



Ewaluacja wybranych procesów,
technologii i systemów inżynierskich

Evaluation of selected processes,
technology and engineering systems

redakcja
Kazimierz Drozd
Mirosław Szala

MONOGRAFIE

Ewaluacja wybranych procesów, technologii i systemów inżynierskich

Evaluation of selected processes, technology
and engineering systems

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Ewaluacja wybranych procesów, technologii i systemów inżynierskich

Evaluation of selected processes, technology
and engineering systems

redakcja
Kazimierz Drozd
Miroslaw Szala



Politechnika Lubelska
Lublin 2014

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater

dr hab. Tadeusz Hejwowski

dr hab. inż. Michał Szota

dr hab. inż. Jacek Czarnigowski

dr Ewa Chmielewska

dr inż. Zbigniew Suchorab

dr Tomasz Cieplak

Wszystkie opublikowane artykuły zostały pozytywnie zrecenzowane

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2014

ISBN 978-83-7947-043-3

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatorp.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 50 egz.

SPIS TRESCI

Nowa technologia kształtowania radiatorów	6
<i>Anna Dziubińska, Andrzej Gontarz, Ewa Siemionek, Paweł Węgorowski</i>	
Badania wpływu liczby łopat śmigła na parametry jego pracy	21
<i>Łukasz Grabowski, Zbigniew Czyż, Konrad Pietrykowski</i>	
Obiecujące właściwości biologiczne cieczy jonowych	32
<i>Urszula Świerczek, Joanna Feder-Kubis</i>	
Wykorzystanie narzędzi GIS w komputerowym wspomaganie projektowania	42
<i>Mariola Jaworska, Mikołaj Jaczyński, Anna Girol</i>	
Zastosowania maszyn uczących się w nowoczesnym biznesie	53
<i>Piotr Dudek, Jakub Pizoń</i>	
Zużycie wirników pomp na skutek eksploatacji w warunkach kawitacji	64
<i>Mirosław Szala, Bartosz Filip, Iwona Lenart</i>	
Badania strukturalne tarczy hamulcowej	78
<i>Andrzej Maruszczyk, Justyna Kiryluk, Kamila Zdrodowska, Mirosław Szala</i>	
Modyfikacje parametrów obróbki stali 60SiCr7 i ich wpływ na charakter przełomów przy obciążeniach dynamicznych	98
<i>Kazimierz Drozd, Mirosław Szala</i>	
Indeks autorów	111

Nowa technologia kształtowania radiatorów

1. Wprowadzenie

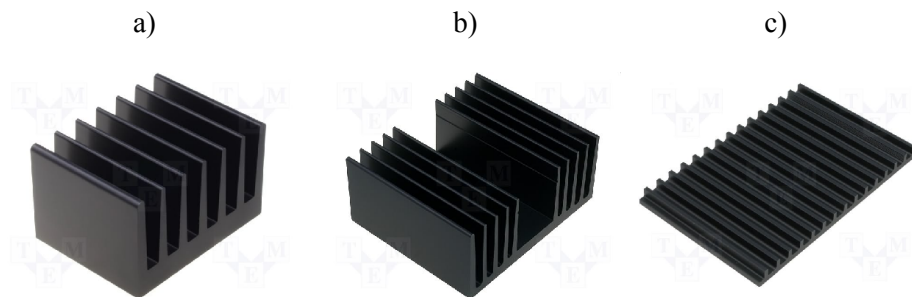
Do najpopularniejszych rozwiązań systemów chłodzenia należą radiatory powietrzne. Jednocześnie są one jednym z najprostszych sposobów na odprowadzenie ciepła z podzespołów i systemów elektronicznych. Aktualnie rozwój elektroniki nierozdzielnie wiąże się z rozwojem radiatorów, a rosnące wymagania dotyczą zarówno materiałów z których są wykonywane, ich konstrukcji, jak i sposobów ich wytwarzania. Istnieje kilka metod wytwarzania radiatorów, a wybór konkretnej z nich zależy od ich przeznaczenia. Kluczowym parametrem, brany pod uwagę przy doborze radiatora do konkretnego zastosowania jest rezystancja termiczna. Na wartość tego parametru wpływa wiele czynników m.in.: wielkość powierzchni radiatora i jego kształt, kolor powierzchni, ruch powietrza wokół oraz temperatura radiatora [1]. W warunkach przemysłu radiatory powietrzne produkowane są głównie metodami wyciskania, prasowania i odlewania. Pomimo to poszukiwane są nowe rozwiązania technologiczne, które pozwolą otrzymywać wyroby o lepszych parametrach jakościowych i użytkowych. W niniejszej pracy przedstawiono nowo opracowany sposób wytwarzania radiatorów metodą kucia w trójsuwakowej prasie kuźniczej (TPK). Prasa ta, dzięki trzem niezależnym suwakom, daje niewspółmiernie większe możliwości kształtowania kuźniczego w porównaniu do innych wielonarzędziowych maszyn. Zaproponowany sposób kształtowania radiatorów umożliwia znaczne oszczędności materiałowe, a jednocześnie wpływa na zwiększenie własności wytrzymałościowych wyrobów. Przykładowe radiatory, które można wytwarzać w oparciu o założoną metodę kształtowania w TPK przedstawiono na rysunku 1.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej; Uczestnik projektu "Kwalifikacje dla rynku pracy – Politechnika Lubelska przyjazna dla pracodawcy" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, email: a.dziubinska@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej, email: a.gontarz@pollub.pl

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Samochodowych, email: e.siemionek@pollub.pl

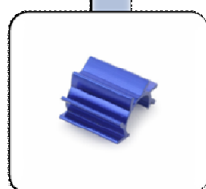
⁴ Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Katedra Onkologii i Środowiskowej Opieki Zdrowotnej, email: pawel.wegorowski@umlub.pl



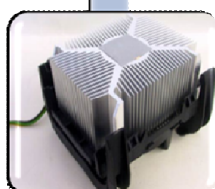
Rys. 1. Radiator żeberkowy wyciskany z aluminium o wymiarach: a) podstawy 50 mm X 66 mm i wysokości żeber 40 mm, b) podstawy 100 mm X 120 mm i wysokości żeber 50 mm, c) podstawy 50 mm X 159 mm i wysokości żeber 10 mm [2]

2. Charakterystyka i zastosowanie radiatorów w przemyśle

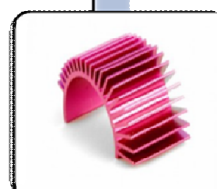
Radiatory znajdują szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Głównie wykorzystywane są w elektronice, ale też stosowane są w lotnictwie i motoryzacji. Na rysunku 2 przedstawiono najważniejsze obszary wykorzystania radiatorów.



Radiator silnika
ogonowego
samolotu



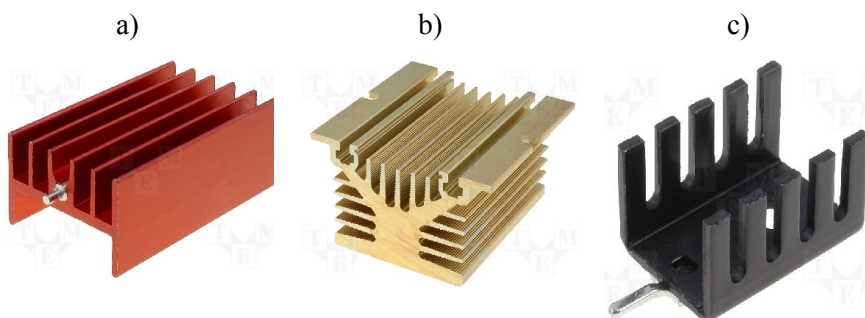
Radiator
komputerowy



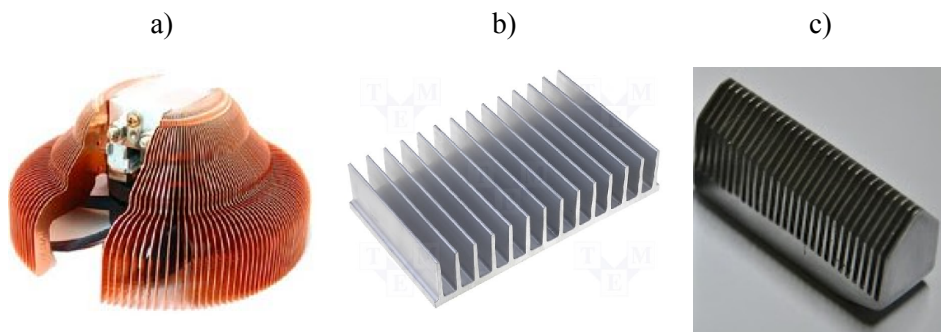
Radiator silnika
samochodu

Rys. 2. Zastosowanie radiatorów w przemyśle [opracowanie własne]

Radiator jest specjalnie ukształtowaną bryłą z metalu lub jego stopów dobrze przewodzących ciepło. Głównym ich zadaniem jest odprowadzanie, a następnie rozproszenie ciepła do otoczenia z elementu, z którym się stykają poprzez przewodzenie i promieniowanie. Stosuje się go w celach ochronnych, aby uniknąć uszkodzeń sprzętu spowodowanych zbyt wysoką temperaturą. Sama budowa radiatora jest bardzo ważna. Zazwyczaj mają bardziej rozwiniętą powierzchnię od strony otaczającego go medium (np. powietrza). Zwiększenie przekazywania ciepła radiatora uzyskuje się poprzez zastosowanie żeber i prętów o różnych kształtach np. prostokątnych, okrągłych, trójkątnych itd. [3]. Ilość żeber, ich kształt czy wysokość mają wpływ na wydajność tegoż układu chłodzenia. Przykładowe profile radiatorów o różnych kształtach oraz różnorodnym zarysie żeber przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys. 3. Przykładowe radiatory w kształcie: a) litery H (wyciskany z aluminium poddany anodowaniu na czerwono), b) litery Y (wyciskany z aluminium poddany anodowaniu na złoto), litery U (prasowany z aluminium poddany anodowaniu) [2, 4]



Rys. 4. Radiatory z żebrami o zarysie: a) półokrągłym, b) prostokątnym, c) trójkątnym [2]

Najczęściej używanym materiałem na radiatory jest aluminium i miedź. Kluczową rolę przy wyborze materiału na radiator jest współczynnik przewodzenia ciepła, który określa zdolność substancji do przewodzenia ciepła. Aluminium ma wysoki współczynnik przewodzenia ciepła, jest lekkie i stosunkowo łatwe w obróbce. Natomiast miedź posiada około dwa razy

większy współczynnik przewodzenia ciepła od aluminium, ale też jest około trzy razy od niego cięższa oraz około czterech do sześciu razy droższa. W przeciwieństwie do aluminium – przy miedzi mogą pojawić się trudności podczas wytłaczania [3].

Coraz częściej spotyka się radiatory wykonywane z dwóch materiałów dzięki czemu możliwe jest znaczne obniżenie ich ceny. Do popularnych kombinacji materiałowych przy wytwarzaniu tego typu systemów chłodzenia należą: miedź-aluminium [5,6]. Rozwiązanie to zapewnia lepszą wydajność w porównaniu do radiatorów wykonanych z samego aluminium. Przykładowy radiator aluminiowo-miedziany przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Radiator aluminiowo – miedziany [5]

Nie zawsze stosowane są materiały o najwyższym przewodnictwie ciepła ze względów ekonomicznych. W celu lepszego przewodzenia ciepła stosuje się dociskanie radiatora do powierzchni wydzielającej ciepło. Ewentualną szczelinę wypełnia się cienką warstwą pasty lub kleju termoprzewodzącego [7]. Dodatkową poprawę właściwości radiatora uzyskuje się stosując proces oksydowania, czernienia lub anodowania aluminium po którym jego powierzchnia ma lepsze zdolności emisji promieniowania podczerwonego.

Radiatory mogą być używane w systemach chłodzenia swobodnego (pasywnego), gdy odprowadzają ciepło na drodze konwekcji naturalnej. W tego typu chłodzeniu nie używa się wentylatorów aby wymusić dodatkowy obieg powietrza. Zaletą takiego rozwiązania jest bezgłośna praca i brak wymagań zasilania elektrycznego. Wadą jest stosunkowo niska wydajność przez co chłodzenie pasywne nie jest wystarczające aby schłodzić mocno nagrzewające się elementy.

Rozpraszacze ciepła (radiatory) stosowane są również w systemach chłodzenia wymuszonego (aktywnego) wtedy, gdy przepływ powietrza

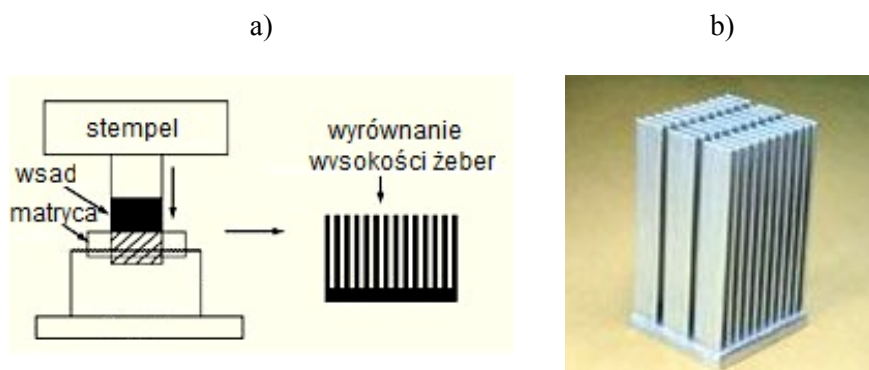
wspomaga się poprzez zastosowanie dodatkowego wentylatora. Zadaniem wentylatora jest wymuszenie obiegu powietrza pomiędzy żeberkami radiatora, co ma znaczący wpływ na spadek temperatury urządzenia. Jest znacznie bardziej efektywne niż chłodzenie pasywne ale przy tym wymaga dodatkowego zasilania i jest głośnie.

3. Przegląd metod wytwarzania radiatorów

Wśród obecnych na rynku technologii wytwarzania radiatorów wyróżnić można: wyciskanie, prasowanie, wytlaczanie, odlewanie, spajanie, montaż lub obróbkę skrawaniem.

Najczęściej stosowaną metodą kształtowania radiatorów jest wyciskanie. Radiator otrzymuje się przez pocięcie wyciskanego profilu na wymagany wymiar, a następnie wykonuje się w nim otwory gładkie bądź gwintowane do przyłączenia elementów elektroniki [8]. Najczęściej wykonane są one ze stopów aluminium. Minimalna grubość żeber takich radiatorów to około 0,64 mm (standardowa grubość żeber około 1,5 mm), a maksymalny stosunek wysokości żebra do odległości między żebrami wynosi 10:1 (standardowo 6:1 bądź 8:1). Rezystancja termiczna radiatorów wyciskanych waha się w granicach $0,08 \div 15$ K/W. Tego typu rozwiązania wykorzystywane są do odprowadzania ciepła na drodze konwekcji naturalnej oraz wymuszonej – gdy przepływ powietrza wymusza się poprzez zastosowanie dodatkowego wentylatora bądź wentylatorów. Radiatory wyciskane poddaje się obróbce powierzchniowej – anodowaniu po którym rezystancja cieplna spada do 20% przy konwekcji naturalnej oraz od 4 do 8% przy konwekcji wymuszonej [9].

Inną metodą wytwarzania radiatorów zbliżoną do wyciskania jest kucie, które przedstawiono na rys. 6. Dokładność radiatorów kształtowanych tą technologią jest uzależniona od stosunku wysokości żebra do odległości między żebrami oraz grubości pojedynczego żebra.

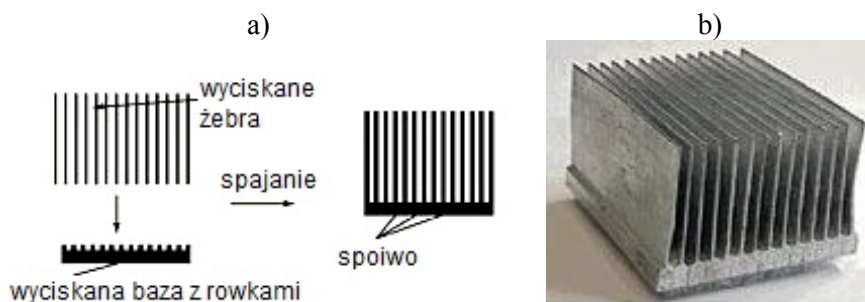


Rys. 6. Sposób wytwarzania radiatorów metodą kucia [10]

Do innych sposobów kształtowania radiatorów należy prasowanie [11]. Radiatory wytwarzane tą metodą wykonywane są z ponacinanej i odpowiednio ukształtowanej płyty aluminiowej bądź miedzianej. Ukształtowane radiatory w postaci wyprasek przeznaczone są na elementy małej i średniej mocy. Ich rezystancja termiczna waha się w granicach $1 \div 100$ K/W. Wypraski odprowadzają ciepło na drodze konwekcji naturalnej. Często powierzchnia radiatora tego typu poddawana jest obróbce wykończeniowej (oksydacji, czernieniu, anodowaniu). Po obróbce powierzchniowej takie radiatory odznaczają się spadkiem rezystancji cieplnej od 10% do 45%. Wypraski są jednym z najtańszych rozwiązań systemów chłodzenia elektroniki.

Do sposobów kształtowania radiatorów zalicza się również wytłaczanie [12]. Radiatory kształtowane są poprzez tłoczenie w pasku głęboko tłocznej blachy.

