwiązanie konstrukcyjne maszyny do odlewania rotacyjnego można podzielić na [8, 9]:

– wrzecionowe (*Spinner*), w których na wrzecionie jest mocowana pojedyncza forma, otrzymując z układu napędowego jeden ruch wokół własnej osi oraz drugi ruch obrotowy wokół osi wrzeciona,
– karuzelowe (*Carousel*), w których na wrzecionie znajduje się rama lub ramy mocujące; na których osadza się kilka lub kilkanaście form odlewniczych; formy odlewnicze nie są napędzane bezpośrednio, tylko razem z ramą wykonują ruch planetarny pochodzący od wrzeciona,

– liniowo-wahadłowe (*Shuttle*), w których układy wrzecionowe zsynchronizowane parami zajmują określone położenie w stosunku do komory grzejnej,
– skorupowe (*ClamShell*), w których zamykana od góry komora służy zarówno do nagrzewania jak i do chłodzenia,
– kołyskowe (*Rock'n'Roll*), w których forma odlewnicza obraca się wokół swojej osi wewnątrz komory grzejnej, wykonującej jednocześnie ruch wahadłowy, w nowszej wersji maszyn kołyskowych przeznaczonych do mniejszych odlewów komora grzejna nie występuje, a ogrzewana przy pomocy palników forma odlewnicza jest osadzona na poruszającym się wahadłowo łożu.

Przykłady konstrukcji maszyn do odlewania rotacyjnego przedstawiono na rysunkach 3, 4 i 5. Z uwagi na sposób nagrzewania formy odlewniczej wśród maszyn do odlewania rotacyjnego występują maszyny z formami ogrzewanymi pośrednio (w komorze grzejnej przy pomocy gorącego powietrza) lub bezpośrednio (rezystancyjnie lub płomieniowo, bez występowania komory grzejnej).

Z punktu widzenia stopnia zautomatyzowania procesu przeważająca część maszyn do odlewania rotacyjnego umożliwia tylko częściową automatyzację (napełnianie formy i usuwania odlewu może być wykonywane jedynie ręcznie), natomiast nieliczne najnowsze rozwiązania konstrukcyjne umożliwiają całkowitą automatyzację, począwszy od napełnienia formy odlewniczej, a skończywszy na odbieraniu gotowego odlewu przy pomocy robotów.

Najczęściej występujące maszyny o konstrukcji wrzecionowej oraz karuzelowej klasyfikuje się ponadto według ilości wrzecion (funkcjonujących także jako niezależne zespoły wrzecionowe). Według tego kryterium maszyny do odlewania rotacyjnego tworzyw polimerowych można podzielić na pojedyncze (wyposażone w jeden zespół, po kolei obsługujący kolejne stanowiska robocze); podwójne (wyposażone w dwa zespoły, występują w maszynach o konstrukcji liniowo-wahadłowej), potrójne (najczęściej spotykane, wyposażone w trzy zespoły, obsługujące jednocześnie każde ze stanowisk roboczych maszyny do odlewania rotacyjnego) oraz wielokrotne (występujące w rozwiniętych konstrukcjach maszyn o konstrukcji liniowo-wahadłowej lub rewolwerowej) [9, 14].

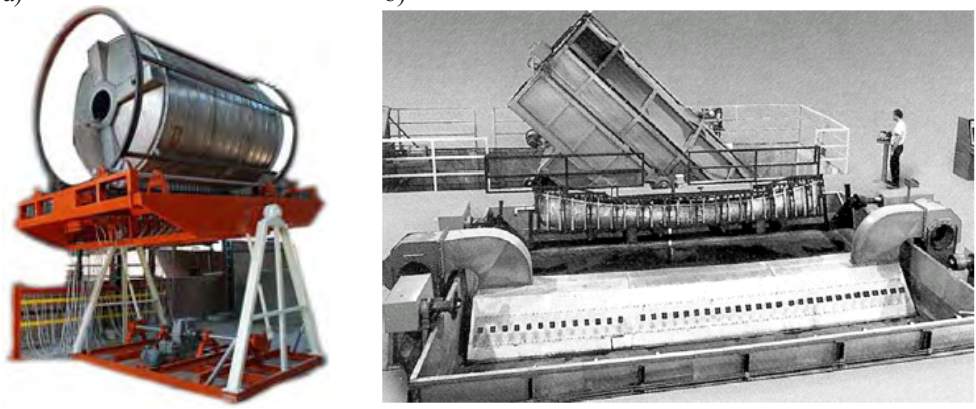
Rys. 3. Maszyny do odlewania rotacyjnego: od lewej – wrzecionowa i karuzelowa [9]

Rys. 4. Maszyny do odlewania rotacyjnego: od lewej – wahadłowa i skorupowa [9]

Zgodnie z kryterium wzajemnego położenia układów wrzecionowych maszyny do odlewania rotacyjnego mogą być rewolwerowe (wrzeciona lub zespoły wrzecionowe poruszają się względem głównej osi maszyny, zazwyczaj pionowej, w niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych także poziomej) lub szeregowe (zespoły wrzecionowe wykonują ruch liniowy w stosunku do komory grzejnej).

Ze względu na sposób sterowania zespołów wrzecionowych maszyny do odlewania rotacyjnego mogą mieć zespoły wrzecionowe sterowane i napędzane centralnie (kiedy wszystkie wrzeciona są konstrukcyjnie osadzone w jednym zespole wrzecionowym, a jego źródło napędu stanowi główny wał napędowy) oraz na sterowane i napędzane niezależnie (wówczas każde wrzeciono posiada niezależne źródło napędu i jest osadzone w odrębnym zespole wrzecionowym) [8].

a) b)



Rys. 5. Maszyny do odlewania rotacyjnego typu Rock'n'Roll: a) bez komory grzejnej z formą ogrzewaną bezpośrednio palnikami gazowymi, b) z komorą grzejną [9]

WADY I ZALETY

Odlewanie rotacyjne jest jedyną z metod przetwórstwa tworzyw umożliwiającą wytwarzanie elementów powłokowych o dużych i bardzo dużych wymiarach, których przykładami mogą być zbiorniki, pojemniki, kosze na śmiecie, rury z kołnierzem, korpusy, obudowy i inne. Części odlewane rotacyjnie są jednorodne, bez szwu i linii łączenia. Swoboda przemieszczania się tworzywa po ściankach formy i powolne ochładzanie powodują eliminację zniekształceń powodowanych skurczem przetwórczym oraz minimalizują naprężenia wewnętrzne w otrzymanych odlewach, natomiast zmniejszanie się wymiarów odlewu podczas ochładzania ułatwia późniejsze wyjmowanie odlewu z formy. Przy pomocy odlewania rotacyjnego można otrzymywać elementy z tworzyw o masie od kilkudziesięciu do kilkuset kilogramów, co jest niemożliwe do osiągnięcia ani przy wtryskiwaniu ani przy wytłaczaniu, z uwagi na konstrukcyjne ograniczenia tych maszyn przetwórczych [3, 6, 13].

Wśród pozostałych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych odlewanie rotacyjne wyróżnia się stosunkowo niskim kosztem przygotowania produkcji, spowodowanej niższym kosztem wykonania form odlewniczych (o wiele niższym niż form wtryskowych) oraz niższym kosztem maszyny. Dzięki temu odlewania rotacyjne jest wyjątkowo korzystne w przypadku produkcji jednostkowej lub małoseryjnej oraz do wytwarzania części prototypowych.

Podczas odlewania rotacyjnego można w prosty sposób regulować grubość ścianek zbiornika, jedynie przez zmianę masy tworzywa zasypywanego do formy, bez konieczności długotrwałej i kosztowej modyfikacji konstrukcji formy. Zmiana grubości ścianek w poszczególnych obszarach kształtowanego zbiornika może być regulowana przez zmianę wzajemnego stosunku prędkości obrotowej formy wokół osi pionowej i osi poziomej. We wnętrzu formy mogą być mocowane dodatkowe elementy, takie jak tuleje lub trzpienie gwintowane, tarcze, króćce i pierścienie, które zostają pokryte topiącym się tworzywem i po zakończeniu procesu odlewania stają się integralną częścią odlewu (rys. 6). W ten sposób można także zwiększać sztywność ścianek bardzo dużych odlewów, umieszczając w formie żebra usztywniające [3].

Odlewanie rotacyjne jest bezodpadową metodą przetwórstwa. Dzięki temu, że powierzchnia gniazda formującego odzwierciedla finalny kształt zewnętrznej powierzchni odlewu oraz przy prawidłowej konstrukcji formy odlewniczej po zakończeniu odlewania nie występuje odpad technologiczny, tak jak ma to miejsce przy wtryskiwaniu (tworzywo w układzie wlewowym), formowaniu próżniowym (resztki tworzywa po wykrawaniu) czy podczas wytłaczania z rozdmuchiwaniem (okrawane resztki rękawa). Formy odlewnicze są łatwe w konserwacji i czyszczeniu, co pozwala na wytwarzanie kolejnych odlewów z tworzywa o różnych kolorach lub z innego rodzaju tworzywa, bez konieczności żmudnego i czasochłonnego czyszczenia, jak ma to miejsce w przypadku układu uplastyczniającego wtryskarki i kanałów doprowadzających w formie wtryskowej [1, 6, 13].

Jedną z podstawowych wad odlewania rotacyjnego jest stosunkowo długi czas cyklu wytworzenia odlewu i niska wydajność, spowodowana między innymi ręcznym

Rys. 6. Z lewej – całkowicie zautomatyzowana maszyna do odlewania rotacyjnego firmy Persico, z prawej – element z tworzywa odlewany rotacyjnie z metalową tuleją z gwintem [9]

załadunkiem tworzywa i wyjmowaniem gotowego odlewu. Rozwój konstrukcji maszyn do odlewania, głównie wielowrzecionowych i liniowo-wahadłowych, pozwala na wzrost wydajności, dzięki jednoczesnej realizacji niektórych faz procesu, najczęściej wyładunku gotowego odlewu z jednej formy połączonego z załadunkiem tworzywa do następnej formy. Inną z wad jest niska sprawność i duża energochłonność procesu, głównie z powodu nagrzewania i chłodzenia formy przy pomocy powietrza. W celu poprawienia bilansu energetycznego opracowano bezpośrednie nagrzewanie formy przy pomocy palników gazowych (w maszynach typu Rock'n'Roll) oraz stosuje się formy odlewnicze z drążonymi ściankami, w które tłoczony jest gorący olej [5, 6, 13].

Kolejnym ograniczeniem technologii odlewania rotacyjnego jest wąski zakres tworzyw możliwych do przetwórstwa tą metodą. Początkowo jedynym materiałem używanym do odlewania rotacyjnego był polichlorek winylu, współcześnie wiodącą rolę odgrywają różne odmiany polietylenu (ponad 80% udziału), uzupełniane przez inne poliolefiny, głównie polistyren i polipropylen, a także poliwęglan i ABS [3, 9]. Koszt przygotowania tworzyw do odlewania zwiększa dodatkowo konieczność doprowadzenia ich do postaci proszku lub mikrogranulek. Procesy przygotowawcze oraz późniejsze długie przebywanie tworzywa w podwyższonej temperaturze podczas formowania odlewu mogą powodować jego degradację, co może obniżyć właściwości mechaniczne tworzywa, a w konsekwencji pogorszyć właściwości użytkowe odlewu.

Na etapie projektowania specyfika odlewania rotacyjnego wymusza odpowiednią konstrukcję odlewów, w której należy unikać ostrych krawędzi i gwałtownych zmian wymiarów (na przykład średnicy). Z tego powodu odlew musi być zaprojektowany w taki sposób, by tworzywo miało swobodny dostęp do wszystkich powierzchni gniazda formującego, co gwarantuje prawidłowy przebieg procesu odlewania rotacyjnego i bezpieczne wyjęcie gotowego odlewu. W przypadku umieszczania w formie dodatkowych elementów (ze stopów metali lub innych tworzyw) należy zwrócić uwagę na

współczynnik rozszerzalności cieplnej tych materiałów, aby podczas późniejszego ochładzania i kurczenia się odlewu nie dochodziło do spowodowanych nadmiernymi naprężeniami pęknięć lub deformacji [2, 5, 13].

PODSUMOWANIE

Odlewanie rotacyjne należy aktualnie do najintensywniej rozwijających się metod odlewania tworzyw polimerowych. Traktowane początkowo jako jedyna z metod umożliwiających otrzymywanie w jednym procesie wielkogabarytowych pojemników z tworzyw o jednorodnej konstrukcji (bez szwów i linii łączenia), w ostatnich latach stało się konkurencyjną dla innych metodą przetwórstwa, pozwalającą na wytwarzanie nie tylko osiowosymetrycznych pojemników o wyjątkowo dużych wymiarach, ale także części drążonych o skompilowanych kształtach i niewielkich wymiarach, wykonywanych zarówno z tworzyw sztywnych jak i elastycznych.

Ostatnie lata przyniosły wyraźny rozwój technologii odlewania rotacyjnego, niekiedy określanego jako innowacyjny proces przetwórczy [1], choć w istocie jest znany, jako taki, od wielu lat. Na takie oceny wpływają głównie nowoczesne metody sterowania i regulacji procesu odlewania rotacyjnego, wprowadzenie nowych rodzajów tworzyw możliwych do przetwarzania tą metodą oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne maszyn do odlewania i form odlewniczych. Dzięki temu odlewanie rotacyjne przestało być uważane za zastępczą metodę przetwórstwa, uzasadnioną tylko w nielicznych, specjalnych zastosowaniach, ale stało się metodą konkurencyjną w stosunku do wtryskiwania z rozdmuchiwaniem i wytłaczania z rozdmuchiwaniem, jednocześnie zachowując wszystkie dotychczasowe zalety związane z wykorzystaniem w produkcji jednostkowej i małoseryjnej wytworów niemożliwych do wytworzenia innymi metodami przetwórstwa.

Niezaprzeczalny wpływ na intensywny rozwój technologii odlewania rotacyjnego tworzyw mają zmiany w konstrukcji maszyn odlewniczych. Wśród podstawowych czynników generujących nowe rozwiązania konstrukcyjne maszyn do odlewania rotacyjnego wymienić należy skrócenie czasu trwania poszczególnych faz procesu i poprawienie wydajności, zmniejszenie zużycia energii oraz udoskonalenie sterowania i regulacji parametrów technologicznych. Konstrukcja maszyn do odlewania oraz form do odlewania rotacyjnego – mimo postępującego rozwoju – jest nadal prostsza i tańsza niż wtryskarek i wytłaczarek, co jest podstawową zaletą przy rozpoczynaniu produkcji w skali małoseryjnej, jednostkowej i prototypowej. Pojawiające się metody numeryczne symulacji odlewania rotacyjnego [10] pozwalają na uniknięcie dotychczas długotrwałych prób w doborze stosunku prędkości obrotowych wokół właściwych osi obrotu, analizę rozkładu temperatury tworzywa i formy oraz ruchu stapianego tworzywa, co pozwala na oszacowanie równomierności grubości ścianki wykonywanych odlewów bez strat materiałowych. Rosnąca wciąż ilość tworzyw możliwych do przetwórstwa metodą odlewania rotacyjnego stanowi dodatkowy stymulator rozwoju konstrukcji maszyn realizujących ten proces przetwórczy oraz współpracujących z nimi form odlewniczych, mający na celu zapew-

nienie zachowania coraz bardziej zaawansowanych warunków przetwórstwa oraz sprostanie rosnącym wymaganiom dotyczącym jakości odlewów i opłacalności wytwarzania elementów z tworzyw otrzymywanych metodą odlewania rotacyjnego.

PIŚMIENNICTWO

1. Bursa J. Rotacyjne formowanie polimerów – ponownie docenione. Seminarium Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn. Mechanika, 103, 6-M, 2006: 85.
2. Anandha Rao M., Throne J.M. Principles of rotational molding. Polymer Engineering and Science, 12, 4, 2004: 237–264.
3. Beall G. Rotational Molding. Design, Materials, Tooling and Processing. Hanser Gardner Publications, Munich 1998.
4. Cramez M.C., Oliveira M.J., Crawford R.J. Optimization of the rotational moulding process for polyolefins. Proceedings of the I MECH E. Journal of Engineering Manufacture, 217, 3, 2003: 323.
5. Crawford R.J., Kearns M.P. Practical Guide to Rotational Molding. Chem. Tech. Publishing 2003.
6. Crawford R., Throne J.L. Rotational Moulding Technology. William Andrew Inc., New York 2002.
7. Heim H.P., Potente H. Specialized Molding Techniques. William Andrew Inc., New York 2002.
8. Jachowicz T. Rodzaje maszyn do odlewania rotacyjnego. Tworzywa Sztuczne i Chemia, 3, 2009: 72–76.
9. Materiały katalogowe ze stron internetowych firm Clips Poly Engineering, Fixopan, Naroto, Persico, Plastigi, Rotoline, Rotomachinery Group, Roto Plastic International, Roto Plastics, R.S. Engineers i innych.
10. Olson L.G., Gogos G., Pasham V. Axisymmetric finite element models for rotational molding. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 9, 5, 1999: 515–542.
11. Sikora R. (red.) Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
12. Strona internetowa Rotational Moulding: Process, Polymers & History (www.rotational-moulding.ca).
13. Szostak M. Technologia odlewania rotacyjnego. Plastics Review, 4, 17, 2002: 60–68.
14. Szostak M. Maszyny w technologii odlewania rotacyjnego. Plastics Review, 2, 21, 2003: 63–65.
15. Szostak M. Krótka historia formowania rotacyjnego. Association of Rotational Molders International, Biuletyn CEEDtalk 2006, 2, 4 (wydanie internetowe).
16. Ward N.M. A History of Rotational Moulding. Plastiquarian – Journal of Plastics Historical Society 1997, 17. Wersja internetowa z: www.plastiquarian.com.

ROTATIONAL MOULDING TECHNOLOGY

Summary

Information about rotational moulding have been presented in this article. Main principles of this technology and his development have been introduced. Types of rotational moulding machines have been characterized also with rotational moulding tools. The main applications have been introduced and the advantages and disadvantages of rotomoulding have been told over.

Keywords: polymers moulding, rotational moulding, polymers, machines for polymer processing.

Konrad Gauda[1)]

PROGNOZOWANIE ZMIAN POŁYSKU LUSTRZANEGO POWŁOK ORGANICZNYCH JAKO METODA SZACOWANIA TRWAŁOŚCI POKRYĆ

Streszczenie. Główną intencją artykułu było przedstawienie mechanizmów prognozowania połysku powłok jako metody mogącej mieć szersze zastosowanie podczas określenia ich trwałości. Połysk może być bowiem traktowany jako swego rodzaju miernik degradacji powierzchni pokrycia, ponieważ w miarę jego eksploatacji na skutek wilgoci, temperatury, tlenu atmosferycznego oraz promieniowania UV zdolność powłoki do odbijania światła ulega obniżeniu. Prognozy dokonano w oparciu o analizę szeregów czasowych wykorzystując metodę ekstrapolacji funkcji trendu.
Słowa kluczowe: Prognozowanie, połysk, powłoki organiczne, trwałość.

ZARYS METODYKI PROGNOZOWANIA NAUKOWO-TECHNICZNEGO

Każdy cykl zorganizowanego działania człowieka i każde badanie procesu rozwoju, którego celem jest kształtowanie tego procesu, rozpoczyna się od rozpoznania i oszacowania:

– możliwych i pożądanych celów (stanowiących wypadkową doświadczeń i oczekiwań człowieka);
– skutków realizacji celów;
– możliwych dróg osiągnięcia pożądanych celów.

W wyniku rozpoznania formułuje się sądy o przyszłym przebiegu i rezultatach podejmowanego działania lub rozwoju danego systemu. Działania tego typu można określić jako przewidywanie przyszłości. Przewidywanie to ujęte w formę ukierunkowanej działalności o charakterze probabilistycznym (dotyczącym rachunku prawdopodobieństwa) i kompleksowym nazywane jest **prognozowaniem** [1].

Wstępnym etapem prognozowania są prace przygotowawcze polegające przede wszystkim na dokonaniu opisu przedmiotu prognozy poprzez opis jego funkcji, charakteryzujących go parametrów struktury itp. Etap ten powinien doprowadzić do systematyzacji zasobów wiedzy o przedmiocie prognozy. Następną fazą jest wybór metody prognozowania, czyli narzędzi, które posłużą do prac nad danymi o przedmiocie prognozy (rys. 1).

1) Katedra Metod i Technik Nauczania, Politechnika Lubelska.

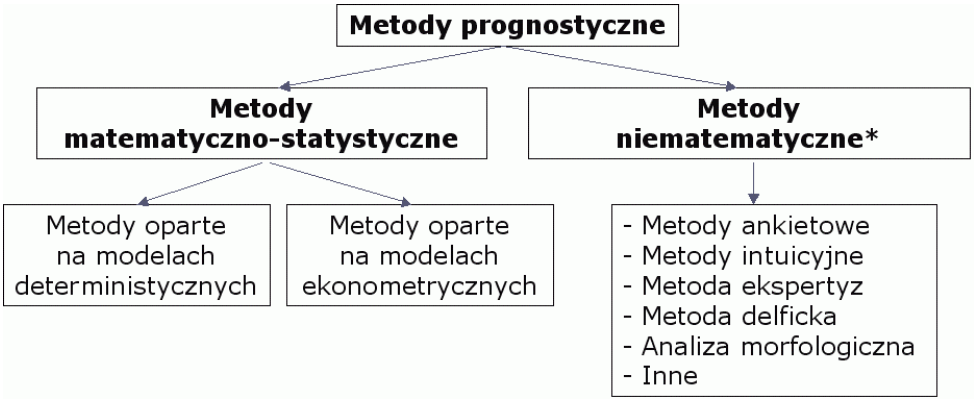
Rys. 1. Model realizacji badania prognostycznego
Opracowanie własne na podstawie [1, 3]

Ze względu na rodzaj sporządzanej prognozy, jej cel oraz charakter przewidywanego zjawiska znajdują zastosowanie różne metody prognostyczne. W literaturze istnieje wiele różnych podziałów tych metod [1, 3, 12, 14]. Ogólnie metody prognozowania można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

– metody „historyczne" oparte na zasadzie ekstrapolacji, korelacji lub analogii;
– metody intuicyjne, oparte na badaniach opinii ekspertów i odpowiednich technikach ewaluacji i przetwarzania danych uzyskanych z tych opinii;
– metody modelowania dynamicznego, w których występują zarówno elementy intuicyjnego określenia wstępnej struktury modeli, jak też stosowane są dane eksperymentalne z badania trendów.

Innym podziałem metod prognozowania jest podział na metody matematyczno-statystyczne oraz metody niematematyczne (rys. 2).

W prognozowaniu naukowo-technicznym wykorzystuje się przede wszystkim metody matematyczno-statystyczne ze szczególnym uwzględnieniem metod opartych na modelach ekonometrycznych. Model ekonometryczny to hipoteza sformułowana w sposób matematyczny (odpowiednio w postaci równania), który przedstawia zasadnicze powiązania występujące pomiędzy rozpatrywanymi zjawiskami (w matematyce i statystyce budowa takiego modelu jest szacowaniem regresji) [4, 14].



Rys. 2. Podział metod prognostycznych
Opracowanie własne na podstawie [1, 3]

Do jednej z najczęściej wykorzystywanych metod prognozowania naukowo-technicznego opartych na modelu ekonometrycznym zalicza się metodę ekstrapolacji analitycznej.

METODA EKSTRAPOLACJI ANALITYCZNEJ WYKORZYSTANA W BADANIACH

Metoda ekstrapolacji analitycznej wykorzystana w prognozowaniu zmian połysku lustrzanego powłok organicznych polega na badaniu zaszłości poza obręb potwierdzonych eksperymentalnie i historycznie uszeregowanych danych. Inaczej, możliwość określenia przyszłego zachowania obiektu prognozy jest próbą „wydłużenia w czasie" jego przeszłego zachowania się.

Pierwszym etapem jest sformułowanie szeregu czasowego. Szeregi czasowe dotyczyć mogą jednej lub wielu zmiennych losowych (y), przy czym ich realizacje charakteryzują się nieprzypadkowym porządkiem ze względu na kolejność czasu t = 1, 2, ...,n-1, n. Zmienna czasowa występuje w formie ciągu liczb całkowitych, reprezentujących kolejne okresy czasu, którym odpowiadają wyrazy szeregu czasowego zmiennej prognozowanej [8]. Wybór parametrów trendu (rzutowanych w przyszłość) jest pierwszym i bardzo ważnym krokiem w prognozowaniu naukowo-technicznym. Z punktu widzenia prognostycznego istotne jest poszukiwanie parametrów i wskaźników, które świadczą o rozwoju systemu. Oczywiście można dojść do wniosku, że istnieje wiele charakterystycznych parametrów. W warunkach ekstrapolacji należy jednak rozpatrywać je oddzielnie lub posegregować je według względnej ważności. Selekcja parametrów musi odbywać się według następujących zasad [1]:

– parametr musi być operatywny – musi być mierzalny w mających obiektywne znaczenie kategoriach ilościowych (np. jednostkach fizycznych);

– parametr musi odzwierciedlać poziom funkcjonalności przedmiot lub procesu prognozowania (nie może dotyczyć np. cechy, która może być zmieniana w trakcie projektowania);
– parametr musi dać się zastosować do różnych technik (gdy jest charakterystyczny tylko dla jednej techniki, to za jego pomocą nie można porównywać urządzeń opartych na różnych technikach);
– parametr musi mieć odpowiednio długi szereg czasowy. W razie wyboru priorytet ma ten parametr, który ma więcej danych historycznych;
– wszystkie dane historyczne muszą dotyczyć tego samego stanu rozwoju (pierwsze zastosowanie, rozpoczęcie produkcji). Jeśli część danych dotyczy jednego stanu rozwoju, a cześć innego, to dopasowany do nich trend może być zniekształcony.

Po ustaleniu i wybraniu parametrów (y, t) formuje się szereg czasowy, przez co rozumie się ciąg par liczby (t, y_t) ustawiony według rosnących wartości t. Zapis ogólny równania opisującego taki szereg jest następujący (1):

$$y_t = f(t) + e_t \tag{1}$$

gdzie: f(t) – funkcja trendu; e_t – zmienna losowa oddziałująca na trend szeregu.

Jeżeli y_t oznacza wartość zmiennej y (połysku lustrzanego powłoki) zaobserwowanej w okresie t, to kształtowanie się wartości y w kolejnych okresach można opisać w sposób przybliżony za pomocą modelu, którym jest równanie funkcji trendu f(t). Trend stanowi długookresową skłonność do jednokierunkowych zmian (wzrostu lub spadku) wartości zmiennej prognozowanej (połysku). Wyznaczenie równania funkcji f(t) jest nazywane wygładzaniem lub wyrównaniem szeregu czasowego [2]. Najczęstszym sposobem wyznaczania funkcji trendu jest określenie postaci funkcji charakteryzującej trend szeregu czasowego i wyznaczenie jej parametrów, czyli zastosowanie modelu analitycznego. Wygładzanie szeregu czasowego w ogólnym ujęciu wiąże się z pewnymi formami statystycznego lokalnego uśredniania danych obliczeniowych, w taki sposób, że niesystematyczne (losowe) składniki szeregu czasowego nawzajem się znoszą. Najpowszechniejszą metodą wygładzania trendu jest metoda najmniejszych kwadratów, która pozwala wyznaczyć parametry wybranego typu funkcji tak, że suma kwadratów odległości zaobserwowanych od wartości obliczonych za pośrednictwem szacowanej funkcji trendu jest minimalna [1, 4, 7, 8, 12, 14].

Dla funkcji liniowej wykorzystanej w badaniach ze względu na proporcjonalny spadek zmiennej y do czasu (2):

$$\hat{y}_t = a \cdot t + b \tag{2}$$

gdzie:

$$a = \frac{n\sum_{t=1}^{n} y_t t - \sum_{t=1}^{n} y_t \sum_{t=1}^{n} t}{n\sum_{t=1}^{n} t^2 - \left(\sum_{t=1}^{n} t\right)^2} \tag{3}$$

$$b = \bar{y}_t - a \cdot \bar{t} \tag{4}$$

gdzie: $\hat{y}_t$ – wartości przewidywane na podstawie dopasowanego modelu,
y_t – wartości obserwowane,
n – liczba pomiarów (obserwacji),
t – czas,
$\bar{t}$ – średnia arytmetyczna z rosnących wartości t,
$\bar{y}_t$ – średnia arytmetyczna wartości zaobserwowanych.

Dopasowując model do wartości zaobserwowanych wprowadza się do równania (2) parametr z_t,

$$\hat{y}_t = a \cdot t + b + z_t \tag{5}$$

Parametr ten reprezentuje zmienność nie wyjaśnioną przez model. Im lepiej model oddaje strukturę danych tym reszty są mniejsze (6):

$$z_t = y_t - \hat{y}_t \tag{6}$$

gdzie: z_t – reszta, różnica między wartościami obserwowanymi y_t, a obliczonymi (przewidywanymi) na podstawie dopasowanego modelu.

W następnej kolejności oblicza się błędy standardowe oceny parametrów liniowej funkcji trendu oraz błąd standardowy wartości przewidywanej (7):

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\sigma_z}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n} t^2 - n\bar{t}^2}} \qquad \bar{\sigma}_b = \sigma_z \cdot \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} t^2}{n\left(\sum_{t=1}^{n} t^2 - n\bar{t}^2\right)}} \tag{7}$$

gdzie: σ_z – odchylenie standardowe resztowe wyrażone wzorem (8):

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma^2_{z_t}} \tag{8}$$

gdzie: $\sigma_{z_t}^{\ 2}$ – wariancja resztowa wyrażona wzorem (9):

$$\sigma_{z_t}^{\ 2} = \frac{\sum_{t=1}^{n} z_t^2}{n-2} \tag{9}$$

Błąd standardowy wartości przewidywanej (10):

$$\bar{\sigma}_{\hat{y}_t} = \sigma_z \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\left(t - \bar{t}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(t - \bar{t}\right)^2}} \tag{10}$$

Kolejnym etapem analizy szeregów czasowych jest obliczenie współczynnika korelacji. Miarą korelacji zastosowaną podczas badań był współczynnik korelacji liniowej tzw. współczynnik korelacji Pearsona - r. Określa on stopień wzajemnej proporcjonalności (zależności liniowej) wartości dwóch zmiennych (w przypadku badań $\hat{y}_t$ oraz t). Współczynnik przyjmuje wartości z przedziału od -1 do 1. Przy czym wartość -1 reprezentuje doskonałą korelacje ujemną natomiast wartość 1, doskonałą korelacje dodatnią. Wartość 0 wyraża brak korelacji. Współczynnik korelacji liniowej obliczano ze wzoru (11):

$$r_{yt} = \frac{cov_{yt}}{\sigma_y \cdot \sigma_t} \tag{11}$$

gdzie: cov_{yt} – kowariancja; σ_y, σ_t – odchylenia standardowe dwóch zbiorów danych.

Kowariancja pozwala stwierdzić, czy dwa zakresy danych zmieniają się jednocześnie – to jest, czy duże wartości w jednym zbiorze odpowiadają dużym wartościom z drugiego zbioru (kowariancja dodatnia), czy małe wartości w jednym zbiorze odpowiadają dużym wartościom z drugiego zbioru (kowariancja ujemna), albo czy wartości w dwóch zbiorach są od siebie niezależne (kowariancja bliska zeru). Jest ona wyrażona wzorem (12):

$$cov_{yt} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(t_i - \bar{t}\right)\cdot\left(y_{ti} - \bar{y}_t\right) \tag{12}$$

Reasumując, określenie funkcji trendu metodą analityczną polega na znalezieniu funkcji f(t), która z najmniejszym błędem aproksymuje (przybliża) wyrazy szeregu czasowego zmiennej prognozowanej.