Inną metodę wytwarzania radiatorów jest spajanie. Podany w patencie US 006564458B1 sposób polega na łączeniu poprzez lutowanie w niskiej temperaturze części radiatora, to jest żeber do podstawy o przekroju prostokątnym. Technologia ta charakteryzuje się niskimi kosztami wytwarzania oraz zapobiega termicznemu odkształceniu żebra poprzez realizację lutowania w niskiej temperaturze. Spośród technologii spajania materiałów znany jest sposób otrzymywania radiatorów polegający na połączeniu żeber z płytą metodą klejenia termoprzewodzącym klejem na bazie proszków srebra [8]. Do łączenia żeber do podstawy są stosowane kleje bazujące na żywicach epoksydowych. Najczęściej elementy radiatorów spajanych wykonywane są z miedzi lub aluminium. Charakteryzują się one następującymi parametrami: grubość żebra od 0,7 do 2,5mm, maksymalny stosunek wysokości żebra do odległości między żebrami 30:1. Radiatory spajane odznaczają się dwu- do trzykrotnym zwiększeniem powierzchni czynnej w stosunku do radiatorów wytłaczanych. Ich rezystancja termiczna waha się w granicach $0,01 \div 0,6$ K/W (konwekcja naturalna do 2 K/W). Mogą one być stosowane w przypadku strat mocy sięgających 200 W. Tego typu radiatory używane są do odprowadzania ciepła na drodze konwekcji naturalnej oraz wymuszonej. Przykładowy sposób spajania radiatorów przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Sposób wytwarzania radiatorów poprzez spajanie:
a) schemat procesu, b) ukształtowany radiator [10]

Do popularnych sposobów wytwarzania radiatorów należy składanie. Tego typu rozwiązania wykonywane są z płyt, w których frezowane są kanały do osadzenia żeber w postaci blaszek. Przykładowy sposób montażu tego typu systemów chłodzenia przedstawiono w patencie amerykańskim nr US 20120227952A1 [13]. Radiatory wykonywane wspomnianą metodą są najczęściej produkowane z aluminium, miedzi, brązu, Inconelu, stali nierdzewnej. Charakteryzują się one grubością żebra od 0,5 do 1,2 mm. Maksymalny stosunek wysokości żebra do odległości między żebrami wynosi 40:1, a wysokość żebra osiąga wartości do 100 mm. Rezystancja termiczna tych radiatorów zmienia się w zakresie $0,02 \div 0,8 \text{ K/W}$. Odprowadzają one ciepło na drodze konwekcji naturalnej oraz wymuszonej. Tego typu systemy chłodzenia powstały na potrzeby aplikacji militarnych oraz do zastosowań w lotnictwie. Konstrukcje radiatorów składanych są wyjątkowo lekkie o dużej objętościowej wydajności cieplnej. Przykładowy sposób składania radiatorów przedstawiono na rys. 8.

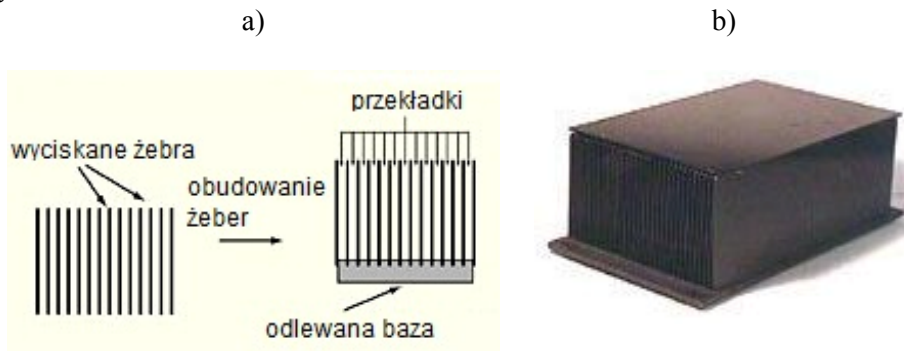


Rys. 8. Sposób wytwarzania radiatorów metodą składania:
a) schemat procesu, b) ukształtowany radiator [10]

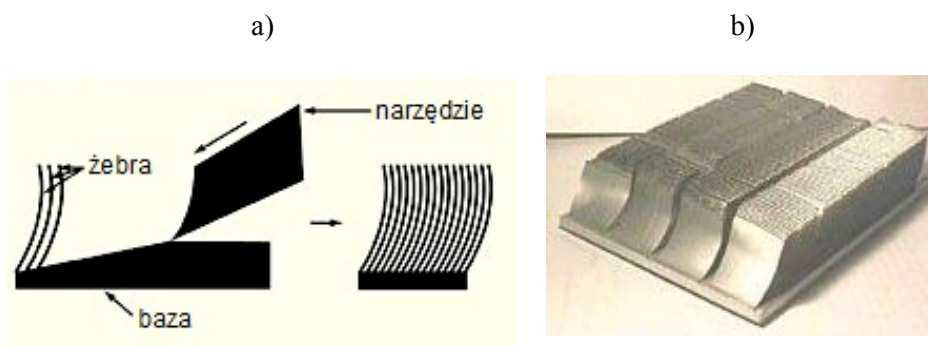
Znany jest również sposób wytwarzania radiatorów polegający na metodzie odlewania [14]. Odlewana konstrukcja radiatora o gęstym upakowaniu żeber w kształcie szpilkowym umożliwia uzyskanie bardzo dobrych parametrów termicznych przy chłodzeniu uderzeniowym. Wytwarzane są one z czystego aluminium lub jego stopów. Charakteryzują się one następującymi parametrami: grubość żebra 0,5 mm, maksymalna wysokość żebra do 80 mm. Ich rezystancja termiczna wynosi $1,5 \div 25 \text{ K/W}$ przy konwekcji naturalnej, a $0,1 \div 8 \text{ K/W}$ dla konwekcji wymuszonej. Innowacyjny sposób wytwarzania radiatora metodą zmodyfikowanego odlewania przedstawiono na rys. 9.

W przemyśle stosowana jest również obróbka skrawaniem radiatorów, która polega na nadaniu powierzchniomżądanego kształtu, wymiarów oraz jakości powierzchni poprzez usuwanie materiału z wsadu w postaci

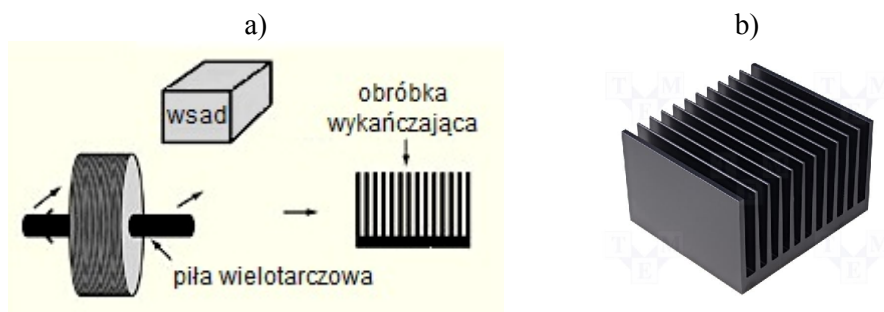
prostopadłościemu przy użyciu narzędzi skrawających. Jest to przede wszystkim wyfrezowanie kanałów pomiędzy żebrami [8]. Przykładowy sposób obróbki skrawaniem radiatorów techniką strugania oraz cięcia przedstawiono na rys. 10 i 11.



Rys. 9. Sposób wytwarzania radiatorów poprzez zmodyfikowane odlewanie:
a) schemat procesu, b) ukształtowany radiator [10]



Rys. 10. Sposób wytwarzania radiatorów poprzez struganie:
a) schemat procesu, b) ukształtowany radiator [10]



Rys. 11. Sposób wytwarzania radiatorów metodą cięcia:
a) schemat procesu, b) ukształtowany radiator [2,10]

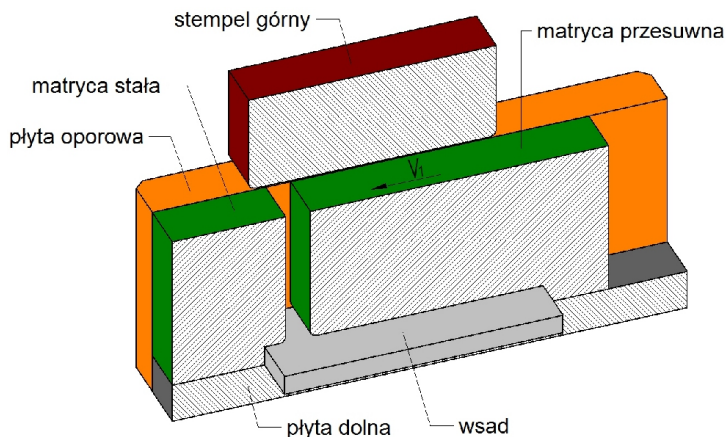
4. Kształtowanie plastyczne radiatorów w trójsuwakowej prasie kuźniczej

Założono, że proces kształtowania plastycznego odkuwek radiatorów będzie realizowany w trójsuwakowej prasie kuźniczej (TPK) skonstruowanej w Politechnice Lubelskiej, która wyposażona jest w trzy ruchome narzędzia robocze. Na rysunku 12 przedstawiono obecny wygląd TPK. Uwzględniając możliwości TPK opracowano schemat procesu kucia radiatorów w tej maszynie (rys. 13÷17).

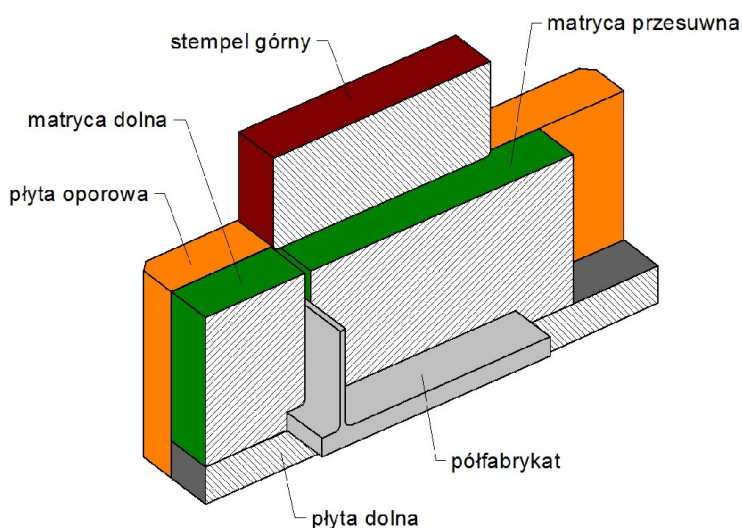


Rys. 12. Fotografia trójsuwakowej prasy kuźniczej [opracowanie własne]

W początkowym etapie procesu kształtowania radiatora w TPK wsad w kształcie płyty nagrzewa się w piecu do temperatury kucia na gorąco. Następnie umieszcza się go w wykroju zamkniętym, który utworzony jest przez płytę dolną, matrycę stałą, matrycę przesuwą i dwie płyty oporowe boczne (rys. 13a). Przemieszczająca się matryca przesuwna w kierunku matrycy stałej spęcza odcinek półfabrykatu, kształtując pierwsze żebro radiatora (rys. 13b).

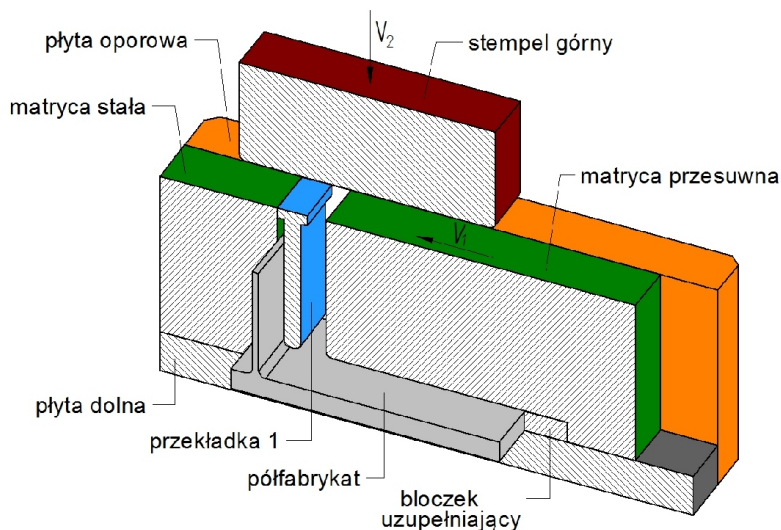


Rys. 13a. Początkowy etap procesu kształtowania radiatora w TPK

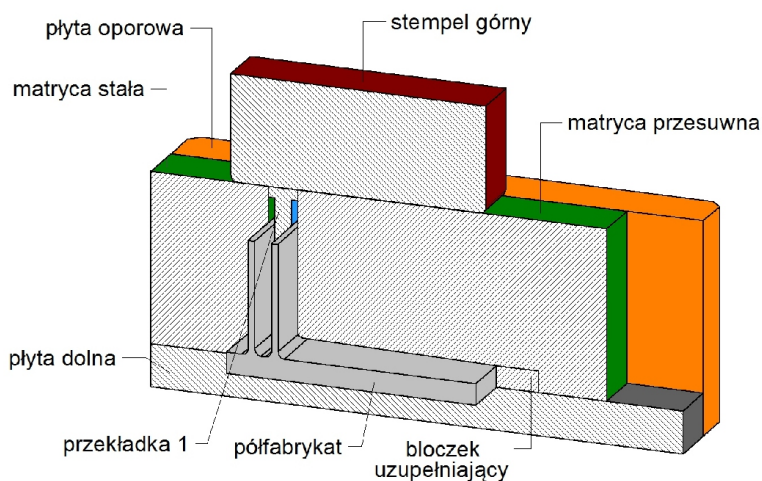


Rys. 13b. Ukształtowany półfabrykat radiatora z jednym żebrem w TPK

Następnie zmienia się ruch matrycy przesuwnej na przeciwny i wycofuje się ją z ukształtowanego półfabrykatu. W kolejnym etapie dogrzewa się półfabrykat z jednym żebrem i powtórnie umieszcza się go w przestrzeni roboczej, zaś pomiędzy ukształtowanym półfabrykatem i matrycą przesuwную umieszcza się bloczek uzupełniający. Z kolei przy bocznej ścianie ukształtowanego żebra umieszcza się przekładkę (rys. 14a). Stemplem górnym dociska się ją do półfabrykatu. Wprawia się matrycę przesuwную w ruch postępowy w kierunku matrycy stałej i spęcza się kolejny odcinek półfabrykatu w górną część przestrzeni wykoju, kształtując drugie żebro (rys. 14b).



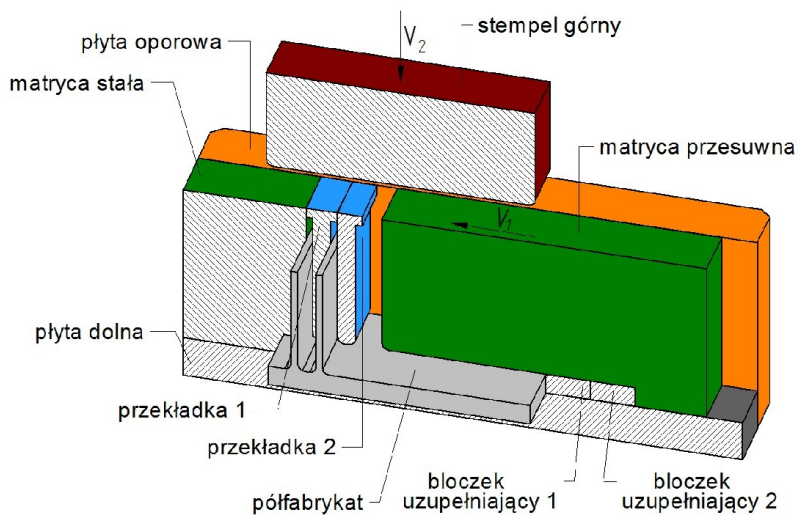
Rys. 14a. Początkowy etap procesu kształtowania drugiego żebra półfabrykatu radiatora w TPK



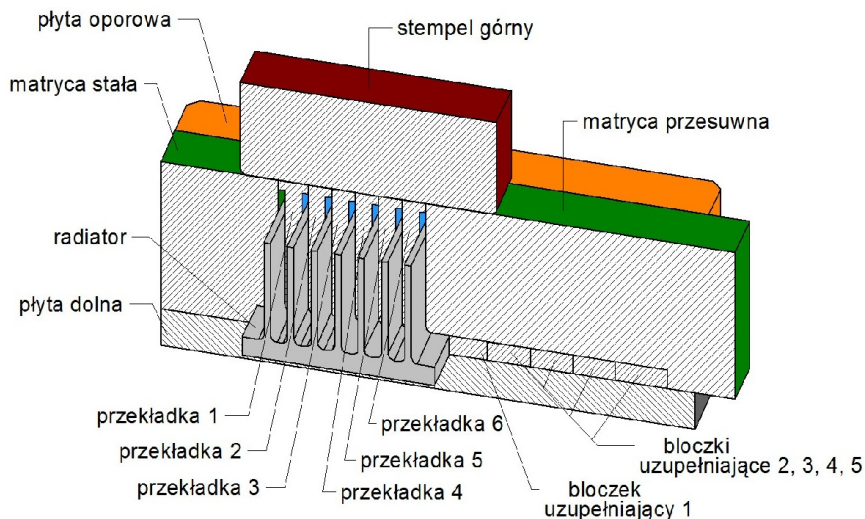
Rys. 14b. Ukształtowany półfabrykat radiatora z dwoma żebrami w TPK

Następnie zmienia się ruch matrycy przesuwnej i stempla górnego na przeciwny i wycofuje się z ukształtowanego półfabrykatu matrycę przesuwną i stempel górny. Po dograniu półfabrykat z dwoma żebrami wraz z przekładką umieszcza się go powtórnie w przestrzeni roboczej. Dodatkowo dwa bloczki uzupełniające układają się pomiędzy półfabrykatem i matrycą przesuwną, a przy bocznej ścianie ukształtowanego drugiego żebra umieszcza się drugą przekładkę. Po czym stemplem górnym dociska się przekładki do półfabrykatu (rys. 15). Następnie

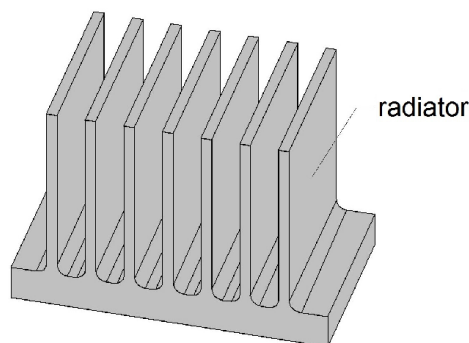
wprawia się matrycę przesuwana przemieszczającą się w kierunku matrycy stałej spęcza kolejny odcinek półfabrykatu w górną część przestrzeni wykroju. W rezultacie kształtuje się trzecie żebro. Następnie cykl powtarza się i kształtuje się kolejne żebra półfabrykatu do momentu osiągnięcia założonych wymiarów radiatora (rys. 16-17).



Rys. 15. Początkowy etap procesu kształtowania trzeciego żebra półfabrykatu radiatora w TPK



Rys. 16. Końcowy etap procesu kształtowania radiatora w TPK



Rys. 17. Ukształtowany radiator w trójsuwakowej prasie kúźnicznej

Przeprowadzone badania dotyczące nowego sposobu kształtowania plastycznego radiatorów potwierdziły celowość przygotowania zgłoszenia patentowego. Opracowane rozwiązanie technologiczne pt. „Sposób kształtowania radiatora” zostało zarejestrowane w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej pod nr P. 404274 [15].

5. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono tematykę kształtowania plastycznego radiatorów metodą kucia. Założono realizację procesu w trójsuwakowej prasie kúźnicznej, której możliwości kształtowania kúźniczego są znacznie rozszerzone dzięki wyposażeniu jej w trzy niezależnie poruszające się suwaki. Korzystnym skutkiem opracowanego sposobu wytwarzania radiatorów jest możliwość ich kształtowania metodą obróbki plastycznej przez co uzyskuje się wyroby o dobrych własnościach mechanicznych i użytkowych, wynikających z korzystniejszej struktury. Kolejną zaletą opracowanej technologii jest niski koszt wykonania prostych narzędzi kształtujących. Dodatkowo analizowana metoda kucia bezwypływkowego radiatorów umożliwia znaczne oszczędności materiałowe w stosunku do wyrobów gotowych, uzyskiwanych metodą obróbki skrawaniem. Jednocześnie ma to wpływ na ograniczenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego poprzez zmniejszenie odpadów, przeznaczonych do recyklingu i utylizacji. Korzystnym skutkiem opracowanego sposobu kształtowania radiatorów jest możliwość otrzymania wyrobów o bardzo zbliżonych kształtach i wymiarach do produkowanych dla przemysłu innymi metodami. Sposób kształtowania plastycznego analizowanych systemów chłodzenia metodą kucia pozwala uzyskać radiatory z żebrami o równomiernej wysokości. Ważnym aspektem opracowanej technologii jest jej uniwersalność, gdyż może być ona zastosowana do kształtowania radiatorów z różnych materiałów używanych w procesach obróbki plastycznej.

Wymienione powyżej zalety opracowanej metody kształtowania plastycznego radiatorów w stosunku do innych metod wytwarzania uzasadniają celowość przeprowadzenia badań teoretyczno-doświadczalnych.

Podziękowania

Badania realizowane w ramach Projektu „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”, Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

1. Górecki P. "Radiatory w sprzęcie elektronicznym", Elektronika dla Wszystkich, 1999, s. 34-39.
2. <http://www.tme.eu/pl/katalog/>
3. Biały T. "Analiza skuteczności odprowadzania ciepła przez element pasywny z wykorzystaniem pakietu MSC MARC/MENTAT", Studencka Konferencja Naukowa „METODY KOMPUTEROWE – 2012”, ISBN 978-83-930523-1-8, s.1-4.
4. <http://www.fischerelektronik.de/pl/produkty/radiatory-fcool/radiatory-fcool/>
5. <http://www.smart.internetowo.net.pl/index.php?page=chlodzenie-komputera>
6. <http://www.pcworld.pl/artykuly/38663/Zestawy.chlodzace.html>
7. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Radiator>
8. Kowalik M., Trzepieciński T. „Badanie wpływu parametrów zaprasowania na jakość połączenia aluminiowej płyty radiatora z żebrami”, Rudy Metale nr 6, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa 2010.
9. Lee S. „How to select a heat sink” Electronics Cooling, nr 1, 1995.
10. Iyengar M. „Design For Manufacturability Of Forced Convection Air Cooled Fully Ducted Heat Sinks”, Electronics Cooling, Issue August 2007.
11. Raj E. „Jednofazowe systemy chłodzenia cieczowego do zastosowań w elektronice”, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 75, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2012.
12. Sawamura T., Asao T., Method for manufacturing a radiator, Patent amerykańskim numer US006564458B1.
13. Yoshihara H., Goto M., Kimura T., Radiator and method of manufacturing radiator, Patent amerykańskim nr US20120227952A1.
14. Fuxiang T., Mingrong W., Design of die casting die for radiator component, Journal of Special Casting & Nonferrous Alloys , Chiny 2004.
15. Dziubińska A., Gontarz, A., Sposób kształtowania radiatora. Zgłoszenie patentowe nr P. 404274 z dnia 10.06.2013.

Nowa technologia kształtowania radiatorów

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową technologię wytwarzania radiatorów metodą kucia. W pierwszej części opracowania dokonano ogólnej charakterystyki radiatorów oraz podano ich najczęstsze zastosowanie w przemyśle. Następnie przeprowadzono przegląd metod wytwarzania radiatorów. W dalszej części przedstawiono nowe możliwości kształtowania tego typu wyrobów przy wykorzystaniu trójsuwakowej prasy kuźniczej.

Opracowane rozwiązanie technologiczne sposobu kształtowania radiatorów zgłoszono do ochrony patentowej.

Słowa kluczowe: radiator, kształtowanie plastyczne, kucie, trójsuwakowa prasa kuźnicza

New technology for forming heatsinks

Abstract

The paper presents new technology for producing heatsinks by forging method. In the first part of the paper, the general characteristics of radiators were made, and the most common industrial applications of heatsinks were presented. Then, an overview of methods for producing heatsinks was given. The next part of the paper presents new possibilities of forming of such products with the use of a three-slide forging press. The developed technological solution for forming heatsinks have been claimed patent protection.

Keywords: heatsink, metal forming, forging, three-slide forging press

Badania wpływu liczby łopat śmigła na parametry jego pracy

1. Wprowadzenie

Badania eksperymentalne śmigieł pozwalają na określenie istotnych parametrów definiujących pracę całego układu napędowego statku powietrznego. Zmiana średnicy śmigła czy jego liczby łopat wpływa na siłę ciągu oraz definiuje zapotrzebowanie na moc generowaną przez silnik [1,2]. Dobór śmigła w bezzałogowym statku powietrznym jest najczęściej ograniczony zastosowanym silnikiem elektrycznym oraz zewnętrzną geometrią kadłuba i kształtem gondoli czy kanałów przepływowych. W wielu przypadkach (zwłaszcza w modelach wielowirnikowych takich jak multicoptery: tricopter, quadcopter oraz modele z obudowanymi śmigłami lub wentylatorami tzw. ducted fan) dąży się do minimalizacji wymiarów poprzecznych układu napędowego. Małe statki powietrzne sterowane radiowo najczęściej bazują na gotowych zestawach śmigieł jednak bardzo ważne jest świadome dobranie ich pod względem uzyskania jak największej wartości siły ciągu z powierzchni jednostkowej śmigła przy korzystniejszym współczynniku mocy pobieranej przez silnik do siły ciągu $[W/N]$.

2. Opis badań

Głównym celem pracy jest wyznaczenie zależności między siłą ciągu, mocą pobieraną przez silnik a prędkością obrotową śmigła i liczbą jego łopat. Siła ciągu śmigła zależy od prędkości obrotowej silnika. Ta z kolei związana jest ze stopniem obciążenia jednostki napędowej. Jednym ze sposobów hamowania silników zwłaszcza lotniczych jest zmiana obciążenia poprzez ustawienie kąta natarcia łopat śmigła. Dla przykładu według [3] jedna z hamowni silnika ASz-62IR obciążenie wytwarza czterołopatowym śmigłem PZL-SP.OO, które umożliwia zmianę obciążenia poprzez regulację kąta natarcia łopat. Regulacja kąta realizowana jest poprzez odśrodkowy regulator prędkości obrotowej śmigła R-9SM2 sterowany dźwignią umieszczoną w sterowni. Regulator śmigła ma za zadanie utrzymywanie założonej prędkości obrotowej śmigła. Ze względu na

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, ktmp.pollub.pl, email: l.grabowski@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, ktmp.pollub.pl, email: z.czyz@pollub.pl

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, ktmp.pollub.pl, email: k.pietrykowski@pollub.pl

skale w badaniach zostały zastosowane dwa typy śmigieł Multi – Rotor o zmiennej liczbie łopat, ale stałym ich nastawieniu – EP-A6X4 oraz EP-M6X4 (bez skomplikowanych układów regulacji). Są to śmigła o średnicy równej 6 cali i skoku 4 cale. Zakres liczby badanych łopat wynosi od 2 do 6 (rys. 1). Tak więc, zmiana obciążenia odbywała się poprzez zmianę typu śmigła oraz liczby łopat. Na rys. 2 oraz rys. 3 zamieszczono przykładowe śmigło będące obiektem badań oraz sposób jego montażu.



Rys. 1. Ilustracja przedstawiająca główny obiekt badań [4]

Program badań obejmował pomiar maksymalnej prędkości obrotowej, siły ciągu oraz natężenia prądu dwóch typów śmigieł w czterech konfiguracjach. Liczba konfiguracji odpowiada liczbie możliwych do zastosowania łopat, która dla rozpatrywanych konstrukcji głowic mocujących wynosiła 4 tj. dwu-, trzy-, cztero- i sześćo-łopatowe.

Tabela 1. Program badań eksperymentalnych

Typ badanych śmigieł	Liczba łopat	Mierzone wielkości	Jednostki
FP-A6X4-2 FP-M6X4-3	2, 3, 4, 6	Maksymalna prędkość obrotowa $n_{\max}$	[obr/min]
		Siła ciągu N	[g]
		Natężenie prądu I	[A]

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Przykładowe konfiguracje śmigieł [4]



Rys. 3. Sposób montażu śmigieł w głowicy [4]

3. Stanowisko badawcze

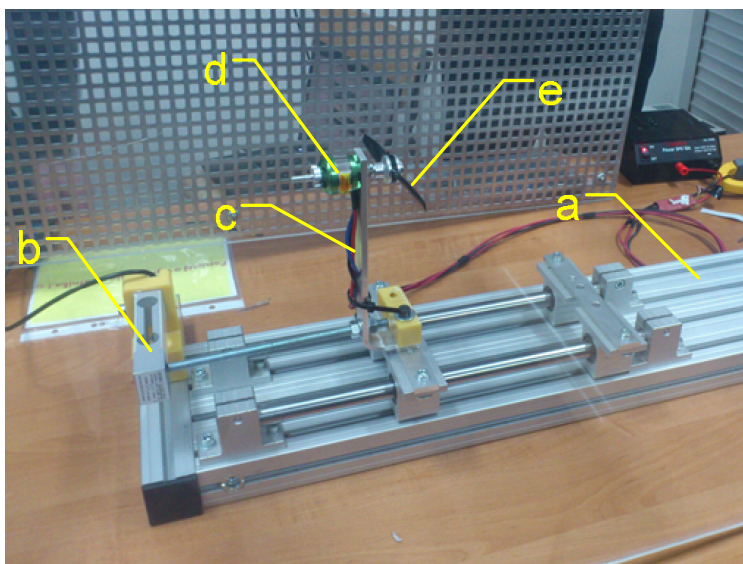
Stanowisko badawcze zostało wyposażone w układ regulacji prędkości obrotowej śmigła poprzez kanałowy radio – kontroler Hitec Aurora 9 pracujący w systemie 2.4 GHz przedstawiony na rys. 4. Prędkość obrotową odczytywano przy pomocy bezdotykowego tachometru laserowego CEM AT-6 (rys. 4). Metoda ta umożliwiła szybki, dokładny i bezkontaktowy pomiar. Ogólną budowę stanowiska przedstawiono na rysunku 5. W jego skład wchodzi:

- a) platforma,
- b) tensometr,
- c) maszt,
- d) silnik,
- e) śmigło,
- f) tachometr laserowy,
- g) miernik cęgowy do pomiaru natężenia prądu,
- h) kanałowy radio-kontroler.



Rys. 4. Radio – kontroler Hitec Aurora 9 oraz tachometr laserowy CEM AT-6 [5, 6]

Siła ciągu generowana przez śmigło powoduje przesuwanie się wózka ruchomego z prętem dystansowym zamocowanego na łożyskach liniowych. Przesunięcie ograniczone jest belką tensometryczną, na którą naciska pręt. Pręt zapewnia nacisk w miejscu właściwym dla tego typu tensometru. Zakres pomiarowy belki tensometrycznej umożliwia pełny pomiar siły ciągu badanych śmigieł. Silnik elektryczny podłączono do źródła zasilania przy stałym napięciu 13,8 V regulując natężenie prądu. Natężenie prądu zaś odczytywano przy użyciu miernika cęgowego. Umożliwiło to wyznaczenie mocy silnika.



Rys. 5. Stanowisko badawcze (opis w tekście)

Do napędu zastosowano bezszczotkowy silnik elektryczny Roxxy BL-Outrunner 2827/26 (rysunek 6). Tego typu silniki przeznaczone są do bezpośredniego napędu (bez przekładni) modeli samolotów i łódek. Specyfikacje przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Silnik bezszczotkowy Roxxy BL-Outrunner 2827/26 zastosowane w konstrukcji BSL

Tabela 2. Specyfikacja silnika zastosowanego do pomiarów [7]

Nazwa	Wartość/ Dane
Zasilanie	2-3cele LiPol (7.2-11.1VDC), 6-10 cel NiCd/NiMh
Prąd maksymalny/chwilowy	6-10A/12A
Kv (obroty bez obciążenia)	930 obr/V
Zalecane śmigło	7x4 do 8x5
Efektywność	78%
Moc wyjściowa silnika (na wale)	110W
Maksymalny ciąg statyczny	820g
Waga silnika z kablami i konektorami	57g
Wymiary	28,8x29mm
Średnica wału	3,17mm



Rys. 7. Czujnik tensometryczna L6D-Cx-3kg (z lewej)
oraz miernik cęgowy KEWTECH KT203 użyte do pomiarów [7]

4. Wyniki badań

Wyniki badań z rozróżnieniem typów badanych śmigieł zamieszczono w tabelach 3 i 4. W kolejnym etapie opracowano wykresy zależności między liczbą łopat a maksymalną prędkością obrotową $n_{\max}(i)$, siłą ciągu $N(i)$, mocą silnika $P(i)$.

Tabela 3. Wyniki badań śmigła FP-A6X4

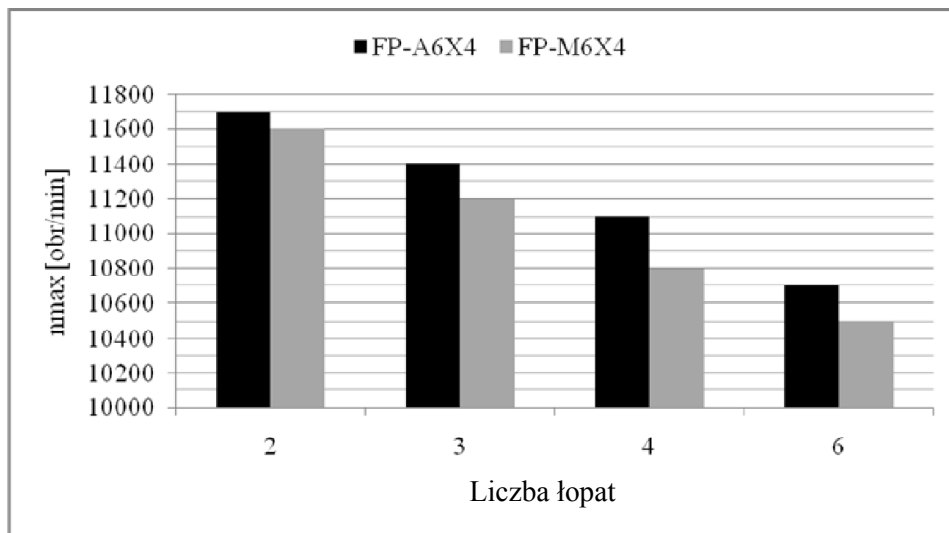
Liczba łopat i [-]	$n_{\max}$ [obr/min]	N [g]	U [V]	I [A]	P [W]	$x = P/N$ [W/kg]
2	11700	190	13,8	3,84	53	0,279
3	11400	236	13,8	4,7	65	0,275
4	11100	283	13,8	5,58	77	0,272
6	10700	358	13,8	6,62	91	0,255

Źródło: Opracowanie własne

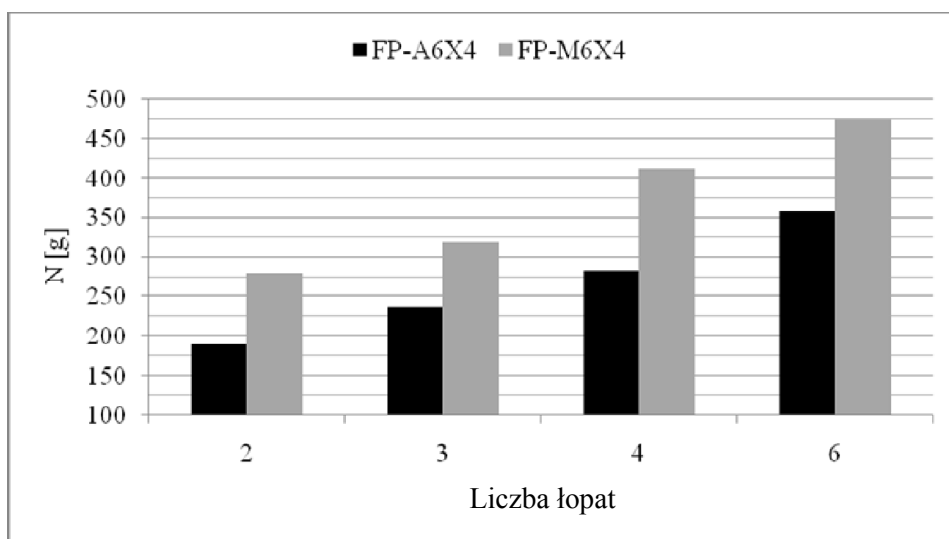
Tabela 4. Wyniki badań śmigła FP-M6X4

Liczba łopat i [-]	$n_{\max}$ [obr/min]	N [g]	U [V]	I [A]	P [W]	$x = P/N$ [W/kg]
2	11600	279	13,8	4,15	57	0,205
3	11200	318	13,8	5,25	72	0,228
4	10800	413	13,8	6,3	87	0,211
6	10500	475	13,8	7,64	105	0,222

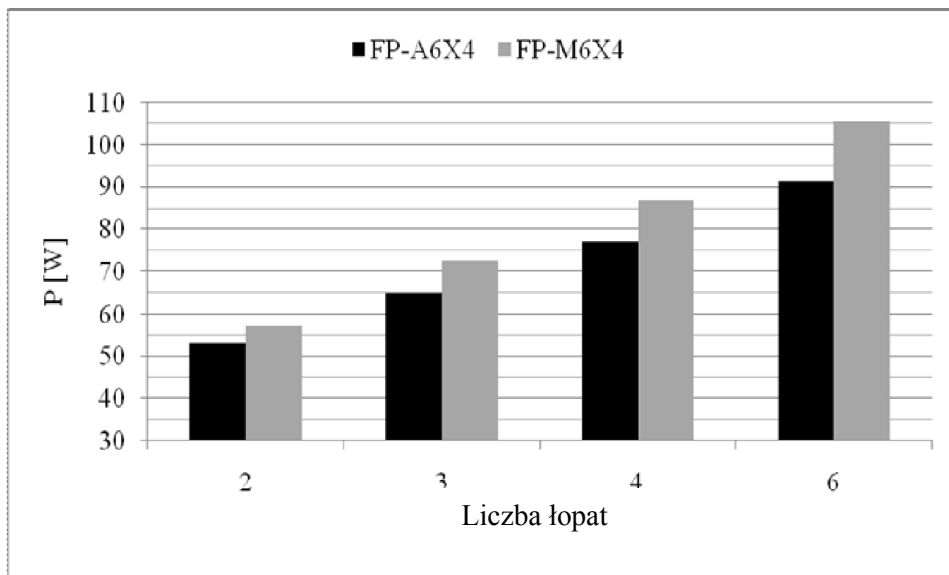
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 8. Zależność prędkości maksymalnej od liczby łopat $n_{\max}(i)$



Rys. 9. Zależność siły ciągu od liczby łopat $N(i)$



Rys. 10. Zależność mocy $P[W]$ od liczby łopat

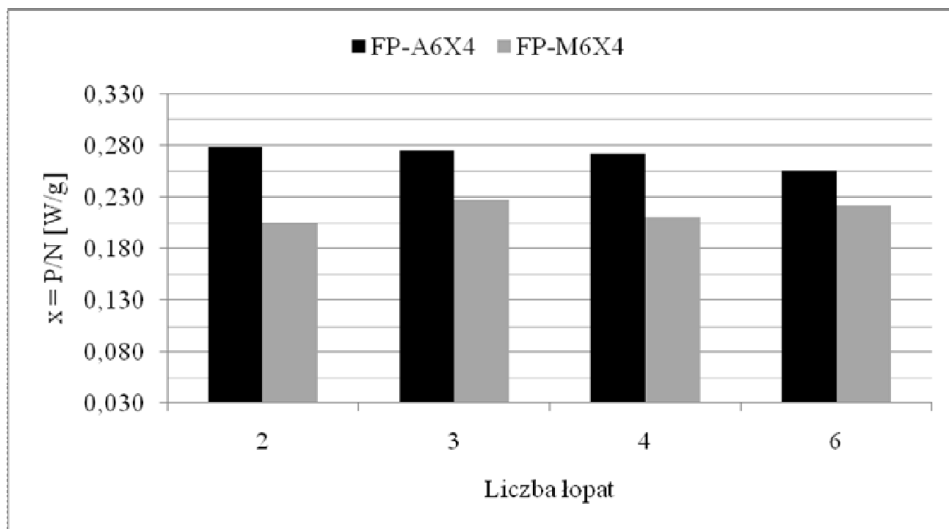
Istotnym współczynnikiem jest stosunek mocy silnika do siły ciągu śmigła (rys. 11). Wskazuje on pośrednio na sprawność układu napędowego. Siła ciągu rośnie wraz ze wzrostem liczby łopat jednak należy zwrócić uwagę na przyrost ciągu z jednej łopaty, tabela 5. Siła ciągu przypadająca na jedną łopatę N_1 obliczono ze wzoru (1):

$$N_1 = N/i \quad (1)$$

gdzie:

- sumaryczna siła ciągu – $N [g]$,
- liczba łopat – $i [-]$.

Procentowy przyrost siły ciągu obliczono, jako stosunek różnicy sił ciągu dwóch kolejnych śmigieł do siły ciągu śmigła o mniejszej liczbie łopat. Procentowy spadek obciążenia jednej łopaty [%] wyrażony jest, jako stosunek różnicy sił ciągu przypadających na jedną łopatę $N_1 [g]$ rozpatrywanego śmigła i śmigła badanego, jako pierwsze tj. dwułopatowego do siły ciągu przypadającej na jedną łopatę w śmigle dwułopatowym.



Rys. 11. Zależność stosunku mocy do siły ciągu [W/g] od liczby łopat

Tabela 5. Opracowane wyniki badań śmigieł

Liczba łopat śmigła	Obciążenie powierzchniowe [g/cm ²]	Siła ciągu przypadająca na jedną łopatkę N ₁ [g]	Procentowy przyrost siły ciągu śmigła [%]	Procentowy spadek obciążenia jednej łopaty [%]
FP-A6X4				
2	1,05	95	-	-
3	1,30	78,67	24,21	-17,19
4	1,56	70,75	19,91	-25,53
6	1,97	59,67	26,50	-37,19
FP-M6X4				
2	1,54	139,5	-	-
3	1,75	106	13,97	-24,01
4	2,28	103,25	29,87	-25,99
6	2,62	79,18	15,01	-43,25

5. Podsumowanie

Badania wykazują duży wpływ liczby łopat na rejestrowane parametry. Dla śmigła typu FP-A6X4 zwiększenie liczby łopat z 2 do 6 spowodowało wzrost siły ciągu N [g] o 88, 4% natomiast w przypadku śmigła typu FP-M6X4 o 70,2 %. Jest to tożsame ze wzrostem obciążenia powierzchniowego, które wzrasta w odniesieniu do powierzchni koła o promieniu równym długości

łopaty. Jednak przy odrębnym rozpatrywaniu każdej z łopat zauważono, że obciążenie pojedynczej łopaty spada. Jest to związane ze sprawnością łopat a co za tym idzie pośrednio całego śmigła. Tak, więc zwiększanie liczby łopat powoduje zmniejszenie sprawności pojedynczej łopaty.

W przypadku śmigła FP-A6X4 liczba łopat równa 6 zmniejsza obciążenie pojedynczej łopaty o 37,19%, natomiast w przypadku FP-M6X4 wartość ta dochodzi do 43,25%. Niemniej jednak o ogólnej sprawności śmigła świadczy współczynnik $x = P/N$ (W/kg), który mówi o ilości mocy w [W] potrzebnej na wygenerowanie 1 [kg] siły ciągu. Według rysunkach 9 i 10 jak i [1] zarówno siła ciągu jak i moc silnika rosną. W przypadku śmigła FP-A6X4 wzrost ten wynosi 168 [g] i w stosunku do śmigła dwułopatowego jest to 88% różnicy. W przypadku FP-M6X4 jest to odpowiednio 196 i 70%. Dla tych wartości współczynnik x kształtuje się na podobnym poziomie (dla tego samego typu) jednak wyższe wartości osiąga FP-A6X4 i dlatego pod tym względem wypada gorzej w odniesieniu do FP-M6X4. Dla najmniejszej zastosowanej liczby łopat tj. 2 różnica między współczynnikami wynosi 26,4%. Natomiast dla największej zastosowanej liczby łopat tj. 6 wartość ta wynosi 13%. Przeprowadzone badania wykazują korzyść zastosowania śmigła FP-M6X4 zarówno pod względem siły ciągu jak i zapotrzebowania na moc elektryczną.

Literatura

1. Brezina A. J.: Measurement of static and dynamic performance characteristics of small electric propulsion systems, Department of Mechanical and Materials Engineering, Wright State University, Dayton, Ohio 45435.
2. Mingtai C.: Static Thrust Measurement for Propeller- Driven Light Aircraft, The 2nd International Conference of Computer Application and System Modeling, 2012.
3. Pietrykowski K.: Research process the mixture in the radial engine, PhD thesis done under the direction of Ph.D., D.Sc., Eng. Mirosława Wendekera, Lublin University of technology, Lublin 2009, Page 27-31.
4. <http://abc-rc.pl/FPACC107R>
5. <http://www.nastik.pl/hitec-aurora-24ghz-optima-p-2913.html>
6. http://nowyelektronik.pl/product.php?id_product=75380
7. <http://www.rcskorpion.pl/strona/wyszukiwarka-zaawansowana/p/wyniki/1/>
8. Brandt J. B., Selig M.S.: Propeller Performance Data at Low Reynolds Numbers, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-7 January 2011, Orlando, FL, AIAA 2011-1255.
9. Merchant M. P.: Propeller Performance Measurements for Low Reynolds Number Unmanned Aerial Vehicle Applications, Master's thesis, Department of Aerospace Engineering, Wichita State University, Kansas, 2005, Pages 6-21.

Badania wpływu liczby łopat śmigła na parametry jego pracy

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych śmigieł stosowanych w bezzałogowych modelach statków powietrznych. Specjalnie skonstruowane stanowisko pomiarowe umożliwiło pomiar wartości parametrów takich jak: siła ciągu, moc silnika elektrycznego oraz jego prędkość obrotowa. Badane zestawy śmigieł przy zachowaniu takiej samej średnicy różniły się liczbą łopat. Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie wpływu liczby łopat śmigła na prędkość obrotową silnika elektrycznego, zależności siły ciągu, zapotrzebowania na moc oraz stosunku mocy silnika do siły ciągu. Oprócz tego określono powierzchniowe i procentowe obciążenie śmigieł oraz pojedynczych łopat.

Słowa kluczowe: śmigło, siła ciągu, moc silnika

Impact of the number of propeller blades on the propeller operation parameters

Abstract

This paper discusses the experimental study results on propellers EP- A6X4 and EP-M6X4 mounted in unmanned aircraft models. Parameters such as thrust, electric motor power and rotational velocity were measured on a specially designed test bench. The sets of propellers of identical diameter but with a different number of blades were examined. As a result, the impact of a number of propeller blades on electric motor speed, power, thrust as well as the power-thrust ratio was determined. In addition, propeller and individual blade surface and percentage loading was calculated.

Keywords: propeller, thrust, engine power

Obiecujące właściwości biologiczne cieczy jonowych

1. Wprowadzenie

Wraz z rozwojem chemii organicznej zwrócono uwagę na użyteczność wielu nowopowstałych substancji. Obecne syntetyzacje nakierowane są na otrzymywanie związków bezpiecznych w stosowaniu, nietoksycznych, łatwych do degradacji lub recyklingu, działających skutecznie z wysoką efektywnością, jak i wykazujących możliwości późniejszej aplikacji. Niewątpliwie zalicza się do nich ciecze jonowe.

Związki te, wyodrębnione pod koniec XX wieku spośród soli jonowych, wciąż cieszą się ogromną popularnością ze względu na potencjał zastosowań i różnorodne właściwości. Oczekuje się, że w przyszłości zrewolucjonizują przemysł chemiczny i spożywczy oraz wiele dyscyplin naukowych, m.in.: elektrochemię, elektronikę i inżynierię powierzchni [1]. Ciecze jonowe bada się także w kierunku bakterio- i grzybobójczości celem wdrożenia ich w rolnictwie, ochronie drewna, kosmetologii, a także medycynie. Innym ciekawym aspektem zastosowania tych związków jest biokataliza [2].

2. Budowa cieczy jonowych

Podstawową jednostkę strukturalną cieczy jonowych (*ILs* – *Ionic Liquids*) stanowi para kation-anion, dzięki której związki te zalicza się do ogromnej grupy organicznych soli. Jednak jako jedyne w tej rodzinie chemicznej topią się do temperatury 100°C, co niewątpliwie wyróżnia je spośród powszechnie znanych substancji o charakterze jonowym [1].

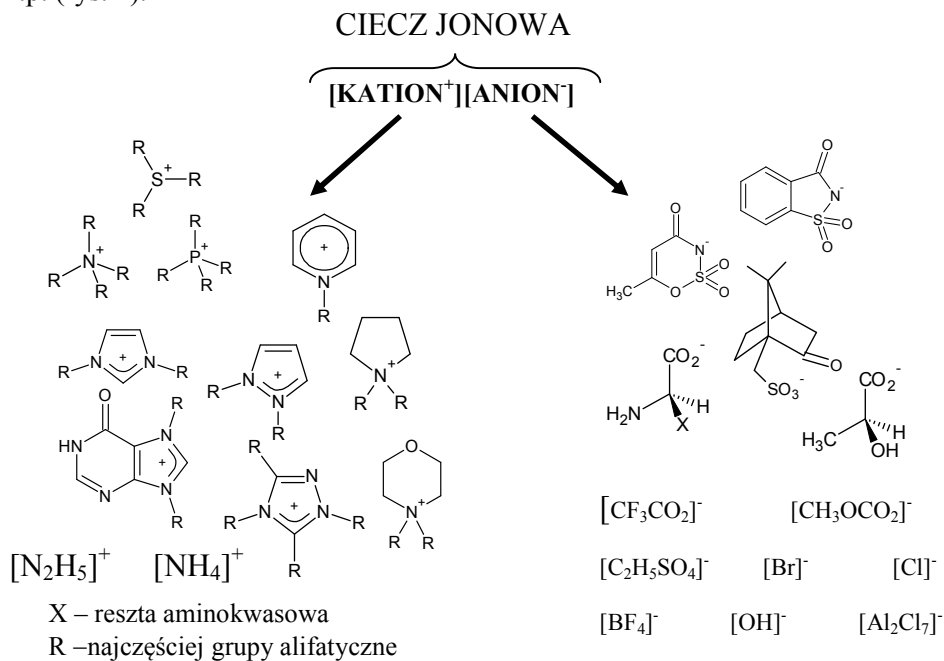
Ciecze jonowe najczęściej zbudowane są z organicznego kationu, rzadziej występującego w formie nieorganicznej i przeważnie mniejszego jonu ujemnego. Kombinacja układu jest w zasadzie dowolna, determinowana jedynie przez pożądaną właściwość fizyczną lub chemiczną powstałej soli.

Kationy *ILs* zawierają często heteroatomy azotu, fosforu i siarki, tworząc w parze z organicznym lub nieorganicznym anionem kolejno: sole amoniowe, substancje fosfoniowe i sufloniowe [3]. Wyróżnia się także pochodne: pirydyny, imidazolu, puryny, indolu, benzenu i innych. O niejednorodności w budowie cieczy jonowych świadczą też występujące elementy alifatyczne z wiązaniami nasyconymi, czy też nienasyconymi, łańcuchy rozgałęzione i cykliczne [1].

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Zakład Chemii Bioorganicznej,
www.bioorganic.ch.pwr.wroc.pl, email: urszula.swierczek@pwr.wroc.pl

² Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Zakład Inżynierii Chemicznej,
www.iic.pwr.wroc.pl, email: joanna.feder-kubis@pwr.wroc.pl

Aniony są, w większości przypadków, o wiele mniejsze od jonów naładowanych dodatnio. Najbardziej powszechne to pierwiastki 17-nastej grupy układu okresowego, najczęściej chlor lub brom, proste nieorganiczne grupy tj. OH^- , COO^- , NO_3^- [4], a także bardziej skomplikowane struktury: sacharynian, mleczan, fumaran, benzoesan [5], ujemnie naładowane aminokwasy [6], itp. (rys. 1).



Rys. 1. Różnorodność strukturalna cieczy jonowych – przykłady występujących jonów
Źródło: Opracowanie własne przy wykorzystaniu [1-6]

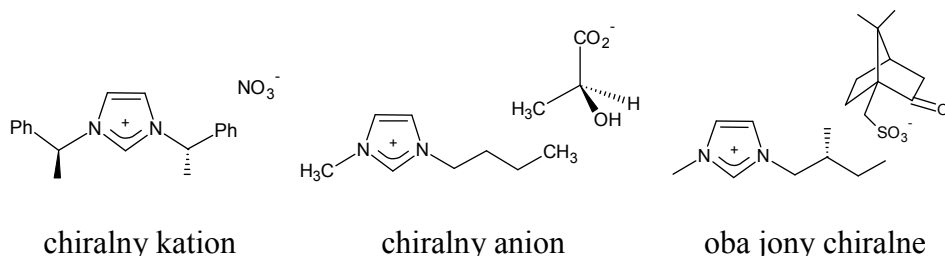
2.1. Charakterystyka cieczy jonowych

Ciecze jonowe to ogromna grupa związków chemicznych, która dzięki możliwym kombinacjom układu kation-anion, wciąż wzbogaca się o nowe struktury [1]. Jej podział jest różnorodny. Na podstawie struktury i właściwości można wyodrębnić:

- ciecze jonowe ciekłe w temperaturze pokojowej (RTILs – Room Temperature Ionic Liquids) [1],
- protonowe ciecze jonowe (PILs – Protic Ionic Liquids) [1],
- polimerowe ciecze jonowe (PmILs – Polymer Ionic Liquids) [7],
- chiralne ciecze jonowe (CILs – Chiral Ionic Liquids) [8],
- zadaniowo-specyficzne ciecze jonowe (TSILs – Task Specific Ionic Liquids) [1].

Jedną z cech odróżniającą ciecze jonowe od pospolitych organicznych soli jest temperatura topnienia, która w większości przypadków ma wartość o wiele niższą od punktu wrzenia wody i zmienia się w zależności od struktury. W naukowych doniesieniach literaturowych bardzo szeroko opisywane są *RTILs*, czyli związki otrzymane jako ciecze w warunkach nie przekraczających 25°C. Poprzez odpowiedni dobór kationu i anionu zostaje zaburzona krystaliczna natura soli, dzięki czemu uzyskuje się stan skupienia charakterystyczny dla cieczy [9]. Jest to cecha, która znacząco wpłynęła na zainteresowanie tego rodzaju *ILs*, między innymi jako rozpuszczalnikami nowej generacji [10].

Doskonałym przykładem niskotemperaturowych cieczy jonowych (*RTILs*) są związki oparte na naturalnych α -aminokwasach. Obecny w białkowych monomerach asymetryczny węgiel nadaje całej strukturze chiralny charakter [6], w związku z czym sole te należą do grupy chiralnych cieczy jonowych (*CILs*). Znane są też inne przykłady związków zawierające centra stereogeniczne w kationie, anionie lub obu jonach, np.: azotan di[1-fenyl]etyloimidazoliowy, mleczan 1-metylo-3-butyloimidazoliowy i (*S*)-10-kamforosulfonian 1-metylo-3-[2-metylo]-butyloimidazoliowy (rys. 2.) [1,8].

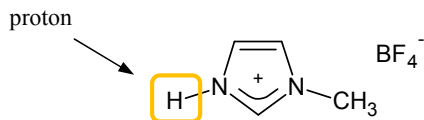


Rys. 2. Chiralne ciecze jonowe. Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie *CILs*, ponieważ z jednej strony charakteryzują się wszystkimi pożądanymi cechami cieczy jonowych (m.in. niska prężność par, duża stabilność termiczna, szeroki zakres temperatur, w których pozostają cieczami, niepalność, zdolność do rozpuszczania wielu różnych substancji i inne) [1], z drugiej strony wykazują one specyficzne zastosowania np.: w syntezie organicznej i organometalicznej [10], w biokatalizie [2], stereoselektywnej polimeryzacji czy też w chiralnej chromatografii [5].

W elektrochemii natomiast szczególnie przydatne okazały się polimerowe ciecze jonowe – *PmILs*. Są to związki o charakterystycznej budowie, składające się z kilku połączonych ze sobą kationów (merów), którym towarzyszą dopasowane aniony. Właściwości takiego polimeru można modyfikować poprzez zmianę składu i długości utworzonego łańcucha, w celu uzyskania pożądanego materiału o odpowiedniej przewodności elektrolitycznej [7].