Ostatnim etapem jest budowa prognozy dla wybranego okresu ekspozycji badanych powłok na stacji korozyjnej, przy czym oblicza się prognozę punktową (13):

$$E\left(\hat{y}_{t=n+\omega}\right) = \hat{y}_{t=n}\cdot \omega a \qquad \omega = 1, 2, 3, ... \tag{13}$$

a następnie określa prognozę przedziałową, uwzględniającą przedział liczbowy, który z prawdopodobieństwem 95% pokrywa wartość szacowanego parametru (14):

$$E_p\left(\hat{y}_{t=n+\omega}\right) = (\hat{y}_{t=n}\cdot \omega a) \pm t_\alpha \cdot \Psi_{pT} \tag{14}$$

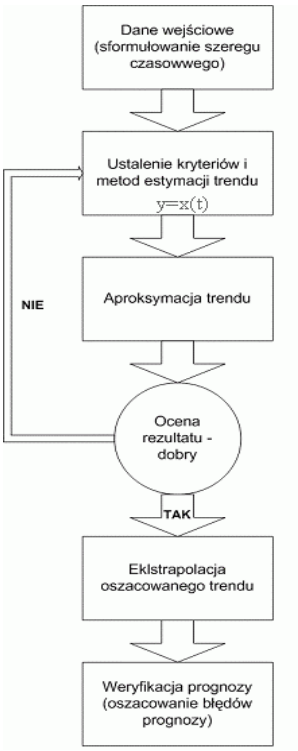
gdzie: t_α – zmienna standaryzowana (wyznaczana z tablic rozkładu t – Studenta [13]);
Ψ_{pT} – średni błąd prognozy liniowej.

W celu wyznaczenia prognozy przedziałowej dodatkowo dokonuje się oceny dokładności prognozy polegającej na obliczeniu średniego błędu prognozy określanego jako miernik dokładności ex post (15):

$$\Psi_{pT} = S_z \cdot \sqrt{\frac{\left(T-\bar{t}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(t-\bar{t}\right)^2}+\frac{1}{n}+1} \qquad T = n+1,\ n+2,\ ... \tag{15}$$

Do analizy szeregów czasowych oraz budowy prognozy może być wykorzystany dowolny pakiet oprogramowania statystycznego i analitycznego. Podczas obliczeń

Wykorzystano program Statistica, moduł: regresja wielokrotna, który umożliwił analizę danych oraz zapewnił wizualizację wyników analizy oraz generowanie raportów. Poszczególne etapy ekstrapolacji analitycznej wykorzystanej w badaniach trwałości powłok organicznych przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat logiczny ekstrapolacji analitycznej wykorzystanej podczas badań
Opracowanie własne na podstawie [1]

POŁYSK LUSTRZANY A DESTRUKCJA POWŁOKI ORGANICZNEJ

Połysk lustrzany jest to zjawisko optyczne charakteryzujące zdolność powłoki organicznej do odbijania światła w sposób zwierciadlany [9]. Natężenie światła odbitego

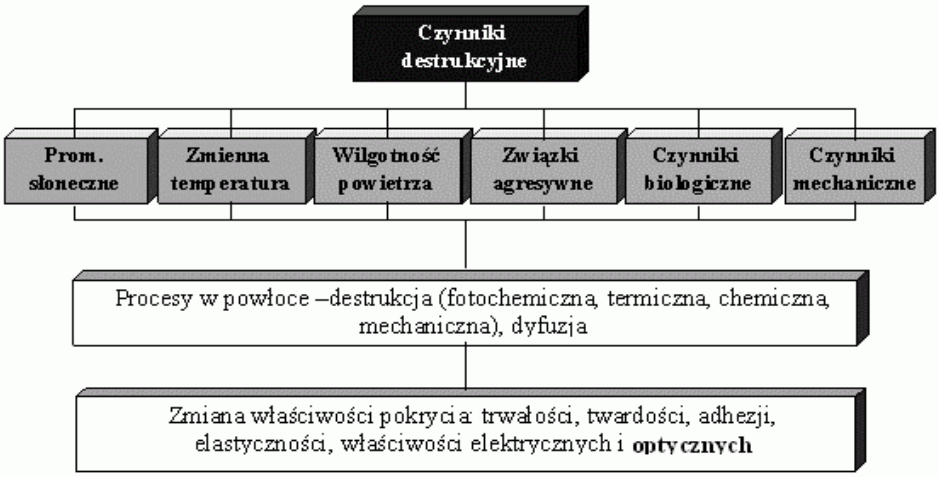
przez powłokę malarską wiąże się bezpośrednio z wyglądem powłoki. Wzrost połysku następuje w zależności od:
– rodzaju i ilości pigmentu w powłoce;
– stopnia zdyspergowania pigmentu przy założeniu stałego składu powłoki.

Oprócz natężenia światła odbitego jako obiektywnej miary połysku oko ludzkie przyjmuje impuls świetlny odbity od powłoki w niejednakowych warunkach. Dlatego wrażenie połysku odbierane przez oko zależy dodatkowo od takich czynników, jak:
– kąt padania światła oraz kąt obserwacji;
– ostrość kontrastu przedmiotu widocznego jako odbicie na polakierowanej powierzchni. Przy tej samej intensywności odbitego światła i danym kącie padania ostrość kontrastu może być różna. Ten efekt zależy od gładkości powłoki. Jeśli powłoka jest mikroporowata lub spękana, to efekt kontrastu zmienia się na niekorzyść połysku zaobserwowanego, gdyż część odbitych promieni ulega rozproszeniu i nie trafia do ludzkiego oka.

Miarą połysku lustrzanego jest wyrażony liczbowo stosunek strumienia świetlnego odbitego zwierciadlanie od badanej powłoki do strumienia padającego na tę powłokę dla określonych kątów padania [10]. Charakterystyczną cechą jest to, że połysk powłoki zmienia się w okresie jej eksploatacji na skutek powolnej destrukcji. Jest ona sumą powolnych strukturalnych zmian spowodowanych wpływami zewnętrznymi. Zachodzące zmiany nie zawsze jednak prowadzą do pogorszenia właściwości, niekiedy bowiem właściwości z upływem czasu mogą ulec poprawie.

Pod wpływem czynników destrukcyjnych w materiałach organicznych może zachodzić dalsza polimeryzacja i sieciowanie substancji błonotwórczej jak również jej rozkład. Jeżeli przewyższają reakcje międzycząsteczkowe, następuje wzrost ciężaru cząsteczkowego substancji błonotwórczej, wskutek czego staje się ona bardziej sztywna, krucha, trudniej rozpuszczalna. Jeśli natomiast przewyższa proces destrukcji, wówczas ciężar cząsteczkowy substancji błonotwórczej zmniejsza się wpływając na szereg właściwości użytkowych powłoki [4, 6]. Do objawów starzenia zalicza się także przemiany fizyczne, np. ulatnianie się plastyfikatorów jako składników powłok, zmiany pochodzenia biologicznego spowodowane działaniem pleśni. Następują także zmiany (powstawanie wolnych rodników) zachodzące w wyniku degradacji spowodowanej działaniem promieniowania UV, czy wilgocią z powietrza [15]. Na rysunku 4 przedstawione są czynniki biorące udział w procesie niszczenia powłoki.

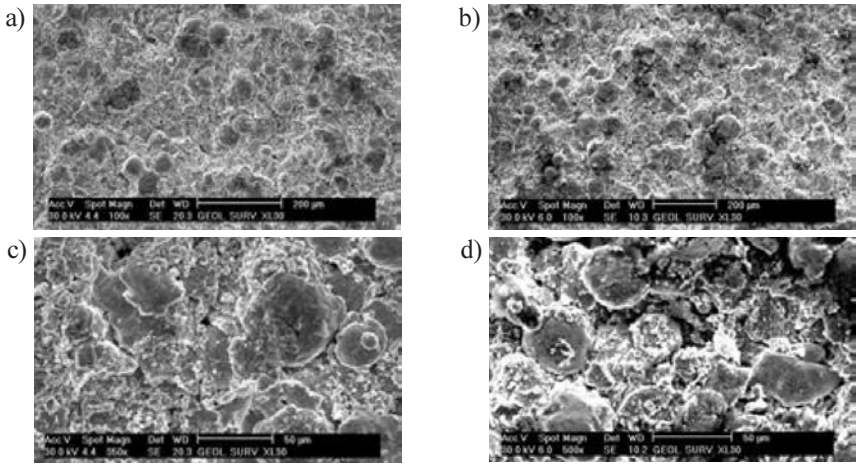
Wskutek oddziaływań tych wszystkich czynników powłoka traci swą spoistość, następuje jej osłabienie. W punktach słabszego przylegania powłoka nie może przystosować się do zmian zachodzących z powodu rozszerzania i kurczenia podłoża pod wpływem temperatury i następuje jej pękanie. Zmiany wewnątrz powłoki przejawiają się w pierwszej fazie utratą połysku i zmianą barwy (rys. 5 a). W drugiej fazie charakter zniszczeń uwidacznia się stopniowym wzrostem twardości powłoki, co często prowadzi do wyzwalania się napięć zmniejszających wewnętrzną spoistość pokrycia. Przejawia się to często w zmniejszeniu przyczepności oraz powstawaniu rys i pęknięć w



Rys. 4. Czynniki powodujące niszczenie powłok organicznych [15]

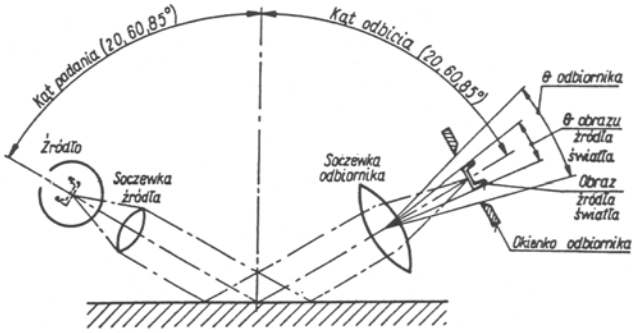
powłoce. Zjawiskom tym towarzyszy niekiedy kredowanie pokrycia w warstwie wierzchniej (rys. 5 b). Utrata połysku i gładkości oraz brak ciągłości warstwy wierzchniej sprzyjają osadzaniu się kurzu, pyłów, sadzy i innych zanieczyszczeń (rys. 5 c). Na powierzchni powłoki pojawiają się wypukłości i wgłębienia jako następstwo postępujących zmian erozyjnych, a pod powłoką powstają pierwsze produkty korozji, które stopniowo przebijają się przez nią (rys. 5 d) [5].

Reasumując w miarę degradacji powierzchni powłoki na skutek wilgoci, temperatury, tlenu atmosferycznego oraz promieniowania UV zdolność powłoki do odbijania światła ulega obniżeniu. Stąd też właściwość tę często bada się w trakcie ekspozycji powłok na stacji korozyjnej w celu ustalenia dynamiki degradacji pokrycia.



Rys. 5. Widok powierzchni powłoki – poszczególne fazy degradacji [6]

Pomiar połysku lustrzanego dokonuje się za pomocą przyrządu pomiarowego (połyskomierza) składającego się z głowicy pomiarowej oraz układu pomiarowego. Źródłem światła w głowicy jest żarówka, a odbiornikiem ogniwo fotoelektryczne reagujące na strumień światła odbitego. Całe urządzenie musi spełniać określone warunki geometryczne (rys. 6).



Rys. 6. Schemat połyskomierza pokazujący podstawowe kąty pomiarowe [10]

Oś strumienia światła padającego powinna tworzyć z prostopadłą do badanej powierzchni jeden z trzech kątów: 20, 60 lub 85°. Odbiornik powinien być umieszczony na osi ściśle odpowiadającej kierunkowi lustrzanego odbicia strumienia padającego.

Każdorazowo przed rozpoczęciem pomiaru przyrząd należy wykalibrować zgodnie z zaleceniami producenta lub oznaczoną normą. Pomiar przeprowadza się w co najmniej trzech punktach powierzchni próbki w kierunku równoległym do kierunku nakładania powłoki. Wynik jest średnią arytmetyczną z pomiarów. Jeżeli wartość połysku powłoki zmierzonego przy użyciu głowicy o kącie padania 60° przekracza 70 jednostek, wówczas należy powtórzyć procedurę sprawdzania przyrządu jak i sam pomiar przy użyciu głowicy pomiarowej 20°. Podobnie jeżeli wartość połysku o kącie padania 60° jest poniżej 30 jednostek, należy powtórzyć całą procedurę przy użyciu głowicy 85° [10].

PROGNOZA TRWAŁOŚCI BADANYCH POWŁOK

Program badań

W badaniach wykorzystano powłoki organiczne oparte na akrylowych substancjach błonotwórczych. Do najważniejszych cech decydujących o zastosowaniu polimerów akrylowych w przemyśle farb i lakierów należą: bardzo duża odporność na promieniowanie UV i czynniki atmosferyczne, odporność chemiczna, mała aktywność względem pigmentów, mieszalność z wieloma innymi polimerami powłokotwórczymi oraz dobre właściwości fizykochemiczne. Cechą charakterystyczną dekoracyjno-ochronnych powłok akrylowych jest ich wysoki połysk. Głównym składnikiem decy-

dującym o połysku są pigmenty oraz składniki substancji błonotwórczej, przede wszystkim monomery z podstawnikami aromatycznymi i styren. Materiały malarskie na ich podstawie są stosowane do otrzymywania wysokiej jakości powłok antykorozyjnych na pojazdy użytkowe, aparaturę oraz obiekty budowlane. Uwzględniając rosnącą popularność powłok „ekologicznych" z uwagi na zaostrzające się przepisy ochrony środowiska naturalnego w badaniach zastosowano zarówno powłokę opartą na rozpuszczalnikach organicznych oraz powłokę wodorozcieńczalną (tab. 1)

W pierwszej fazie badań oznaczono połysk obydwu badanych powłok a następnie próbki umocowano w stojaku stacji klimatycznej. Płytki pod kątem 45° (klimat umiarkowany) były skierowane na południe, przy czym nie zastosowano żadnej osłony przed czynnikami destrukcyjnymi [11].

Czas ekspozycji na stacji klimatycznej wynosił 6 miesięcy (180 dób – od października do kwietnia), przy czym płytki z badanymi powłokami były eksponowane w atmosferze przemysłowej Śląska (w Zabrzu).

W przedziale czasowym, w którym prowadzono badania od chwili rozpoczęcia ekspozycji raz w miesiącu (raz na 30 dób) przeprowadzano obserwację stanu powierzchni powłok oraz oceniano ich połysk. Założono, że zgodnie z założeniami punktu 2 połysk może być traktowany jako swego rodzaju miernik degradacji powierzchni pokrycia, ponieważ w miarę jego eksploatacji na skutek wilgoci, temperatury, tlenu atmosferycznego oraz promieniowania UV zdolność powłoki do odbijania światła ulega obniżeniu. Stąd też, wartość połysku „mówi" o stopniu zniszczenia powierzchni pokrycia, przy czym założono, że spadek połysku poniżej 50% wartości początkowej oznacza degradacje powłoki dyskwalifikującą ją do dalszej eksploatacji.

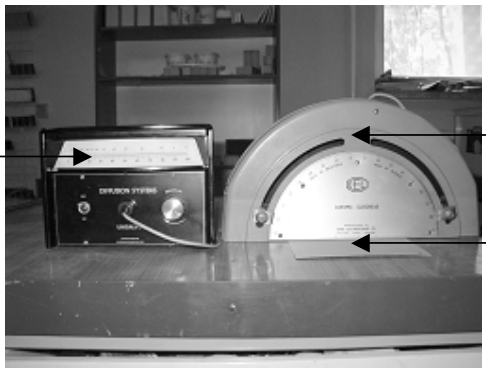
W celu wykrycia natury badanego zjawiska w czasie (zmian połysku), a następnie przeprowadzenia prognozy wykorzystano statystyczną analizę szeregów czasowych. Zastosowano metodę ekstrapolacji liniowej funkcji trendu. Z kolei na podstawie zależności matematycznych podanych w punkcie 2 wyznaczono wartości liczbowe prognozy zmian połysku. Przy czym prognoza ta została określona na okres 3 miesięcy (90 dób).

Połysk lustrzany powłok był oznaczony zgodnie z norma PN-EN ISO 2813:2001 pod kątem 85°. Ze względu na możliwość wystąpienia korozji podpowłokowej próbek,

Tabela 1. Charakterystyka badanych powłok organicznych

Oznaczenie badanej powłoki	Ogólna charakterystyka	Dane techniczne
AR	Emalia akrylowa oparta na rozpuszczalnikach organicznych. Nie zawiera pigmentów antykorozyjnych. Przeznaczona do malowania różnego rodzaju podłoży.	• rozcieńczalnik:benzyna lakiernicza • czas schnięcia: i stopień - 1h (20 °c) • średnia grubość: 52 μm
AW	Wodorozcieńczalna emalia akrylowa. Przeznaczona do malowania wszelkich podłoży wewnątrz i na zewnątrz. Odporna na wgniecenia i uderzenia, działanie czynników atmosferycznych i żółknięcie.	• rozcieńczalnik: woda destylowana • czas schnięcia: i stopień - 2 h (20 °c) • średnia grubość: 60 μm

co wiązałoby się z nadmiernym spadkiem połysku powłok, był on oznaczany na próbkach stalowych ocynkowanych. Podczas badań zastosowano połyskomierz brytyjskiej firmy Evans Elektroselenium Ltd (rys. 7).



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego

Analiza wyników badań

Badane powłoki akrylowe charakteryzowały się połyskiem początkowym na poziomie 57 –60%. Po półrocznej ekspozycji wartość połysku spadła o niemal 4% w stosunku do połysku z badań wstępnych zarówno dla powłoki rozpuszczalnikowej, jak i wodorozcieńczalnej (tab. 2, rys. 8).

Sumaryczne oddziaływanie czynników klimatycznych przyczyniło się zgodnie z przewidywaniami do spadku zdolności odbijania światła przez powierzchnie badanych systemów powłokowych, co świadczy o postępującym procesie degradacji pokryć. Równomierny spadek połysku dla obu rodzajów systemów powłokowych świadczy także o tym, że pomimo większej wrażliwości powłoki AW na czynniki klimatyczne (szczególnie wodę) zmiany na powierzchni obu powłok przebiegały z jednakową intensywnością.

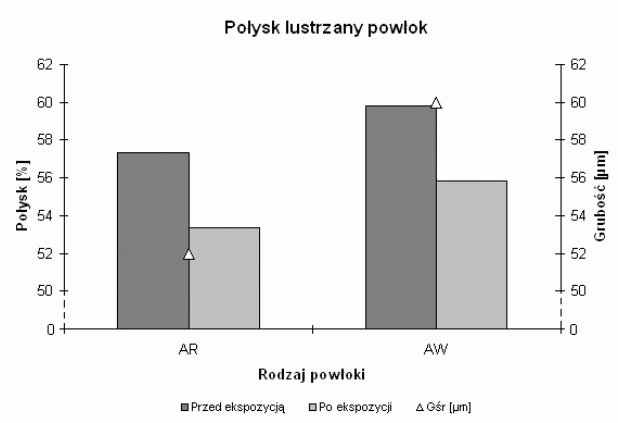
W celu przeprowadzenia prognozy a tym samym oszacowania trwałości powłok połysk był mierzony raz w miesiącu przez okres ekspozycji na stacji korozyjnej. Na podstawie pomiarów sformułowano szereg czasowy oraz dokonano jego wyrównania poprzez określenie postaci funkcji charakteryzującej trend szeregu czasowego i wyznaczenie jej parametrów (tab. 3).

Przeciętny miesięczny spadek połysku zarówno rozpuszczalnikowego, jak i wodorozcieńczalnego akrylowego systemu powłokowego kształtował się w granicach 0,65–0,68%. Współczynnik korelacji Pearsona wykazał bardzo silną jednakową dla obydwu rodzajów systemów powłokowych korelację liniową między zmianą połysku i czasem ekspozycji.

Analizując tabelę 4 można zauważyć, że dynamika spadku połysku dla obydwu systemów powłokowych jest jednakowa. Jedyną różnicą jest wartość początkowa

Tabela 2. Porównanie połysku badanych powłok przed ekspozycją na stacji klimatycznej i po ekspozycji

Rodzaj powłoki	Połysk – Pśr [%]		Grubość systemu powłokowego – Gśr [μm]
	przed ekspozycją	po ekspozycji	
AR	57,3	53,4	52
AW	59,8	55,8	60



Rys. 8. Porównanie połysku powłok przed ekspozycją po półrocznej ekspozycji na stacji klimatycznej

Tabela 3. Zestawienie oszacowań liniowego modelu trendu

	Powłoka AR	Powłoka AW
Postać równania regresji	$\hat{y}_t$ = –0,65t + 58,02	$\hat{y}_t$ = –0,68t + 60,37
Błąd standardowy parametrów funkcji trendu	$\bar{\sigma}_a$ = 0,03 $\bar{\sigma}_b$ = 0,11	$\bar{\sigma}_a$ = 0,03 $\bar{\sigma}_b$ = 0,11
Współczynnik korelacji – r	0,99	0,99
Błąd standardowy estymacji	0,13	0,13

połysku w przypadku systemu powłokowego AW. Minimalne wartości reszty sugerują, iż model liniowy bardzo dobrze oddaje strukturę danych zarówno w przypadku wodorozcieńczalnego, jak i rozpuszczalnikowego systemu powłokowego.

W tabeli 5 przedstawiona jest prognoza punktowa połysku oraz prognoza przedziałowa, przy założonym poziomie ufności 0,95.

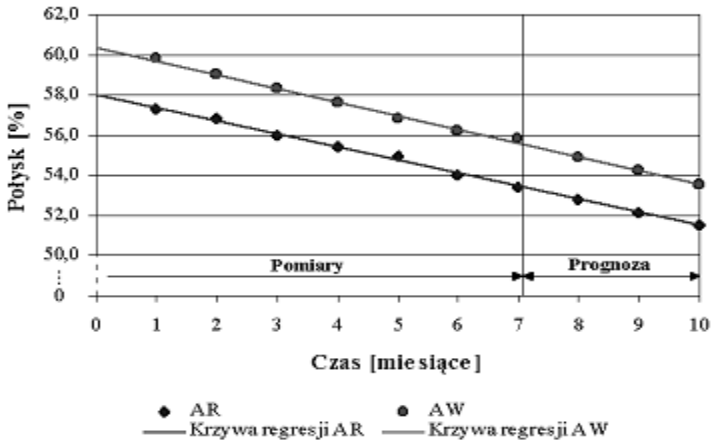
Tabela 4. Wartości przewidywane obliczone na podstawie liniowego modelu trendu

Okres ekspozycji t	Numer przypadku (liczba obserwacji) n	Wartość obserwowana y_t	Wartość przewidywana $\hat{y}_t$	Reszta z_t	Błąd standardowy wartości przewidywanej $\bar{\sigma}_{\hat{y}_t}$
Okres pomiarowy (październik –kwiecień)	System powłokowy AR				
	1 (t_1)	57,3	57,4	-0,1	0,09
	2 (t_2)	56,8	56,7	0,1	0,07
	3 (t_3)	56,0	56,1	-0,1	0,06
	4 (t_4)	55,4	55,4	0,0	0,05
	5 (t_5)	55,0	54,8	0,2	0,06
	6 (t_6)	54,0	54,1	-0,1	0,07
	7 (t_7)	53,4	53,5	-0,1	0,09
	System powłokowy AW				
	1 (t_1)	59,8	59,7	0,1	0,09
	2 (t_2)	59,0	59,0	0,0	0,07
	3 (t_3)	58,3	58,3	0,0	0,06
	4 (t_4)	57,6	57,6	0,0	0,05
	5 (t_5)	56,8	57,0	-0,2	0,06
	6 (t_6)	56,2	56,3	-0,1	0,07
	7 (t_7)	55,8	55,6	0,2	0,09

Tabela 5. Wyniki rachunku prognostycznego zmian połysku powłok dla okresu 3 miesięcy

Numer przypadku prognozy – n		Wartość prognozowana $E\left(\hat{y}_{t=n+\omega}\right)$	Przedział ufności – 95%	Przedział ufności + 95%	Średni błąd prognozy Ψ_{pT}
Okres prognostyczny – t	System powłokowy AR				
	8 (t_8)	52,8	52,5	53,1	0,12
	9 (t_9)	52,1	51,8	52,5	0,14
	10 (t_{10})	51,5	51,1	51,9	0,17
	System powłokowy AW				
	8 (t_8)	54,9	54,6	55,2	0,12
	9 (t_9)	54,2	53,9	54,6	0,14
	10 (t_{10})	53,6	53,1	54,0	0,17

Przy utrzymaniu liniowego trendu należy się spodziewać, że połysk systemu powłokowego AR wynosić będzie po kolejnych trzech miesiącach ekspozycji na stacji klimatycznej 51,5% a systemu powłokowego AW – 53,6% (rys. 9). Precyzja prognozy jest wysoka. Wartości średniego błędu prognozy dla obu systemów powłokowych są identyczne i kształtują się na poziomie 0,17%.



Rys. 9. Przebieg szeregu czasowego z trendem liniowym dla rozpuszczalnikowej i wodorozcieńczalnej powłoki akrylowej

WNIOSKI I ZAKOŃCZENIE

Przyjmując krótkookresową prognozę z wyrównaniem liniowym oraz kryterium dopuszczalnego 50% obniżenia się połysku, można szacować, że badane powłoki osiągnęłyby minimalny założony połysk (w granicach 28–30%) po 45 miesiącach ekspozycji na stacji klimatycznej. Oznacza to blisko 4 lata bezpiecznej eksploatacji. W badaniach tego typu należy jednak pamiętać o pewnych ograniczeniach:

– badana powłoka musi charakteryzować się dość wysokim połyskiem (niski połysk powłoki powoduje generowanie znacznych błędów wskazania miernika połyskomierza – powyżej 5%, a w efekcie niższą precyzję prognozy);
– badania takie odnoszą się wyłącznie do powłok eksploatowanych w określonym środowisku korozyjnym (najczęściej w warunkach naturalnych – na otwartym powietrzu). Zaletą jest jednak to, że badana powłoka jest narażona na rzeczywiste czynniki destrukcyjne;
– istotną wadą jest długi czas trwania badań (przy czym im dłuższy czas ekspozycji tym niższy błąd prognozy). Jednak skrócenie czasu ekspozycji lub intensyfikacja czynnika destrukcyjnego często wymagają znajomości ścisłej korelacji pomiędzy wynikami badań w warunkach naturalnych a wynikami badań przyspieszonych;
– w badaniach należy uwzględnić rodzaj podłoża i grubości samej powłoki, gdyż te czynniki także istotnie wpływają na okres jej eksploatacji.

W odpowiedzi na problem zawarty w tytule niniejszego opracowania można stwierdzić, że na podstawie prognozowania zmian połysku lustrzanego powłok organicznych możliwe jest oszacowanie ich trwałości. Szacowanie takie jest jednak obarczone znacznym błędem i może być traktowane jako metoda uzupełniająca badania kompleksowe lub pomocnicza dzięki której można tylko w sposób przybliżony wyznaczyć czas eks-

ploatacji powłok Wskazane by było aby badania prognostyczne uzupełnić analizą fotograficzną powierzchni powłok oraz pomiarem innych właściwości, które wpływają na ich trwałość, szczególnie właściwości mechanicznych, takich jak: twardość, udarność czy ścieralność. Trwałość jest bowiem tą cechą powłok, która najbardziej interesuje zarówno użytkownika, projektanta, jak i producenta materiału malarskiego.

PIŚMIENNICTWO

1. Baworowski J.: Prognozowanie nauki i techniki. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1977.
2. Box G, Jenkins G.: Analiza szeregów czasowych. PWN, Warszawa 1983.
3. Bright J. [red.]: Prognozowanie w technice. WNT, Warszawa 1978.
4. Broniewski T. Kapko J. Płaczek W. Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. WNT, Warszawa 2000.
5. Kobus J.: Testy korozyjne. Rynek Chemiczny 2001, 2, s. 56÷59.
6. Kontarowska D.: The influence of ageing on the state of the organic coating surface. Advances in Coatings Technology Conference Papers Katowice 1998.
7. Lenik K, Gauda K, Lenik Z.: Forecasting of durability of waterborne coatings in the machine industry. The Worldwide Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Gdańsk 2009.
8. Luszniewicz A, Słaby T.: Szeregi czasowe i prognozowanie. Wyższa Szkoła Handlu i Prawa, Warszawa 2000.
9. Marrion A.: The chemistry and physics of coatings. Royal Society of Chemistry, London 1988.
10. Polska Norma PN-EN ISO 2813:2001. Farby i lakiery - oznaczanie połysku zwierciadlanego niemetalicznych powłok lakierowych pod kątem 20, 60 i 85 stopni.
11. Polska Norma PN-ISO 2810:2002. Farby i lakiery – wytyczne prowadzenia badań w naturalnych warunkach atmosferycznych.
12. Sobczyk M.: Prognozowanie. Teoria, przykłady, zadania. Wydawnictwo Placet, Warszawa 2008.
13. Szymczyk T, Rabiej S, Pielesz A.: Tablice matematyczne, fizyczne, chemiczne, astronomiczne. PPU „Park" Sp. z o. o., Bielsko-Biała 2000.
14. Zeliaś A.: Teoria prognozy. PWE, Warszawa 1997.
15. Zinowicz Z, Gauda K.: Powłoki organiczne w technice antykorozyjnej. Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 2003.

FORECASTING OF GLOSS OF ORGANIC COATINGS AS A METHOD OF ESTIMATING OF THE COVERS DURABILITY

Summary

The main intention of the article was to present forecast mechanisms of gloss of coatings as a method of wide application to determine durability of coatings. The gloss can be treated as a kind of degradation meter for a coat surface because within the wear from humidity, temperature, atmospheric oxygen and UV radiation, the surface reduces its ability to reflect light. The durability forecast has been performed on the basis of analyses of time series with the use of trend function extrapolation.

Keywords: Forecasting, gloss, organic coatings, durability.

Mykhaylo Pashechko[1], Krzysztof Dziedzic[1], Mirosław Malec[1]

MECHANIZM ZUŻYCIA POWŁOKI EUTEKTYCZNEJ OTRZYMANEJ METODĄ NAPAWANIA Z UŻYCIEM DRUTU PROSZKOWEGO

Streszczenie. W artykule omówiono mechanizm zużycia powłoki eutektycznej na bazie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Powłoki otrzymano metodą napawania łukowego w osłonie gazowej GMA z użyciem drutu proszkowego. Badanie przeprowadzono dla próbek z powłoką eutektyczną w układzie trzpień-tarcza podczas ruchu ślizgowego na sucho dla prędkości 0,4 m/s przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa. Materiał przeciwpróbki stal C 45. Obserwowano typowe właściwości tribologiczne. Po tarciu strukturę i rozkład atomów na powierzchni powłoki eutektycznej badano z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM. Wykazano, że mechanizm tarcia jest utleniający.

WSTĘP

Dokonywanie zmian konstrukcyjnych poprzez stosowanie na warstwy wierzchnie powłok z materiałów odpornych na zużycie w istotny sposób wkomponowuje się w tematykę poprawy właściwości eksploatacyjnych elementów maszyn. Najczęściej wykorzystywane powłoki odporne na zużycie są na bazie Co, Ni, Fe, Ti. Poświecone są temu liczne prace. Przykładowe powłoki odporne na zużycie to Ti-Cr-Si [1], Ni-Fe-C-MoS_2 [2], Fe-C-Cr-Si [3], TiC/FeCrBS [4], Ni-Cr-Mo-V [5], Fe-Ti-V-Mo-C [6]. Dla współpracujących tarciowo elementów niezwykle istotnym jest określenie intensywności ich zużycia uwzględniając jednocześnie zjawiska fizyko-chemiczne zachodzące na powierzchni tarcia [7–9].

Skład pierwiastków dla otrzymania wieloskładnikowego stopu eutektycznego układu Fe-Mn-C-B jest następujący (% masowych): Fe 85,1–92,5; Mn 1,6–7,6; C 2,6–7,0; B 0,2–3,5 [14].

Zawartość pierwiastków stopowych takich jak Si, Ni, Cr, Ti dobiera się uwzględniając możliwość otrzymania stopów ze strukturą eutektyczną oraz podwyższoną odpornością na zużycie biorąc pod uwagę jednocześnie aspekt ekonomiczny [11,12].

Szeroko wykorzystywanym procesem otrzymywania powłok na powierzchniach metali w szczególności do regeneracji elementów dla których postępujące zużycie uniemożliwia ich dalszą eksploatację jest napawanie. Własności napawanych warstw

[1] Katedra Podstaw Techniki, Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

wierzchnich zależą nie tylko od składu stopiwa, lecz również od technologii napawania, która może w istotny sposób wpłynąć na zmianę struktury materiału napawanego, co z kolei będzie miało wpływ na jego własności użytkowe [13].

Kształtowanie eutektycznego pokrycia zachodzi wskutek dyfuzji atomów manganu, boru i krzemu, a także innych pierwiastków stopowych w ciekłej fazie. W zależności od zawartości żelaza, manganu, węgla i boru zachodzi reakcja eutektyczna w układzie Fe – Mn – C, albo Fe – B – C. Przy nagrzewaniu stopu w postaci proszku do 1473 K zachodzi nadtopienie powierzchni i dyfuzja węgla i boru w stal. Zwiększenie temperatury doprowadza do wzrostu dyfuzyjnej aktywności manganu. Podczas ochładzania w pierwszej kolejności zachodzi krystalizacja austenitu (ferrytu), który rośnie w postaci dendrytów, a następnie krystalizuje się w obszarach między dendrytami eutektyka układu Fe – Mn – C. Właściwości powłok określa ich struktura i skład fazowy. Poprzez ich zmianę można optymalizować niektóre właściwości, między innymi odporność na zużycie.

METODYKA BADAWCZA

Do otrzymania powłoki wykorzystano metodę napawania GMA (MAG osłona CO_2) z wykorzystaniem drutu proszkowego o stopiwie eutektycznym układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr Jako materiał próbek przyjęto stal SJ 355.

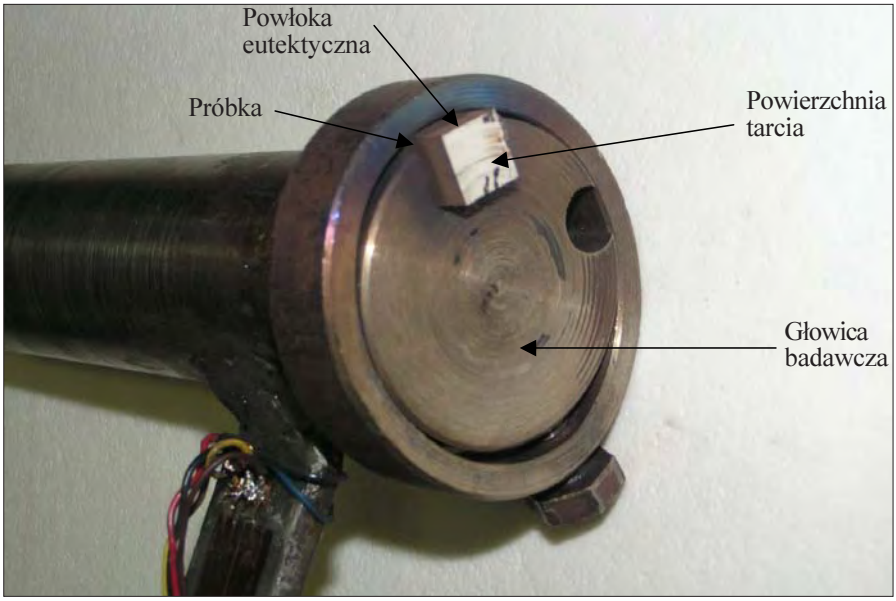
Do badań odporności na zużycie wykorzystano zmodernizowany tribotester typu Amslera, przy uwzględnieniu PN-79/H-04329. Przyjęte podstawowe parametry charakteryzujące węzeł tarcia były następujące:

– rodzaj styku: rozłożony, płaski (w układzie trzpień-tarcza),
– skojarzenie pary trącej trzpień – tarcza realizowane jest przez obracającą się tarczę i dociskaną do niej próbkę (kształt próbki: kwadrat o boku 10mm, średnica tarczy: 90 mm, materiał stal C 45, twardość 52–54 HRC, rys. 1),
– rodzaj ruchu: tarcie ślizgowe (prędkość 0,4 m/s),
–· obciążenie styku modeluje współpracę pary trącej dla nacisku powierzchniowego 3 MPa,
– czas tarcia – 6 godzin.

Ubytek masy mierzono metodą wagową z dokładnością 1 mg.

Obiektem badań z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego była powłoka otrzymana z wieloskładnikowego stopu eutektycznego na podstawie układu Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Twardość powłok wyniosła 49 HRC.

Badania rozkładu pierwiastków (jakościowe oraz ilościowe) na powierzchni tarcia były prowadzone przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego SEM z przystawką EDS. Otrzymano obraz w elektronach wtórnych. Powiększenie 200.



Rys. 1. Widok głowicy badawczej z zamontowaną próbką

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

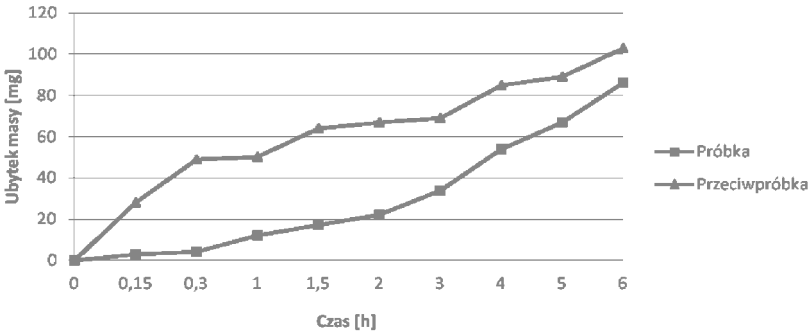
Niezwykle istotnym w eksploatacji maszyn jest określenie wielkości zużycia współpracujących tarciowo elementów z naniesionymi powłokami. Ubytek masy powłoki eutektycznej podczas testu przedstawia rysunku 2.

Jak widać na rysunku 2 ubytek masy próbki po tarciu przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa wyniósł 86 mg dla próbki i 103 mg dla przeciwpróbki. Czas próby 6 godzin.

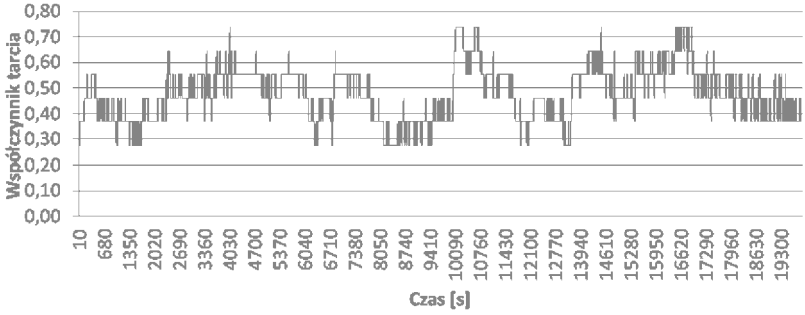
Średni współczynnik tarcia przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa wyniósł 0,48. Zmianę współczynnika tarcia przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa w czasie 6 godzin przedstawia rysunek 3.

Rozkład pierwiastków na powierzchni tarcia stopu eutektycznego przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa przedstawia rysunek 4. Otrzymano nierównomierny rozkład atomów węgla, oraz tlenu na powierzchni tarcia. Obecność tlenu może świadczyć o tworzeniu się tlenków. Występowanie tlenków świadczy o utleniającym mechanizmie zużycia.

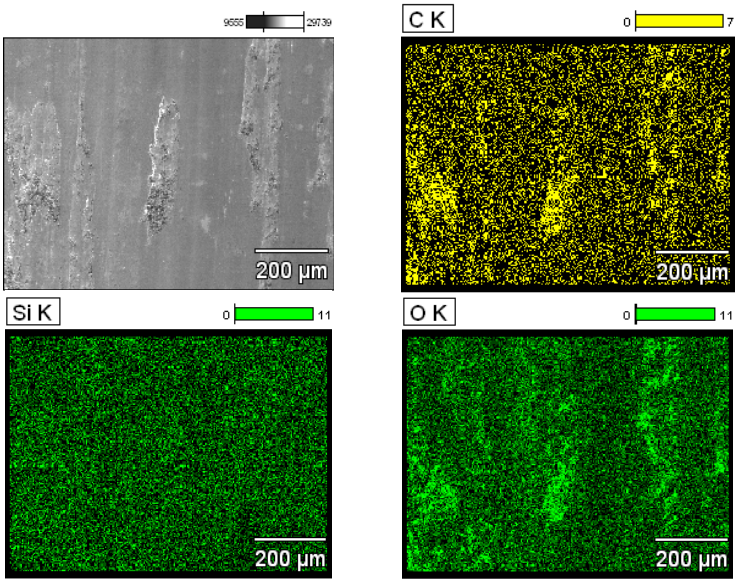
Przeprowadzona mikroanaliza powłoki pozwoliła zbadać skład chemiczny na powierzchni tarcia. Następnie porównano go ze składem chemicznym powłoki przed tarciem. Na powierzchni tarcia zaobserwowano wzrost atomów O oraz C w porównaniu do powierzchni powłoki przed tarciem. Zawartość węgla wzrasta z 14,11 do 22,31. Zawartość tlenu wzrasta do 7. Natomiast dla Si widoczny jest spadek zawartości tego pierwiastka na powierzchni w porównaniu z próbką przed tarciem.



Rys. 2. Ubytek masy powłoki eutektycznej Fe-Mn-B-C-Si-Ni-Cr przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa



Rys. 3. Zmiana współczynnika tarcia powłoki eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa



Rys. 4. Rozkład atomów C, Si, O na powierzchni tarcia stopu eutektycznego eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa

PODSUMOWANIE

Wieloskładnikowe stopy eutektyczne na podstawie układu Fe-Mn-C-B-Si-Cr-Ni, dają możliwości otrzymywania na powierzchni stali SJ 355 odpornej na zużycie powłoki eutektycznej metodą napawania MAG z wykorzystaniem drutów proszkowych. Wykorzystywane są one miedzy innymi do otrzymywania powłok na nożach pracujacych w urządzeniach do rozdrabniania zużytych opon samochodowych.

Wykorzystując skaningowy mikroskop elektronowy SEM uwidoczniono wzrost zawartości pierwiastków C, O, na powierzchni tarcia powłoki eutektycznej przy przyłożonym obciążeniu 3 MPa w porównaniu z próbką przed tarciem. Wykazano, że mechanizm tarcia powłoki eutektycznej jest utleniający.

PIŚMIENNICTWO

1. Hadad M., Bandyopadhyay P.P., Michler J., Lesage J. Tribological behaviour of thermally sprayed Ti–Cr–Si coatings. Wear 267, 2009: 1002–1008.
2. Li J., Xiong D. Tribological behavior of graphite-containing nickel-based composite as function of temperature, load and counterface. Wear 266, 2009: 360–367.
3. Granat K. Wieloskładnikowe stopy Fe-C-Cr-Si odporne na zużycie przeznaczone na odlewy i warstwy napawane. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
4. Xinhong W., Zengda Z., Sili S., Shiyao Q. Microstructure an dwear properties of insitu TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding. Wear 260, 2006: 705–710.
5. Rai D., Singh B., Singh J. Characterisation of wear behavior of different microstructures in Ni–Cr–Mo–V steel. Wear 263, 2007: 821–829.
6. Wang X., Hanb F., Liu X., Qu S., Zou Z. Microstructure and wear properties of the Fe–Ti–V–Mo–C hardfacing alloy. Wear 265, 2008: 583–589.
7. Garza-Montes-de-Oca N.F., Rainforth W.M. Wear mechanisms experienced by a work roll grade high speed steel under different environmental conditions. Wear 267, 2009: 441–448.
8. Chengxin L., Guixin W., Yandong W., Jingang W., Jianjun Z. Analysis of wear resistance and its mechanism in an Fe-Mn-Si-Cr-Ni shape memory alloy. Materials Scienceand Engineering, 2006: 804–807.
9. Khonsari M.M., Booser E.R. Applied Tribology. Jon Wiley & Sons, Ltd., Chichaster 2008.
10. Paszeczko M., Gorecki T. Konstytuowanie warstw wierzchnich odpornych na zużycie ścierne ze stopów eutektycznych na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B. W: „Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i kształceniu technicznym”, Lubelskie Towrzystwo Naukowe, Lublin 2001: 379–387.
11. Pashechko M., Lenik K. Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear. Wear 267, 2009: 1301–1304.
12. Lenik K., Paszeczko M., Dziedzic K., Barszcz M. The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials, Archives of Materials Science and Engineering. Vol. 30, Issue 1, March 2008: 9–12.

13. Pashechko M., Lenik K., Barszcz M., Dziedzic K. Regeneracja części maszyn roboczych metodą napawania z wykorzystaniem stopów eutektycznych. XXII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2009: 125–127.

WEAR MECHANISM OF EUTECTIC COATING OBTAINED BY WELDING METHOD WITH USE WIRE POWDER

Summary

Tribological properties of eutectic coating based on Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr system was studied. The coating were obtained by gas metal arc welding GMA with use of wire powder. Pin-on-disk dry sliding wear tests at sliding speeds 0,4 m/s and under load 3 MPa were conducted for pin specimens with eutectic coatings. Material of counter-sample was steel C 45. During frictions a typical tribological properties was observed. After friction structure and distribution of atoms in the eutectic coatings due to wear was studied by scanning electron microscopy (SEM).

Gabriel Borowski[1)], Michał Miłczak[1)]

BADANIA PRZYDATNOŚCI BRYKIETÓW Z POPIOŁÓW PALENISKOWYCH JAKO PODBUDOWY DROGOWE

Streszczenie. W publikacji przedstawiono wyniki badań przydatności brykietów wytworzonych z popiołów paleniskowych z dodatkiem lepiszcza. Określono właściwości fizyczno-chemiczne popiołów oraz przedstawiono sposób ich przetwarzania. Prace obejmowały określenie sposobu przygotowania materiału do brykietowania, analizę procesu zagęszczania w prasie stemplowej oraz ocenę wytrzymałościową brykietów. Istotnymi czynnikami analizy było rodzaj i ilość dodawanego lepiszcza, wilgotność mieszanki, wielkość nacisku prasy formującej brykiety oraz czas sezonowania. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że z popiołów paleniskowych uzyskuje się brykiety o dużej odporności mechanicznej, które nadają się wykorzystania jako zamiennik kruszywa mineralnego na podbudowy drogowe.

WPROWADZENIE

W celu uzyskania energii cieplnej w procesie spalania węgla oraz coraz częściej biomasy powstają różnego rodzaju odpady energetyczne, do których m.in. zalicza się: popioły lotne, żużle, mieszaniny popiołowo-żużlowe, mikrosfery, popioły z kotłów fluidalnych oraz gips z odsiarczania spalin. Pozostałości te nadal nie są w całości zagospodarowane, a znacząca ich ilość umieszczana jest na składowiskach przyczyniając się do degradacji środowiska. Z tęgo względu należy sukcesywnie kontynuować prace badawcze nad gospodarczym wykorzystywaniem popiołów lotnych oraz paleniskowych. Obecnie największe zastosowanie tych popiołów ma miejsce w przemyśle budowlanym, gdzie są równoważnikiem pełnowartościowych surowców mineralnych używanych w produkcji materiałów budowlanych takich jak cement, klinkier cementowy, kruszywa lekkie oraz ceramika budowlana [4, 5, 6].

Popioły paleniskowe ze spalania paliw w kotłach energetycznych zaliczane są do odpadów drobnoziarnistych, które w swojej naturalnej postaci stwarzają duże problemy związane z zagospodarowaniem. Korzystnie jest wykorzystywać je po odpowiednim przetworzeniu poprzez dostosowanie ich właściwości fizycznych oraz chemicznych. Jednym z często stosowanych sposobów przetwarzania materiałów sypkich jest scalanie metodą brykietowania. Brykietowanie nadaje popiołom postać jednorodnie zbryloną, pod warunkiem doboru odpowiednich parametrów procesu oraz zastosowaniu dodatków wiążących [1]. Przydatność brykietów do określonego zastosowania wy-

[1)] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

maga zbadania ich właściwości w aspekcie spełnienia wymogów konkretnego odbiorcy. W przypadku zastosowania w przemyśle budowlanym, brykiety te muszą spełniać następujące wymogi [7, 8]:
– odporność mechaniczna na ściskanie,
– odporność na rozdrabnianie i ścieranie,
– sprężystość,
– gęstość,
– odporności na działania czynników atmosferycznych, w szczególności mrozoodporność,
– nasiąkliwość i wodoprzepuszczalność.

Spełnienie tych wymogów wiąże się z przeprowadzeniem licznych prób i badań doświadczalnych, z uwzględnieniem zachowania określonych parametrów w dłuższym okresie czasu, czyli sezonowania.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań brykietów wytworzonych z popiołów paleniskowych ze spalania biomasy drzewnej, która stanowi coraz większy udział w uzyskiwaniu energii cieplnej, zwłaszcza w kotłach zasilających gospodarstwa indywidualne. Wyniki poddano analizie w zakresie możliwości wykorzystania tych brykietów jako zamiennika naturalnego kruszywa stosowanego do podbudowy dróg.

CHARAKTERYSTYKA POPIOŁÓW Z BIOMASY

Z ekologicznego punktu widzenia korzystną cechą paliwa jest mała zawartość części lotnych, popiołu, siarki i innych szkodliwych substancji przy relatywnie dużej wartości opałowej [9, 10]. W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów tych parametrów wraz z podstawowymi cechami fizycznymi paliwa z biomasy drzewnej w porównaniu z węglem kamiennym.

Tabela 1. Właściwości fizyczne i energetyczne biomasy drzewnej i węgla

Parametr	Biomasa z drewna liściastego	Węgiel kamienny
Gęstość nasypowa, kg/m^3	80	880
Zawartość wilgoci, %	14,0	7,1
Wartość opałowa, kJ/kg	19 000	28 000
Zawartość części lotnych, %	66,5	26,6
Zawartość popiołu, %	2,0	12,2
Zawartość siarki, %	0,1	0,9
Tlen, %	30,2	7,0
Węgiel, %	42,0	81,0
Azot, %	0,5	1,1

Biomasa zawiera około czterokrotnie więcej tlenu, dwukrotnie mniej węgla, a także mniej siarki i azotu w porównaniu do węgla. Podczas spalania biomasy powstaje dużo części lotnych, spalanie węgla natomiast wiąże się ze znacznie większym udziałem popiołu w palenisku. Zawartość węgla pierwiastkowego w węglu jest dwukrotnie większa niż w biomasie. Biomasa posiada małą gęstość nasypową, a więc zajmuje większą objętość przy składowaniu w porównaniu z węglem. Charakterystyczną cechą biomasy w postaci świeżej jest duża zawartość wilgoci, co wymaga jej dosuszania do wartości mniejszej od 15%. Wartość opałowa biomasy drzewnej jest prawie dwukrotnie mniejsza niż węgla kamiennego, która jest niewystarczająca do stosowania jej jako główne źródło energii cieplnej w energetyce zawodowej. Chętnie natomiast jest stosowana w kotłach indywidualnych, głównie ze względu na małe pozostałości popiołów w palenisku oraz niską emisję związków siarki do atmosfery.

Z tego też względu jako materiał do dalszych badań wybrano popioły paleniskowe z przydomowych kotłów energetycznych opalanych drewnem liściastym takim, jak brzoza, grab, buk i dąb. Określono jego skład chemiczny oraz porównano z analogicznymi cechami popiołu ze spalania węgla kamiennego oraz mieszanki węglowo-biomasowej (tabela 2).

Skład chemiczny popiołu ze spalania biomasy drewna liściastego jest znacząco różny w porównano do składu popiołu z węgla oraz mieszanki węglowo-biomasowej. Głównymi składnikami chemicznymi w popiele z biomasy są związki CaO, SiO_2 oraz K_2O. Z kolei w popiele ze spalania zarówno węgla, jak i mieszanki występują głównie związki SiO_2, oraz Al_2O_3. Należy mieć na uwadze fakt że podany skład chemiczny w dużym stopniu zależy od źródła i rodzaju biomasy oraz sposobu jej spalania i typu urządzenia. Zwiększenie stabilności składu popiołów wymaga stosowania procesów zagęszczania biomasy wraz z ujednorodnieniem jej struktury przed spalaniem.

Najważniejsze parametry fizyczne popiołów paleniskowych ze spalania biomasy drzewnej przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Skład chemiczny popiołu ze spalania biomasy drzewnej w porównaniu do węgla i mieszanki węglowo-biomasowej

Rodzaj związku chemicznego	Zawartość związku w popiele ze spalania (%):		
	drewna liściastego	węgla kamiennego	mieszanki węgla + 10% biomasy drzewnej
CaO	41,80	2,66	4,50
SiO_2	23,50	50,82	48,97
K_2O	15,20	2,98	3,51
MgO	7,60	2,76	2,93
Al_2O_3	6,70	28,64	27,52
P_2O_5	2,80	0,89	1,90
Fe_2O_3	1,70	6,16	6,09
Inne	0,70	5,09	4,58

Tabela 3. Właściwości fizyczne popiołu ze spalania biomasy drzewnej

Parametr	Wartość
Zawartość wilgoci, %	2,0
Gęstość usypowa, kg/m^3	420,0
Rozmiar cząstek (uziarnienie), mm	0,01–1,0

Popioły ze spalania biomasy drzewnej posiadają duży stopień rozdrobnienia o wymiarach ziaren wynoszących najczęściej od 0,01 do 1,0 mm. Materiał ten często występuje z gabarytowo większymi pojedynczymi zanieczyszczeniami, które powinno się odseparować. Charakteryzuje się zarówno małą zawartością wilgoci, jak i gęstością usypową. Cechy te wpływają na występowanie znacznego pylenia popiołów oraz konieczności zapewnienia dużej powierzchni podczas składowania i transportu.

SPOSÓB WYTWARZANIA I METODYKA BADAŃ BRYKIETÓW

W procesie brykietowania materiałów drobnoziarnistych istotną rolę odgrywają czynniki związane z przygotowaniem materiału. Przygotowanie materiału do brykietowania obejmuje rozdrabnianie, mieszanie składników oraz dosuszanie do wilgotności mniejszej niż 12% [1, 3].

Do rozdrabniania wykorzystuje się młynki elektryczne, które dobiera się uwzględniając właściwości rozdrabnianych materiałów. Najczęściej stosuje się młynki udarowe oraz nożowe (tnące).

Mieszanie składników wykonuje się w mieszarkach łopatkowych lub ślimakowych, przy czym ścianki urządzenia mogą być podgrzewane w celu szybszego dosuszenia składników. Korzystne jest dodanie do mieszarki materiału wiążącego, tzw. lepiszcza. Często stosowanymi lepiszczami są skrobia, melasa, ług sodowy, szkło wodne, wapno, gips i wiele innych.

Uzyskanie wymaganej wilgotności wymaga przeprowadzenia dosuszania termicznego. Suszenie można przeprowadzić w suszarce bębnowej. Materiał ładuje się podajnikiem do bębna suszarki gdzie następuje właściwy proces suszenia. Podczas ruchu obrotowego znajdujący się w bębnie ślimak przesuwa materiał w kierunku wylotu. Utrata wilgotności następuje poprzez bezpośredni styk suszonego surowca z gorącymi elementami grzejnymi albo ze strumieniem powietrza. Dosuszony do poniżej 12% wilgotności materiał wpada na dno komory skąd transportowany jest do zasobnika prasy brykietującej.

W przypadku przygotowania mieszanki popiołów ze spalania biomasy drzewnej nie występowała potrzeba wstępnego dosuszania oraz rozdrabniania materiału. Konieczne było natomiast dodanie niewielkiej ilości wody dla uzyskania ok. 5% wilgotności mieszanki, co wpłynęło korzystnie na proces brykietowania. Do mieszaniny dodawano

następujące lepiszcza: melasę, wapno hydratyzowane oraz cement. Przygotowano też partię materiału bez dodatków wiążących.

Do mieszania składników zastosowano laboratoryjną mieszarkę elektryczną, a następnie przeprowadzono pomiary wilgotności przy pomocy wagosuszarki firmy KETT typu FD-620. Urządzenie umożliwia pomiar wilgotności z dokładnością ±0,1% w zakresie temperatur 50–195 °C, przy czym zadana temperatura suszenia wynosiła 100 °C.

Przygotowaną mieszankę brykietowano wykorzystując prasę hydrauliczną PH-100 o sile docisku stempla do 100 kN. Wykorzystano matrycę formującą własnej konstrukcji umożliwiającą uzyskanie brykietów o kształcie walcowym, którego średnica wynosi 30 mm. Cechy fizyczne brykietów oraz stosowane naciski jednostkowe stempla podano w tabeli 4.

Gotowe brykiety poddano badaniom wytrzymałościowym z uwzględnieniem wpływu sezonowania. Odporność mechaniczną brykietów określono na podstawie następujących parametrów [1, 2]:

– odporność na zrzut grawitacyjny,
– maksymalna wartości nacisku stempla powodująca zniszczenie struktury brykietu.

Odporność brykietu na zrzut grawitacyjny oceniano poprzez procentowy ubytek masy po trzykrotnym zrzuceniu partii brykietów z wysokości 2,0 m na stalową płytę o grubości 20 mm. Po każdym zrzucie przesiewano próbki przez sito o rozmiarze oczek większym niż dopuszczalny minimalny wymiar brykietu [4]. Wymagana minimalna odporność grawitacyjną na zrzut powinna wynosić co najmniej 90%.

Wartość siły nacisku stempla powodująca zniszczenie struktury brykietu określono eksperymentalnie w ten sposób, że umieszczony go poziomo między płaskimi powierzchniami hydraulicznej maszyny wytrzymałościowej i ściskano aż do momentu zniszczenia jego struktury. Minimalna wartość jednostkowego nacisku stempla powodująca zniszczenie brykietu powinna wynosić co najmniej 1,0 MPa.

Tabela 4. Cechy fizyczne przygotowanych do badań partii brykietów

Nr partii	Rodzaj i udział lepiszcza, %	Nacisk jednostkowy stempla, MPa	Masa brykietu, g	Objętość brykietu, mm^3
1	Bez lepiszcza	9,90	31,44	148,36
2	Melasa, 5%	7,10	26,30	115,02
3	Melasa, 5%	4,25	27,39	120,10
5	Melasa, 10%	4,25	30,27	137,91
6	Wapno hydratyzowane, 5%	4,25	21,35	115,87
7	Wapno hydratyzowane, 8%	4,25	22,10	117,28
8	Wapno hydratyzowane, 5% + cement 5%	4,25	23,61	120,10
9	Wapno hydratyzowane, 8% + cement, 8%	4,25	26,91	127,17
10	Wapno hydratyzowane, 8% + cement, 10%	4,25	24,57	128,58

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań wytrzymałościowych brykietów z popiołów ze spalania biomasy drzewnej przedstawia tabela 5.

W większości przypadków odporność grawitacyjna na zrzut osiągała wartość powyżej 90%, którą uznano jako wymagane minimum, oprócz próbek z dodatkiem melasy jako lepiszcza. Lepiszcze to nie polepszało właściwości mechanicznych brykietów popiołowych, należało zatem zastosować innych substancji wiążących. Dodatek wapna hydratyzowanego umożliwił uzyskanie brykietów o właściwościach mechanicznych zbliżonych do minimalnych, jednak niektóre partie brykietów charakteryzowały się jednostkowym naciskiem stempla niszczącego brykiet poniżej wartości wymaganej. Dopiero dodatek cementu umożliwił uzyskanie brykietów o wysokiej odporności mechanicznej. Najkorzystniejsze cechy wytrzymałościowe wykazały brykiety zawierające lepiszcze dwuskładnikowe zawierające wapno hydratyzowane oraz cement w udziale masowym od 5 do 8%. Stwierdzono, że podwyższenie udziału któregokolwiek ze składników lepiszcza nie przynosi istotnego poprawienia odporności mechanicznej, a wręcz przeciwnie może ona ulec pogorszeniu.

Stwierdzono korzystny wpływ sezonowania na wzrost odporności mechanicznej brykietów (tab. 5). Optymalny okres sezonowania wynosi dwa tygodnie, jednak wystarczające właściwości posiadały również brykiety świeże z dodatkiem wapna i cementu jako lepiszcza.

Zbadano wpływ nacisku jednostkowego stempla (tab. 4) oraz wilgotności mieszanki na odporność mechaniczną brykietów. Duże wartości nacisku formującego nie przekładały się na podwyższenie odporności mechanicznej brykietów. Określona do-

Tabela 5. Właściwości mechaniczne brykietów z uwzględnieniem sezonowania

Nr próby	Rodzaj i udział lepiszcza, %	Wartość jednostkowego nacisku stempla niszczącego brykiet, MPa		Odporność na zrzut grawitacyjny, %	
		brykiet świeży	brykiet sezonowany	brykiet świeży	brykiet sezonowany
1	Melasa, 5%	0,74	0,88	84,0	86,1
2	Melasa, 10%	0,68	0,71	85,5	89,7
3	Wapno hydratyzowane, 5%	1,02	1,13	97,1	98,0
4	Wapno hydratyzowane, 8%	0,89	0,99	95,0	96,5
5	Wapno hydratyzowane + cement, 5%	1,27	1,42	98,8	99,2
6	Wapno hydratyzowane + cement, 8%	1,58	1,70	97,6	98,8
7	Wapno hydratyzowane + cement, 10%	1,75	1,98	97,5	98,9

świadczalnie optymalna wartość nacisku jednostkowego stempla wynosiła 4,25 MPa. Najkorzystniejsza natomiast zawartość wilgoci w mieszance wynosiła w zakresie 5–8 %.

WNIOSKI

W oparciu o przedstawione wyniki badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Zasadne jest brykietowanie drobnoziarnistych popiołów paleniskowych ze spalania biomasy drzewnej.
2. Właściwości brykietów zależą od zastosowania odpowiednich substancji wiążących. Korzystny jest dodatek lepiszcza dwuskładnikowego na bazie wapna i cementu oraz doprowadzenie mieszanki do określonej wilgotności.
3. Na odporność mechaniczną brykietów korzystny wpływ ma również ich sezonowanie.
4. Brykiety z drobnoziarnistych popiołów paleniskowych mogą być wykorzystane jako substytut kruszywa mineralnego na podbudowy drogowe.
5. Konieczna jest analiza wpływu brykietów na środowisko naturalne w obszarze podbudowy, w szczególności określenie wymywalności zanieczyszczeń chemicznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Borowski G. Kuczmaszewski J. Utylizacja drobnoziarnistych odpadów metalowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005.
2. Borowski G. Określenie właściwości fizyczno-mechanicznych materiałów drobnoziarnistych w celu ich zagospodarowania. Postępy Nauki i Techniki, 3, 2009: 67–82.
3. Borowski G. Możliwości wykorzystania odpadów z energetyki do budowy dróg. Inżynieria Ekologiczna, 22, 2010: 85–96.
4. Granops T. Wyniki badań i prognozy wykorzystania popiołów z Dolnej Odry w drogownictwie. W: Konferencja Międzynarodowa nt. „Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin", Świnoujście 1994.
5. Jarema-Suchorowska S. Wyniki badań nad utylizacją odpadów paleniskowych. W: Konferencja Międzynarodowa nt. „Zagospodarowanie odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin", Świnoujście 1994.
6. Kępys W. Próba odzysku popiołów lotnych i żużli z instalacji termicznego przekształcania odpadów jako kruszywa sztucznego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, tom 24, zeszyt 3/3, 2008.
7. Kukiełka J. Wykorzystanie popiołów lotnych do budowy dróg. Ekoinżynieria, 4, 1998: 8–11.
8. Pachowski J. Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1976.
9. Piotrowski Z., Uliasz-Bocheńczyk A. Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, tom 24, zeszyt 2/1, 2008.