Do cieczy jonowych zalicza się także związki kationowo-anionowe, w których jednym z podstawników dodatniego jonu jest atom wodoru. Przykładem może być tetrafluoroboran 1-*H*-3-metyloimidazoliowy, który jest jednocześnie jedną z pierwszych opisanych *RTILs* (rys. 3.).



Rys. 3. Tetrafluoroboran 1-*H*-3-metyloimidazoliowy – protonowa ciecz jonowa
Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

Wprowadzony proton jest jednocześnie donorem i akceptorem, dzięki czemu może oddziaływać z innymi strukturami np.: cząsteczkami białka poprzez utworzone wiązania wodorowe. *PILs* – protonowe cieczy jonowe znalazły zastosowanie jako elektrolity zdolne do transferu protonów w ogniwach paliwowych [1].

Bardzo szeroko badaną grupą są tzw. zadaniowo-specyficzne cieczy jonowe (*TSILs*). Zostały one wyodrębnione spośród wielu poznanych już *ILs* ze względu na występującą funkcjonalną jednostkę, którą może być kation lub anion związku o ciekawej aktywności biologicznej. *TSILs* są przykładem cieczy jonowych, których synteza może być ukierunkowana pod konkretne zastosowanie. Odpowiednia selekcja anionów i kationów pozwala uzyskać produkt o pożądanych właściwościach. Można więc mówić w tym przypadku o projektowaniu cieczy jonowych [11].

3. Biologiczne właściwości i aplikacja cieczy jonowych

Grupa cieczy jonowych jest bogata nie tylko ze względu na zróżnicowaną strukturę, ale również z powodu licznych zastosowań. Ich potencjalna aplikacja dotyczy zarówno aspektów chemicznych, jak i tych zbliżonych naturze [1].

Można zwrócić uwagę, że substancje kationowo-anionowe, do których należą cieczy jonowe, są szeroko stosowane przez przemysł chemiczny. Szczególny udział mają tu *RTILs*, jako doskonałe medium wielu procesów. Ich przewaga nad tradycyjnymi rozpuszczalnikami wynika ze specyficznych właściwości. Ciecze jonowe są bezpieczniejsze ze względu na niską prężność par, dzięki czemu procesy prowadzone w ich udziale spełniają zasady *Zielonej Chemii* [1]. Stabilne termicznie *ILs* doskonale nadają się do prowadzenia silnie egzotermicznych procesów [12]. Podobnie jak woda, cieczy jonowe są polarne i wykazują wysoką przewodność elektrolityczną i cieplną [1]. W *ILs* roztwarzają się: substancje nieorganiczne, tłuszcze, polisacharydy oraz białka [2].

Ciecze jonowe to nie tylko rozpuszczalniki. Biorą czynny udział w reakcji jako ligand lub katalizator, zwiększając szybkość procesu lub wymuszając powstanie pożądanego produktu [1]. Działają podobnie do enzymów, co zainspirowało naukowców do badań nad *ILs* w reakcjach biotransformacji.

Wiele ważnych technologicznie lub medycznie białek rozpuszcza się w tych niskotemperaturowych solach zachowując wysoką stabilność i enantjoselektywność [2]. W niektórych przypadkach aktywność enzymu w cieczach jonowych jest wyższa niż w stosowanych do tej pory tradycyjnych rozpuszczalnikach (tab. 1.) [13].

Tabela 1. Aktywności Novozymu 435 po inkubacji w cieczy jonowej, [bmim] – kation 1-butylo-3-metyloimidazoliowy

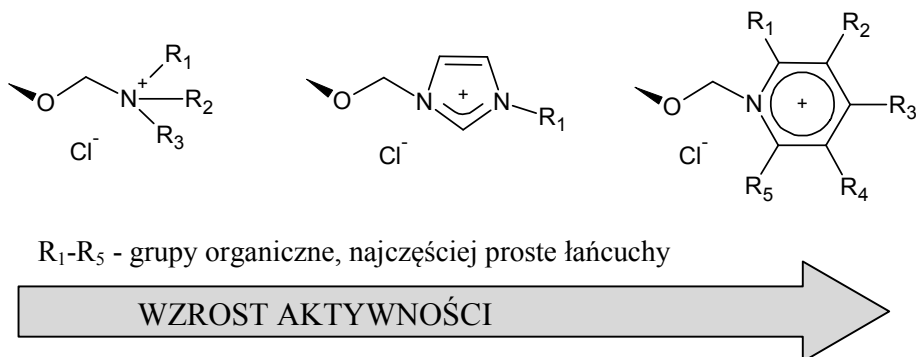
Medium /rozpuszczalnik		Aktywność po inkubacji [%]
Ciecz jonowa	[bmim][CH ₃ CO ₂]	202
	[bmim][PF ₆]	93
	[bmim][NO ₃]	0
Tradycyjny rozpuszczalnik	Heksan	100
	Acetonitryl	68
	Butanol	0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2,13]

Ciekle związki kationowo-anionowe są doskonałym środowiskiem reakcji otrzymywania wielu ważnych przemysłowo związków, także leków. Przeciwbólowy ibuprofen, czy niesteroidowy przeciwzapalny naproksen to tylko niektóre przykłady substancji do których syntezy wykorzystano ciecze jonowe [14]. Działanie przeciwdrobnoustrojowe jest szczególnie potrzebne w szpitalach, gospodarstwach domowych, przemyśle spożywczym i medycynie. Wiele projektów badawczych dotyczy wdrożeń cieczy jonowych jako substancji do sterylizacji narzędzi chirurgicznych, opatrunków, tworzenia skutecznych detergentów i środków czystości [15]. Bardzo innowacyjnym pomysłem jest zastosowanie *ILs* w chemii farmaceutycznej. Nowoczesne leki oparte na tych związkach mogłyby wesprzeć walkę wielu ludzi z różnymi chorobami. Obiecującym materiałem są imidazoliowe ciecze jonowe, które niszczą zmienione chorobowo komórki, zapobiegając dalszej proliferacji, co zostało potwierdzone w testach klinicznych [16].

Interesującym przykładem aktywnych mikrobiologicznie cieczy jonowych są sole zawierające w swojej strukturze (1*R*,2*S*,5*R*)-(–)-mentol [8, 17-18]. Ten cykliczny monoterpenny alkohol jest związkiem naturalnie występującym w środowisku. Od dawna znane właściwości (1*R*,2*S*,5*R*)-(–)-mentolu, stosowanego np. w środkach zapachowych, chłodzących czy miejscowo znieczulających, wpływają też znacząco na właściwości biologiczne cieczy jonowych otrzymanych na bazie tego cyklicznego alkoholu. Wykonano szereg badań mikrobiologicznych, w wyniku których dowiedziono, że chlorki

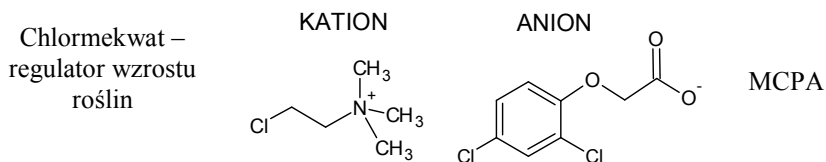
zawierające komponent optycznie czynnego mentolu wykazują znakomitą aktywność przeciwdrobnoustrojową [19]. Ich skuteczność w sposób istotny zależy od długości łańcuchów alkilowych przy czwartorzędowym atomie azotu. Ponadto wykazano, że odpowiednie dopasowanie kationu znacząco wpływa na aktywności mikrobiologiczną (rys. 4).



Rys. 4. Wpływ kationu na aktywność mikrobiologiczną cieczy jonowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [20]

Na podstawie szeregu analiz wyodrębniono kilka związków dla których aktywność biologiczna dla jest na niespotykane wysokim poziomie [20-21]. Skuteczność mikrobiologiczna tych chiralnych cieczy jonowych znacznie przewyższa powszechnie stosowany wzorec: chlorek benzalkoniowy (BAC). Oczekuje się, że związki te będzie można z powodzeniem zastosować m.in. w antyseptyce i dezynfekcji i to w stężeniach niższych niż wzorcowego chlorku benzalkoniowego [20].

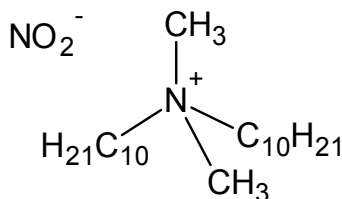
Liczne badania nad biobójczością cieczy jonowych wykazały, że związki te są toksyczne nie tylko wobec bakterii, czy grzybów, ale także wielu roślin. Rolnictwo od wieków zmagają się z problemem zarastania upraw przez chwasty typu: bratek polny (*Viola arvensis*), chaber (*Centraura cyanus*) czy wilczomlecz (*Euphorbia helioscopia*). Niestety wciąż stosuje się przeciwko nim przestarzałe substancje, które często są już mało skuteczne, a ponadto toksyczne dla ludzi. Przyszłościowym rozwiązaniem mają być herbicydowe cieczy jonowe, zawierające w swojej budowie funkcjonalną jednostkę, np. kwas chlorometylofenoksyoctowy (MCPA) [11]. Ten popularnie stosowany środek chwastobójczy wchodzi w skład obiecującej *IL* 2,4-dichlorofenoksyoctanu 2-chloroetylotrimetyloamoniowego (rys. 5), której anion znany pod nazwą chlormekwat jest naturalnie występującym roślinnym czynnikiem wzrostu, wspomagającym działanie całego związku [22].



Rys. 5. Ciecz jonowa o herbicydowych właściwościach
Źródło: opracowanie własne na podstawie [11,17]

Działanie cieczy jonowej na żywe organizmy jest uzależnione od struktury, dlatego związki, które mogą być przydatne w rolnictwie mają tak ogromny obszar często przeciwstawnych zastosowań. Jedne substancje kationowo-anionowe charakteryzują się wysoką biobójczością względem wybranych roślin, inne zaś można stosować np. jako opryski skracające łodygę zbóż uprawnych. Zabieg ten ma zapobiegać wyleganiu, czyli kładzeniu się łanu pod ciężarem kłosów owoconośnych. Substancje na bazie cieczy jonowych działają z większą wydajnością niż tradycyjne środki, ponieważ żdźbła są lepiej zwilżalne przez preparat i substancja czynna dłużej utrzymuje się na roślinie [23].

Innym przykładem aplikacji cieczy jonowych są środki do konserwacji drewna. Powszechnym objawem destrukcji mebli, narzędzi i innych przedmiotów codziennego użytku jest butwienie, wywołane rozkładem ligninowej struktury przez mikroorganizmy tj. *Candida species* czy *Aspergillus niger* [4]. Dlatego też stosowane środki zapobiegawcze i ochronne powinny charakteryzować się wysoką aktywnością grzybobójczą. Zaliczyć można do nich azotany didecyldimetyloamoniowe (rys. 6) i dodecylotrimetyloamoniowe, które skutecznie przeciwdziałają szczepom: *Penicillium funiculosum*, *Pecilomyces varioti*, *Trichoderma viride* i wielu innym organizmom atakującym drewno sosnowe.



Rys. 6. Azotanu(III) didecyldimetyloamoniowego
(DDA) stosowany jako środek ochrony drewna

Bada się także odporność drewna iglastego zakonserwowanego bardziej przyjaznymi preparatami cieczy jonowych bazującymi na naturalnych, biodegradowalnych substratach np.: olejku kokosowym [24].

Inną zaletą stosowania *ILs* jest ochrona przed owadami i innymi zwierzętami. Ślimaki z rodzaju *A. lusitanicu* i *A. rufussą* bardzo uporczywymi szkodnikami niszczącymi pola uprawne. W warunkach laboratoryjnych wciąż poszukuje się nowych substancji owadobójczych. Dobre wyniki uzyskano dla wielu morfoliniowych struktur cieczy jonowych, jednak ich wpływ na aktywność żerowania tych organizmów jest dość zróżnicowany [25].

Celuloza i lignina znajdujące się w odpadach rolniczych są trudnodostępnym surowcem wtórnym. Używa się go przede wszystkim do produkcji papieru, a także w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym i spożywczym. Przed jego ponownym użyciem niezbędne są liczne modyfikacje, które niekiedy wydają się nieopłacalne. Proces odzysku mają usprawnić głównie chlorki i octany 1-butylo-3-metyloimidazoliowe, które skutecznie rozpuszczają włókna roślinne, czyniąc je bardziej dostępnym materiałem w następnych krokach recyklingu [26]. Octan 1-etylo-3-metyloimidazoliowy stosuje się natomiast przy produkcji bioetanolu w wyniku hydrolizy celulozy i bawełny [27].

Ogromna popularność cieczy jonowych jest też wynikiem ich przyjazności wobec środowiska. Większość ze znanych związków można ponownie wykorzystać lub poddać utylizacji w procesie chemicznym, przy pomocy promieniowania UV lub biodegradacji [26]. Szczególnie przyjazne są bakterie i rośliny. Najszybciej rozkładane są *ILs* na bazie pirydyny [1].

4. Podsumowanie

Zróżnicowana struktura chemiczna cieczy jonowych powoduje, że jest to bardzo bogata grupa pod względem właściwości i możliwych zastosowań, którą interesuje się wielu naukowców na całym świecie. Przez ogromny biologiczny potencjał, a w szczególności zdolność do oddziaływania z naturalnymi układami np.: błoną komórkową i białkami, oczekuje się, że w przyszłości znajdą powszechną aplikację jako komercyjne środki o działaniu przeciwdrobnoustrojowym lub jako media wielu reakcji z udziałem enzymów.

Literatura

1. M. Freemantle, "An Introduction to Ionic Liquids", RSC Publishing 2010.
2. P. D. de María, "Ionic liquids in biotransformations and organocatalysis", Wiley-VCH, 2012.
3. R. Sheldon, "Catalytic reactions in ionic liquids", Chemical Communications, s. 2399–2407, 2001.
4. R. A. F. Matos i współ., "Synthesis of new chiral ionic liquids based on (–)-menthol and (–)-borneol", Tetrahedron Letters (49), s. 1652–1655, 2009.
5. H. Olivier-Bourbigou i współ., "Ionic liquids and catalysis: Recent progress from knowledge to applications", Applied Catalysis A: General (373), s. 1–56, 2010.
6. H. Ohno i współ., "Amino Acid Ionic Liquids", ACS Publications (40), s. 1122–1129, 2007.

7. A. S. Shaplov i współ., "Thiol-Ene Click Chemistry as a Tool for a Novel Family of Polymeric Ionic Liquids", *Macromolecular Chemistry and Physics* (213), s. 1359–1369, 2012.
8. J. Feder-Kubis i współ., "3-Alkoxymethyl-1-(1R,2S,5R)-(-)-menthoxy-methylimidazolium salts-based chiral ionic liquids", *Tetrahedron: Asymmetry* (21), s. 2709–2718, 2010.
9. P. Wasserscheid, W. Keim W., "Ionic Liquids—New "Solutions" for Transition Metal Catalysis", *Angewandte Chemie International Edition* (39), 3772–3789, 2000.
10. P. Wasserscheid, T. Welton, "Ionic Liquids in Synthesis", Wiley-VCH 2002.
11. J. Pernak i współ., "Ionic liquids with herbicidal anions", *Tetrahedron* (67), s. 4838–4844, 2011.
12. S. Baj, "Autooxidation of Hydrocarbons with Oxygen in Ionic Liquids as Solvents", *International Journal of Chemical Kinetic*, s. 287–293, 2008.
13. Z. Yang, W. Pan, "Ionic liquids: Green solvents for nonaqueous biocatalysis", *Enzyme and Microbial Technology* (37), s. 19–28, 2005.
14. A. Proszowska, „Ciecze jonowe – nowe możliwości w syntezie substancji leczniczych”, *Annales Academiae Medicae Silesiensis* (66/2), s. 59–65, 2012.
15. E. Obłąk i A. Gamian, „Biologiczna aktywność czwartorzędowych soli amoniowych (CSA)”, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* (64), 201–211, 2010.
16. N. K. Kaushik, "Synthesis and Antiproliferative Activity of Ammonium and Imidazolium Ionic Liquids against T98G Brain Cancer Cells", *Molecules* (17), s. 13727–13739, 2012.
17. J. Pernak, J. Feder-Kubis "Synthesis and properties of chiral ammonium-based ionic liquids", *Chemistry A European Journal* (11), s. 4441–4449, 2005.
18. J. Pernak, J. Feder-Kubis, "Chiral pyridinium-based ionic liquids containing the (1R,2S,5R)-(-)-menthyl group" *Tetrahedron Asymmetry* (17), s. 1728–1737, 2006.
19. J. Feder-Kubis „Mentol – komponent chiralnych cieczy jonowych” *Przemysł Chemiczny* (89), s. 1422–1426, 2010.
20. J. Feder-Kubis, K. Tomczuk, "The effect of the cationic structures of chiral ionic liquids on their antimicrobial activities", *Tetrahedron* (69), s. 4190–4198, 2013.
21. J. Feder-Kubis, „Wpływ chiralności na aktywność biologiczną cieczy jonowych”, *Przemysł Chemiczny* (92), s. 1598–1601, 2013.
22. J. Pernak, "Ionic liquids as herbicides and plant growth regulators", *Tetrahedron* (69), s. 4665–4669, 2013.
23. <http://chemical.pl/artykuly/chemical-review/7027/ciecze-jonowe-w-zastosowaniach-przemyslowych.html>
24. J. Zabielska-Matejuk, "The resistance of Scots pine wood protected with ammonium ionic liquids to attack by mould fungi", *Forestry and Wood Technology* (72), s. 497–501, 2010.
25. J. Kozłowski, „Ocena wpływu morfoliniowych cieczy jonowych na kondycję i aktywność żerowania ślimaków (Gastropoda: Arionidae) na roślinach”, *Progres in plant protection/Postępy w ochronie roślin* 52 (4), s. 1136–1140, 2012.
26. T. P. T. Pham i współ., "Environmental fate and toxicity of ionic liquids: A review", *Water Research* (44), s. 352 – 372, 2010.
27. M. Smuga-Kogut i współ., „Otrzymywanie bioetanolu z surowców zawierających celulozę z wykorzystaniem cieczy jonowej”, *Nauka Przyroda Technologie* (2) 6, s. 1–8, 2012.