10. Wileński P. Sposoby i warunki wykorzystania energetycznych odpadów paleniskowych w budownictwie komunikacyjnym. W: Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Produkty uboczne spalania węgla w energetyce jako pełnowartościowy surowiec", Świnoujście 1996.

INVESTIGATION ON THE BRIQUETTES FROM THE BOILER FURNACE ASHES TO ROAD BUILDING UTILIZATION

Summary

This publication presents the results of investigations on the briquettes made with the boiler furnace ashes together with a binding agent. The physical-chemical properties of the material investigated and the way of utilization, were described. The process for preparing the material into briquettes comprised of consolidation constituents as well compressive strength test, were presented. Analysis was made of such parameters as: contribution of the binder in the mixture, moisture in the mixture, press pressure on the formation, and seasoning. The results confirm the possibility of obtaining of high toughness briquettes. They would be interchangeable with aggregates building materials.

Grzegorz Szwed[1], Jacek Majcher[2]

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA POLA ELEKTROSTATYCZNEGO W SEPARACJI ROZDROBNIONYCH NASION RZEPAKU

Streszczenie. Jednym z wstępnych etapów przetwarzania produktów pochodzenia rolniczego jest odpowiednia segregacja materiału, która pozwala odseparować materiał dobry jakościowo od tego, który nie spełnia określonych norm. W pracy podjęto próbę separacji materiału rozdrobnionego (nasiona rzepaku), którego dotychczas stosowane metody rozdziału są niezadawalające. Wykorzystano odmienne zachowanie się rozdrobnionych cząstek zarodka od cząstek łupiny w wytworzonym polu elektrostatycznym, udowadniając tezę, że zróżnicowany skład chemiczny zarodka i łupiny, a tym samym przenikalność elektryczna, w zróżnicowany sposób wpływa na te składniki. Do separacji wykorzystano elektroseparator płaski, który zasilano wysokim napięciem z zakresu 0-1-3-7 kV. Zbadano wpływ wartości napięcia zasilającego elektrody na wydajność separacji.
Słowa kluczowe: rzepak, elektroseparator, łupina, zarodek, separacja.

WSTĘP

Głównym surowcem do produkcji oleju spożywczego w Polsce są nasiona rzepaku. Jest wiele czynników, które determinują końcową jakość pozyskiwanych nasion, a więc i wytworzonego z nich oleju. Wynikają one z niejednorodności dojrzewania nasion, zanieczyszczeniu nasionami innych roślin (chwastów) podczas zbioru, nieprawidłowym ich przechowywaniu, itd. Taki surowiec jest więc zróżnicowany pod względem jakościowym oraz posiada niekiedy wtrącenia w postaci obcych ziaren. Produktem ubocznym wytwarzanego oleju jest śruta rzepakowa wykorzystywana jako pasza dla zwierząt. Na walory smakowe (jakościowe) wytworzonych produktów istotny (niekorzystny) wpływ ma również łupina nasion, niedająca się w prosty sposób oddzielić od zarodka w dotychczasowych procesach technologicznych pozyskiwania oleju. Obecnie jest wiele metod, które stosuje się w procesie czyszczenia nasion, jednak metody te mało skutecznie pozwalają odseparować rozdrobnione części nasion, które posiadają identyczne cechy rozdzielcze (opór przepływu powietrza, ciężar jednostkowy, itp.).

[1] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska,
[2] Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, Politechnika Lubelska.

NAJCZĘŚCIEJ SPOTYKANE METODY SEPARACJI MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH POCHODZENIA ROŚLINNEGO

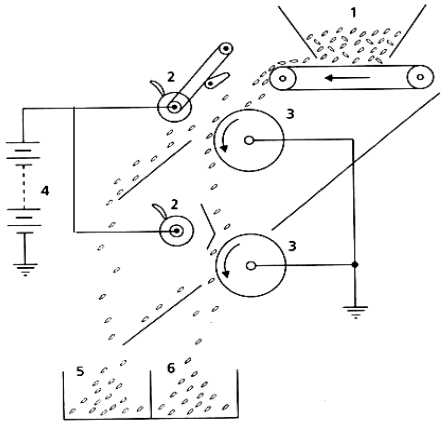
Dynamicznie rozwijający się przemysł przetwórczy materiałów roślinnych spowodował rozwój wielu metod segregacji materiałów drobnoziarnistych (nasion roślin uprawnych). Materiał ten, w zależności od potrzeb, możemy posegregować na grupy różniące się wskazanymi cechami rozdzielczymi (Dłużewski i Dłużewska 2001). Dotychczas, jako fizyczne cechy rozdzielcze najczęściej wykorzystywane są:

– kształt materiału,
– masa jednostkowa materiału,
– barwa materiału,

Niestety wszystkie wymienione powyżej metody rozróżniają materiał pod względem cech zewnętrznych. Sytuacja zaczyna się komplikować w przypadku, gdy materiał, który chcemy posegregować jest rozkruszony i nie różni się zbytnio cechami zewnętrznymi. W takim przypadku właściwa była by segregacja, która rozróżniałaby materiał pod względem cech wewnętrznych materiału a mianowicie składu chemicznego. Materiał różniący się składem chemicznym zazwyczaj różni się również parametrami elektrycznymi takimi jak przenikalność elektryczna. Powyższą właściwość wykorzystano w procesie separacji liści od ogonków herbaty (rys. 1).

Wykorzystuje się tu niewielką różnice wilgotności liści i ogonków herbaty, a tym samym różnice w ich przenikalności elektrycznej i przewodnictwie elektrycznym. Najlepszą wydajność separacji otrzymano przy wilgotności mieszaniny około 7% [Masui 1982].

Proces separacji jest możliwy dzięki oddziaływaniu pola elektrostatycznego wytworzonego między elektrodami 2 i 3 na cząstki herbaty posiadające ładunek elektryczny. Ładunek na cząstce otrzymujemy poprzez elektryzację, która w tym przypadku



Rys. 1. Separator elektrostatyczny do oddzielania liści i ogonków herbaty [Chang i in. 1995]**:** 1 – podajnik, 2 – wysokonapięciowe elektrody, 3 – bębny, 4 – zasilacz WN, 5 – liście herbaty, 6 – ogonki herbaty

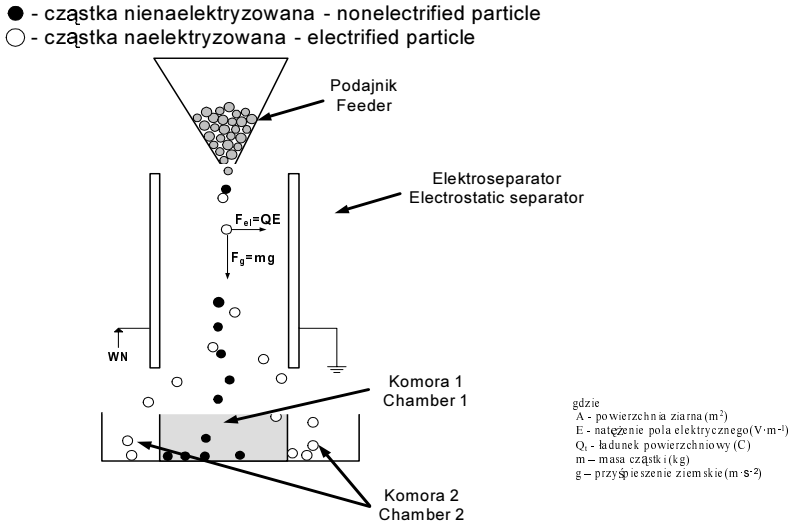
odbywa się na zasadzie kontaktu z powierzchnią naładowaną oraz poprzez indukcję [Gajewski 2000].

Tę właściwość w niniejszej pracy starano się również wykorzystać w procesie oddzielenia zarodka nasion rzepaku od pozostałych frakcji (łupiny). Zróżnicowany skład chemiczny zarodka i łupiny nasienia rzepaku pozwala domniemywać, że wpłynie to również na ich odmienną przenikalność elektryczną, a co za tym idzie, inaczej będą reagowały badane frakcje na pole elektrostatyczne. Na rysunku 2 przedstawiono istotę separacji elektrostatycznej.

Tabela 1. Skład chemiczny łupiny oraz zarodka nasion rzepaku odmiany Mar i Polo [Miń-kowski 2000]

Cechy	Odmiana			
	Mar		*Polo*	
	łupina	zarodek	łupina	zarodek
Sucha masa [%]	90,2	93,5	91	94,4
Tłuszcz [% sm.]	5,9	57,9	5,9	56,6
Białko ogółem [% smb]	14,1	44,3	15,6	44
Włókno surowe [%smb.]	38,5	6,4	39,4	6,6
Glukozynolany [uM/1g smb]	6,1	26,1	5	17,4
Kwas taninowy [% smb]	0,69	2,6	0,78	2,02
Taniny skondensowane [mg/100g smb.]	790	201	532	138
Fityniany [% smb.]	0,54	5,6	0,43	3,97
Żelazo [mg/kg smb.]	97,8	79,5	98	82,1
Miedź [mg/kg smb.]	9,4	4,5	11,1	6,2
Cynk [mg/kg smb.]	6,2	60,7	14,6	79,9

Objaśnienie skrutów: sm. – sucha masa, smb. – sucha masa beztłuszczowa, μM – mikromole.



Rys. 2. Zasada separacji materiałów sypkich w polu elektrycznym

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było znalezienie nowej, skutecznej metody oddzielenia łupiny nasienia rzepaku od zarodka po uprzednim jego rozkruszeniu. Z rozdrobnionego materiału starano się usunąć łupinę, ponieważ zawiera ona znaczne ilości składników niestrawnych, tzw. włókna pokarmowe. Włókno obniża zarówno wartość energetyczną paszy, jak też wykorzystanie składników pokarmowych – głównie białka. Głównym składnikiem włókna są ligniny, celuloza. Najwięcej włókna pokarmowego a zarazem najmniej składników pokarmowych znajduje się w łupinie (Ochodzki i Piotrawska 2002).

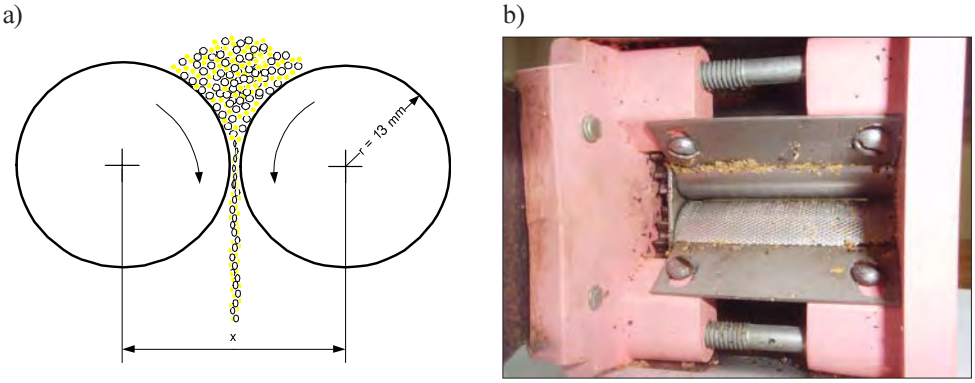
Jako cechę rozdzielczą rozdrobnionych frakcji starano się wykorzystać różnice w składzie chemicznym zarodka i łupiny. Do tego celu wykorzystano wytworzone pole elektrostatyczne, które w zróżnicowany sposób reaguje na rozdrobnione frakcje w zależności od ich ładunku elektrostatycznego. Zakładając, że ładunek elektrostatyczny cząstki znajdującej się w polu uzależniony jest ściśle od składu chemicznego, postanowiono wykorzystać to zjawisko w możliwości separacji materiałów roślinnych o zróżnicowanym składzie chemicznym.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

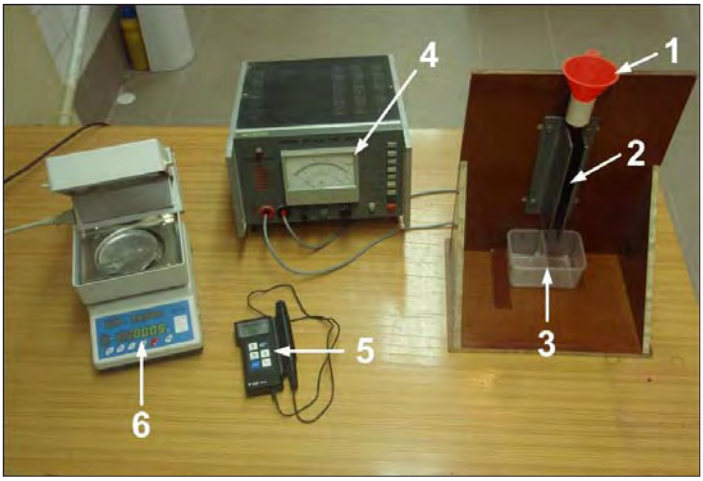
Materiałem badawczym były nasiona rzepaku wczesno średniej odmiany Bazyl zebrane w 2008 r. Aby można było skutecznie odseparować zarodek od pozostałych cząstek łupiny, konieczne było wcześniejsze rozkruszenie badanego materiału. Nasiona rozdrobnione zostały na kruszarce walcowej przedstawionej na rysunku (rys. 4b). Podczas kruszenia regulowano szczelinę między walcami od wartości początkowej $x_1 = 29$ mm aż do $x_2 = 27$ mm. Szczelinę zmniejszano co 0,1 mm do takiej wartości, aby nie dopuścić do wydzielenia z nasion oleju. Przykład regulacji przedstawiono na (rys. 3a).

Badania prowadzone były na elektroseparatorze przedstawionym na rysunku 4

a) b)

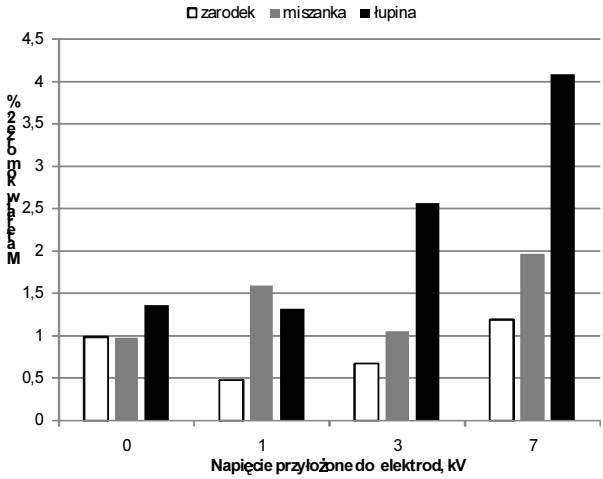


Rys. 3. Kruszarka walcowa a) schemat, b) model rzeczywisty



Rys. 4. Stanowisko badawcze: 1 – podajnik, 2 – elektroseparator, 3 – komora, 4 – zasilacz WN, 5 – uniwersalny miernik wilgotności, 6 – waga

.Rozdrobniony materiał umieszczano w podajniku gdzie następnie trafiał do elektroseparatora, tutaj cząstki bardziej naelektryzowane odchylały się od toru i trafiały do komory 2, a słabo naelektryzowane lub nienaelektryzowane trafiały do komory 1. Następnie materiał z komory 1 ważono, co pozwoliło obliczyć ilość materiału pozostałego w komorze 2 (odchylenie spadających frakcji wynikało z istnienia pola elektrostatycznego). Wyniki badań przedstawiono na rysunku 5. Badania prowadzono dla 3 różnych wartości napięć zasilających elektroseparator a tym samym różnych wartości natężeń pola elektrostatycznego między elektrodami.



Rys. 5. Ilość materiału w komorze 2 (%) w funkcji napięcia przyłożonego do elektrod elektroseparatora (kV)

ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Przeprowadzone badania dowiodły, że pole elektrostatyczne oddziaływuje na rozdrobnione nasiona rzepaku. Oddziaływanie pola na znajdujące się w nim fragmenty rozdrobnionych nasion uzależnione jest od jego natężenia, a także od rodzaju frakcji (zarodek – łupina) znajdujące się w jego zasięgu, co okazało się zgodne z wcześniejszymi założeniami. Niewątpliwie na to zjawisko ma wpływ zróżnicowany skład chemiczny obu tych składników nasion, co powoduje inną przenikalność elektryczną i przewodnictwo elektryczne. Zauważono również, że intensywność separacji zależy od wielkości natężenia pola elektrostatycznego. Im pole jest silniejsze tym efektywność separacji wzrasta.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wraz ze wzrostem napięcia przyłożonego do elektrod elektroseparatora efektywność separacji wzrasta. Zarówno przy niższych jak i przy większych napięciach wyraźnie zaobserwować można silniejszy wpływ pola elektrostatycznego na łupinę w porównaniu z zarodkiem. Szczególnie przy napięciu 7 kV różnica ta sięga 2,9%.

Powyższe różnice pozwalają stwierdzić, że istnieje możliwość odseparowania łupiny nasion od pozostałej części rozdrobnionej masy. Jednorazowa próba nie powoduje jednak dużej skuteczności separacji, dlatego proponuje się prowadzenie prac nad podniesieniem sprawności urządzenia, w szczególności przez:

– zmianę sposobu elektryzacji cząstek,
– dobór optymalnych wymiarów elektrod,
– zastosowanie cyklu separacji w którym użyte zostaną separatory o różnych parametrach separacji,
– określenie wpływu granulacji rozdrobnionych nasion rzepaku na skuteczność elektroseparacji,
– zbadanie wpływu parametrów fizycznych (wilgotność, temperatura) rozdrobnionych nasion na wydajność procesu.

PIŚMIENNICTWO

1. Chang J-S., Kelly A., Crowley J. 1995. Handbook of electrostatic processes. Marcel Dekker Inc. New York.
2. Dłużewski M., Dłużewska A. 2001. Technologia żywności cz 2. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa.
3. Gajewski A. 2000. Procesy i technologie elektrostatyczne. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa-Kraków.
4. Ochodzki P., Piotrawska A. 2002: Właściwości fizyczne i skład chemiczny nasion rzepaku ozimego o różnym kolorze okrywy nasiennej. Rośliny oleiste, Tom XXIII: 235–241.
5. Masui N. 1982. Electrostatic separation for removal from green tea of stems and from food of impurities. Proceedings of the IEJ, 6, 3: 159–162.
6. Mińkowski K. 2000. Wpływ odmiany i wielkości nasion rzepaku ozimego na zawartość i skład chemiczny łupiny oraz zarodka. Rośliny oleiste, Tom XXI: 157–166.

POSSIBILITY EMPLOYMENT OF ELECTROSTATIC FIELD IN SEPARATION PROCESS OF CRUMBLED RAPE SEED

Summary
The earlier separation of components is the one of the stages of the processing of crumbled plant materials with differential more far usability. In experimental work was presented a method of distributing of crumbled plant materials (seeds of the rape) by using behavior of their particles in the electrostatic field.). Conducted investigations confirm that the electrostatic field in the differential way affects on the germs and hulls. The intensity of the influence depends closely from the electric parameters of the given material and from the intensity of the field. Investigations proved that with the growth of the electrostatic field, the effectiveness of the separation grew up.
Key words: rape seed, electrostatic separator, hull, germ, separation.

Halina Marczak[1)]

OCENA ZACISKANIA WYROBISK CHODNIKOWYCH NA PODSTAWIE POMIARÓW KONWERGENCJI

Streszczenie. Podano wzory na określanie konwergencji liniowej oraz wskaźniki procesu zaciskania wyrobiska korytarzowego. Przedstawiono wyniki pomiarów konwergencji wyrobisk chodnikowych wykonanych w węglu i w skałach nie węglowych w kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka". Dokonano oceny zaciskania na podstawie wskaźnika dopuszczalnego zmniejszenia wymiarów wyrobisk.
Słowa kluczowe: wyrobiska górnicze, konwergencja, zaciskanie, wskaźniki zaciskania.

WSTĘP

Wykonywanie wyrobisk związane jest z wybieraniem skał, co powoduje naruszenie pierwotnej równowagi w masywie skalnym. Zmianie ulega pierwotny stan naprężenia. Od wtórnego stanu naprężenia zależy stan wytężenia masywu skalnego, który z kolei ma wpływ na proces jego deformowania. Miarą ilościową wytężenia skał wokół wyrobiska jest naprężenie zredukowane, czyli naprężenie, do którego redukuje się (stosując hipotezy wytężeniowe) złożony stan naprężenia. Od relacji naprężenia zredukowanego do wytrzymałości na ściskanie skał zależy charakter (typ) deformacji masywu skalnego. Gdy naprężenie zredukowane $\sigma_0 \geq R_c$ (R_c – wytrzymałość skał na ściskanie), wówczas w otoczeniu wyrobiska powstaje obszar odkształceń niesprężystych. Taki rodzaj deformacji odpowiada dużym głębokościom lokalizacji wyrobisk. Wielkość obszaru odkształceń niesprężystych w zasadniczy sposób wpływa na przemieszanie się skał w otoczeniu wyrobiska i jego konturów, czyli na jego zaciskanie. Z kolei na zmianę geometrii konturów wyrobiska i jednocześnie na rozwój w jego sąsiedztwie obszaru odkształceń niesprężystych istotny wpływ ma obudowa. Na małych głębokościach natomiast słuszna jest zależność $\sigma_0 < nR_c$ (n – współczynnik charakteryzujący spadek wytrzymałości przy długotrwałym obciążeniu).

Przebieg zaciskania wyrobisk i jego skutki w postaci deformacji, zawałów czy też osiadań powierzchni zależą od warunków geomechanicznych i górniczych. Mierzalnym wskaźnikiem zaciskania wyrobisk jest konwergencja. Ocena konwergencji masywu skalnego i wyrobisk w obudowie służy kontroli deformacji masywu skalnego i obudowy, a także pozwala na porównanie procesów zaciskania różnych grup wyrobisk. W artykule syntetycznie opisano wyniki kilkuletnich pomiarów konwergencji

1) Katedra Inżynierii Procesowej, Spożywczej i Ekotechniki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

wyrobisk wykonanych w węglu i w skałach nie węglowych w kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka" SA. W celu porównania procesów zaciskania w tych dwóch grupach wyrobisk wprowadzono wskaźnik będący okresem, w którym nastąpiłby dopuszczalny ubytek wymiarów wyrobisk.

KONWERGENCJA JAKO MIARA ZACISKANIA WYROBISK KORYTARZOWYCH

Liniowa konwergencja jest miarą zmiany wymiarów liniowych wyrobiska, jego szerokości (konwergencja pozioma) i wysokości (konwergencja pionowa). Definiuje się ją jako różnicę długości bazy pomiarowej w czasie Δt, a wyraża w jednostkach długości. Bazę stanowią dwa punkty znajdujące się na przeciwległych ścianach wyrobiska komorowego lub na przeciwległych ociosach, czy też w stropie i w spągu wyrobiska korytarzowego. W przypadku, gdy długość poziomej bazy pomiarowej w chwili t_1 wynosi l_1 (rys. 1), w chwili t_2 wynosi l_2 to konwergencję liniową poziomą k_l wyrobiska w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ określa zależność:

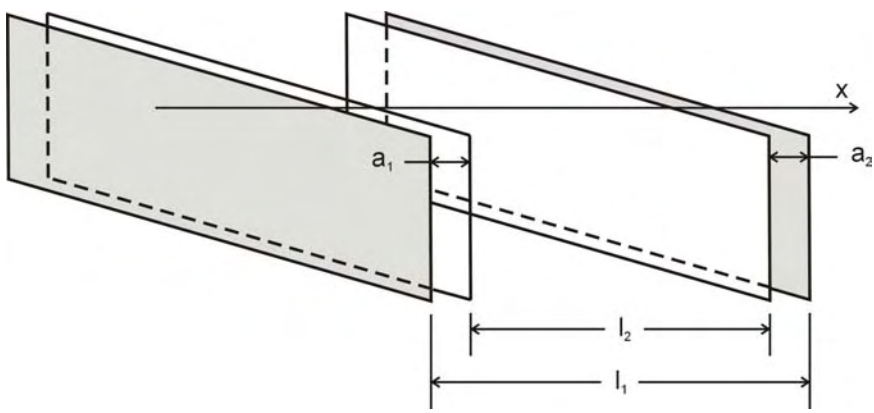
$$k_l = l_2 - l_1 \tag{1}$$

Przy przyjęciu, że przesunięcia obserwowanych punktów na ścianach wyrobiska wynoszą odpowiednio $a_1>0$ i $a_2<0$ (rys. 1), zależność (1) przyjmuje postać:

$$k_l = a_2 - a_1 \tag{2}$$

Zgodnie z (2) wartość konwergencji jest ujemna, co oznacza, że zmniejszają się wymiary wyrobiska.

Względną konwergencję liniową poziomą wyrobiska określa zależność:



Rys. 1. Pozioma baza pomiarowa i przemieszczenia a_1 i a_2

$$\xi_l = \frac{k_l}{l_0} \tag{3}$$

gdzie: ξ_l – względna konwergencja liniowa pozioma wyrobiska,
k_l – konwergencja pozioma liniowa wyrobiska,
l_0 – długość początkowa poziomej bazy pomiarowej w wyrobisku.

Konwergencja liniowa pionowa wyrobiska jest sumą przemieszczenia (obniżenia) stropu i przemieszczenia (wypiętrzenia) spągu:

$$k_W = a_{st} - a_{sp} \tag{4}$$

gdzie: a_{st} – przemieszczenie stropu, $a_{st}<0$
a_{sp} – przemieszczenie spągu, $a_{sp}>0$.

W przypadku pomiarów obniżenia stropu w wyrobiskach korytarzowych, bazą odniesienia jest często linia łącząca repery mocowane w ociosach wyrobiska. Przy takim sposobie pomiaru trzeba mieć na względzie fakt, iż rejestrowane obniżenia stropu są zaniżone, bowiem w wyniku odkształcania się ociosów i wypiętrzania spągu repery ociosowe przemieszczają się do góry.

Oznaczając odległość punktu pomiarowego naniesionego w stropie w osi wyrobiska korytarzowego do poziomej bazy odniesienia przez h_1 (rys. 2) w chwili t_1, przez h_2 w chwili t_2, a odległość punktu pomiarowego naniesionego w spągu w osi wyrobiska do poziomej bazy odniesienia przez w_1 w chwili t_1 i przez w_2 w chwili t_2, to konwergencję liniową pionową w osi wyrobiska w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ określa zależność:

$$k_W = (h_2 + w_2) - (h_1 + w_1) \tag{5}$$

Względna konwergencja liniowa pionowa wyrobiska w jego osi w czasie Δt wynosi:

$$\xi_W = \frac{k_W}{W_0} \tag{6}$$

gdzie: ξ_W – względna konwergencja liniowa pionowa wyrobiska,
k_W – konwergencja liniowa pionowa wyrobiska,
W_0 – wysokość początkowa wyrobiska.

Konwergencja i jej prędkość najczęściej zmieniają się w czasie. Od intensywności zaciskania zależą jego skutki i w efekcie długość okresu, w którym wyrobisko będzie stateczne. Potrzebne są więc systematyczne pomiary konwergencji wyrobisk, by na ich podstawie ocenić zagrożenie stateczności i porównać przebieg zaciskania różnych wyrobisk.

Wskaźnikiem zagrożenia stateczności wyrobiska może być okres, w którym konwergencja liniowa pionowa bądź konwergencja liniowa pozioma osiągnie dopuszczalną, ze względu na funkcjonalność wyrobiska, wartość.

UWARUNKOWANIA STATECZNOŚCI WYROBISK KORYTARZOWYCH W KOPALNI LUBELSKI WĘGIEL „BOGDANKA"

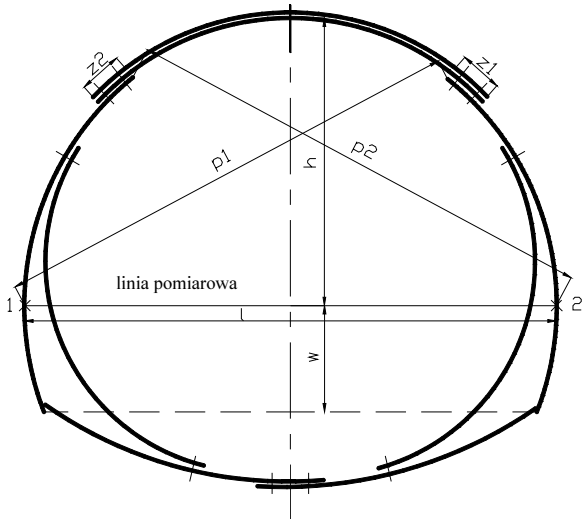
W warunkach geologicznych obszaru górniczego Lubelski Węgiel „Bogdanka" występuje stateczność chwiejna skał po ich odsłonięciu [1], przy której jest możliwe pozostawienie odsłoniętego (nieobudowanego) stropu w wyrobisku jedynie na pewien czas lub na niewielkiej powierzchni. W tych warunkach na stateczność wyrobisk korytarzowych równorzędny wpływ mają właściwości górotworu i związany z nimi proces deformowania się masywu skalnego po wykonaniu wyrobiska, czas oraz rodzaj i podporność obudowy [2].

Proces deformowania się masywu skalnego wokół wyrobiska zależy od głębokości, na której je wykonano. Na dużych głębokościach na ogół przyjmuje się, że wokół wyrobiska tworzą się trzy strefy deformacyjne (począwszy od konturów): strefa kruchego zniszczenia skał, strefa odkształceń pozagranicznych, strefa sprężysta. Wielkość obszaru odkształceń niesprężystych ma decydujący wpływ na przemieszczanie się konturów wyrobiska, czyli jego zaciskanie. Z kolei, hamująco na rozmiar obszaru odkształceń niesprężystych wpływa obudowa wyrobiska. Wpływ obudowy zależy od jej rodzaju, podporności, czasu, jaki upłynął od chwili odsłonięcia skał do jej montażu i jakości jej wykonania.

W kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka" w wyrobiskach korytarzowych stosowana jest obudowa zamknięta wzmocniona (OZW). Na podstawie pomiarów konwergencji wyrobisk w świetle obudowy można ocenić zagrożenie stateczności tych wyrobisk. Przy czym wyrobisko jest stateczne, jeżeli w czasie $t<t_{gr}$ przemieszczenia obudowy nie osiągną wartości maksymalnej. Czas graniczny (t_{gr}) i wartość maksymalna przemieszczenia są wartościami dopuszczalnymi ze względów funkcjonalności wyrobiska i bezpieczeństwa pracy.

WYNIKI OBSERWACJI KONWERGENCJI WYROBISK KORYTARZOWYCH W OBUDOWIE OZW W KOPALNI LUBELSKI WĘGIEL „BOGDANKA"

Analizę zaciskania wyrobisk korytarzowych w obudowie OZW przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów liniowej konwergencji, prowadzonych w latach 1983–1986 [3]. Na stanowiskach pomiarowych (rys. 2), zakładanych na badanych odcinkach wyrobisk, mierzono zmiany w czasie szerokości l i wysokości wyrobiska $h+w$, długości przekątnych obudowy (p_1 i p_2) oraz zsuwy obudowy na połączeniach stropnicy z łukami ociosowymi (z_1 i z_2). Parametr l (szerokość wyrobiska) określa odległość poziomą między punktami pomiarowymi 1 i 2 naniesionymi na elementach obudowy. Linia bazowa łącząca punkty pomiarowe 1 i 2 służy do określenia wartości parametru h, czyli odległości miedzy stropnicą a linią pomiarową 1–2 oraz wartości parametru w będącego odległością między tą linią a spągiem wyrobiska. Stanowisko pomiarowe



Rys. 2. Schemat odrzwi obudowy OZW z zaznaczeniem rejestrowanych parametrów

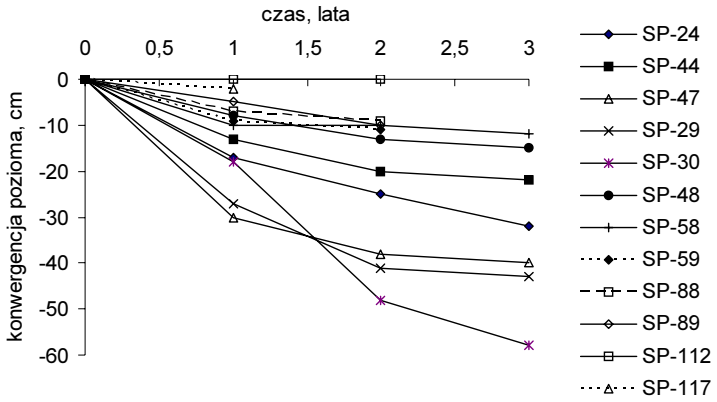
składa się najczęściej z sześciu kolejnych odrzwi. Z wartości parametrów zmierzonych na poszczególnych odrzwiach obudowy obliczano średnią arytmetyczną, którą uwzględniano w analizie zaciskania jako reprezentatywną dla danego stanowiska pomiarowego.

Pomiary wykonywano przeważnie 2 razy w tygodniu w pierwszym okresie istnienia wyrobiska, a w późniejszym okresie – średnio 2 do 3 razy w kwartale. Obserwacjami objęto dwie grupy wyrobisk w obudowie OZW: pierwsza obejmuje wyrobiska wykonane w pokładzie węglowym (wyrobiska węglowe) na poziomie 920 m, druga – wyrobiska wykonane w skałach płonnych na poziomie 960 m (wyrobiska kamienne).

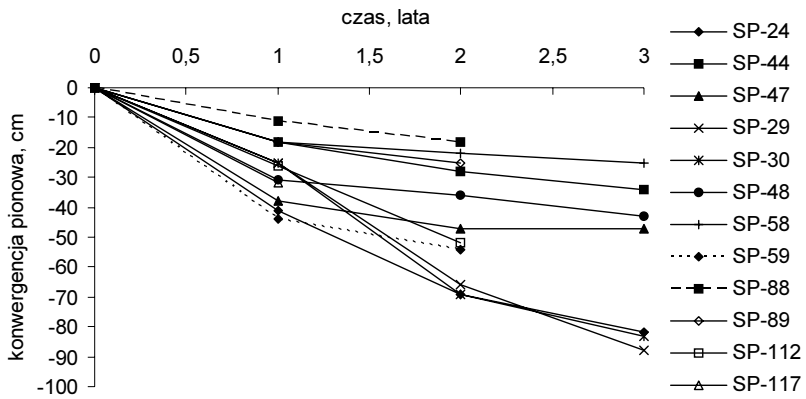
W wyrobiskach węglowych konwergencje poziome i pionowe są zróżnicowane. Konwergencje poziome (rys. 3) w okresie trzech lat osiągają, na analizowanych stanowiskach pomiarowych (SP), wartości do –43 cm (SP-29) i –58 cm (SP-30), średnio –31,7 cm. Prędkości względnych konwergencji poziomych zawierają się w granicach od –0,93 %/rok do –4,33 %/rok, średnio –2,4 %/rok. Konwergencje poziome w okresie dwóch lat osiągają wartości w zakresie od 0 (SP-112) i –9 cm (SP-88) do –41 cm (SP-29) i –48 cm (SP-30), średnio –20,5 cm. Prędkości względnych konwergencji poziomych w okresie dwóch lat dochodzą do –5,38 %/rok, średnio –2,34 %/rok.

Konwergencje pionowe w wyrobiskach węglowych w okresie trzech lat osiągają wartości do –83 cm (SP-30) i –88 cm (SP-29), średnio –57,4 cm (rys. 4). Prędkości względnych konwergencji pionowych mieszczą się w przedziale od –2,42 %/rok do –7,7 %/rok, średnio –5,1 %/rok.

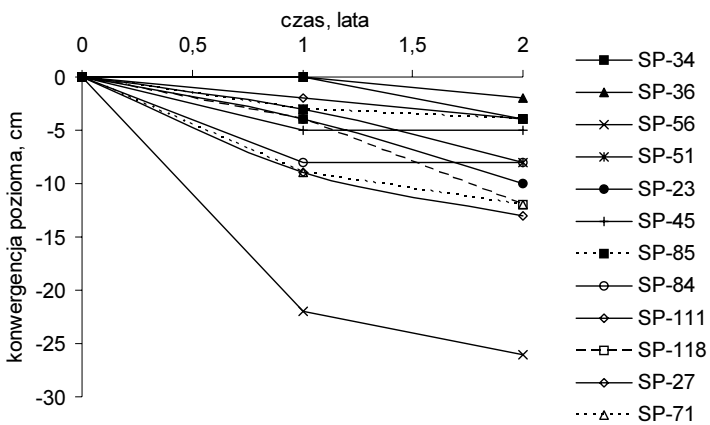
W wyrobiskach kamiennych po dwóch latach największe zarejestrowane wartości konwergencji poziomej to –26 cm (SP-56) i –13 cm (SP-27), a najmniejsze –2 cm (SP-36) i –4 cm (SP-34, SP-85, SP-111) (rys. 5). Średnia prędkość konwergencji poziomej w wyrobiskach kamiennych osiągnęła wartość –4,9 cm/rok, a średnia pręd-



Rys. 3. Konwergencje poziome na stanowiskach pomiarowych w wyrobiskach węglowych

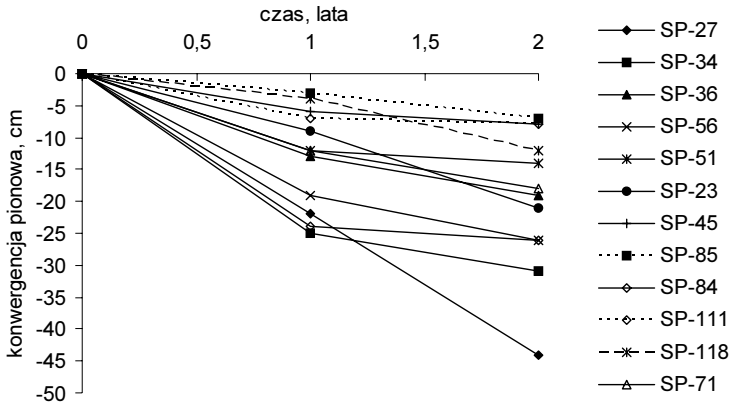


Rys. 4. Konwergencje pionowe na stanowiskach pomiarowych w wyrobiskach węglowych



Rys. 5. Konwergencje poziome na stanowiskach pomiarowych w wyrobiskach kamiennych

kość względnej konwergencji poziomej –1,03 %/rok. Wartości konwergencji pionowej, na podstawie obserwacji na 12 stacjach pomiarowych, zmieniają się od –7 cm do –44 cm (rys. 6). Średnia wartość konwergencji pionowej w okresie dwóch lat to –19,5 cm, czyli średnio –9,75 cm/rok. Średnia prędkość względnej konwergencji pionowej osiągnęła wartość –2,6 %/rok.



Rys. 6. Konwergencje pionowe na stanowiskach pomiarowych w wyrobiskach kamiennych

PORÓWNANIE WARUNKÓW ZACISKANIA W WYROBISKACH WĘGLOWYCH I KAMIENNYCH

Przy założeniu stałych warunków zaciskania można przyjąć, że odkształcenie wyrobiska jest wprost proporcjonalne do czasu t. Zmianę wysokości wyrobiska w czasie dt, (w przedziale t, $t+dt$) można wyrazić zależnością [4]:

$$dW = -kWdt \tag{7}$$

gdzie: k – współczynnik zaciskania, określa zmniejszanie się wysokości wyrobiska
W – wysokość wyrobiska, $W=h+w$ (rys. 2).

Znak (–) w równaniu (7) jest konsekwencją ujemnej wartości dW – następuje zmniejszenie wymiarów wyrobiska. Całkując równanie (7) w przedziale czasu od $t = 0$ do t otrzymujemy:

$$\frac{W}{W_0} = e^{-kt} \tag{8}$$

gdzie: W_0 – wysokość wyrobiska w czasie $t = 0$
W – wysokość wyrobiska po czasie t.

Wprowadzając parametr τ (o wymiarze czasu) charakteryzujący własności ośrodka i stan naprężenia w otoczeniu wyrobiska, czyli:

$$\tau = \frac{1}{k} \tag{9}$$

równanie (8) przybiera formę:

$$W = W_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \tag{10}$$

Wskaźnikiem procesu zaciskania wyrobiska, użytecznym w analizie porównawczej tego procesu w kilku wyrobiskach, jest okres, w którym wysokość wyrobiska zmniejszy się o 50%, $t_{1/2}$. Na podstawie (10) otrzymujemy:

$$\frac{W}{W_0} = \frac{1}{2} = \exp\left(-\frac{t_{1/2}}{\tau}\right) \tag{11}$$

Z przekształcenia zależności (11) mamy:

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 \tag{12}$$

Okres czasu, w którym wysokość wyrobiska zmniejszy się o 50% w stosunku do wartości początkowej zależy od wartości parametru τ. Przykładowo dla wartości τ = 20 lat, wysokość wyrobiska zmniejszy się o 50% po czasie t = 13,86 lat. Przy bardzo wolnym zaciskaniu bardziej przydatnym wskaźnikiem jest okres ubytku 1% wysokości wyrobiska, $t_{1\%}$. Dla τ = 20 lat wysokość wyrobiska zmniejszy się o 1% po czasie t = 0,2 roku (73 dni).

Jeżeli przyjąć, że stała τ odpowiada odwrotności prędkości względnej konwergencji pionowej

$$\tau = -\frac{1}{\dot{\xi}_W} \tag{12}$$

gdzie: $\dot{\xi}_W$ – prędkość względnej konwergencji pionowej, $\dot{\xi}_W = \frac{\xi_W}{\Delta t}$,

to konwergencję pionową w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ w zależności od $\dot{\xi}_W$ opisuje równanie:

$$k_W = W_2 - W_1 = W_1\left\{\exp\left[\dot{\xi}_W\left(t_2 - t_1\right)\right] - 1\right\} \tag{13}$$

gdzie: W_1 – wysokość wyrobiska w czasie t_1,
W_2 – wysokość wyrobiska w czasie t_2.

Konwergencja pionowa względna w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ wynosi:

$$\xi_W = \frac{k_W}{W_0} = \frac{W_1}{W_0}\left\{\exp\left[\dot{\xi}_W\left(t_2 - t_1\right)\right] - 1\right\} \tag{14}$$

gdzie: W_0 – wysokość początkowa wyrobiska.

Jeżeli $t_1 = t_0 = 0$ i $W_1 = W_0$, to

$$\xi_W = \exp\left[\dot{\xi}_W \left(t_2 - t_1\right)\right] - 1 \tag{14a}$$

Konwergencja pozioma względna w czasie $\Delta t = t_2 - t_1$ wynosi:

$$\xi_l = \frac{k_l}{l_0} = \frac{l_2 - l_1}{l_0} = \frac{l_1}{l_0}\left\{\exp\left[\dot{\xi}_l \left(t_2 - t_1\right)\right] - 1\right\} \tag{15}$$

gdzie: l_1 – szerokość wyrobiska w czasie t_1,
l_2 – szerokość wyrobiska w czasie t_2,
l_0 – szerokość początkowa wyrobiska,
$\dot{\xi}_l$ – prędkość względnej konwergencji poziomej, $\dot{\xi}_l = \dfrac{\xi_l}{\Delta t}$.

Dla $t_1 = t_0 = 0$ i $l_1 = l_0$

$$\xi_l = \exp\left[\dot{\xi}_l \left(t_2 - t_1\right)\right] - 1 \tag{15a}$$

W celu porównania zaciskania wyrobisk węglowych i kamiennych określono czas, w którym wyrobiska osiągnęłyby dopuszczalne wartości względnej konwergencji poziomej oraz względnej konwergencji pionowej. Z przekształcenia zależności (14a) i (15a) otrzymujemy odpowiednio:

$$t_2 - t_1 = \Delta t = \frac{\ln(\xi_{W_d} + 1)}{\dot{\xi}_W} \tag{16}$$

$$t_2 - t_1 = \Delta t = \frac{\ln(\xi_{l_d} + 1)}{\dot{\xi}_l} \tag{17}$$

gdzie: ξ_{W_d}, ξ_{l_d} – dopuszczalna, w aspekcie funkcjonalności wyrobiska, wartość względnej konwergencji odpowiednio pionowej i poziomej.

Uwzględniając typowe wyposażenie wyrobisk określono, metodą minimalnego obrysu w aspekcie ich funkcjonalności, dopuszczalne wartości względnej konwergencji poziomej i względnej konwergencji pionowej (tab. 1).

Dla wyrobisk węglowych prędkość względnej konwergencji poziomej określonej na podstawie pomiarów wynosi średnio $\dot{\xi}_l = -2{,}4$ %/rok. Uwzględniając w zależności (17) tę wartość oraz ξ_{l_d} otrzymujemy $\Delta t = 16{,}87$ lat. Średnia prędkość konwergencji pionowej wyrobisk węglowych określona na podstawie pomiarów kształtuje się na poziomie $\dot{\xi}_W = 5{,}1$ %/rok, co przy $\xi_{W_d} = -23{,}2\%$ daje $\Delta t = 5{,}2$ lat. Wyniki obliczeń prognozowanego czasu, w którym zostanie osiągnięty dopuszczalny ubytek wymiarów poziomych i pionowych zarówno wyrobisk węglowych, jak i kamiennych zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Dopuszczalne wartości względnej konwergencji określone metodą minimalnego obrysu wyrobisk w aspekcie ich funkcjonalności [3]

Rodzaj wyrobisk	Parametr	Oznaczenie	Wartość, %
Wyrobiska węglowe	Dopuszczalna względna konwergencja pozioma	ξ_{l_d}	-33,3
	Dopuszczalna względna konwergencja pionowa	ξ_{W_d}	-23,2
Wyrobiska kamienne	Dopuszczalna względna konwergencja pozioma	ξ_{l_d}	-29,7
	Dopuszczalna względna konwergencja pionowa	ξ_{W_d}	-19,0

Tabela 2. Wskaźniki zaciskania wyrobisk węglowych i kamiennych

Parametr	Oznaczenie	Wyrobiska węglowe	Wyrobiska kamienne
Głębokość	H	920 m	960 m
Konwergencja pozioma	ξ_l	średnio -31,7 cm	średnio -9,75 cm
Konwergencja pionowa	ξ_W	średnio -57,4 cm	średnio -19,5 cm
Prędkość względnej konwergencji poziomej	$\dot{\xi}_l$	średnio -2,4 %/rok	średnio -1,03 %/rok
Prędkość względnej konwergencji pionowej	$\dot{\xi}_W$	średnio -5,1 %/rok	średnio -2,6 %/rok
Prognozowany okres, w którym nastąpi dopuszczalny ubytek szerokości wyrobisk	Δt	16,87 lat	34,4 lat
Prognozowany okres, w którym nastąpi dopuszczalny ubytek wysokości wyrobisk	Δt	5,2 lat	8,18 lat

UWAGI KOŃCOWE

Zarówno w wyrobiskach węglowych, jak i kamiennych w kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka" rejestruje się wyższe wartości liniowej konwergencji pionowej, w porównaniu z liniową konwergencją poziomą. Zaciskanie pionowe wyrobisk ma więc decydujący wpływ na zachowanie stateczności wyrobisk.

Wskaźnikiem zaciskania wyrobisk może być prognozowany okres, w którym nastąpi dopuszczalny ubytek wymiarów wyrobiska, w aspekcie jego funkcjonalności. Wskaźnik ten pozwala na ilościowe porównanie warunków deformacyjnych w wyrobiskach wykonanych w węglu i w skałach nie węglowych.

Okres, w którym nastąpi dopuszczalny, w aspekcie funkcjonalności, ubytek szerokości wyrobisk węglowych oszacowano na ok. 16 lat i 10 miesięcy, a wyrobisk kamiennych na ok. 34 lata i 5 miesięcy. Okres, w którym nastąpi dopuszczalny, w aspekcie funkcjonalności, ubytek wysokości wyrobisk węglowych ustalono na ok. 5 lat i 2 miesięcy, a dla wyrobisk kamiennych na ok. 8 lat i 2 miesiące.

Metoda ilościowej oceny zaciskania wyrobisk na podstawie pomiaru konwergencji umożliwia prognozowanie deformacji wyrobisk i planowanie ich zabezpieczeń.

PIŚMIENNICTWO

1. Błaszczak A., Śrótwa W. Charakterystyka własności fizykomechanicznych skał LZW na podstawie badań dołowych i laboratoryjnych. Dokumentacja GIG OT, Lublin 1982–1985.
2. Chudek M. Obudowa wyrobisk górniczych, cz. I. Wyd. Śląsk 1987.
3. Chudek M., Plewka H. Zagadnienie stateczności wyrobisk korytarzowych w obudowie podatnej zamkniętej w świetle badań „in situ". Wydawnictwo PAN, o/Katowice, 1991.
4. Kortas G. Konwergencja jako miara zaciskania wyrobisk komorowych. Przegląd Górniczy nr 6, 2001: 23–29.

SCORE CLAMPING MINE WORKINGS BASED ON MEASUREMENTS OF CONVERGENCE

Summary
Formulas were given for determining the linear convergence and the crimping process rates of the corridor heading. The results of measuring the convergence of adits made in coal and non-coal rocks in Lubelski Węgiel "Bogdanka" were presented. An assessment of the crimping was made on the basis of permissible heading size reduction rate.
Keywords: mine workings, convergence, clamping, indicators clamping.

Mariusz Matejski[1], Mariusz Dramski[2], Sławomir Jaszczak[3], Tadeusz Graczyk[1]

ANALIZA SYSTEMU ENERGETYCZNEGO POJAZDU GŁĘBINOWEGO W CELU MODYFIKACJI JEGO UKŁADU ZASILANIA

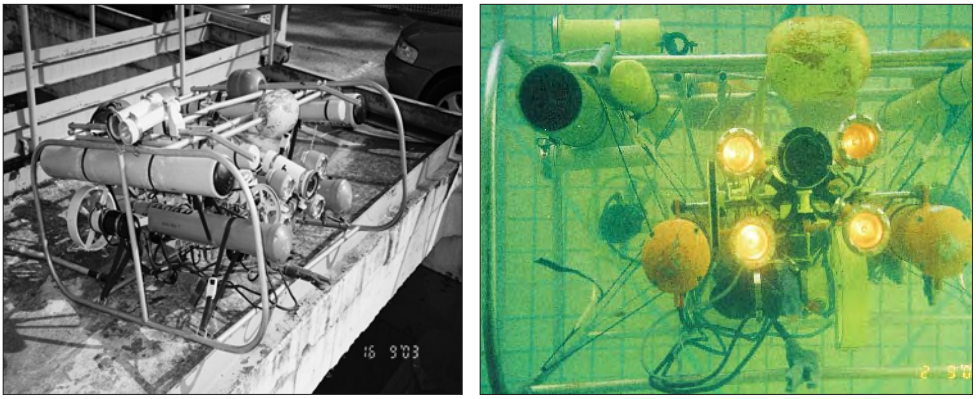
Streszczenie. W artykule przedstawiono system wykrywania obiektów technicznych, przeznaczony do badań głębokowodnych, z pojazdem głębinowym o nazwie KRAB – nośnikiem aparatury. Omówiono charakterystykę systemu i uwarunkowania techniczne dotyczące jego bilansu energetycznego. Rozważania te stanowią podstawę do optymalizacji układu zasilającego pod kątem wprowadzenia nowych alternatywnych źródeł zasilania. Pozwoli to na minimalizację przekroju kabli zasilających wchodzących w skład kabloliny łączącej pojazd głębinowy ze stacją kontroli.
Słowa kluczowe: pojazd głębinowy, ROV, system energetyczny pojazdu głębinowego, układ zasilania.

WSTĘP

Nieodzowny postęp wiedzy dotyczący środowiska naturalnego stawia przed zespołami badawczymi nowe wyzwania. W Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie został zbudowany system wykrywania obiektów technicznych (SWOT), głównie z myślą o monitoringu strefy przydennej Morza Bałtyckiego oraz akwenów śródlądowych, ale przydatny również dla realizacji innych zadań, w tym monitoringu kadłubów jednostek pływających i ich układów napędowych. W skład systemu wchodzi pojazd głębinowy typu ROV (ang. remotely operated vehicle) – bezzałogowy, zdalnie sterowany pojazd głębinowy KRAB (rys. 1).

Celem niniejszego opracowania jest analiza uwarunkowań technicznych dotyczących bilansu energetycznego systemu oraz określenie możliwości wprowadzenia nowych dodatkowych źródeł zasilania w postaci baterii szybkoładujących kondensatorów Ultracap. Pozytywna ocena wprowadzonego rozwiązania pozwoliłaby na minimalizację przekroju przewodów zasilających znajdujących się w kablolinie, a tym samym zmniejszenie przekroju poprzecznego samej kabloliny, co wpływa z kolei na zmniejszenie oporu i polepszenie właściwości manewrowych pojazdu głębinowego, zwłaszcza w warunkach dużych głębokości i pracy w prądzie wodnym [2].

[1] Wydział Techniki Morskiej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
[2] Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług, Uniwersytet Szczeciński.
[3] Wydział Informatyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.



Rys. 1. Pojazd głębinowy KRAB przygotowany do badań i w toni wodnej

UWARUNKOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRZEZ POJAZDY TYPU ROV

Pojazdy typu ROV zasilane są energią dostarczaną za pośrednictwem kabloliny łączącej pojazd ze stacją kontroli. Przekroje kabli zasilających obliczane są przy uwzględnieniu maksymalnego zapotrzebowanie na energię, czyli przy pełnej mocy pędników pojazdu, całkowitym oświetleniu i funkcjonowaniu wszystkich pozostałych odbiorników. Takie podejście do zagadnienia prowadzi do przewymiarowania tych przekrojów w stosunku do rzeczywistego zapotrzebowania na energię elektryczną. W artykule zaprezentowano pomysł stworzenia energetycznego buforu w postaci kondensatorów systemu Ultracap, który w momencie zapotrzebowania na energię poniżej wartości średnich byłby ładowany, natomiast pobory szczytowe prądu (powyżej średniej) byłyby z tego systemu uzupełniane.

System Ultracap jest jednym z nowoczesnych systemów przechowywania energii. Ten zoptymalizowany system jest obecnie wykorzystywany między innymi w wielu nowoczesnych hybrydowych wersjach pojazdów samochodowych. Kondensatory te znacząco różnią się od innych klasycznych metod przechowywania energii takich jak akumulatory. Potrzebują zdecydowanie mniej miejsca na przechowanie tej samej ilości energii, są bardziej wydajne i niezawodne, mogą przechować więcej energii. Poza tym, dzięki eliminacji wszelkich ruchomych części ich obsługa jest znacznie łatwiejsza. Nowy system wyróżnia się m.in. drastycznym ograniczeniem strat przechowywanej energii, a dzięki ulepszonemu systemowi chłodzenia, także znacznym wydłużeniem żywotności. W skład proponowanej modyfikacji wchodziłaby również jednostka sterująca pozwalająca na optymalną gospodarkę energią elektryczną dostarczaną za pośrednictwem kabloliny do pojazdu typu ROV.

W artykule skupiono się na oszacowaniu wartości średnich zapotrzebowania na energię elektryczną w trakcie wykonywania wybranych zadań przez pojazd typu ROV.

Ponieważ pojazdy typu ROV pełnią głównie rolę pojazdów inspekcyjnych, skoncentrowano się na trzech rodzajach zadań realizowanych w warunkach laboratoryjnych: zanurzanie/wynurzanie, ruch na stałej głębokości i monitoring ściany basenu, symulujących odpowiednio: monitoring nóg platform wiertniczych, monitoring rurociągów podmorskich oraz monitoring nabrzeży i konstrukcji oceanotechnicznych np. poszycia statków [3].

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU SWOT

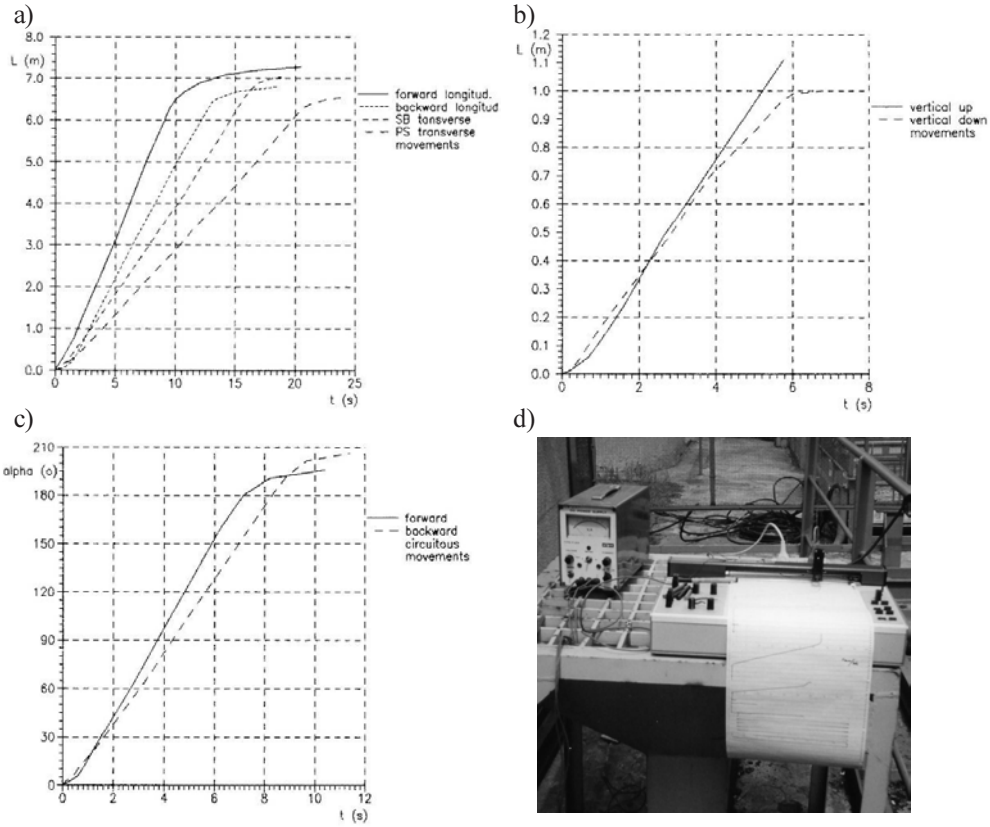
System składa się z dwóch obiektów:
– pojazdu głębinowego KRAB, będącego nośnikiem aparatury,
– mobilnego stanowiska sterowniczo-badawczego do zasilania i kontroli pojazdu.

Pojazd głębinowy KRAB wyposażony jest w ramę, która stanowi przestrzenną konstrukcję zabezpieczającą układy funkcjonalne pojazdu przed uszkodzeniami. Wyposażenie umieszczone jest w pojemnikach ciśnieniowych. Podobne pojemniki zostały zastosowane jako moduły wypornościowe. W pojeździe zamontowano urządzenia zasilane energią elektryczną wyszczególnione w tabeli 1. Sumaryczne maksymalne zapotrzebowanie mocy pojazdu wynosi 2217,1 W.

Ze względu na projektowe ograniczenie obszaru penetracji wód Bałtyku do jego strefy przybrzeżnej, głębokość robocza pojazdu wynosi 150 m. Prędkość postępową wynoszącą 1,5 m/s zapewniają dwa pędniki wzdłużne generujące napór 135,97 N. Pojazd posiada również dwa pędniki poprzeczne generujące sumaryczny napór na prawą burtę 92,21 N, na lewą burtę zaś 42,46 N. Silniki te umożliwiają również obrót pojazdu z prędkością do 30 °/s. Pędnik pionowy usytuowany centralnie generuje siłę naporu w dół 40,42 N oraz w górę 21,73 N i zapewnia odpowiednio maksymalną prędkość zanurzania 0,2235 m/s i wynurzania 0,205 m/s. Charakterystyki ruchowe pojazdu przedstawione zostały na rysunku 2.

Tabela 1. Zestawienie urządzeń pojazdu KRAB i ich mocy

Lp	Nazwa	Liczba	Maksymalna moc jednostkowa [W]	Moc sumaryczna [W]
1	Reflektory oświetleniowe	4	150	600
2	Kamery telewizyjne	2	3,5	7
3	Kompas	1	0,1	0,1
4	Manipulator jednofunkcyjny	1	30	30
5	Próbnik do poboru próbek wody	4	20	80
6	Magnetometr	1	zasilanie własne	–
7	Sonda do pomiaru parametrów fizykochemicznych wody	1	zasilanie własne	–
			Suma	2217,1



Rys. 2. Charakterystyki ruchu pojazdu KRAB: a) L = f(t), ruch wzdłużny i poprzeczny, b) L = f(t), ruch pionowy, c) alfa = f(t), ruch po okręgu, d) stanowisko rejestracji danych; oznaczenia: L – droga, alfa – kąt obrotu, t – czas

MODYFIKACJA SYSTEMU SWOT DLA POTRZEB REJESTRACJI DANYCH POMIAROWYCH I SYGNAŁÓW STERUJĄCYCH

Konieczność modyfikacji systemu SWOT wynika z potrzeby rejestracji danych pomiarowych i sygnałów sterujących niezbędnych do określenia chwilowych wartości mocy wymaganych podczas wykonywania przez pojazd określonych zadań.

W celu identyfikacji układu sterowania na zasadzie śledzenia (SPAY) pomiędzy główną konsolę sterowania i panel sterowania ręcznego wstawiono skrzynkę rozdzielczą, do której podłączono wielokanałowy układ pomiarowy pozwalający na rejestrację zmian napięcia sygnałów sterujących pędnikami poziomymi, pędnikiem pionowym, pędnikami poprzecznymi odpowiadającymi za obrót i przesunięcie pojazdu w płaszczyźnie poziomej, napięcia generowanego przez czujnik głębokości oraz czasu. Schemat układu przedstawiono na rysunku 3.