Obiecujące właściwości biologiczne cieczy jonowych

Streszczenie

Ciecze jonowe (*ILs*) to związki chemiczne, których temperatura topnienia nie przekracza 100°C. Są zbudowane wyłącznie z jonów, dzięki czemu można zakwalifikować je do organicznych soli. Właściwości fizykochemiczne i biologiczne cieczy jonowych zależą od struktury wybranego związku. Wiele naukowców na całym świecie zajmuje się tematyką cieczy jonowych. Ze względu na doskonałe właściwości tj.: wysokie przewodnictwo elektrolityczne, niepalność, niejonizowalność, niskie ciśnienie par i doskonałą stabilność termiczną, znalazły powszechne zastosowanie jako medium wielu reakcji. Ciecze jonowe wydają się być idealnym rozpuszczalnikiem do procesów z udziałem enzymów. Biotransformacje w tych organicznych solach są obiecującą alternatywą w produkcji użytecznych substancji chemicznych. Ciecze jonowe stabilizują enzymy zapobiegając inaktywacji i degradacji termicznej.

Te specyficzne sole mają unikalne właściwości biologiczne. W literaturze opisano także zastosowanie tych związków jako: środków przeciwbakteryjnych i przeciwgrzybiczych. Cytotoksyczność znacznie poszerza aspekt ich zastosowań. W rolnictwie są używane jako insektycydy i preparaty do konserwacji drewna. Związki te stosuje się również do produkcji kosmetyków, środków dezynfekujących i detergentów. Obecnie ciecze jonowe są stosowane w prawie każdej dziedzinie chemii i biologii.

Słowa kluczowe: ciecze jonowe, biotransformacje, działanie biobójcze

The promising biological properties of ionic liquids

Abstract

Ionic liquids (*ILs*) have been classified as compounds with melting points at temperature below 100 °C. They consist exclusively of ions and therefore are included in the organic salts. The physicochemical and biological properties of ionic liquids depend on the nature and size of both the cation and anion constituents.

They are widely recognized solvents owing to their excellent properties such as: high electrolytic conductivity, non-ionizing, non-flammability, low vapor pressure and excellent thermal stability.

Ionic liquids have unique biological properties. These compounds can be successfully applied in various cosmetics formulations, disinfectants, detergents and as active pharmaceutical ingredients. Ionic liquids show the interesting perspectives in different fields of researches such as biocatalysis, materials science, and separation technology.

Biological issues: stability, toxicity, biodegradability, and recyclability have become ever more important considerations in subject matter of ionic liquids. Appropriate design but also well thought-out use of ionic liquids having antimicrobial activity seem to be extremely important and, what is more, can deliver significant benefits in infection control through improved disinfectants, antiseptic biocides. The antimicrobial activities of various classes ionic liquids against both environmental and clinically important microorganisms have been shown in various studies. Currently, ionic liquids are being applied as almost every branch of chemistry and biology.

Keywords: ionic liquids, biotransformations, biocidal activity

Wykorzystanie narzędzi GIS w komputerowym wspomaganiu projektowania

1. Wstęp

Wykorzystanie narzędzi GIS może znacznie ułatwić projektowanie, skrócić czas przygotowania projektu, a także zwiększyć dokładność pomiarów niezbędnych do projektowania. Na podstawie informacji z baz danych utworzonych w oprogramowaniu GIS można tworzyć analizy o dowolnej dokładności i przeznaczeniu. Program ArcMap firmy ESRI pozwala na importowanie danych z programów typu CAD. Otrzymane wyniki można eksportować do arkuszy kalkulacyjnych lub programów branżowych i tam tworzyć specyficzne analizy. Celem artykułu jest pokazanie możliwości jakie daje wykorzystanie narzędzi GIS w projektowaniu inżynierskiej infrastruktury technicznej.

2. Przegląd literatury

2.1. Definicja GIS (ang. geographical information system) – system informacji geograficznej

GIS jest systemem przeznaczonym do zbierania, przechowywania, weryfikowania, integrowania, manipulowania, analizowania i wizualizacji danych, które przestrzennie odniesione są do powierzchni ziemi [1].

Jeden z producentów oprogramowania GIS, firma ESRI, definiuje GIS jako środowisko do gromadzenia, analizowania, wizualizacji i udostępniania informacji przestrzennych. Określa również GIS jako narzędzie dostarczające wszechstronnych informacji o otaczającym nas świecie, pomagające w podejmowaniu świadomych decyzji [2].

Autorzy podręcznika „GIS teoria i praktyka” określają GIS jako sprawdzoną metodę przetwarzania danych przestrzennych, dostarczającą narzędzi, takich jak pomiary kartometryczne i analizy przestrzenne [3].

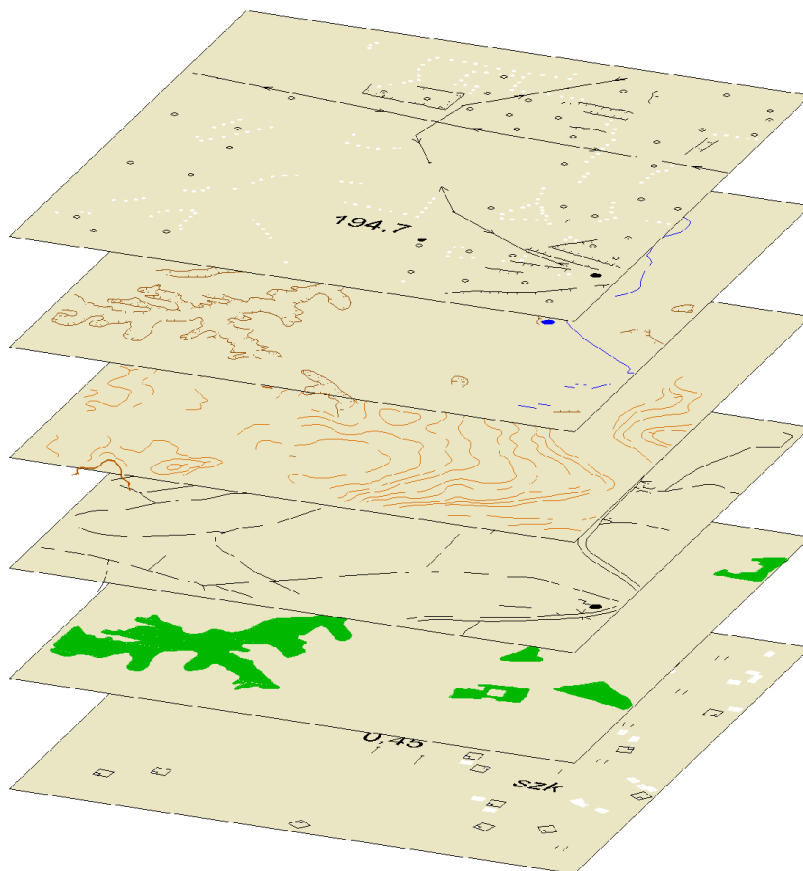
Definicji systemów informacji geograficznej jest tak wiele, jak wiele dziedzin, w których jest on wykorzystywany, dlatego każda definicja podkreśla różne jego funkcje i zalety.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, www.wis.pollub.pl,
email: mariola.jaworska91@gmail.com

² Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, www.wis.pollub.pl,
email: mikolaj.jaczynski@gmail.com

2.2. Struktura danych w systemie informacji przestrzennej

Bardzo przydatną cechą technologii GIS jest grupowanie obiektów w tzw. warstwach. Uzyskuje się w ten sposób hierarchiczną strukturę bazy danych, gdzie każda warstwa składa się tylko z obiektów o określonych wspólnych cechach. W GIS wyróżnia się dwa podstawowe modele danych: model rastrowy i wektorowy. W odniesieniu do wodociągów i kanalizacji stosuje się przede wszystkim model wektorowy, zaś model rastrowy stanowi zwykle podkład do warstw wektorowych. Obiekty w wektorowym modelu danych mają przypisaną konkretną lokalizację za pomocą współrzędnych geograficznych. Dokładność tego modelu zależy od dokładności określenia współrzędnych kolejnych punktów. W modelu tym obiekty przedstawiane są za pomocą punktów oraz ich zbiorów. Dodatkowo istnieje możliwość dodawania informacji o związkach topologicznych pomiędzy poszczególnymi obiektami [4].



Rys. 1. Warstwy w GIS [opracowanie własne]

Części składowe systemów GIS obejmują następujące składniki, wynikające bezpośrednio z definicji systemów informacji przestrzennej [5]:

- sprzęt komputerowy,
- oprogramowanie,
- dane wejściowe (mapy, dane opisowe),
- procedury do zarządzania i analizowania danych,
- ludzi obsługujących te systemy.

2.3. Dane wejściowe w GIS – modele danych

Podstawowymi modelami danych wykorzystywanych w technologii GIS, jak wcześniej wspomniano, są model rastrowy i model wektorowy.

Rastrowy model danych znajduje zastosowanie przede wszystkim do zbierania i przetwarzania danych otrzymywanych ze skanowania istniejących map, zdjęć zarówno lotniczych jak i satelitarnych czy obrazów teledetekcyjnych, a także dokumentów oraz protokołów. W modelu tym dane przechowywane są w postaci regularnych obiektów tzw. pikseli, o odpowiednim kolorze i współrzędnych, które tworzą obraz nazywany rastrem [4, 6].

Model wektorowy jest bezpośrednim, numerycznym przedstawieniem obiektów rzeczywistych przyporządkowując im kształty geometryczne w przestrzennym modelu danych. Obiekty można przedstawić za pomocą punktów, linii i obiektów powierzchniowych. Każdy punkt jest określony parą współrzędnych w określonym układzie, które pozwalają go zlokalizować względem punktu odniesienia. Model wektorowy jest bardziej precyzyjny, jego główną zaletą jest bezpośrednie odwzorowanie rzeczywistości. Znajduje zastosowanie przede wszystkim do nowych danych wprowadzanych bezpośrednio do bazy [6].

Dane geograficzne są danymi opisującymi obiekty, odniesione do powierzchni Ziemi. Obejmują one zarówno właściwości geometryczne, położenie w przyjętym układzie odniesienia, związki topologiczne pomiędzy poszczególnymi obiektami jak i właściwości obiektu takie jak: datę utworzenia czy nazwę własną. Obiekt jest pojęciem niezmiernie szerokim. Może odnosić się zarówno do elementów naturalnych jak rzeki, jeziora bądź obiektów sztucznych jak np. budynki, ale także może odnosić się do zjawisk przyrodniczych społecznych czy ekonomicznych. Jest więc pojęciem niejako umownego i symbolicznego określenia elementów otaczającego świata.

Sposób reprezentacji obiektów przez elementy modelu zależy również od dokładności opracowania. W opracowaniu drobnoskalowym rzeka reprezentowana może być za pomocą linii, ale już w bardziej dokładnym opracowaniu wielkoskalowym określać ją będzie wielobok o szerokości proporcjonalnej do naturalnej jej szerokości [5].

2.4. Współpraca narzędzi GIS z innymi narzędziami wykorzystywanymi w projektowaniu

Dodatkowe możliwości wykorzystania narzędzi GIS, a także jeszcze większą dokładność i użyteczność uzyskać można łącząc je z innymi narzędziami. Najbardziej popularną obecnie metodą jest łączenie systemów informacji przestrzennej z zaawansowanymi modelami, na przykład, hydrodynamicznymi, które są narzędziami symulacyjnymi. Pozwala to na obrazowanie zachodzących zjawisk na aktualnym odwzorowaniu terenu. Można w ten sposób prognozować przebieg wezbrań rzek, stref zalewowych, głębokości zatopienia, ilości ścieków deszczowych odprowadzanych z systemów kanalizacyjnych i wielu innych zjawisk. Następnie można w tym samym opracowaniu analizować skutki takich zjawisk, opracowywać kierunki ewakuacji czy możliwości minimalizowania negatywnych oddziaływań na środowisko i mieszkańców [7].

2.5. Funkcje GIS

Funkcje systemów informacji przestrzennej można podzielić na cztery główne grupy, które wynikają bezpośrednio z samej ich definicji [6]:

- wprowadzanie danych,
- zarządzanie danymi,
- przetwarzanie danych,
- udostępnianie danych.

Jedną z podstawowych funkcji systemów GIS jest wprowadzanie danych. Zastosowanie odpowiedniego oprogramowania może w znacznym stopniu ułatwić tworzenie baz danych, zwiększyć dokładność czy znacząco skrócić czas opracowywania [8].

GIS wspomaga również zarządzanie techniczną infrastrukturą liniową taką jak wodociągi czy kanalizacja. Wykorzystanie narzędzi dostępnych w technologii GIS umożliwia łatwiejsze monitorowanie sieci oraz identyfikowanie zgłoszonych awarii. Dzięki temu system ułatwia podejmowanie decyzji, które przekładają się na koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa. Pozwala to na najefektywniejsze wykorzystanie dostępnych urządzeń oraz podniesienie jakości oferowanych usług. Ułatwia także pozyskanie potencjalnych nowych klientów [9].

System GIS pozwala na usystematyzowanie posiadanych informacji oraz ich szybkie i proste aktualizowanie. Podczas nanoszenia zmian na mapę cyfrową, poprawiana jest tylko ta część, która tego wymaga. Nie ma potrzeby rysowania całej mapy od początku. Dzięki temu uzyskuje się dostęp do bieżących, aktualnych danych. Na podstawie zgromadzonych danych można prowadzić analizy, które wcześniej byłyby niemożliwe. Również klasyczne analizy prowadzone są o wiele sprawniej niż za pomocą tradycyjnych metod [8].

Łatwe udostępnianie, wykorzystanie oraz przechowywanie umożliwiają aplikacje dostosowane do różnych potrzeb w zależności od zakresu wykonywanych prac [2]:

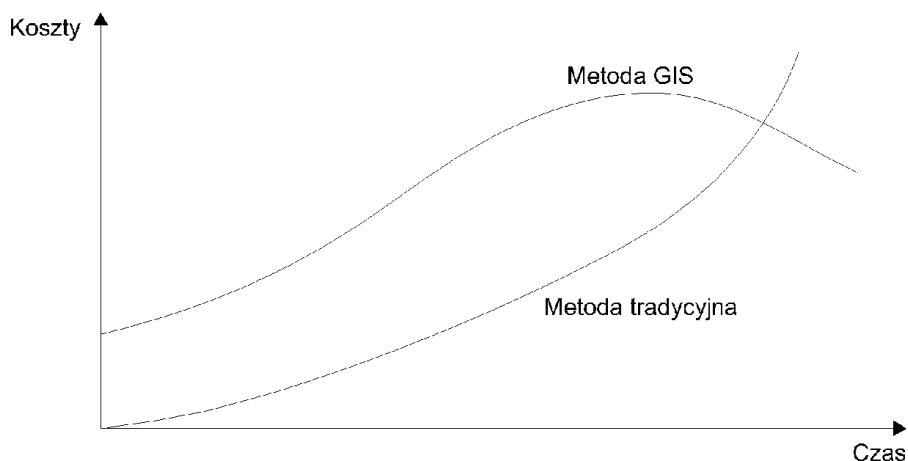
- aplikacja sieciowa – do tworzenia aplikacji mapowych, do tworzenia oraz wykorzystywania informacji udostępnianych w sieci przez innych użytkowników, do tworzenia map hybrydowych wykorzystując udostępniane serwisy mapowe, a także do przeglądania danych udostępnianych przez inne osoby oraz tworzenia własnych map, którymi również można podzielić się w sieci,
- aplikacja desktopowa – do budowania modeli, geobaz oraz zarządzania danymi przestrzennymi, także edycji danych oraz tworzenia szablonów map,
- aplikacja mobilna – do zbierania oraz aktualizowania danych na bieżąco w terenie, do wymiany aktualnych informacji o terenie z innymi osobami oraz do wykorzystania map i udostępnianych w ramach serwisów typu GIS.

2.6. Korzyści z zastosowania systemu GIS

Informacje na temat przestrzeni geograficznej gromadzone są obecnie coraz częściej w różnego rodzaju systemach GIS, dawniej gromadzone były jedynie w postaci papierowych map, które trudno jest aktualizować. Mapy tradycyjne mają ograniczony zasób informacji, są nietrwałe, trudno jest na ich podstawie generować raporty czy wykonywać analizy przestrzenne i statystyczne. Podobnie jest w przypadku analogowych wykazów danych. Wiele cennych informacji o terenie zgromadzonych jest również w „głowach pracowników”. Wiedza pracowników o sieci jest również cennym zasobem każdej firmy, co staje się poważnym kłopotem w przypadku odejścia pracownika, a wraz z nim cennych informacji o zarządzanej infrastrukturze i utrudnieniem dla funkcjonowania przedsiębiorstwa. Naprzeciw tym wszystkim problemom wychodzą systemy informacji przestrzennej – wyspecjalizowane narzędzia informatyczne służące do gromadzenia dowolnej ilości informacji o zarządzanej przestrzeni [10].

Początkowe koszty związane z wprowadzeniem technologii GIS są dużo wyższe niż opracowywane za pomocą metod tradycyjnych, jednak z biegiem czasu zwracają się one kilkakrotnie, co przedstawia rysunek 2 [8].

GIS wspomaga również zarządzanie techniczną infrastrukturą liniową taką jak wodociągi czy kanalizacja. Wykorzystanie narzędzi dostępnych w technologii GIS umożliwia łatwiejsze monitorowanie sieci oraz identyfikowanie zgłoszonych awarii. Dzięki temu system ułatwia podejmowanie decyzji, które przekładają się na koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa. Pozwala to na najefektywniejsze wykorzystanie dostępnych urządzeń oraz podniesienie jakości oferowanych usług [9].



Rys. 2. Koszty prowadzenia ewidencji danych o terenie [opracowanie własne na podstawie Litwin L, Myrda G, Systemy informacji geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS, wyd. Helion, Gliwice 2005]

Dzięki programom typu GIS możliwe jest [2]:

- podnoszenie efektywności planowania oraz analiz dzięki dostępowi do dużej ilości danych geoprzestrzennych,
- bardziej sprawne zarządzanie zasobami danych,
- zwiększenie świadomości działania dzięki łatwiejszemu zrozumieniu wpływu różnych czynników wpływających na procesy czy zjawiska,
- poprawienie koordynacji oraz efektywności prac w terenie.

Systemy informacji przestrzennej są narzędziami wspomagającymi w procesach decyzyjnych, ułatwiają racjonalne gospodarowanie środowiskiem przyrodniczym. Mogą wspomagać ochronę przed negatywnym oddziaływaniem zjawisk atmosferycznych na otoczenie. Jednocześnie umożliwiają prowadzenie analiz wariantowych. Połączenie tych narzędzi z modelami hydrodynamicznymi znacznie zwiększa dokładność prognoz i otwiera coraz to nowe możliwości [7].

3. Część metodyczna

W ramach opracowania wykonano, na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji, bazę danych typu GIS zlewni kanalizacji deszczowej osiedla Prusa w Lublinie. Znajduje się ono pomiędzy ulicami Nadbystrzycka, Filaretów, Tomasza Zana oraz fragmentem wąwozu Rury, pomiędzy ulicami Nadbystrzycka oraz Filaretów. Główną część terenu stanowi zabudowa wielorodzinna i budynki użyteczności publicznej: Szkoła Podstawowa nr 22, Przedszkole nr 57, IV Komisariat Policji, Miejska Biblioteka Publiczna Filia nr 28, Oddział Urzędu Pocztowego oraz liczne sklepy. Rzędne terenu zawierają się w przedziale od

187,9 m n.p.m. do 209,29 m n.p.m. Różnica poziomów wynosi 21,39 m. Osiedle znajduje się na wzgórzu, co tłumaczy tak duże zróżnicowanie wysokościowe.

W ramach niniejszego opracowania została wykonana baza danych typu GIS zlewni kanalizacji deszczowej osiedla Prusa w Lublinie. Do wykonania bazy danych posłużyły:

- ortofotomapa inwentaryzowanego obszaru. Format plików *.tiff, gdzie 1 piksel odpowiada 25 cm w terenie. Rozmiar poszczególnych plików z fragmentami analizowanego obszaru to około 50 MB,
- numeryczny model terenu. Format plików *.adf. 1 plik odpowiada 4 plikom z fragmentem ortofotomapy. Rozmiar pliku około 4 MB,
- przeprowadzona wizja lokalna.

Baza danych została utworzona w programie ArcMap firmy ESRI (rys. 3) na licencji Politechniki Lubelskiej, w celu uaktualnienia danych do projektowania oraz tworzenia analiz i modeli komputerowych kanalizacji deszczowej.



Rys. 3. Okno programu ArcMap firmy ESRI [opracowanie własne]

Utworzona baza danych zawiera typy zlewni cząstkowych. W zestawieniu tabelarycznym poszczególnym typom pokrycia terenu przypisano współczynniki spływu oraz współczynniki opóźnienia. Dla danego natężenia deszczu, o prawdopodobieństwie 20% i czasie trwania 15 minut oraz wysokości opadu normalnego przyjętego 650 mm, zgodnie z danymi IMiGW w latach 1971-2000, obliczono spływ ścieków deszczowych dla osiedla. Natężenie deszczu normalnego wyniosło $138,6 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$. Na tej podstawie przygotowane dane można wykorzystać podczas projektowania odwodnień wybranych obiektów. Efektem pracy jest zestawienie graficzne, które przedstawia rysunek 4 oraz tabelaryczne (tabela 1).



Rys. 4. Mapa zlewni osiedla Prusa w Lublinie utworzona w programie ArcMap
[opracowanie własne]

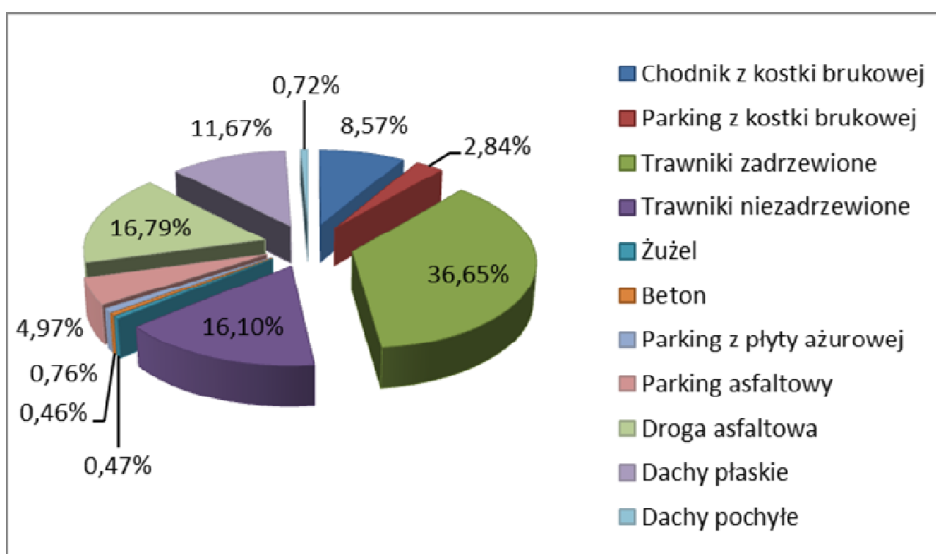
Tabela 1. Zestawienie powierzchni oraz spływu wód opadowych

Rodzaj powierzchni		Powierzchnia [m ²]	Współczynnik spływu Ψ	Udział procentowy [%]	φ	Ilość ścieków [dm ³ /s]
Nazwa	Przeznaczenie					
Kostka brukowa	Chodnik	24884,1	0,65	8,57%	0,80	178,49
	Parking	8236,8		2,84%	1,05	77,89
Trawniki zadrzewione	-	106437,0	0,05	36,65%	0,55	40,84
Trawniki niezadrzewione	-	46768,8	0,1	16,10%	0,68	44,08
Żużel	Bieżnia	1378,8	0,2	0,47%	1,94	7,40
Beton	Chodnik	1345,6	0,9	0,46%	1,95	32,76
Płyta ażurowa	Parking	2197,1	0,5	0,76%	1,46	22,24
Asfalt	Parking	14441,8	0,9	4,97%	0,91	164,33
	Droga	48775,6		16,79%	0,59	358,76
Dachy płaskie	-	33897,1	0,95	11,67%	0,67	297,12
Dachy pochyle	-	2082,1	0,95	0,72%	1,69	46,25
Σ		290444,8			Σ	1270,16

Źródło: opracowanie własne

Zgromadzone dane mogą być prezentowane z różną dokładnością. Można uzyskać bardzo dokładne dane dla celów projektowych, ale można też sprowadzić dane do prostego podziału na obszary zagospodarowane i niezagospodarowane oraz utworzyć analizę mniej dokładną np. w celu naliczania opłat za odprowadzanie wód deszczowych. Utworzoną bazę można na bieżąco modyfikować uaktualniając dane gdy zmienia się uszczelnienie powierzchni terenu, bez konieczności przerysowywania jej od początku, jak ma to miejsce w przypadku tradycyjnych map papierowych.

Na podstawie zgromadzonych w bazie danych przygotowano wykres przedstawiający udział procentowy typów powierzchni terenu osiedla Prusa w Lublinie. Tereny niezagospodarowane (trawniki zadrzewione i niezadrzewione) stanowią 52,75% terenu osiedla, tereny zagospodarowane stanowią natomiast 47,25% całkowitej powierzchni.



Rys. 5. Udział procentowy typów powierzchni terenu [opracowanie własne]

4. Podsumowanie

Budowanie baz danych typu GIS pozwala na ewidencję typów powierzchni na danych terenie ułatwiając chociażby późniejsze sprawdzanie przepływów ścieków deszczowych. Utworzona baza danych jest narzędziem znaczenie ułatwiającym oraz skracającym czas przygotowania projektu. Na jej podstawie można przygotować także komputerowy model hydrauliczny sieci kanalizacji, co znacząco wpłynie na przewidywanie funkcjonowania sieci kanalizacji deszczowej w mieście oraz ułatwi eksploatację i ewentualne decyzje dotyczące modernizacji. Początkowe koszty wprowadzenia technologii GIS są wysokie, jednak w perspektywie kilku lat zwracają się. Systemy informacji przestrzennej

wpływają na poprawę funkcjonowanie firm oraz ułatwiają pracę projektantom. Wdrożenie systemu GIS jest rozwiązaniem ekologicznym, ponieważ dane mogą być przechowywane w przestrzeni wirtualnej bez konieczności zużywania papieru, co ogranicza również miejsce potrzebne do archiwizacji danych.

Opracowanie zawiera bazę danych w postaci mapy zawierającej typy zlewni cząstkowych na terenie osiedla Prusa w Lublinie. Przygotowano również zestawienie tabelaryczne, w którym poszczególnym typom pokrycia zlewni przypisano współczynniki spływu i opóźnienia, a następnie określono natężenie deszczu miarodajnego i obliczono prawdopodobny spływ deszczu z terenu osiedla dla założonego czasu trwania i wysokości opadu. Daje to możliwości prowadzenia analiz o różnym stopniu dokładności. Zgromadzone dane można przedstawiać z największą dokładnością dla celów projektowych, ale można także tworzyć analizy mniej dokładne m.in. w celu naliczania opłat za odprowadzanie wód deszczowych. Na podstawie informacji zawartych w opracowanej bazie danych planowana jest budowa szczegółowego modelu kanalizacji deszczowej w programie EPA SWMM.

Podziękowania

Serdecznie dziękujemy dr inż. Grzegorzowi Łagódowi za cenne uwagi, udostępnienie potrzebnych materiałów oraz poświęcony czas.

Literatura

1. Coppock T. J., Handling Geographic Information. Report of the Committee of Enquiry Chaired by Lord Chorley. Department of the Environment, wyd. Taylor & Francis, 1987.
2. <http://www.esri.pl> dostęp: 16.01.2014r.
3. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., GIS. Teoria i praktyka, wyd. PWN, Warszawa 2006.
4. Kwietniewski M., GIS w wodociągach i kanalizacji, wyd. PWN, Warszawa 2008.
5. Bielecka E., Systemy informacji geograficznej. Teoria i zastosowanie, wyd. PJWSTK, Warszawa 2006.
6. <http://www.gisplay.pl> dostęp: 01.02.2014r.
7. Golba R., Wykorzystanie numerycznego modelu terenu i danych teledetekcyjnych do wyznaczania stref zalewowych obszaru Nowego Miasta Lubawskiego i okolic, Gospodarka wodna, 8'2009, 315-319.
8. Litwin L., Myrda G., Systemy informacji geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS, wyd. Helion, Gliwice 2005.
9. Davis D., Gis dla każdego: Systemy informacji geograficznej ułatwiają poznawanie świata, wyd. Mikom, Warszawa 2004.
10. Zaremba Ł., GIS w służbie Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie SA, Arcana GIS. Magazyn dla użytkowników oprogramowania ESRI, jesień 2013, 46-48.

Wykorzystanie narzędzi GIS w komputerowym wspomaganii projektowania

Streszczenie

Celem opracowania jest pokazanie zalet jakie niesie za sobą wdrożenie systemu informacji przestrzennej GIS. Systemy informacji geograficznej są wykorzystywane w wielu dziedzinach nauki. Ułatwiają oraz przyspieszają projektowanie, a także zwiększają dokładność prowadzonych analiz i symulacji. Systemy GIS są bardzo często wykorzystywane podczas budowy modeli hydrodynamicznych łącząc ich wspólne zalety i znacznie zwiększając dokładność tych modeli oraz dając nowe możliwości analizy zjawisk i zachodzących procesów. Budowa bazy danych typu GIS jest procesem wymagającym dużych początkowych nakładów finansowych, jednak koszty te zwracają się dość szybko znacząco ułatwiając prace oraz pozwalając na szybkie aktualizowanie danych w bazie, dzięki czemu analizy prowadzone będą zawsze w odniesieniu do najbardziej aktualnej sytuacji. Mapy w bazach danych nie są uzależnione od pierwszego wydania. Wykonana baza danych posłużyła do uaktualnienia danych niezbędnych do projektowania.

Słowa kluczowe: GIS, baza danych, ArcMap,

The use of GIS tools in computer assisted design

Abstract

The aim of this paper is to show the advantages which are inherent to the implementation of geographic information system GIS. Geographic information systems are used in many fields of science. They facilitate and accelerate the design and increase the accuracy of the analyzes and simulations. GIS systems are used in the construction of hydrodynamic models by combining their common advantages and significantly increase the accuracy of these models and provide new opportunities for the analysis of phenomena and processes taking place. Construction of GIS database is a process that requires a large initial financial outlay, but the costs return quickly greatly facilitating the work and allowing you to update the data in the database, so that the analysis will be carried out always in relation to most of the current situation. Map databases are not dependent on the first edition. The database was used to update the data necessary for the design.

Keywords: GIS, Database, ArcMap,

Zastosowania maszyn uczących się w nowoczesnym biznesie

1. Wstęp

Maszyny uczące się (ang. machine learning) nie jest nową dziedziną, ponieważ owa dziedzina powstała w połowie XX wieku. Jest to dziedzina, która szuka efektywnych sposobów na konstruowanie systemów, które dążą do samodoskonalenia. Maszyny te doskonalą się bez ingerencji człowieka poprzez analizę doświadczeń występujących w środowisku, w jakim pracują. Maszynowe uczenie się jest dziedziną interdyscyplinarną, ponieważ opiera się na dziedzinach takich jak: probabilistyka, teoria sterowania, filozofia, biologia i psychologia. Tworzenie systemów wymaga rozwiązywania problemów natury teoretycznej i praktycznej. Teoretyczne problemy są związane z budowaniem abstrakcyjnych modeli systemów uczących się, ich taksonomii. To także klasyfikacja i precyzyjne określenie pojęć determinujących całość dziedziny, jej podmiotowość, cechy, funkcje i wyodrębnienie. Praktyka koncentrujące się na wydajności i skuteczności działania tych systemów.

2. Uczenie się

Proces ten nie jest jednoznacznie sformułowany. Uczenie się można różnie definiować, w najprostszej definicji jest to zmiana [1], najczęściej pod wpływem otoczenia i innych procesów lub zdarzeń. Ale wspomnianą zmianą może też być zapominanie. Zmiany, zatem aby miały charakter pozytywny, muszą nieść ze sobą poprawę. Zmiana na lepsze dotyczy efektywności, skuteczności czy też zwiększenia funkcjonalności. Pozytywne zmiany w procesie uczenia się mogą być również mieszane, czyli takie, w których pozytywna zmiana wpływa negatywnie na jedną funkcję i jednocześnie ulepsza inną. Może się również zdarzyć że zmiana może być w całości negatywna, i wtedy nie jest tożsama z uczeniem się systemu. W tym sposobem możemy ocenić, jakość systemu, jego poziom rozwoju i nie zawodności. System ten, skoro się „uczy”, powinien się, zatem rozwijać.

Cechą takiego stanu jest autonomiczność [1], czyli zdolność do samorozwoju bez zewnętrznej pomocy. Po to by zachodzące zmiany były korzystne i mogło dojść do procesu uczenia się przez program, potrzebne są czynniki zewnętrzne

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Koło Naukowe Zastosowań Informatyki, www.knzi.pollub.pl, email: piotr.dudek10@gmail.com

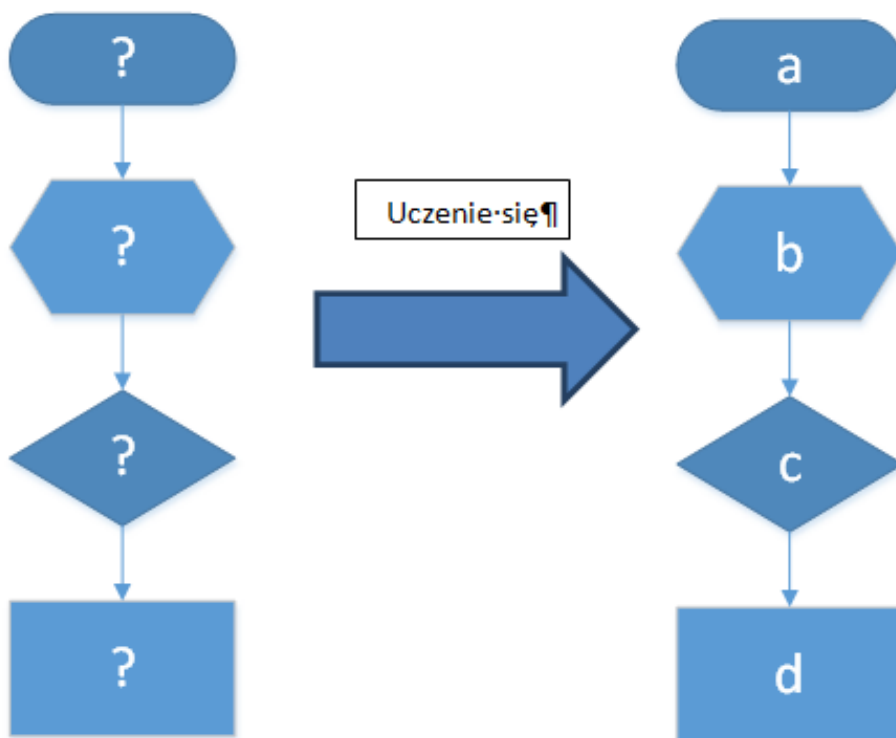
² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Koło Naukowe Zastosowań Informatyki, www.knzi.pollub.pl, email: jakubpizon@gmail.com

lub procesy (losowe lub nie), które dadzą miarodajną informację o stanie jego funkcji. Po zaobserwowaniu zmian w czynnikach, funkcje zmieniają się. Taką zmianę można nazwać uczeniem się, gdyż wynika ona z doświadczenia.

Dlatego też, definicja procesu uczenia wygląda następująco: „Uczeniem się systemu jest każda autonomiczna zmiana zachodząca w systemie na podstawie doświadczeń, która prowadzi do poprawy, jakości jego działania”.

2.1. Uczenie się w ujęciu algorytmicznym

Uczenie się w ujęciu algorytmicznym jest to program komputerowy o wysokiej elastyczności działania. Umożliwia to ogólny algorytm, który jest „sparametryzowany” i został wpisany w rdzeń programu. Program jest w stanie dopasować ogół rozwiązania jakiegoś problemu, do jego konkretnego odpowiednika. Sposób dostosowania zależy od danych historycznych i wspomnianych doświadczeń. Program przekształca sparametryzowany algorytm ogólny, do algorytmu konkretnego. Na rysunku 1 przedstawiono schemat algorytmicznego uczenia się.



Rys. 1. Algorytmiczne uczenie się [opracowanie własne]

2.2. Taksonomia uczenia się

Rodzaje te można podzielić na różne sposoby, najważniejszymi z nich są:

- metody reprezentacji wiedzy lub umiejętności,
- sposób używania wiedzy lub umiejętności,
- źródło i postać informacji trenującej.
- mechanizm nabywania i doskonalenia wiedzy lub umiejętności.