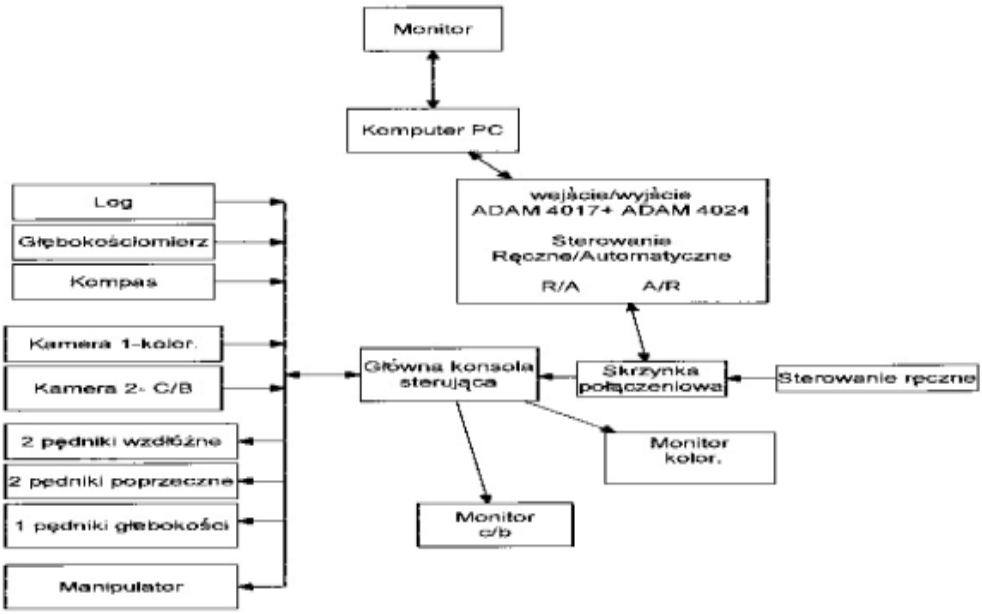
Rejestracja ta odbywa się w trakcie realizacji przez pojazd poszczególnych zadań możliwych do przeprowadzenia w basenie doświadczalnym WTM (zanurzanie/wynurzanie, ruch na stałej głębokości i monitoring ściany basenu). Ruch pojazdu po określonej trajektorii realizowany jest przez operatora sterującego pojazdem na podstawie obrazu z kamery wizyjnej zainstalowanej w pojeździe. Zebrane w ten sposób próbki pomiarowe służą do określenia zapotrzebowania na energię elektryczną przez główne odbiorniki tej energii.

Parametry basenu pozwalają na realizację następujących przebiegów:

- zanurzanie i wynurzanie (góra/dół, dół/góra) $x = 0$, $1{,}5 < z < 3{,}5$,
- ruch na stałej głębokości $0 < x < 2$, $z = 3{,}5$,
- monitoring ściany basenu $1{,}5 < z < 3{,}5$,

gdzie: x [m] – zmienna po długości basenu; z [m] – zmienna po głębokości basenu.

Rejestracja ta odbywa się w trakcie realizacji przez pojazd poszczególnych zadań możliwych do przeprowadzenia w basenie doświadczalnym WTM (zanurzanie/wynurzanie, ruch na stałej głębokości i monitoring ściany basenu). Ruch pojazdu po określonej trajektorii realizowany jest przez operatora sterującego pojazdem na podstawie obrazu z kamery wizyjnej zainstalowanej w pojeździe. Zebrane w ten sposób próbki pomiarowe służą do określenia zapotrzebowania na energię elektryczną przez główne odbiorniki tej energii.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego do rejestracji wielkości sygnałów sterujących poszczególnych pędników pojazdu [4]

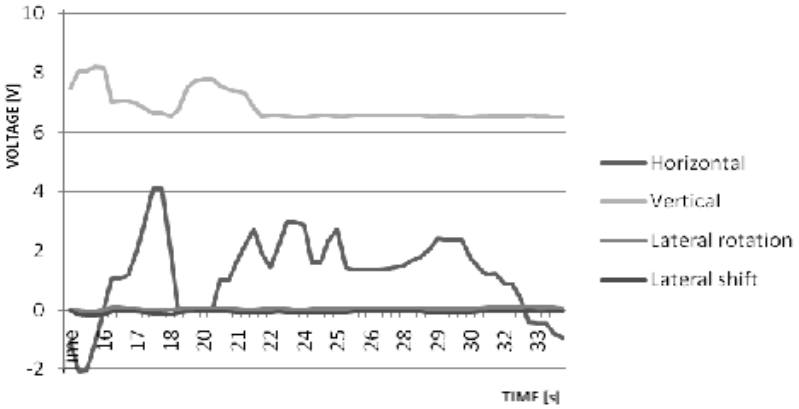
UKŁAD POMIAROWY

Układ rejestracji danych pomiarowych powstał na bazie rozproszonego układu automatyki ADAM 4000 firmy Adventech. Układ ten konfigurowany jest z modułów automatyki o różnym przeznaczeniu, połączonych za pośrednictwem magistrali szeregowej RS485 z konwerterem RS485/RS232 pozwalającym na współpracę systemu z komputerem klasy PC w oparciu o oprogramowanie ADAM View. W systemie wykorzystywanym dla potrzeb badań zastosowano moduł wejść analogowych ADAM-4017+. Moduł ten został sprzęgnięty z komputerem klasy PC za pośrednictwem konwertera ADAM 4520, [4].

ANALIZA PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH POJAZDU W ZADANIACH PODWODNYCH

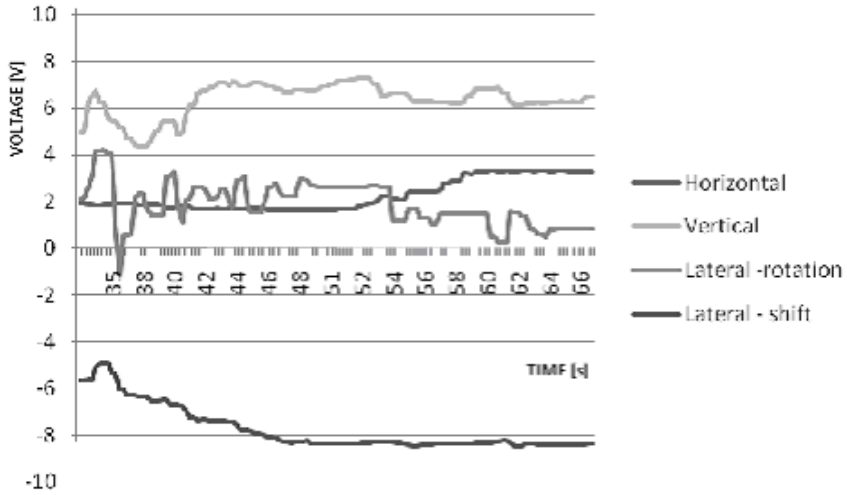
W trakcie ruchu pojazdu po określonej trajektorii zostały zarejestrowane parametry sygnałów sterujących poszczególnych pędników w funkcji czasu (rys. 4, 5, 6) [1]. Zważywszy na fakt, że charakterystyki poszczególnych pędników w zakresie ich normalnej pracy (do 95% obciążenia) mają przebieg prostoliniowy, można przyjąć, że charakterystyka zapotrzebowania mocy będzie miała również taki przebieg.

Na podstawie wykresów na rysunkach 4–6 określono średnie wartości napięcia sterującego dla poszczególnych pędników pojazdu KRAB (tab. 2). Wartości średnich sygnałów sterujących podano w voltach i procentach wartości sygnału sterującego wynoszącego maksymalnie 10 V. Jak wynika z tabeli średnie wartości sygnałów sterujących w realizowanych przez pojazd zadaniach nie przekraczają wartości 75%. Do dalszej analizy przyjęto ich najwyższą wartość na poziomie 75%.



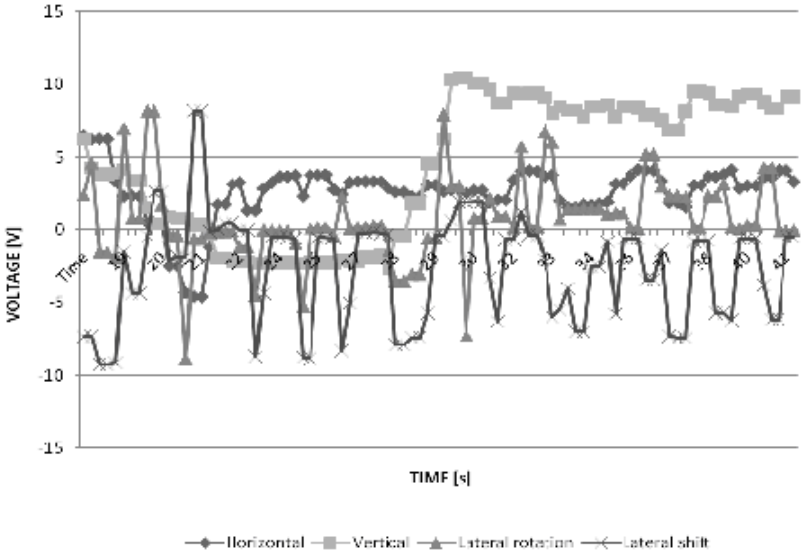
Oznaczenia: time – czas, valtage – napięcie, horizontal – horyzontalny, vertical – pionowy, lateral rotation – obrót boczny, lateral shift – przesunięcie boczne

Rys. 4. Wykres zmian sygnałów sterujących [V] dla poszczególnych pędników pojazdu KRAB podczas zanurzania [1]



Oznaczenia: jak na rys. 4.

Rys. 5. Wykres zmian sygnałów sterujących [V] dla poszczególnych pędników pojazdu KRAB podczas ruchu na stałej głębokości [1]



Oznaczenia: jak na rys. 4.

Rys. 6. Wykres zmian sygnałów sterujących [V] dla poszczególnych pędników pojazdu KRAB podczas monitoringu ściany basenu [1]

Tabela 2. Średnie wartości sygnałów sterujących pędników pojazdu KRAB w realizowanych zadaniach podwodnych

Zadanie		Wartość sygnału sterującego dla poszczególnych rodzajów pędnika			
		pędniki wzdłużne	pędniki pionowe	pędniki poprzeczne – obrót	pędniki poprzeczne – przesunięcie równoległe
Zanurzanie	V	0,2 / -0,2	7,3	0,1 / 0,1	1,8 / -0,4
	%	2 / 2	73	1 /1	18 / 4
Ruch na stałej głębokości	V	2,7	6,2	2,08 / -0,5	-7,4
	%	27	62	28 / -5	74
Monitoring ściany basenu	V	3,06	5,6 / -3,3	4,02 / -3,3	-3,45
	%	30,6	56 / 33	40,2 / -33	-34,5

ANALIZA PARAMETRÓW KABLOLINY POJAZDU KRAB

Analiza parametrów kabloliny dla konwencjonalnego układu zasilania

W układzie konwencjonalnym (indywidualnym) przesył energii elektrycznej do poszczególnych głównych odbiorników pojazdu KRAB (pędniki, oświetlenie) odbywa się za pośrednictwem 6 par kabli o przekroju 0,75 mm^2. Średnica kabloliny wynosi 22 mm, co powoduje, że przy wykorzystaniu całej jej długości wynoszącej 150 m manewrowanie pojazdem jest utrudnione, szczególnie w warunkach pracy w prądzie i przy dużym falowaniu.

Przepisy PRS w przypadku zasilania prądem stałym odbiorników siłowych dopuszczają spadek napięcia na poziomie 7% i określają możliwość wyliczenia tego spadku na podstawie wzoru (1) lub programu obliczeniowego, [5]:

$$\Delta U = \frac{2I_n \cdot l \cdot 100}{\delta \cdot U_n \cdot s} [\%] \tag{1}$$

gdzie: I_n – prąd znamionowy [A],
l – długość kabla [m],
δ – konduktywność, dla miedzi 58 [S·m/mm^2],
U_n – napięcie znamionowe [V],
s – przekrój kabla zasilającego [mm^2].

Tak obliczony przekrój kabli zasilających poszczególne pędniki i oświetlenie pojazdu KRAB przy maksymalnym (300W) poborze mocy wynosi 0,42 mm^2 , dla mocy przesyłanej na poziomie 250 W – 0,35 mm^2, a dla mocy 200 W tylko 0,280 mm^2, co oznacza, że parametry kabloliny są znacznie przewymiarowane. Należy mieć na uwadze, że pędniki podczas wykonywania przez pojazd określonych analizowanych zadań pracują w zakresie średnich lub małych obciążeń, więc przyjęty dopuszczalny na pod-

stawie przepisów PRS 7% spadek napięcia praktycznie nie występuje. Biorąc to pod uwagę, po skorygowaniu średnic przewodów, możliwie jest zmniejszenie grubości kabloliny do 18–20 mm bez ograniczenia parametrów funkcjonalnych pojazdu.

Analiza parametrów kabloliny dla zitegrowanego układu zasilania

Układ zitegrowany bazuje na przesłaniu ze stacji nawodnej do pojazdu podwodnego energii elektrycznej, która następnie rozdzielana jest na poszczególne odbiorniki. Sygnały sterujące dla poszczególnych odbiorników przesyłane są łączem RS lub światłowodem. W takim wypadku zakładając sumaryczne zapotrzebowanie mocy na przyjętym poziomie 2217 W, dla spadku napięcia wynoszącym 5,4%, przekrój pary przewodów wynosiłby 4 mm^2. Dla porównania, przy przekroju przewodu wynoszącej 2,5 mm^2 spadek napięcia będzie wynosił 8,7%.

Rozwiązanie to daje możliwość zastosowania w układzie zasilającym systemu Ultracap. Układ ten funkcjonujący za pośrednictwem jednostki sterującej pozwalałby na uzupełnienie brakującej energii elektrycznej, natomiast w przypadku jej nadwyżki (np. przy pracy pędników na obniżonych parametrach) na jego ładowanie.

Zakładając, że układ zasilania pojazdu standardowo będzie pracował przy obciążeniu wynoszącym 75 % obciążenia maksymalnego czyli 1662 W, a ewentualne niedobory mocy będą uzupełniane z systemu Ultracap, przewody zasilające powinny mieć przekrój 2,5 mm^2 (wyliczenie na podstawie programu PRS [5]). Dla tego przekroju spadek napięcia wyniesie 6,5%. Biorąc powyższe pod uwagę, grubość kabloliny można było by zmniejszyć do 14–16 mm bez ograniczania parametrów funkcjonalnych pojazdu. W tym wypadku jednak część układu sterowania oraz baterię kondensatorów systemu Ultracap należałoby umieścić w pojeździe głębinowym.

PODSUMOWANIE

Odpowiednia gospodarka energią zasilającą pojazd głębinowy typu ROV może prowadzić do znacznego zmniejszenia przekroju poprzecznego kabloliny. Niezbędna jest dokładną analiza zadań realizowanych przez pojazd. W warunkach laboratoryjnych lub poligonowych możliwa jest stosunkowo dokładna ocena zapotrzebowania na energię elektryczną przez systemy funkcjonalne pojazdu. Na tej podstawie można przeprowadzić optymalizację grubości poszczególnych kabli wchodzących w skład kabloliny, co może stać się również podstawą do wprowadzenia dodatkowych nowoczesnych rozwiązań wspomagających takich jak system Ultracap.

PIŚMIENNICTWO

1. Matejski M., Dramski M. Modelling of the movement of ROV vehicle in vertical plane using neural networks. Polish Hyperbaric Research, Nr 1, 22, 2008: 7–14.
2. Graczyk T., Matejski M., Dramski M., Jaszczak S. Propozycja protokołu komunikacji dla zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego. Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, Polish Hyperbaric Research, Nr 2, 27, 2009.
3. Matejski M. Graczyk T. The ROV movement modelling applying fuzzy logic technique. 3rd Petro Min Underwater Technology Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 12–13 Dec. 2006.
4. Matejski M, Graczyk T. Creation of models of the ROV movement in limited experimental conditions applying fuzzy logic technique. 7th International Conference BLACK SEA, Varna, Bulgaria 2004.
5. http://www.prs.pl/ – Prace naukowo badawcze. Programy obliczeniowe. Spadek napięcia, prąd stały.

ANALYSIS OF UNDERWATER VEHICLE POWER SYSTEM AIMING AT ITS MODIFICATION

Summary

Underwater system of detecting technical objects is presented in the article. The system contains a deepwater carrier of apparatus named KRAB. Characteristics and technical conditions referring to his energy balance is discussed. Presented analysis is a base for optimization of energy supply system aiming at application a new alternative energy source. It makes possible to minimize a cross-section of energy supply cables in umbilical connecting the vehicle and control station.

Keywords: underwater vehicle, ROV, power system of ROV, energy supply system.

Agata M. Niewczas[1], Daniel Pieniak[2], Paweł Kordos[3], Leszek Gardyński[4]

PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI WYPEŁNIEŃ STOMATOLOGICZNYCH NA PODSTAWIE BADAŃ LABORATORYJNYCH

Streszczenie
W artykule opisano metodę prognozowania trwałości wypełnień stomatologicznych według kryterium zmęczeniowej propagacji szczeliny brzeżnej pomiędzy wypełnieniem a twardymi tkankami zęba. Szczelina brzeżna inicjowana jest poprzez skurcz polimeryzacyjny wypełnienia. Rozwój szczeliny jest wynikiem wielu zjawisk zużyciowych. Celem badań było określenie wpływu udarowych obciążeń mechanicznych (IC) oraz cyklicznych obciążeń termicznych - szoków termicznych (TC) na degradację szczelności wypełnienia stomatologicznego oraz wykazanie konieczności uwzględniania tego typu wymuszeń w przyspieszonych badaniach laboratoryjnych trwałości wypełnień stomatologicznych. Wykazano, że cykliczne szoki termiczne (TC) oraz udarowe obciążenia mechaniczne (IC) mają istotny wpływ na postęp degradacji wypełnienia. Wykazano również, że w badaniach in vitro wymuszenia tego typu nie mogą być pominięte. Precyzyjna ocena stanu wypełnienia, oparta na ocenie ilościowej, powinna uwzględniać pomiary nieszczelności w całym zakresie głębokości ubytku tzn. we wszystkich strefach styku wypełnienia z tkankami zęba a nie tylko przy powierzchni żucia.

WSTĘP

Próchnica zębów ludzkich polega na demineralizacji nieorganicznych części tkanek zęba i rozkładzie części organicznej tkanek twardych zęba. Zniszczona struktura zęba nie regeneruje się, jednak leczenie może powstrzymać postępującą próchnicę. Celem leczenia jest zachowanie zęba i zapobieżenie powikłaniom [9]. Zachowawcza metoda leczenia polega na usunięciu zniszczonej tkanki twardej zęba i w jej miejscu wprowadzenie wypełnienia, służącego odbudowie zęba i odzyskaniu funkcji czynnościowych-fizjologicznych [33]. Obecnie często do tego celu wykorzystywane są kompozyty polimerowe, szczególnie na wypełnienia zębów bocznych-trzonowych i przedtrzonowych. Kompozyty tego typu charakteryzują się stosunkowo długą trwałością, odpowiednimi

[1] Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie.
[2] Szkoła Główna Służby Pożarnicze, Warszawa.
[3] Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Lubelska.
[4] Katedra Inżynierii Materiałowej, Politechnika Lubelska.

do warunków środowiska eksploatacji właściwościami fizyko-mechanicznymi oraz zachowują estetyczny wygląd zbliżony do wyglądu tkanek naturalnych przez długi czas eksploatacji. Charakterystycznym zjawiskiem towarzyszącym wprowadzeniu polimerowego wypełnienia stomatologicznego jest skurcz polimeryzacyjny. Jest on główną przyczyną nieszczelności wypełnienia. Skurcz polimeryzacyjny kompozytów polimerowych jest skomplikowanym procesem fizycznym i chemicznym [18]. W materiałach bazujących na systemie metakrylowym procedura polimeryzacji, inicjowana światłem prowadzi do zmiany wiązań podwójnych cząsteczek materiału na pojedyncze, co także przyczynia się do zmniejszenia objętości [32].

Istotne znaczenie ma temperatura środowiska eksploatacji kompozytu polimerowego. W warunkach fizjologicznych w jamie ustnej, występują zróżnicowane temperatury zależne od spożywanych produktów. Oddziaływanie termiczne na odmienne struktury wypełnienia i tkanek twardych zęba, powoduje zmianę ich wymiarów geometrycznych i warunków wzajemnego przylegania. Takie oddziaływanie powiązane ze zmianą stanu naprężenia w obszarze styku tkanek zęba i wypełnienia, może prowadzić do mikroprzecieku [8]. Mikroprzeciek bakteryjny polega na penetracji mikroorganizmów i ich proliferacji w objętości pomiędzy wypełnieniem a ścianą ubytku. Wynikiem mikroprzecieku jest próchnica wtórna występująca wzdłuż ścian wypełnienia, która prowadzi do ostatecznej degradacji fizyko-biologicznej wypełnienia [22]. W przypadku zawansowanej degradacji wypełnienia powstaje również ryzyko oddziaływania czynników toksycznych na strukturę miazgi [28].

Prace dotyczące oceny oddziaływań termicznych na rozwój szczeliny brzeżnej (rys. 1) były podejmowane od wielu lat [4]. Obecnie uważa się, że najistotniejszą przyczyną degradacji wynikającą z oddziaływań termicznych jest różnica wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej, który dla dostępnych na rynku kompozytów polimerowych wacha się w zakresie pomiędzy 26 a 80×10^{-6}/°C [7], natomiast dla szkliwa i zębiny wynosi odpowiednio 17×10^{-6}/°C i 11×10^{-6}/°C [36].

Drugą grupą obciążeń środowiskowych (oddziaływań otoczenia) są obciążenia mechaniczne wynikające z fizjologicznego procesu żucia z oraz obciążenia o charakterze udarowym, związane z doraźnie występującymi czynnościami gryzienia bądź z przypadkowymi kontaktami przeciwstawnych zębów. Takie obciążenia występują m.in. u osób z wadami zgryzu lub podczas niespodziewanego nagryzienia na twardą część np. pestkę. Siły generowane w wyniku nietypowych oddziaływań udarowych są znacznie mniejsze od tych występujących w trakcie spożywania produktów spożywczych. Dotychczas problem wpływu na układ ząb-wypełnienie tego typu oddziaływań nie był podejmowany, chociaż jak wiadomo jest on znany stomatologom. W literaturze publikowano dotąd jedynie wyniki symulacji sił okluzyjnych występujących w akcie żucia [14, 20, 27, 29, 30].

W niniejszym artykule przedstawiono metody realizacji i opisano wyniki dwóch odmiennych testów zmęczeniowych: cyklicznych szoków termicznych (TC) oraz cyklicznych obciążeń udarowych (IC).

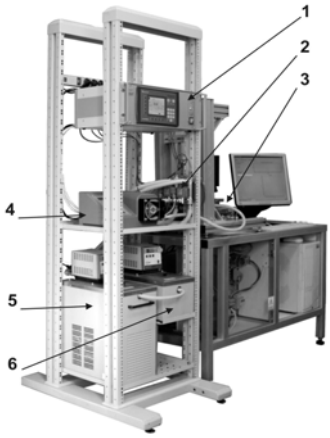
METODA

Obiekt badań

W zębach przeznaczonych do badań wypreparowano modelowe ubytki pierwszej klasy wg Blacka. Zwracano uwagę, aby wypreparowane ubytki były powtarzalne wymiarowo oraz aby ściany boczne ubytków były prostopadłe do jego dna. W ubytkach zakładano wypełnienia z kompozytu światłoutwardzalnego z mikrowypełniaczem zgodnie ze wskazaniami producenta o głębokości trzech milimetrów, co umożliwiło kontakt wypełnienia ze szkliwem i zębiną. W ubytkach zakładane były wypełnienia z materiału kompozytowego zgodnie ze wskazaniami producenta. Szkliwo i zębina wytrawiane były 37% kwasem ortofosforowym. Następnie na wszystkie ściany ubytku aplikowany był system wiążący. Materiał kompozytowy zakładany był do ubytku w warstwach o grubości ok. 2 mm każda i naświetlany lampą halogenową w czasie 40 sekund. W obydwu próbach zmęczeniowych: cyklicznych szoków termicznych (TC) oraz cyklicznych obciążeń udarowych (IC) na wypełnienia zastosowano hybrydowy kompozyt polimerowy z mikrowypełniaczem o nazwie handlowej Heliomolar (Ivoclar Vivadent AG). Materiał ten jest kompozytem o matrycy polimerowej opartej na związkach metakrylanowych. W próbie TC wykorzystano 31 próbek. W próbie IC wykorzystano 14 próbek. Na każdej próbce wykonano po 20 pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej.

Symulacja szoków termicznych (TC)

Urządzenie do realizacji symulacji szoków termicznych (rys. 1) składało się z mikroprocesorowego układu sterowania oraz układu hydraulicznego. Urządzenie umożli-



Rys. 1. Stanowisko do badań trwałościowych z wyszczególnieniem podzespołów modułu szoków termicznych: 1 – mikroprocesorowy moduł sterujący, 2 – zawory sterujące, 3 – symulator żucia, 4 – pompa perystaltyczna, 5 – termostat chłodzący, 6 – ultratermostat grzejący

wiało powstawanie szoków termicznych w próbkach zębów umieszczonych w naczyniu pomiarowym.

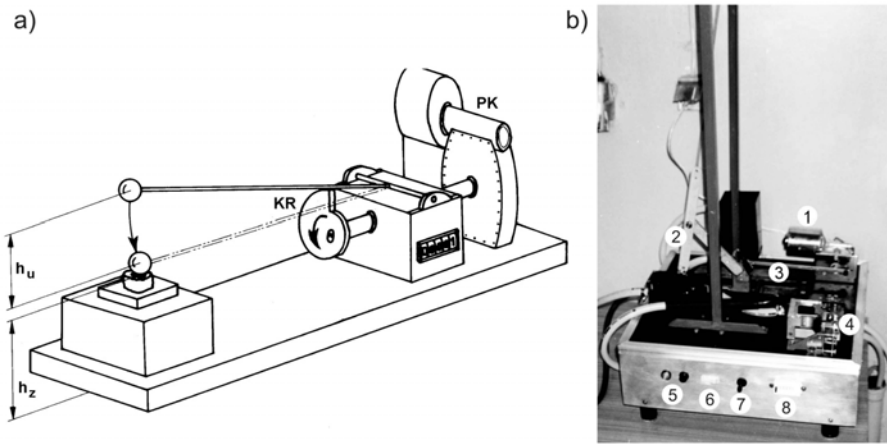
Działanie urządzenia polegało na okresowym pompowaniu i wypompowywaniu cieczy roboczej z naczynia pomiarowego. Naczynie pomiarowe było naprzemiennie napełniane ogrzaną (temp. 55°C) lub ochłodzoną cieczą (temp. 5°C) roboczą z dwóch niezależnych układów kondycjonowania temperatury.

Czas wykonywania poszczególnych czynności był programowany. Czas przetrzymania cieczy ochłodzonej i podgrzanej wynosił po 30 s, czas wypompowania i wpompowania cieczy roboczej wynosił po 10 s.

Symulacja obciążeń udarowych (IC)

Zmienne naprężenia powtarzające się w materiale pod wpływem udarów i zmiennych sił żucia osłabiają wypełnienie i powodują powstawanie w nim pęknięć i nieciągłości zwłaszcza w strefie powierzchniowej na krawędzi wypełnienia. Po dużej liczbie udarów zmienia się wytrzymałość materiału i lokalnie następuje jego niszczenie (pęknięcia zmęczeniowe). Testy zmęczeniowe były wykonane na specjalnie skonstruowanym symulatorze obciążeń udarowych (rys. 2)

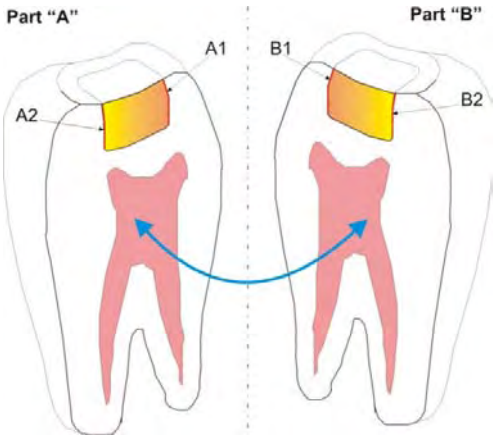
Symulator obciążeń udarowych jest wyposażony w silnik z przekładnią kątową (*PK*, rys. 2) Obracająca się krzywka (*KR*, rys. 2) unosi ramię z kulką. Po osiągnięciu maksymalnego wzniosu krzywki ramię opada i kulka uderza w powierzchnię badanego zęba. Wartość siły udaru obliczona dla warunków badań przeprowadzonych w niniejszej pracy wynosiła 3,76 N.



Rys. 2. Schemat symulatora obciążeń udarowych

Obserwacje mikroskopowe

Stopień degradacji układu biomechanicznego tkanka zęba - wypełnienie kompozytowe analizowano na podstawie obserwacji mikroskopowych. Obserwacje przeprowadzono na mikroskopie optycznym. Obserwowano przekrój podłużny zębów (rys. 3). Po przeprowadzeniu symulacji szoków termicznych próbki zębów wstępnie inkludowano. Następnie zęby przecinano bez deformacji na połowę (rys. 3) wykorzystując do tego celu przecinarkę Struers'a, Accutom 50. Przekroje zębów powtórnie inkludowano w żywicy epoksydowej (Epofix HQ). Tak przygotowane próbki szlifowano na papierach ściernych o kolejno malejącej granulacji (220, 400, 800) i polerowano na polerce Rotopol 21 stosując zawiesiny diamentowe (automatycznie dozowane za pomocą przystawki Multidoser) o różnej granulacji: 9 μm, 6 μm, 3 μm, 1 μm. Szerokość szczeliny mierzono wykorzystując do tego celu komputerowy analizator obrazu firmy Clemex sprzężony z mikroskopem metalograficznym Olympus PMG 3.



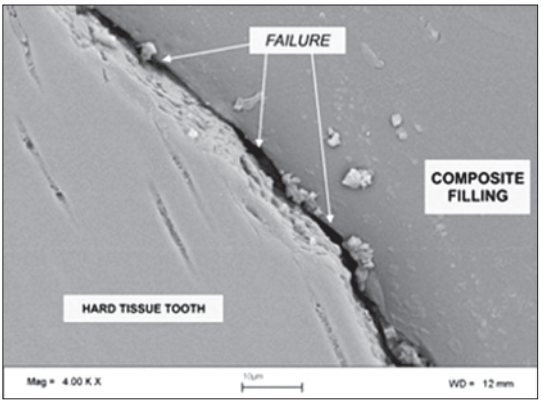
Rys. 3. Schemat próbek badanych zębów: A1, A2, B1, B2 – obszary obserwacji szczeliny brzeżnej

WYNIKI BADAŃ

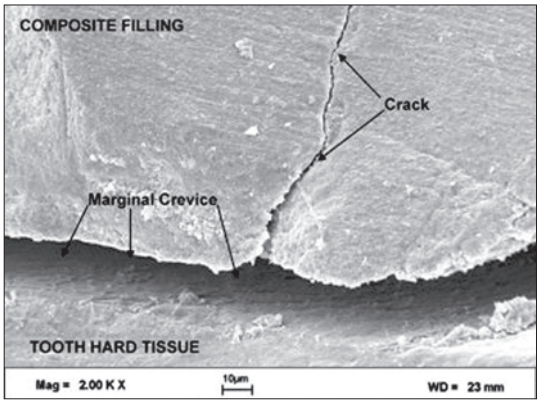
Pomiar szczeliny brzeżnej po serii obciążeń termicznych przeprowadzono na mikroskopie skaningowym (rys. 4).

Obserwacje mikroskopowe powierzchni wypełnienia (rys. 5) pokazują obecność dużych zniszczeń na powierzchni kontaktu wypełnienia z tkankami zęba. Uszkodzenia mają postać pęknięć propagujących prostopadle do szczeliny brzeżnej.

Pęknięcia przebiegające w kierunku prostopadłym do szczeliny brzeżnej są wyraźnie widoczne. Przyczyną powstawania tych pęknięć są najprawdopodobniej obciążenia dynamiczne.



Rys. 4. Obraz mikroskopowy szczeliny brzeżnej



Rys. 5. Obraz SEM powierzchni żującej

Podstawowe parametry rozkładów statystycznych szerokości szczeliny brzeżnej przedstawiono w tabeli 1. Wyszczególniono: wartość średnią, medianę, modę, wartość minimalną i maksymalną, odchylenie standardowe.

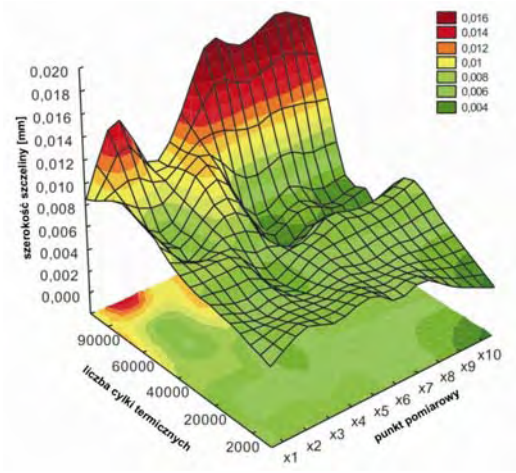
Wyniki pomiarów szczeliny brzeżnej przedstawiono na wykresach, grupując je w sposób następujący:

– wyniki pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej wypełnień z materiału *Heliomolar Radiopaque* w zależności od liczby cykli termicznych TC (rys. 6),
– wyniki pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej wypełnień z materiału *Heliomolar Radiopaque* w zależności od liczby cykli udarowych IC (rys. 7),

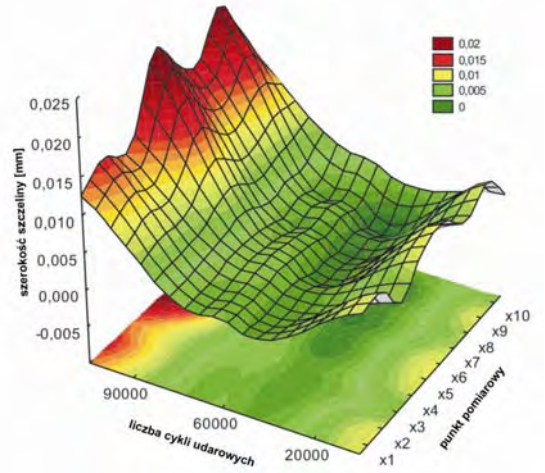
Na wykresach przedstawionych na rysunkach 6 i 7, wartości od ×1 do ×10 oznaczają głębokości pomiaru. Wartość ×10 oznacza punkt pomiaru przy powierzchni żucia, natomiast wartość ×1 oznacza najgłębiej położony punkt pomiaru.

Tabela 1. Statystyki opisowe wyników pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej

Liczba cykli	N	Średnia	Mediana	Moda	Min	Max	Błąd std.
TC							
2000	160	0,0063	0,005	0,001	0,000	0,021	0,0048
20000	220	0,0058	0,0055	0,002	0,000	0,015	0,0038
40000	100	0,0063	0,006	0,006	0,001	0,015	0,0027
60000	80	0,0063	0,0053	0,004	0,001	0,018	0,0035
90000	60	0,0107	0,009	0,008	0,001	0,029	0,0069
IC							
20000	40	0,0037	0,004	multiple	0,00	0,009	0,0028
60000	100	0,0025	0,002	0,002	0,00	0,009	0,002
90000	140	0,0104	0,009	0,003	0,00	0,030	0,008

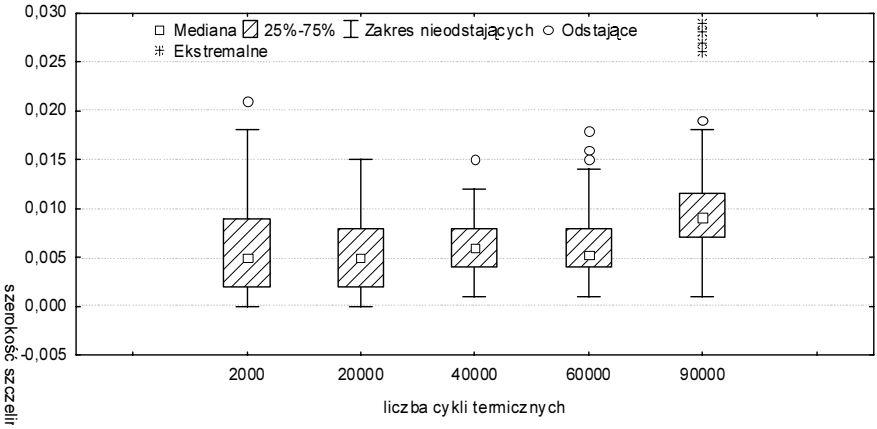


Rys. 6. Wyniki pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej (próba TC)

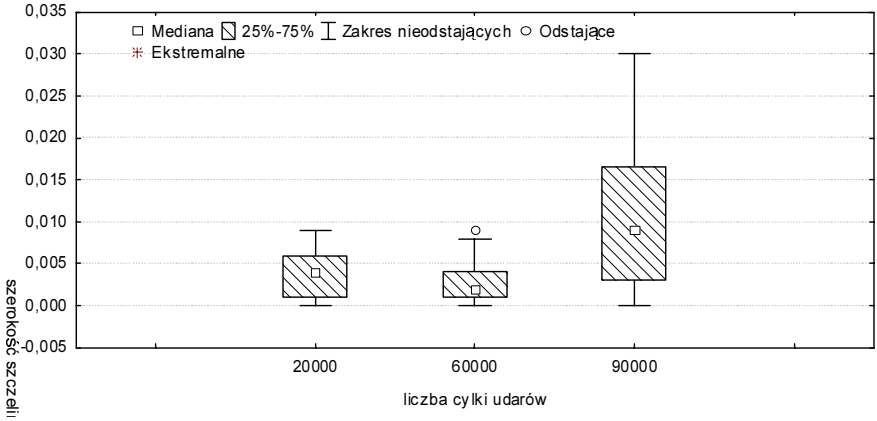


Rys. 7. Wyniki pomiarów szerokości szczeliny brzeżnej (próba IC)

Graficzne miary zmienności szerokości szczeliny brzeżnej przedstawiono na wykresach ramkowych (rys. 8, rys. 9).



Rys. 8. Wykres ramkowy zmian szerokości szczeliny brzeżnej w funkcji liczby cykli termicznych (próba TC)



Rys. 9. Wykres ramkowy zmian szerokości szczeliny brzeżnej w funkcji liczby cykli udarów (próba IC)

DYSKUSJA

Proces degradacji materiałów kompozytowych stosowanych na wypełnienia stomatologiczne jest wieloetapowy. Degradacja wypełnienia przejawia się głównie poprzez rozwój szczeliny w obszarze brzegowym wypełnienia i tkanek zęba. Główną przyczyną inicjacji mikroprzeciekania brzeżnego jest wspomniany powyżej skurcz polimeryzacyjny wypełnienia [3, 5, 12, 24, 26, 35]. Przed polimeryzacją odległość między

cząsteczkami zawierającymi wiązania podwójne C=C wynosi 3,4Å. W trakcie polimeryzacji następuje zamiana wiązań podwójnych C=C na pojedyncze C-C i odległość między cząsteczkami zmniejsza się do 1,54Å[22]. Naprężenia wewnętrzne – resztkowe w materiale wypełnienia oraz w tkankach twardych zęba, będące wynikiem skurczu polimeryzacyjnego powodują odkształcenie struktur układu ząb-wypełnienie [6, 11, 23]. Wynikający z tego stan naprężenia powoduje oddziaływanie sił skierowanych przeciwnie do sił adhezyjnych systemu wiążącego tkanki zęba i materiału wypełnienia [32].

Analizując dotychczasowe publikacje z zakresu symulacji zmęczenia cyklicznymi szokami termicznymi [13, 17] oraz w oparciu o zaprezentowane tu badania własne zauważono, że fluktuacje warunków środowiska jamy ustnej (w szczególności zmiany temperatury) mogą prowadzić do postępu degradacji systemu ząb – wypełnienie. W publikacjach innych autorów, m.in. w badaniach prowadzonych z wykorzystaniem termograwimetru, również wykazano wpływ temperatury środowiska użytkowania kompozytów polimerowych na bazie żywic metakrylanowych na ubytek masy wypełnienia oraz dekompozycje i depolimeryzację jego struktury [1]. Konsekwencją rozwoju nieszczelności brzeżnej jest m.in. penetracja płynów ustrojowych o fluktuujących temperaturach w objętości szczeliny brzeżnej [24] oddziałujących rozklinowująco na połączenie tkanek zęba z kompozytem. Skutkuje to próchnicą wtórną ścian ubytku, a w dalszym etapie rozwoju nawet zapaleniem miazgi [21].

W opisywanych tu badaniach własnych sprawdzono czy szczelina brzeżna zmienia swoje wymiary pod wpływem szoków termicznych. W tym celu dokonano oceny różnic między wynikami uzyskanymi w kolejnych przedziałach liczby symulowanych szoków termicznych, opierając się na wynikach testu „post hoc" HSD Tukey'a dla nierównych liczności. W przypadku wyników uzyskanych z próby TC nie wykazano istotnych różnic ($p = 0,05$) między wynikami uzyskanymi w zakresach od 2000TC do 60000TC. Natomiast wykazano istotne różnice między wynikami po 90000TC a wynikami uzyskanymi we wszystkich wcześniejszych zakresach obciążenia (tab. 2).

Istotne jest jak zmieniała się szerokość szczeliny brzeżnej w różnych strefach pomiaru, ponieważ na różnych głębokościach wypełnienie graniczy z odmiennymi tkankami zęba – szkliwem i zębiną. Fluktuacje temperatury są inne w różnych głębokościach wypełnienia. Najwyższe i najniższe temperatury w próbie cyklicznych szoków termicznych (TC) występują na powierzchni żucia, ponieważ ma tu miejsce bezpośredni kontakt z cieczą roboczą (kontakt z symulowanym środowiskiem jamy ustnej).

Tabela 2. Wyniki testu HSD Tukey'a (próba TC)

TC	{1} - M=,00626	{2} - M=,00551	{3} - M=,00626	{4} - M=,00629	{5} - M=,01068
2000 {1}	–	0,510553	1	0,999999	0,000019
20000 {2}	0,510553	–	0,753318	0,811409	0,000017
40000 {3}	1	0,753318	–	1	0,000019
60000 {4}	0,999999	0,811409	1	–	0,000019
90000 {5}	0,000019	0,000017	0,000019	0,000019	–

Kontakt ten przekłada się na stan naprężenia w strefach powierzchniowych. W publikacji [10] dokonano oceny MES rozkładu naprężeń w obszarze granicznym struktur wypełnienia i tkanek zęba, powstałych w wyniku szoku termicznego. Wykazano, że największe naprężenia występują na styku struktur wypełnienia i szkliwa w strefie przypowierzchniowej kompozytu (ok. 9,2 MPa). Kształt wykresu na rysunku 9 wskazuje na zróżnicowanie zmęczeniowych zmian szerokości szczeliny brzeżnej na różnych głębokościach pomiaru w trakcie testu TC. Największą zmienność szerokości szczeliny brzeżnej obserwowano w strefie pomiaru przy powierzchni żucia (×9 – ×10). W tej strefie obserwowano również największą szerokość szczeliny brzeżnej. Podobne zależności obserwuje się również w strefie pomiaru przy granicy szkliwno-zębinowej (DEJ) – punkt ×6 na wykresach. W strefie zębiny (×1 – ×5) maksymalne szerokości szczeliny brzeżnej są mniejsze. Podobny do obserwowanego w strefie szkliwa kształt charakterystyki degradacji występuje u podstawy wypełnienia.

W badaniach degradacji wypełnień stomatologicznych powodowanej wymuszeniami mechanicznymi badacze często wykorzystywali urządzenia symulujące proces żucia. Opracowano różne symulatory żucia. Dużą grupę stanowiły urządzenia symulujące jedynie oddziaływanie pionowych sił zgryzowych w antagonistycznie zamocowanych próbkach [30, 14, 29]. Prowadzono również badania na symulatorach umożliwiających kondycjonowanie wielu parametrów procesu symulacji m.in.: sił zgryzowych, temperatury oraz prędkości przepływu sztucznej śliny [14] oraz symulację procesu żucia jednocześnie na dużej liczbie próbek [27, 30]. Wykorzystywano również symulatory umożliwiające kombinację horyzontalnych i wertykalnych ruchów antagonistycznych próbek [20]. W większości przypadków znacząco upraszczano warunki obciążeń pomijając niekiedy wiele istotnych czynników środowiska jamy ustnej, bądź upraszczano geometrię modeli poddanych obciążeniom [2]. Ogólnie rzecz ujmując symulowano siły cyklicznie zmienne, związane z aktem żucia. Pomijano całkowicie obciążenia o charakterze udarowym, związane z doraźnie występującymi gwałtownymi zdarzeniami polegającymi na przypadkowym i niezamierzonym kontakcie przeciwstawnych zębów, podczas którego wielkość generowanych sił jest mała. Przyjęto, że w tym przypadku siły (udary) mogą wynosić co najwyżej kilka newtonów. Porównując tą wartość do siły najczęściej wykorzystywanej w symulacji sił okluzyjnych (od 50 do 100 N) wartość ta wydaje się mało znacząca. Trzeba jednak pamiętać, że siły generowane podczas żucia są kontrolowane przez człowieka a dynamika kontaktu przeciwstawnych próbek jest znacznie niższa, co oczywiście ma wpływ na wielkość energii powstałej podczas kontaktu. Wpływ udarowego wymuszenia mechanicznego (IC) na parametry szczeliny brzeżnej oceniano wykorzystując test sam test statystyczny, którego użyto w próbie TC. W tym przypadku nie wykazano istotnych różnic ($p = 0,05$) między wynikami uzyskanymi w zakresach od 20000IC do 60000IC. Natomiast wykazano różnice między wynikami uzyskanymi po 90000IC a wynikami uzyskanymi we wszystkich wcześniejszych zakresach obciążenia (tab. 3).

Wykazano zatem, że obciążenia udarowe nie powinny być pomijane w cyklicznych symulacjach obciążeń fizjologicznych, których celem jest analiza trwałości wypełnień

Tabela 3. Wyniki testu HSD Tukey'a (próba IC)

IC	{1} - M=,00370	{2} - M=,00254	{3} - M=,01040
20000 {1}	–	0,651684	0,000023
60000 {2}	0,651684	–	0,000022
90000 {3}	0,000023	0,000022	–

stomatologicznych z kompozytów polimerowych. Istotny wzrost szerokości szczeliny jest już obserwowany po stosunkowo niewielkiej liczbie cykli udarowych. Z literatury wiadomo, że w przypadku symulacji wyżej wspomnianych cyklicznych sił okluzyjnych istotny wzrost degradacji wypełnień kompozytowych obserwowany jest dopiero po przekroczeniu kilkuset tysięcy cykli obciążenia a graniczna liczba cykli wynosi 1,5 miliona. Na rysunku 7 zaprezentowano wykres wyników szerokości szczeliny brzeżnej po realizacji próby obciążeń udarowych (IC). Podobnie jak to miało miejsce w przypadku próby TC, największe szerokości szczeliny brzeżnej obserwowano przy powierzchni żucia (×9 – ×10) oraz w obszarze granicy szkliwno-zębinowej (DEJ – ×6). Obserwowany jest również spadek szerokości szczeliny brzeżnej po około 1/3 liczby cykli obciążeniowych. Wyraźny wzrost szerokości we wszystkich strefach pomiaru obserwowany po 60000 IC.

W obydwu próbach zmęczeniowych TC i IC wykazano znaczący wzrost szczeliny po 90000 cykli obciążenia. Średnia szerokość szczeliny (tab. 1) jest tu prawie dwukrotnie większa od wyników uzyskanych z wcześniejszych zakresów obciążenia (TC: $\tilde{x} = 0{,}0107$ mm; IC: $\tilde{x} = 0{,}0104$ mm). Kształty powierzchni wykresów szerokości szczeliny brzeżnej po obydwu próbach (TC i IC) wskazują na niemonotoniczny wzrost szczeliny. Obserwuje się okres „zerowego" przyrostu szczeliny. W tym przypadku można to tłumaczyć tym, że dominującą rolę w degradacji mechanicznej układu ząb-wypełnienie odgrywały uszkodzenia innej natury np. mikropęknięcia w wypełnieniu kompozytowym będące m.in. wynikiem procesu relaksacji naprężeń własnych kompozytu prowadząc pośrednio do zatrzymania rozbudowy szczeliny przy jednoczesnej dekohezji wypełnienia.

PODSUMOWANIE

1. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że wymiary geometryczne szczeliny brzeżnej występującej pomiędzy bryłą materiału wypełnienia i twardą tkanką zęba mogą stanowić ważną miarę degradacji biomechanicznej układu ząb-wypełnienie. W większości wcześniejszych badań problem nieszczelności brzeżnej ujmowano tylko od strony jakościowej [19, 24, 34]. Bardzo niewielu autorów analizowało dotąd nieszczelność brzeżną ilościowo [31]. Także, niewiele publikacji prezentuje

podejście ilościowo-jakościowe, w którym miarą nieszczelności brzeżnej jest zmienność parametrów pośrednich np: zmiennych elektrycznych [16] bądź elektrochemicznych [25].

2. Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że konieczna jest parametryzacja procesu degradacji układu ząb-wypełnienie określona szerokością szczeliny w całym obszarze styku wypełnienia z tkanką zęba. Szczególnie odnosi się to do kompozytów polimerowych aplikowanych wielowarstwowo do ubytku w zębie
3. Wykazano, że cykliczne szoki termiczne (TC) oraz udarowe obciążenia mechaniczne (IC) mają znaczący wpływ na proces degradacji biomechanicznej wypełnienia. Dlatego należy uznać za konieczne oddziaływanie tych wymuszeń w programie przyśpieszonych badań trwałości wypełnień stomatologicznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Achilias D.S., Karabela M.M., Sideridou I.D. Thermal degradation of light-cured dimethacrylate resins Part I. Isoconversional kinetic analysis. Thermochemica Acta 472, 2008:.74–83.
2. Borkowski K., Kotousov A., Kahler B. Effect of material properties of composite restoration on the strength of the restoration – dentine interface due to polymerization shrinkage, thermal and occlusal loading. Medical Engineering & Physics 29, 2007: 671–676.
3. Braga R.R., Boaro L.C.C., Kuroe T., Azevedo C.L.N., Singer J.M. Influence of cavity dimensions and their derivatives (volume and 'C' factor) on shrinkage stress development and microleakage of composite restorations. Dental Materials, No 22, 2006: 818–823.
4. Bullard R.H., Leinfelder K.F., Russell C.M. Effect of coef?cient of thermal expansion on microleakage. J. Am. Dent. Assoc. 116, 1988: 871–874.
5. Calheiros C.F., Sadek F.T., Boaro L.C.C., Braga R.R. Polymerization stress related to radiant exposure and its effect on microleakage of composite restorations. Journal of Dentistry, No 35, 2007: 946–952.
6. Cara R.R., Fleming G.J.P., Palin W.M., Walmsley A.D., Burke F.J.T. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with resin-based composites with and without an intermediary flowable layer. Journal of Dentistry 35, 2007: 482–489.
7. Combe E.C., Burke Trevor F.J., Douglas W.H. Dental biomaterials. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers; 1999: 160.
8. Craig R.G. (ed.). Restorative dental materials. 10th ed. St. Louis, Missuri: C.V. Mosby Company; 1997.
9. Fejerskov O., Kidd E. Dental Caries. Second Edition. Blackwell Munksgaard 2008.
10. Fenner D.N., Robinson P.B., Cheung P. M-Y. Three-dimensional ?nite element analysis of thermal shock in a premolar with a composite resin MOD restoration. Medical Engineering & Physics 20, 1998: 269–275.
11. Fleming G.J.P., Cara R.R., Palin W.M., Burke F.J.T. Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with resin-based filling materials cured using a 'soft-start' polymerisation protocol. Dental Materials 23, 2007: 637–643.

12. Fleming G.J.P., Hall D.P., Shortall A.C.C., Burke F.J.T. Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with posterior filling materials of varying reported volumetric shrinkage values. Journal of Dentistry, No 33, 2005: 139–146.
13. Geis-Gerstorfer J. In vitro corrosion measurements of dental alloys. Journal of Dentistry 1994, 22: 247–251.
14. Heintze S.D., Zellweger G., Zappini G. The relationship between physical parameters and wear of dental composites. Wear 263, 2007: 1138–1146.
15. Ira P., Kopytyńska A., Dąbrowska A., Kupka T.W., Tanasiewicz M., Gibas M. What is the polymerization shrinkage of a hybrid (nano/submicroparticle-filled) polymer-based composite used in artistic dentistry? Nowa Stomatologia 2, 2006: 78–80.
16. Iwami Y., Hayashi M., Takeshige F., Ebisu S. The accuracy of electrical method for microleakage evaluation by a three-dimensional analysis. Journal of Dentistry 35, 2007: 268–274.
17. Joyston-Bechal A., Kidd E., Joyston-Bechal S. Essentials of dental caries: the disease and its management. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press 1998: 66–78.
18. Li J., Li H., Fok S.L. A mathematical analysis of shrinkage stress development in dental composite restorations during resin polymerization. Dental Materials 24, 2008: 923–931.
19. Magni E., Zhang L., Hickel R., Bossu M., Polimeni A., Ferrar M. SEM and microleakage evaluation of the marginal integrity of two types of class V restorations with or without the use of a light-curable coating material and of polishing. Journal of Dentistry 36, 2008: 885–891.
20. Mehl C., Scheibnerb S., Ludwiga K., Kern M. Wear of composite resin veneering materials and enamel in a chewing simulator, Dental Materials No 23, 2007: 1382–1389.
21. Murray P.E., Smyth T.W., About I., Remusat R., Franqin J.C., Smith A.J. The effect of etching on bacterial microleakage of an adhesive composite restoration. Journal of Dentistry 30, 2002: 29–36.
22. Niewczas A., Pieniak D., Bachanek T., Surowska B., Bieniaś J., Pałka K. Prognosing of functional degradation of bio-mechanical systems exemplified by the tooth-composite filling system. Ekspoloatacja i Niezawodność / Maintenance and Reliability nr 1(45), 2010.
23. Palin W.M., Fleming G.J.P., Nathwani H., Burke F.J.T., Randall R.C. In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel low-shrink dental composites. Dental Materials 21, 2005: 324–335.
24. Piemjai M., Watanabe A., Iwasaki Y., Nakabayashi N. Effect of remaining demineralised dentine on dental microleakage accessed by a dye penetration: how to inhibit microleakage? Journal of Dentistry, No 32, 2004: 495–501.
25. Pradelle-Plassea N., Wenger F., Picarda B., Colona P. Evaluation of microleakage of composite resin restorations by an electrochemical technique: the impedance methodology. Dental Materials 20, 2004: 425–434.
26. Rosin M., Urban A.D., Gartner C., Bernhardt O., Spleith C., Meyer G. Polymerization shrinkage-strain and microleakage in dentin – border cavites of chemical and light-cured restorative materials. Dental Materials, No 18, 2002: 521–528.
27. Salles C., Tarrega A., Mielle P., Maratray J., Gorria P., Liaboeuf J., Liodenot J.J. Development of a chewing simulator for food breakdown and the analysis of in vitro flavor compound release in a mouth environment. Journal of Food Engineering, No 82, 2007: 189–198.
28. Sideridou I., Achilias D.S., Kyrikou E. Thermal expansion characteristics of light-cured-dental resins and resin composites. Biomaterials 25, 2004: 3087–3097.

29. Stappert C.F.J., Chitmongkolsukc S., Nelson R., Silvad F.A., Atte W., Strub J.R. Effect of mouth-motion fatigue and thermal cycling on the marginal accuracy of partial coverage restorations made of various dental materials. Dental Materials, No 24, 2008: 1248–1257.
30. Steiner M., Mitsias M.E., Ludwig K., Kern M. In vitro evaluation of a mechanical testing chewing simulator. Dental materials, No 25, 2009: 494–499.
31. Sun J., Eidelman N., Gibson S.L. 3D mapping of polymerization shrinkage using X-ray micro-computed tomography to predict microleakage. Dental Materials 25, 2009: 314–320.
32. Sun J., Lin-Gibson S. X-ray microcomputed tomography for measuring polymerization shrinkage of polymeric dental composites. Dental Materials 24, 2008: 228–234.
33. Swift E.J. Jr., Heymann H.O., Roberson T.M. Stomatologia zachowawcza. Tom 1. wyd. Czelej, Warszawa 2009.
34. Taha N.A., Palamara J.E.A., Messer H.H. Cuspal de?ection, strain and microleakage of endodontically treated premolar teeth restored with direct resin composites. Journal of Dentistry 37, 2009: 724–730.
35. Wilder Jr. A.D., Swift Jr. E.J., May Jr. K.N., Thompsona J.Y., McDougal R.A. Effect of ?nishing technique on the microleakage and surface texture of resin-modi?ed glassionomer restorative materials. Journal of Dentistry No 28, 2000: 367–373.
36. Xu HC, Liu WY, Wang T. Measurement of thermal expansion coef?cient of human teeth. Aust. Dent. J. 34, 1989: 530–535.

FORECASTING OF DENTAL FILLINGS DURABILITY ON THE BASIS OF LABORATORY EVALUATION

Abstract

The paper describes a method of forecasting durability of dental fillings according to the criterion of fatigue expansion (propagation) of the marginal gap between the filling and the hard tissue of the tooth. The marginal fissure is initiated by the polymer shrinkage of the filling. Development of the fissure results from a number of wear phenomena. The aim of the study was to evaluate the influence of impact mechanical loadings (IC) and thermal impact loadings (TC) on degradation of tightness of a dental filling as well as to provide evidence for the necessity of including this type of forces in accelerated laboratory tests of dental filling durability.It has been revealed that cyclical thermal shocks (TC) and impact mechanical loadings play a crucial role in degradation of the filling. In authors' opinion, this type of forces shall be taken into consideration while performing *In vitro* tests. Accurate evaluation of the condition of teething, based on quantitative evaluation shall include the measurements of untightness in all contact zones between a filling and the tooth tissues, not only by the mastication surface.

Klaudiusz Lenik[1)], Andrzej Czekaj[2)],
Zbigniew Tomaszewski[2)], Franciszek Kida[3)]

ELEMENTY KUTE ZAWIESI KLASY 4 I 8 W ŚWIETLE ZNOWELIZOWANEJ DYREKTYWY 2006/42/WE I NORM ZHARMONIZOWANYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono najważniejsze cechy współczesnej strategii bezpieczeństwa w projektowaniu i użytkowaniu osprzętu do podnoszenia, określone w znowelizowanej dyrektywie maszynowej 2006/42/WE. Opisaną w artykule strategię postępowania zawarto w dyrektywie i normach zharmonizowanych serii EN 1677.
Słowa kluczowe: dyrektywa maszynowa, ocena ryzyka, ocena zgodności, bezpieczeństwo osprzętu do podnoszenia.

WSTĘP

Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r., w sprawie maszyn [1, 2][1] ma zastosowanie do produktów takich jak m.in.: maszyny, wyposażenie wymienne, elementy bezpieczeństwa, osprzęt podnoszenia, łańcuchy, liny, pasy, itp.

Dyrektywa jest dość ogólna, zawiera bowiem w samej treści 29 artykułów, a w nich min.: definicje, opis nadzoru rynku, opis pojęcia „wprowadzenia do obrotu i oddania do użytku", wyjaśnienie domniemania zgodności z normami zharmonizowanymi, opis procedury oceny zgodności i związane z tą oceną jednostki notyfikowane czy też obligatoryjność znakowania produktów znakiem CE.

Zasadnicze wymagania odnoszące się do produktów objętych dyrektywą znajdują się w załącznikach. Opisano w nich precyzyjnie takie tematy jak: wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa odnoszące się do projektowania i wykonywania maszyn; deklaracje zgodności WE dla maszyn; oznakowanie CE; badanie typu WE; pełne zapewnienie jakości.

---

[1] Polski producent maszyn i osprzętu do podnoszenia ma do dyspozycji dwa dokumenty [1] i [2], w których znajdzie zasadnicze wymagania bezpieczeństwa. W artykule są odniesienia (np. podane numery załączników) do dokumentu [1], tzn. do oryginalnego tekstu dyrektywy maszynowej.

[1)] Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.
[2)] Instytut Obróbki Plastycznej w Poznaniu.
[3)] Zakład Obróbki Plastycznej w Świdniku.

Elementy kute matrycowo wchodzące w skład zawiesi klasy 4 i 8, będące przedmiotem niniejszego artykułu, zaliczane są do „osprzętu do podnoszenia". Podlegają one ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami dyrektywy maszynowej 2006/42/WE.

Zasadnicze wymagania dla „*osprzętu do podnoszenia*" w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa odnoszące się do jego projektowania i wykonania znajdują się w Załączniku I dyrektywy.

Jednym z najważniejszych zasadniczych wymagań znowelizowanej dyrektywy maszynowej jest wymaganie przeprowadzenia udokumentowanej **oceny ryzyka** (oraz jego zmniejszenie do wartości akceptowalnej). Proces oceny ryzyka na etapie projektowania rozpoczyna się od określenia zagrożeń, jakie mogą wystąpić podczas zamierzonego użycia osprzętu do podnoszenia jak i możliwego do przewidzenia w uzasadniony sposób niewłaściwego jego użycia. Kolejnym etapem w ocenie ryzyka jest jego szacowanie biorąc pod uwagę stopień możliwych obrażeń lub uszczerbku na zdrowiu i prawdopodobieństwo ich wystąpienia. Po oszacowaniu ustala się czy wymagane jest zmniejszenie ryzyka czy też konstrukcja osprzętu do podnoszenia mimo możliwych do wystąpienia zagrożeń może zostać zaakceptowana. W przypadku stwierdzenia, że występujące ryzyko niesie możliwość niebezpiecznej pracy operatora należy dążyć do eliminacji zagrożeń lub zmniejszenia ryzyka tak dalece, aby było ono do zaakceptowania. Kiedy nie udaje się wyeliminować ryzyka producent podaje w *instrukcji,* środki ochronne (w tym także środki natury organizacyjnej), związane z nie wyeliminowanym ryzykiem (ryzykiem resztkowym).

POSTĘPOWANIE PRODUCENTA OSPRZĘTU DO PODNOSZENIA W TRAKCIE PROCESU WYTWARZANIA

Terminy i definicje

Wszystkim wiadomo, że jednoznaczne zrozumienie terminów przez użytkowników osprzętu prowadzi do bezpiecznej ich obsługi przez operatorów. Dlatego producenci i użytkownicy osprzętu do podnoszenia powinni posługiwać się tymi samymi terminami.

Podstawowymi definicjami z jakimi można spotkać się w fazie projektowania, wytwarzania, oddania do użytku (uzgodnień wytwórca-użytkownik) a dotyczących osprzętu takiego jak haki i ogniwa są:

– **dopuszczalne** (maksymalne) **obciążenie robocze** (WLL – working load limit) - maksymalna masa, jaką hak czy ogniwo wytrzymuje podczas podnoszenia, wyrażona jako **kod** (*kod identyfikujący WLL*),
– **siła próbna** (MPF – manufacturing proof force) – siła przyłożona do haka lub ogniwa podczas badania kontrolnego,
– **siła niszcząca** (BF – breaking force) – maksymalna siła osiągnięta podczas badania na rozciąganie statyczne haka lub ogniwa, przy której hak lub ogniwo nie wytrzymuje obciążenia,

– **kod identyfikowalności** – szereg liter i/lub cyfr znakowanych na haku czy ogniwie umożliwiających śledzenie historii jego wytwarzania, łącznie z możliwością identyfikacji wytopu użytej stali,
– **współczynnik bezpieczeństwa** – arytmetyczny stosunek obciążenia do maksymalnego udźwigu naniesionego na haku czy ogniwie gwarantowany przez producenta,
– **współczynnik przeciążenia** – arytmetyczny stosunek obciążenia użytego podczas prób statycznych lub dynamicznych do maksymalnego udźwigu naniesionego na haku czy ogniwie,
– **próba statyczna** – badanie podczas którego hak lub ogniwo są poddawane oględzinom a następnie poddawane działaniu siły odpowiadającej maksymalnemu udźwigowi pomnożonemu przez odpowiedni współczynnik przeciążenia dla prób statycznych i ponownie skontrolowane bezpośrednio po zdjęciu obciążenia w celu upewnienia się, że nie nastąpiło żadne odkształcenie (uszkodzenie).
– **partia produkcyjna** – określona liczba haków czy też ogniw wytworzonych z tego samego wytopu stali i poddanych takiemu samemu procesowi obróbki cieplnej, z których pobiera się próbki do badań.

Zagrożenia związane z osprzętem do podnoszenia

Normy zharmonizowane określają bardzo dokłanie zagrożenia, z jakimi musi liczyć się producent haków czy ogniw. Do nich zalicza się:
– zagrożenia mechaniczne związane z niewystarczającą wytrzymałością,
– zagrożenia cięciem,
– zagrożenia tarciem lub ścieraniem,
– zagrożenia wadliwym montażem,
– zagrożenia spadającymi przedmiotami.

Zidentyfikowane zagrożenia oraz ich charakterystyka znajdują odzwierciedlenie w zasadniczych wymaganiach Dyrektywy 2006/42/WE. Są one podstawą do przeprowadzenia oceny ryzyka, (wypadku, na który może być narażony operator) przez wytwórcę haków czy ogniw. Postępując zgodnie z wymaganiami norm zharmonizowanych producent może mieć domniemanie, że jego wyroby są bezpieczne i nie powinny stwarzać zagrożenia operatorowi i osobom postronnym. Innymi słowy - powinny gwarantować bezpieczną pracę (obsługę). Podstawową normą zharmonizowaną zawierającą szczegółowe wymagania haków i ogniw klasy °8 jest **PN-EN 1677-1+A1:2009** Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 1: Elementy stalowe kute, klasa 8 [3]

Zasadnicze wymagania, jakie muszą być spełnione przez producentów haków i ogniw określono w dyrektywie 2006/42/WE [1, 2].

Zagrożenia mechaniczne związane z niewystarczającą wytrzymałością

Zagrożenie mechaniczne wynikają z ryzyka uszkodzenia haka czy ogniwa podczas pracy. Dlatego bardzo ważną właściwością jest trwałość użytych materiałów. Musi być ona odpowiednia do charakteru środowiska pracy danego haka czy ogniwa przewidzianego przez producenta i użytkownika. Producent powinien szczególnie zwrócić uwagę na zjawiska zmęczenia materiału, z jakiego produkuje haki czy ogniwa, jego starzenie, korozję czy ścieranie.

Omawiany osprzęt do podnoszenia musi wytrzymywać naprężenia, którym jest poddawany zarówno podczas pracy jak i, jeżeli ma to zastosowanie, podczas postoju, oraz w przewidywanych warunkach użytkowania, we wszystkich odpowiednich konfiguracjach i przy uwzględnieniu, tam gdzie jest to właściwe, warunków atmosferycznych.

Haki i ogniwa muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób zapobiegający uszkodzeniom spowodowanym zmęczeniem materiału i zużyciem, z należytym uwzględnieniem jego użytkowania zgodnego z przeznaczeniem.

Stosowane materiały producent dobiera zgodnie z zamierzonym środowiskiem pracy, ze szczególnym uwzględnieniem korozji, ścierania, udarów, skrajnych temperatur, zmęczenia materiału, kruchości i starzenia.

Haki i ogniwa muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby mogły wytrzymać przeciążenie podczas prób statycznych i żeby nie wykazywały trwałych odkształceń lub innych uszkodzeń. Przy obliczeniach wytrzymałości należy uwzględnić wartość współczynnika przeciążenia dla prób statycznych, wybranego w celu zagwarantowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Dla haków i ogniw wartość współczynnika przeciążenia przyjmuje się z reguły 1,5.

Wymiary osprzętu do podnoszenia przyjmuje się odpowiednio **dla haków** według:

- **PN-EN 1677-2+A1:2009** Części składowe zawiesi — Bezpieczeństwo — Część 2: Haki do podnoszenia stalowe kute, z zapadką, klasa 8 [4];
- **PN-EN 1677-3+A1:2009** Części składowe zawiesi — Bezpieczeństwo — Część 3: Haki stalowe kute, z klamrą zabezpieczającą — Klasa 8 [5];
- **PN-EN 1677-5+A1:2009** Części składowe zawiesi — Bezpieczeństwo — Część 5: Haki do podnoszenia stalowe kute, z zapadką — Klasa 4 [6].

Wymiary osprzętu do podnoszenia przyjmuje się odpowiednio **dla ogniw** według:

- **PN-EN 1677-4+A1:2009** Części składowe zawiesi — Bezpieczeństwo — Część 4: Ogniwa, klasa 8 [7];
- **PN-EN 1677-6+A1:2009** Części składowe zawiesi — Bezpieczeństwo — Część 6: Ogniwa — Klasa 4 [8].

Współczynnik bezpieczeństwa osprzętu do podnoszenia takiego jak haki czy ogniwa dobieramy tak, aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa; wartość tego współczynnika wynosi z reguły 4.

W celu sprawdzenia doboru właściwego współczynnika bezpieczeństwa producent lub jego upoważniony przedstawiciel powinien przeprowadzić odpowiednie próby

dla każdego typu haka czy ogniwa lub zlecić przeprowadzenie takich prób.

Kiedy osprzęt do podnoszenia (haki lub ogniwa) jest wprowadzany do obrotu lub po raz pierwszy oddawany do użytku, producent lub jego upoważniony przedstawiciel musi zapewnić, poprzez podjęcie właściwych środków lub zlecenie ich podjęcia, aby osprzęt nośny w stanie gotowym do użytku, zarówno obsługiwany ręcznie jak i mechanicznie, mógł spełniać swoje funkcje w sposób bezpieczny.

Próby statyczne i dynamiczne określone są w normach zharmonizowanych i muszą być przeprowadzone zgodnie z wymaganiami zapisanymi w tych normach.

Zagrożenia cięciem, tarciem lub ścieraniem

W zakresie, w jakim pozwala na to ich przeznaczenie, haki lub ogniwa nie mogą mieć żadnych ostrych krawędzi, ostrych naroży ani chropowatych powierzchni, które mogą spowodować obrażenia.

Zagrożenia wadliwym montażem

Błędy możliwe do popełnienia przy pierwszym lub ponownym montażu niektórych części haków do podnoszenia, mogące stanowić źródło ryzyka, muszą zostać wyeliminowane przez projekt i wykonanie tych części albo, przy braku takiej możliwości, poprzez umieszczenie informacji na samych częściach (zapadkach, strzemionach, klamrach). Takie same informacje muszą być umieszczone na częściach w przypadkach, gdy w celu uniknięcia ryzyka konieczna jest znajomość kierunku ruchu.

W koniecznych przypadkach instrukcje muszą zawierać dodatkowe informacje o tych rodzajach ryzyka.

W przypadku, gdy błędne połączenie (sworzeń – hak) może być źródłem ryzyka, należy uniemożliwić konstrukcyjnie (dobra praktyka inżynierska) niewłaściwe połączenia, a przy braku takiej możliwości – uczynić to za pośrednictwem informacji podanej na elementach, które będą łączone i, w razie potrzeby, na złączach.

Zagrożenia spadającymi przedmiotami

Konieczne jest podjęcie środków ostrożności mających na celu zapobieżenie ryzyku powodowanemu przez przedmioty spadające lub wyrzucane. Kształt haków, konstrukcja zapadek powinna eliminować możliwość wystąpienia ryzyka od spadających przedmiotów.

WPROWADZENIE OD OBROTU

Co jest ważne podczas produkowania i użytkowania osprzętu do podnoszenia (haków i ogniw), a który winien być oznaczony znakiem CE?

Aby wprowadzić do obrotu na terenie kraju (krajów UE) osprzęt do podnoszenia, producent albo upoważniony przedstawiciel – np. dystrybutor – powinien zapewnić, iż osprzęt spełnia odpowiednie zasadnicze wymagania w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa. W tym miejscu dyrektywa [1] odwołuje się do załącznika nr I, w którym wypisane zostały wszystkie niezbędne warunki bezpieczeństwa. Kolejnym punktem do spełnienia jest zapewnienie, że dostępna jest dokumentacja techniczna, a także instrukcje obsługi. Producent lub dystrybutor powinien następnie przeprowadzić właściwe procedury oceny zgodności według wskazówek w artykule 12. omawianej dyrektywy [1], sporządzić deklaracje zgodności (w przypadku haków i ogniw – nazywany on jest certyfikatem producenta) i dołączyć do każdego typu wyrobu. Kolejnym krokiem jest oznakowanie tych wyrobów znakiem CE.

OCENA ZGODNOŚCI

Zasadniczym pytaniem producentów, na jakie muszą oni odpowiedzieć jest: czy procedurę oceny zgodności jaką należy dokonać powinni zlecić stronie trzeciej (jednostce notyfikowanej) czy też mogą ją przeprowadzić sami?

Na to pytanie znajdujemy odpowiedź czytając Artykuł 12 i Załącznik IV „**Kategorie maszyn, do których ma zastosowanie jedna z procedur określonych w art. 12 ust. 3 i 4**" dyrektywy 2006/42/WE [1, 2]. Odpowiedź jest jasna – procedurę oceny zgodności osprzętu do podnoszenia może dokonać sam producent. Z drugiej jednak strony dyrektywa nie zabrania, aby procedurę oceny zgodności haków i ogniw nie można zlecić stronie trzeciej.

Tak też jest w praktyce. Producent może sam taką procedurę przeprowadzić według schematu podanego na rys. 1. Bywa jednak, że niektórzy producenci zlecają to zadanie stronie trzeciej (jednostce notyfikowanej), która po przeprowadzeniu oceny zgodności wystawia „Certyfikat zgodności" z wymaganiami dyrektywy.

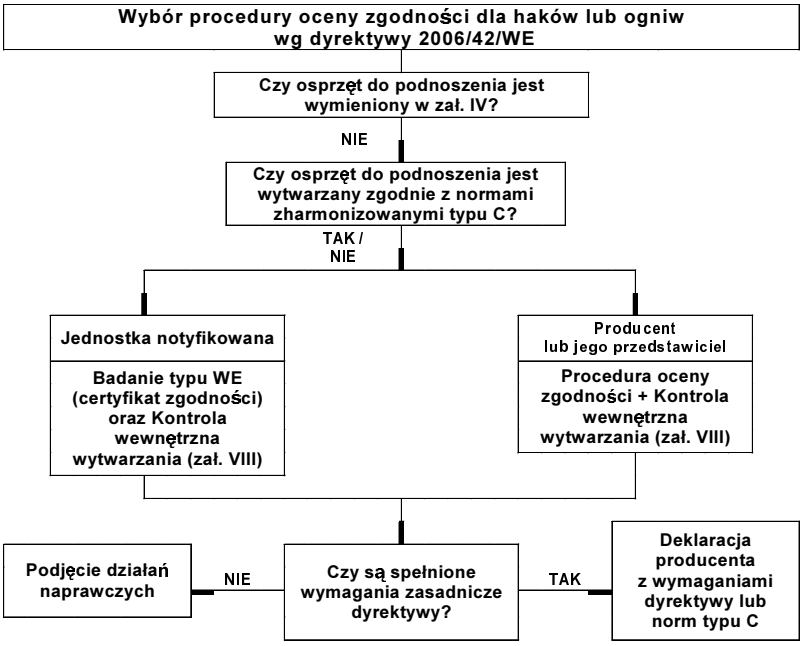
Producent, który podejmie się przeprowadzić samemu procedurę oceny zgodności wykorzystuje w tym celu swoich pracowników z reguły zatrudnionych przy produkcji haków i ogniw jak również osób zatrudnionych w dziale technologicznym i Zakładowej Kontroli Produkcji.

Musi jednak zwrócić szczególną uwagę na to, że osoby biorące w procedurze oceny zgodności powinny być osobami kompetentnymi w rozumieniu norm zharmonizowanych tzn. za osobę kompetentną uznaję się osobę wyznaczoną, odpowiednio przeszkoloną, mającą wiedzę teoretyczną i praktyczne doświadczenie oraz niezbędne wykształcenie umożliwiające przeprowadzenie wymaganej próby i badania.

Dla potwierdzenia, że podczas projektowania i produkcji haków i ogniw, zastosowano dobrą praktykę inżynierską, a zagrożenia, jakie mogłyby wystąpić nie zagrażają w bezpiecznym ich użytkowaniu, producent opracowuje program badań.

Program badań jest jednym z punktów procedury oceny zgodności i obejmuje:

– Potwierdzenie prawidłowego doboru gatunku materiału, aby wytrzymałość haków i ogniw była odpowiednia i spełniała wymagane własności mechaniczne. Sprawdza się, w jakim procesie został wyprodukowany gatunek stali. Czy stal jest w pełni odtleniona a wielkość umownego ziarna austenitu nie jest większa niż nr 5. Czy zawartość aluminium w stali zapewnia produkowanym hakom i ogniwom odporność na kruchość starzenia. Atest stali powinien potwierdzić odpowiednią zawartość pierwiastków stopowych, których zawartość powinna gwarantować spełnienie wymaganych własności mechanicznych. Sprawdza się parametry obróbki cieplnej poprzez jej weryfikację. Metodę weryfikacji podaje norma zharmonizowana.
– Potwierdzenie usunięcia wypływki z elementów kutych matrycowo. Ocenia się powierzchnię, czy jest gładka bez ostrych krawędzi, czy została usunięta zgorzelina. Krawędzie powierzchni obrabianych mechanicznie powinny być tak zaokrąglone, aby nie miały wpływu na obniżenie własności mechanicznych i nie były przyczyną urazów cięcia. Opis wykończenia każdej powierzchni podaje się w warunkach końcowych odbioru.
– Określenie wymaganych własności mechanicznych np. takich jak:
  - siły próbnej MPF;
  - siły niszczącej BF;
  - wytrzymałości zmęczeniowej.



Rys. 1. Wybór rodzaju procedury oceny zgodności haków i ogniw – według znowelizowanej dyrektywy maszynowej 2006/42/WE [1, 2, 9]

– Sprawdzenie wymiarów elementów stalowych kutych wchodzących w skład połączeń przegubowych. Bada się wykonanie sworzni i elementów zabezpieczających, bada się czy po zmontowaniu nie występuje niezamierzone przesunięcie. Należy przy ocenie brać również ewentualny wpływ zużycia czy też korozji elementów zabezpieczających lub ich brutalnego użycia.

PRZYKŁADOWA PROCEDURA OCENY ZGODNOŚCI DLA HAKÓW I OGNIW KLASY 8

Badanie typu

Każdy typ wielkości gotowego haka czy ogniwa w warunkach końcowych powinien przejść procedurę „badania typu" zgodnie z opracowanym programem w celu wykazania, że haki i ogniwa mają własności mechaniczne określone w PN-EN 1677-1+A1:2009 [3].

Weryfikacja wymagań bezpieczeństwa haków i ogniw realizowana przez badania takie jak: badanie odkształcenia, badanie na rozciąganie statyczne czy badanie na zmęczenie powinny być przeprowadzone na trzech próbkach każdej wielkości elementu każdej konstrukcji, materiału, obróbki cieplnej i metody wytwarzania.

Badanie odkształcenia haków czy ogniw polega na obciążeniu ich odpowiednią siłą próbną podaną w tablicy 4 normy PN-EN 1677-1+A1:2009 [3]. Po obciążeniu i usunięciu siły próbnej żaden wymiar badanego elementu nie może zmienić się więcej niż o 1,0 % wartości wyjściowej. Pozytywne wyniki wszystkich trzy próbek – oznaczają akceptacja badania.

Badanie na rozciąganie statyczne (można wykorzystać próbki z badania odkształcenia) powinny wykazać siłę niszczącą, co najmniej równą minimalnej wartości określonej w Tablicy 4 normy PN-EN 1677-1+A1:2009 [3].

Badanie na zmęczenie. Trzy badane próbki powinny wytrzymać bez zniszczenia przynajmniej 20000 cykli przyłożenia siły w wymaganym zakresie.

Jeżeli wszystkie trzy próbki przeszły pomyślnie badanie na rozciąganie statyczne i badanie na zmęczenie, uważa się, że badany hak czy ogniwo poddane „badaniu typu" spełnia wymagania normy zharmonizowanej [3] a tym samym wymagania dyrektywy maszynowej [1].

Jeżeli jedna próbka nie spełni wymagania, pobiera się kolejne dwie próbki i poddaje się je badaniu. Jeżeli one przejdą badanie pomyślnie – to uważa się, że badana partia produkcyjna spełnia wymagania normy zharmonizowanej [3] i wymagania dyrektywy [1] (zasada domniemania).

Jeżeli dwie lub trzy próbki z badania na rozciąganie statyczne nie przejdą badania pozytywnie – uważa się, że badana partia produkcyjna nie spełnia wymagań.

BADANIE I OCENA PRODUKCJI

Założenia wstępne

Wszystkie wyprodukowane haki i ogniwa powinny być sprawdzone wzrokowo celem stwierdzenia zgodności z wymaganiami postawionymi powierzchni.

Przeprowadza się badania kontrolne odkształcenia i badania kontrolne powierzchni metodą defektoskopii magnetycznej proszkowej lub badanie penetrantem. Badanie nieniszczące powierzchni haków i ogniw zapewniają późniejszą bezpieczną ich pracę eliminując wyroby w których stwierdzono wady: pęknięcia czy rys, przekraczające dopuszczalne wielkości tzn o długości większej niż 2mm.

W zależności od tego czy zakład produkcyjny posiada wdrożony i funkcjonujący system zarządzania jakością (SZJ) zgodny z EN ISO 9001 czy też takiego systemu nie posiada ustala się odpowiedni plan kontroli produkcji zgodny z wymaganiami określonymi w normie zharmonizowanej PN-EN 1677-1+A1:2009.

Program badań produkcji haków i ogniw w zakładzie, w którym jest wdrożony i funkcjonuje system zarządzania jakością

Program badań produkcji haków i ogniw w zakładzie, w którym jest wdrożony i funkcjonuje system zarządzania jakością – może mieć, do wyboru, dwa warianty:

Wariant A

– przeprowadzenie badania odkształcenia wszystkich haków czy ogniw;
– przeprowadzenie badania nieniszczącego 3 % haków czy ogniw z partii produkcyjnej;

W wariancie A ocena akceptowalności produkcji jest następująca. Jeżeli wszystkie z 3 % próbek haków czy ogniw przeszły pozytywnie badanie nieniszczące, uważa się, że wszystkie haki i ogniwa partii produkcyjnej, które także przeszły pozytywnie badanie odkształcenia z użyciem siły próbnej, spełniają wymagania normy zharmonizowanej EN 1677.

Jeżeli którakolwiek z 3 % próbek haków czy ogniw nie przeszła badania nieniszczącego, wszystkie elementy z partii produkcyjnej powinny być poddane zarówno badaniu nieniszczącemu, jak i badaniu odkształcenia z użyciem siły próbnej. Wszystkie haki i ogniwa, które przeszły oba badania – spełniają wymagania normy zharmonizowanej EN 1677.

Wariant B

- przeprowadzenie badania nieniszczącego wszystkich haków czy ogniw;
- przeprowadzenie badania odkształcenia 3 % haków czy ogniw z partii produkcyjnej;

W wariancie B ocena akceptowalności produkcji jest następująca. Jeżeli wszystkie z 3 % próbek haków czy ogniw przeszły pozytywnie badanie odkształcenia z użyciem siły próbnej, uważa się, że wszystkie haki i ogniwa partii produkcyjnej, które także

przeszłypozytywnie badanie nieniszczące spełniają wymagania normy zharmonizowanej EN 1677.

Jeżeli którakolwiek z 3 % próbek haków czy ogniw nie przeszła badania odkształcenia z użyciem siły próbnej, to wszystkie haki i ogniwa z partii produkcyjnej powinny być poddane zarówno badaniu nieniszczącemu, jak i badaniu odkształcenia z użyciem siły próbnej. Wszystkie haki czy ogniwa, które przeszły oba badania - spełniają wymagania normy zharmonizowanej EN 1677.

Program badań produkcji haków i ogniw w zakładzie, w którym nie jest wdrożony i nie funkcjonuje system zarządzania jakością

W przypadku gdy w zakładzie nie jest wdrożony i nie funkcjonuje system zarządzania jakością producent powinien przeprowadzić badanie kontrolne odkształcenia z użyciem siły próbnej i badanie nieniszczące na wszystkich hakach czy ogniwach, łącznie ze sworzniami przenoszącymi obciążenie. Każdy hak i ogniwo, które nie przeszły pozytywnie badania kontrolnego odkształcenia lub badania nieniszczącego – nie spełnia wymagań normy zharmonizowanej EN 1677.

Wszystkie haki i ogniwa, które przeszły pozytywnie zarówno badanie kontrolne odkształcenia, jak i badanie nieniszczące spełniają wymagania normy zharmonizowanej EN 1677.

Dodatkowo producent powinien poddać jedną próbkę z badanej partii produkcyjnej badaniu na rozciąganie statyczne. Jeśli próbka spełnia odpowiednie wymagania, cała partia produkcyjna odpowiada wymaganiom normy zharmonizowanej EN 1677. Jeżeli ta próbka nie spełnia wymagań, należy wziąć z tej samej partii dwie dodatkowe próbki. Obie próbki powinny być poddane badaniu na rozciąganie statyczne. Jeśli jedna z tych próbek, lub obie próbki, nie spełniają odpowiednich wymagań, uważa się, że cała partia produkcyjna haków czy ogniw nie spełnia wymagań normy zharmonizowanej EN 1677.

ZNAKOWANIE

Zgodnie z wymaganiami norm zharmonizowanych z Dyrektywą 2006/42/WE każdy hak czy ogniwo powinno być czytelnie i trwale oznakowane w miejscu gdzie to oznakowanie nie może być usunięte wskutek używania, jednocześnie nie pogarszając własności mechanicznych.

Znakowanie powinno zawierać, co najmniej następujące informacje:

– numer kodu identyfikującego WLL,
– numer klasy np. „8”,
– nazwę producenta lub jego symbol czy znak,
– kod identyfikowalności.

CERTYFIKAT PRODUCENTA

Kiedy wszystkie badania określone w normach zharmonizowanych dały wynik pozytywny, producent powinien wystawić certyfikat producenta dla haków lub ogniw o tych samych wymiarach nominalnych, wielkości, materiale, obróbce cieplnej i metodach wytwarzania.

Certyfikat producenta (certyfikat zgodności z wymaganiami normy zharmonizowanej z dyrektywą 2006/42/WE) powinien zawierać przynajmniej następujące dane:

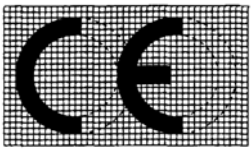
- nazwę i adres producenta lub upoważnionego przedstawiciela, oraz datę wydania niniejszego certyfikatu i okres jego ważności;
- numer i odpowiednią część zharmonizowanej normy europejskiej PN-EN 1677;
- numer kodu identyfikującego WLL;
- ilość i opis haka lub ogniwa;
- numer klasy np. „8”;
- dopuszczalne obciążenie robocze, w tonach;
- siłę próbną zgodnie z tablicą 4 normy PN-EN 1677-1, w kiloniutonach;
- potwierdzenie, że określona minimalna siłą niszcząca została osiągnięta lub przekroczona;
- identyfikację systemu zarządzania jakością, gdy jest wdrożony i funkcjonuje.

Producent zgodnie z Załącznikiem II do dyrektywy 2006/42/WE i normą zharmonizowaną PN-EN 1677-1 przechowuje zapis oryginału certyfikatu producenta przynajmniej przez 10 lat od daty wydania ostatniego certyfikatu dla danego typu haka czy ogniwa. Zapis ten powinien zawierać również wymagania wykonawcze, które powinny być wykorzystane tzn. zastosowane w późniejszej produkcji haka lub ogniwa danego typu.

OZNAKOWANIE CE

Producent haków czy ogniw jako elementów osprzętu do podnoszenia po wystawieniu „certyfikatu producenta”, zgodnie z Załącznikiem III dyrektywy 2006/42/WE nanosi znak CE na wyroby danego typu zachowując wymagania dyrektywy. Oznakowanie zgodności CE składa się z liter „CE” w formie zobrazowanej na rysunku 2.

W przypadku zmniejszenia oznakowania CE – należy zachować proporcje podane na rysunku 2.



Rys. 2. Znak oznakowania CE [1]

Poszczególne elementy oznakowania CE nie mogą zasadniczo być mniejsze niż 5 mm.Oznakowanie CE powinno być umieszczone w bezpośredniej bliskości nazwy producenta lub jego upoważnionego przedstawiciela przy użyciu tej samej techniki.

INSTRUKCJA UŻYTKOWANIA

Dla każdego typu haków czy ogniw producent opracowuje instrukcje ich użytkowania zgodnie wymaganiami zawartymi w normie EN 818-6:2000. Przykładowo w instrukcji np. haków stalowych kutych ze strzemieniem podaje rady ich montowania i demontowania oraz podaje jak zapewnić prawidłowy dobór sworznia.

WNIOSKI

Od 29 grudnia 2009 roku zaczęła obowiązywać znowelizowana dyrektywa maszynowa 2006/42/WE [1, 2]. Producent haków czy ogniw powinien znać te przepisy prawne i powinien postępować zgodnie z ich wymaganiami. Z dyrektywą maszynową zharmonizowana jest grupa sześciu arkuszy normy PN-EN 1677 [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Z natury swej normy te są dokumentami do dobrowolnego stosowania. Jednak obowiązujący w krajach Unii Europejskiej system oceny zgodności jest tak zbudowany, że zasadnicze wymagania bezpieczeństwa zawarte są w dyrektywach nowego podejścia (między innymi w dyrektywie maszynowej 2006/42/WE [1, 2]), natomiast szczegółowe wymagania bezpieczeństwa są w normach EN zharmonizowanych z tymi dyrektywami. Trudno byłoby uznać za racjonalne postępowanie producenta haków czy ogniw, który ignoruje szczegółowe wymagania bezpieczeństwa zawarte w normach zharmonizowanych. Wówczas bowiem pomija praktyczną wiedzę zawartą w tych normach (jako zapis inżynierskiego doświadczenia) oraz wykreśla jedną z możliwych dla siebie ścieżek postępowania w obowiązkowej ocenie zgodności przy produkcji haków i ogniw. Odniesienie się (w ocenie zgodności) do szczegółowych wymagań bezpieczeństwa normy zharmonizowanej. Pozwala mu zastosować procedurę oceny producenta (samooceny), dokładniej – kontroli wewnętrznej wytwarzania (rys. 1). Może także zastosować procedurę oceny strony trzeciej (jednostki notyfikowanej). Odniesienie się (w ocenie zgodności) tylko do zasadniczych wymagań bezpieczeństwa dyrektywy maszynowej [1, 2], przy istnieniu normy zharmonizowanej dotyczącej haków i ogniw [3–8] pozostawia producentowi tylko jedną ścieżkę oceny zgodności – tę z udziałem jednostki notyfikowanej [1, 2, 9].

PIŚMIENNICTWO

1. Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16WE (przekształcenie) – tekst mający znaczenia dla EOG. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej z 9.06.2006, L157/24-L157/86.
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn, Dziennik Ustaw, 2008, nr 199, poz. 1228.
3. PN-EN 1677-1+A1:2009. Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 1: Elementy stalowe kute, klasa 8.
4. PN-EN 1677-2+A1:2009. Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 2: Haki do podnoszenia stalowe kute, z zapadką, klasa 8.
5. PN-EN 1677-3+A1:2009. Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 3: Haki stalowe kute, z klamrą zabezpieczającą, klasa 8.
6. PN-EN 1677-5+A1:2009. Części składowe zawiesi - Bezpieczeństwo – Część 5: Haki do podnoszenia stalowe kute, z zapadką, klasa 4.
7. PN-EN 1677-4+A1:2009. Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 4: Ogniwa, klasa 8.
8. PN-EN 1677-6+A1:2009. Części składowe zawiesi – Bezpieczeństwo – Część 6: Ogniwa, klasa 4.
9. Tomaszewski Z., Czekaj A. Bezpieczeństwo w konstrukcji i użytkowaniu maszyn i urządzeń. Obróbka Plastyczna Metali, nr 3, 2009: 51–71.

FORGED STEEL COMPONENTS FOR SLINGS, GRADE 4 I 8 IN THE LIGHT OF AMENDED DIRECTIVE 2006/42/EC AND HARMONIZED STANDARDS

Summary

The paper presents the essential features of the present day safety strategy in designing and utilization of lifting equipment determined in the amended Directive 2006/42/EC. The strategy described in the paper has been defined in the Directive and the harmonized standards of the series EN 1677.

Keywords: directive on machinery, risk assessment, conformity assessment, safety of lifting equipment.

Informacje dla Autorów publikacji w Postępach Nauki i Techniki

1. Redakcja przyjmuje do druku oryginalne prace naukowe w języku polskim lub angielskim. Prace są publikowane po uzyskaniu pozytywnych opinii recenzentów z innych ośrodków naukowych niż autorzy publikacji. Mogą też być publikowane artykuły sponsorowane, przygotowane zgodnie z podanymi wymaganiami, oraz materiały reklamowe.
2. Publikacja poza tekstem głównym powinna zawierać; tytuł, nazwiska i tytuły naukowe Autorów, miejsca pracy oraz adresy e-mail. Kolejną częścią pracy powinno być streszczenie w językach polskim i angielskim oraz słowa kluczowe w obu językach. Podpisy tabel i rysunków powinny być także przygotowane w obu językach – polskim i angielskim.
3. Tekst powinien być zapisany w programie WORD FOR WINDOWS przy standardowych ustawieniach formatowania (1,5 wiersza) i czcionki (Times New Roman 12p). Na nasz adres e-mailowy należy przesłać wersję elektroniczną artykułu, pocztą natomiast kompletny wydruk na papierze formatu A4. Typowy układ pracy jest dostępny na stronie internetowej (http://www.pnt.pollub.pl/).
4. Na końcu pracy powinny być umieszczone pozycje bibliograficzne w kolejności alfabetycznej (wg nazwisk autorów) oraz numerowane kolejno – do 20 pozycji. Powołania na piśmiennictwo w tekście podawać w nawiasie kwadratowym.
5. Objętość kompletnej publikacji powinna zawierać 8 – 12 stron znormalizowanego maszynopisu A4. Istnieje możliwość zamieszczenia dłuższych publikacji pod warunkiem poniesienia dodatkowych kosztów oraz akceptację przez recenzentów i Redakcję.
6. Do publikacji powinno być dołączone zgłoszenie z oświadczeniem Autora(-ów). W jednym numerze czasopisma mogą być zamieszczone maksymalnie dwie publikacje tego samego Autora.
7. Zatwierdzenie publikacji do druku jest możliwe po uzyskaniu pozytywnej recenzji oraz po poniesieniu opłaty za druk w wysokości 240,- zł. Zniżkowa opłata dla doktorantów (uczestników studiów doktoranckich) wynosi 200,- zł. Dodatkowa opłata za przekroczenie limitu stron wynosi 50,- zł (lub 40,- zł dla doktorantów) za każdą stronę. Istnieje możliwość druku kolorowych rysunków lub fotografii za dodatkową opłatą 100,- zł za stronę (ceny netto).
8. Po ustosunkowaniu się do uwag recenzenta Autorzy otrzymają potwierdzenie przyjęcia artykułu do druku.
9. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i adjustacji tekstów. Znaczące zmiany tekstu będą uzgadniane z Autorami. Teksty z niepoprawnym tłumaczeniem na język angielski nie będą przyjmowane do druku lub poprawiane na koszt autorów.
10. Autorzy otrzymają bezpłatne egzemplarze czasopisma.