2.2.1. Reprezentacja wiedzy

Reprezentacja wiedzy – każda z dziedzin wiedzy, w jakiej programy te są wykorzystywane, ogranicza sposób, w jaki tę wiedzę można ją przedstawić. Zazwyczaj jest to kilka sposobów. Te metody to na przykład drzewa decyzyjne, reguły, rozkłady prawdopodobieństw. Bardzo często rozróżnia się tradycyjny podział na subsymboliczne i symboliczne metody reprezentacji. Pierwsza to metody przechowywania danych w sposób symboliczny, czyli w zorganizowane napisy, którym można przypisać interpretację. Wiedza reprezentowana w taki sposób jest łatwa w interpretacji przez człowieka. Subsymboliczna metoda zawiera informacje nieposiadające określonej i jasnej interpretacji. Są to najczęściej zbiory liczb, łańcuchów binarnych (algorytmy genetyczne [2]), które reprezentują wiedzę, ale nie postać tejże wiedzy nie jest zrozumiała dla człowieka.

2.2.2. Użycie wiedzy

Użycie wiedzy – sposób użycia jest ściśle uzależniony od celu istnienia tej wiedzy oraz jej przeznaczenia. Najczęściej jest to klasyfikacja obiektów lub wzorów, a także aproksymacja, czyli odwzorowanie obiektów lub wzorów na zbiór liczb rzeczywistych. Klasyfikacja to uczenie się pojęć, a przez pojęcie rozumie się widzę o przynależności obiektów pewnej dziedziny o określonej kategorii.

2.2.3. Informacja trenująca

Informacja trenująca – źródło i postać informacji trenującej prowadzi do pojęć związanych z uczeniem się z nadzorem i bez niego. System uczący się obserwuje odpowiednie wektory informacji i odpowiada na nie informacjami wyjściowymi.

2.2.4. Mechanizm nabywania i doskonalenia wiedzy lub umiejętności

Cały proces uczenia polega na tworzeniu algorytmów tworzenia odpowiedzi. Jeśli rozważymy uczenie się z nadzorem, „uczeń” otrzymuje informacje, która określa pożądaną odpowiedź dla informacji wejściowych. Są to przykłady postępowania, jakiego oczekuje się od takiego systemu. Uczenie się bez nadzoru nie posiada w ogóle takiej informacji. Uczeń nabywa wiedzę bazując tylko

i wyłącznie na obserwacji sekwencji odpowiedzi. Istnieje również uczenie się przez zapytania, wtedy to informacja również pochodzi od nauczyciela i ma postać odpowiedzi na zadane pytania. To uczeń dobiera przykłady, a nauczyciel tylko udziela odpowiedzi. Uczenie się eksperymentalnie następuje, gdy system sam gromadzi doświadczenia obcując tylko ze środowiskiem. Podjęte akcje mając cele obserwacyjne i konsekwencji działań. Idąc tym tropem dochodzimy do uczenia się ze wzmocnieniem, które polega na eksperymentowaniu, ale wykorzystuje dodatkowe źródło informacji trenującej, która jest swoistym „krytykiem” i ocenia, jakość działania. Informacja trenująca ma charakter nie instruktażowy (nie mówi, co uczeń powinien robić), lecz wartościujący (mówi uczniowi jak dobre lub złe jest jego działanie). Jeśli jakość danych jest odpowiednia to system zostaje nagrodzony pewnymi danymi liczbowymi, które są wzmocnieniami.

2.3. Wnioskowanie indukcyjne i dedukcyjne

Wnioskowanie indukcyjne określamy, jako stosowanie „wstecz” następującej reguły logicznej konsekwencji:

$$P \wedge W \mid = \quad (1)$$

gdzie:

P – zbiór przesłanek,

W – wiedzę wrodzoną ucznia,

K – zbiór konkluzji,

$\mid =$ symbol jest oznaczeniem logicznej konsekwencji.

To równanie mówi, że wiedza reprezentowana przez konkluzję K jest logiczną konsekwencją zbioru przesłanek P i wiedzy wrodzonej W . Mówiąc prościej K wynika z P i W w drodze logicznej dedukcji. Jeśli za zbiór przesłanek podstawimy informacje trenującą otrzymaną przez ucznia, z zbiór konkluzji uznamy za generowaną wiedzę, to równanie opisuje uczenie oparte na wnioskowaniu dedukcyjnym. Wtedy równanie jest czytane „w przód”, można również czytać „wstecz”, traktując K , jako informacje trenującą, a P , jako generowaną wiedzę w procesie uczenia. Wtedy takie podejście opisuje wnioskowanie indukcyjne.

W wyniku wnioskowania indukcyjnego otrzymywana jest hipoteza, która jest tożsama z generowaną wiedzą uzyskiwaną w wyniku algorytmicznego uczenia się. Wtedy reguła ma postać:

$$h \wedge W \mid = T, T = \quad (2)$$

gdzie:

h – hipoteza, T – informacja trenująca.

Możemy, zatem stwierdzić, że informacja trenująca uzyskana przez ucznia jest logiczną konsekwencją jego wiedzy wrodzonej i wygenerowanej hipotezy. Indukcyjna hipoteza oraz wiedza wrodzona wyjaśnia otrzymaną informację trenującą. Powyższa relacja może zachodzić tylko wtedy, gdy jej składowe są poprawne. Często precyzyjne stwierdzenie nie jest możliwe i trzeba przyjąć wartość przybliżoną.

3. Zastosowania

3.1. Algorytm Bayesa

Zanim przejdziemy do omówienia przykładów klasyfikacji danych, zostanie omówiony algorytm Bayesa [1], który jest algorytmem określania prawdopodobieństwa warunkowego. W teorii tej występują zdarzenia o określonych cechach. Cechy te znajdują się w danych trenujących będących konsekwencją uczenia się i wiedzy wrodzonej programu. Prawdopodobieństwo danych oznaczmy symbolem D , potencjalną przestrzeń hipotez H . Zakładamy, że dla każdej hipotezy $h \in H$ przypisano jej prawdopodobieństwo *a priori* (przed zdarzeniem), ma to za zadanie określić czy przy wyznaczaniu prawdopodobieństwa nie brano pod uwagę żadnych mających znaczenie obserwacji (dane). Z kolei uwzględnienie takich danych prowadzi do określenia prawdopodobieństwa *a posteriori* hipotezy h , jako prawdopodobieństwa warunkowego $\Pr(h|D)$, przy czym D określa dane mogące wpłynąć na wartość prawdopodobieństwa hipotez.

Twierdzenie Bayesa:

$$\Pr(h|D) = \frac{\Pr(h) \Pr(D|h)}{\Pr(D)} \quad (3)$$

Wzór ten ukazuje zależność pomiędzy dwoma prawdopodobieństwami, $\Pr(D)$ i $\Pr(D|h)$. $\Pr(h)$ oznacza prawdopodobieństwo zaobserwowania danych D , unikając stwierdzenia, że dana hipoteza jest prawdziwa. Oznaczenie $\Pr(D|h)$, określa prawdopodobieństwo zaobserwowania danych, ale przy założeniu, że hipoteza h jest poprawna.

Załóżmy że omawiana przestrzeń hipotez H składa się ze skończonej liczby hipotez, które parami się wykluczają:

$$(\forall h_1, h_2 \in H) \Pr(h_1 \wedge h_2) = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{h \in H} \Pr(h) = 1 \quad (5)$$

Warunek pierwszy mówi, że obie hipotezy nie są zarazem poprawne, drugi, że poprawna jest, co najmniej jedna z nich. Przyjmując te warunki możemy obliczyć prawdopodobieństwo całkowite:

$$\Pr(D) = \sum_{h \in H} \Pr(h) \Pr(D|h) \quad (6)$$

W chwili, gdy podstawimy wyrażenia pod wzór Bayesa otrzymujemy:

$$\Pr(h|D) = \frac{\Pr(h) \Pr(D|h)}{\sum_{h' \in H} \Pr(h') \Pr(D|h')} \quad (7)$$

W ten sposób otrzymaliśmy wzór, według którego działają omawiane algorytmy klasyfikujące dane zawierające interesujące nas cechy.

3.2. Klasyfikacja

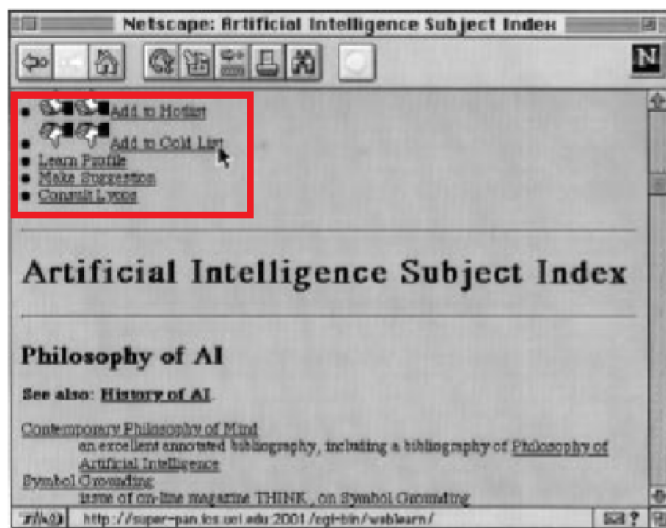
Już dość starym, ale bardzo ciekawym zastosowaniem uczenia się maszyn jest wykorzystanie w przeglądarkach internetowych i silnikach wyszukiwania do klasyfikacji stron internetowych pod kątem słów kluczowych typowanych przez użytkownika. Ten schemat można wykorzystać w marketingu i sklepach internetowych w celu dopasowania ofert lub produktów na etapie samego ich szukania. Algorytm z pomocą użytkownika, jego gustu, pomoże znaleźć produkty dopasowane do wielu wymagań. Programy uczące się mogą być zaimplementowane nie tylko po stronie użytkownika, ale po stronie właściciela sklepu, wtedy danych statystycznych będzie więcej i wyszukiwania będą trafniejsze.

3.2.1. Przykład pracy algorytmów

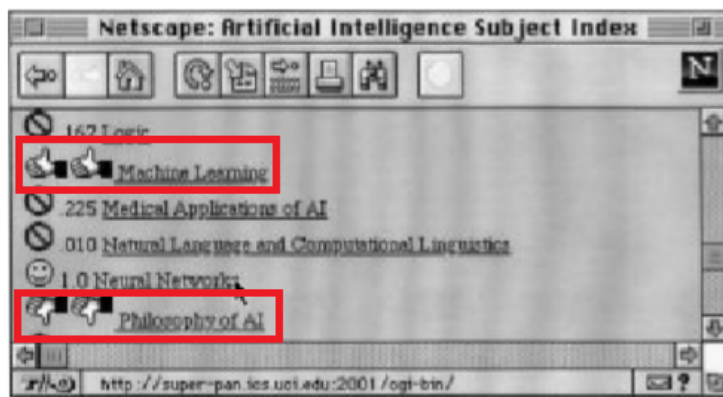
Dane charakterystyczne, za pomocą, których robot będzie przeszukiwał sieć w celu lepszego dopasowania wyników przy kolejnych wyszukiwaniach w podobnych tematach, to informacja trenująca. Uczenie się profilu polega na analizie danych historycznych i tak oto powstaje „profil użytkownika”. Robotami zaimplementowanym są „Syskill” i „Webert” [3]. Programy te opierają się na prawdopodobieństwie warunkowym, a konkretnie algorytmie Bayesa. Za pomocą naiwnych klasyfikatorów wyżej wymienionego matematyka, algorytmy te szukają na podstawie tytułów i słów kluczowych, pasujących stron zawierające podobne treści wraz z ich odróżnieniem.

Żeby użyć robotów to użytkownicy decydują, co i kiedy chcą przeglądać. Użytkownik podaje, czego chce szukać. Wpisuje w pole adres URL stronę i interesujący go temat, po czym robot przeszukuje sieć. Znajdując różne treści rozróżnia je i przedstawia użytkownikowi. Gdy użytkownik przegląda znalezione treści, ma możliwość ocenienia trafności programu. Każda strona

posiada rating, który później instruuje program w celu szukania lepszych storn w przyszłości. Rating znalezionych treści może być gorący (hot) lub chłodny (cold). Zależy to od tego czy użytkownik zaznaczy dwa kciuki w górę lub dwa w dół. Jest to wykorzystanie czysta nakierowane na użytkownika, w celu znajdowania przez niego pożądaných treści.



Rys. 2. Wynik pracy algorytmów – robotów [3]



Rys. 3. Wynik pracy algorytmów – robotów [3]

3.3. Algorytmy i uczenie się treści

Nadzorowane algorytmy uczenia się dopasowują pożądanę treść szukaną przez użytkownika i eliminują te, które są niewłaściwe. Większość algorytmów wymaga wektorów cech. Dlatego też strony źródła stron HTML są konwertowane do wartości logicznych, które wskazują czy szukane słowa

występują, lub nie, w informacjach na stronie. Nie wszystkie słowa na stronach są wykorzystywane, ze względu na podejście informacyjno-deterministyczne. Wykorzystywane są słowa, które dają największe prawdopodobieństwa trafienia. Jest to osiągane przez odnajdywanie oczekiwanych informacji, w których obecność lub jej brak dla danego słowa daje kierunek klasyfikacji elementów na stronach (S)³:

$$E(W, S) = I(S) - [P(W = present)I(S_{w=present}) + P(W = absent)I(S_{w=absent})] \quad (8)$$

gdzie:

$$I(S) = \sum_{c \in \{hot, cold\}} -p(S_c) \log_2(p(S_c)) \quad (9)$$

$P(W=present)$ jest prawdopodobieństwem, że W obecne na stronie, i $(S_w=present)$ jest zestawem stron, które zawierają, co najmniej jedno z słów W i S_c , które należą do klasy c . Przy pomocy tego podejścia, algorytm znajduje k słów mających największą pojemność informacyjną.

Po przekonwertowaniu kodu źródłowego HTML, który daje pozytywne lub negatywne przykłady wektorów cech, możliwe jest zaimplementowanie algorytmów, które odpowiednio przetworzą dane. Algorytmy te bazują na naiwnych klasyfikatorach Bayesa (przewidywanie w czasie, łatwość dodawania nabytej wiedzy), który jest właściwym algorytmem do tego zadania.

Klasyfikator ten jest probabilistyczną metodą klasyfikacji, która jest używana do określenia prawdopodobieństwa takiego, że przykład f należy do klasy C_i :

$$P(C_i | A_1 = V_{1_j} \& \dots \& A_n = V_{n_j}) \quad (10)$$

Gdy atrybuty wartości są niezależne, wtedy prawdopodobieństwo jest równoważne:

$$P(C_i) \prod_k P(A_k = V_{k_j} | C_i) \quad (11)$$

Oba prawdopodobieństwa $P(A_k = V_{k_j} | C_i)$ (prawdopodobieństwo, że strona zawiera słowo uznane za "hot") i (prawdopodobieństwo, że strona ma status „hot”) może być szacowane z informacji trenujących. Algorytm ustala najbardziej prawdopodobną klasę (status hot lub cold) oraz prawdopodobieństwo tego, że klasy te zostały skalkulowane.

³ Learning and Revising User Profiles: The Identification of Interesting Web Sites, s. 314.

Ten algorytm jest wykorzystywany jest po stronie użytkownika, zaimplementowany w kodzie źródłowym przeglądarki. Nie oznacza to, że jest to jedyna możliwość. Jedno z możliwych zastosowań może być, i obecnie jest wdrażane, jako sugestia przy wyborze produktów w sklepach internetowych.

4. Web Learning (szkolenia)

W obecnych czasach sieć WWW stała się najważniejszym środkiem komunikacji i przesyłania informacji. Biznes szybko wykorzystał potencjał Internetu do promowania różnej działalności gospodarczej, produktów i kontaktów z klientami. W biznesie najważniejszy jest klient i za pomocą narzędzi sztucznej inteligencji próbuje się poznać schemat jego działania w sieci. Jego zachowanie pokazuje, co i gdzie zechce kupić. Dlatego też powstały narzędzia do analizy zachowań konsumenckich, które analizują i pomagają lepiej dopasować oferty do aktualnych potrzeb. Zastosowanie to dotyczy również szkoleń i seminariów online.

4.1. Narzędzia e-learning systems

NetTricker [3] to narzędzie sadystyczne, które pozwala na ograniczoną analizę log'ów z sieci, w których to są zamieszczone dane o tym, czego użytkownik szuka. Usuwa to, co jest nie potrzebne i konkretyzuje polecenie użytkownika. Polega to na rozpoznaniu sekwencji zdarzeń A, B, C, gdzie A, B, C to sekwencja żądań użytkownika, jakie wpisał do wyszukiwarki. Problemem jest protokół http i rozpoznanie początku i końca żądań użytkownika. Protokół wymienia dane pomiędzy serwerami i przeglądarkami internetowymi, ale nie śledzi sesji wyszukiwania.

Wiele storn e-learning jest generowana automatycznie za pomocą skryptów. Mapowanie dostępu do stron i ich zawartości polega na zmianie przypisanych wartości parametrów skryptu, na konkretne działania użytkowników. Zadanie nie jest łatwe gdyż wymaga znajomości skryptu i jego parametrów, a także tabel zawierających dane, które muszą być zaimplementowane przez twórców aplikacji. Wynikiem jest sekwencja działań uczącej się aplikacji, która analizuje poczynania użytkownika. Program wnioskuje po zawartości pamięci podręcznej, w jaki sposób odwiedzane strony były odwiedzane i jak optymalnie są połączone. Po ukończeniu tego zdania otrzymujemy cenne informacje, które przybierają postać profili użytkowników.

WebSIFT [4] jest to zestaw narzędzi, które są w stanie eksplorować dane na wiele sposobów, w tym analizę dzienników z sieci zawierających informacje o profilach użytkownika, i na tej podstawie może szukać schematów postępowania w sieci.

WebLogMiner [4], jako jedno z narzędzi uczących się, które technologii przechowywania danych do wykrywania trendu w web-logach. Jednak te narzędzia nie są zintegrowane z systemami e-learning, co może być uciążliwe

dla trenera systemu, który nie posiada rozległej wiedzy w eksploracji wiedzy, która mógłby wykorzystać do podniesienia efektywności tych systemów. Nowe systemy eksploracji danych umożliwiają oszacowanie uczenia się systemu, online. Dla nauczycieli edukacja oparta o sieć WWW, może przynosić dużo korzyści związanych z śledzeniem zdarzeń na stronach www, na których odbywa się kurs, i wydzielić wzorce oraz zachowania, które wymagają poprawy i adaptacji kursanta.

Zaprezentowany algorytm kategoryzacji danych może być używany do automatycznego selekcjonowania wiadomości od słuchaczy wysyłanych do systemu w kolejności by dać nauczycielom lepsze oszacowanie i ocenę informacji, które zostały wymienione pomiędzy nimi a studentami.

Sieć jest bardzo dobrym narzędziem do nauczania na odległość, ale poleganie tylko i wyłącznie na statystycznych analizach nie zapewni pełnego obrazu na wartość danych zawartych w logach, bowiem zawierają one ukryte informacje, których statystyka nie obejmuje, a mimo to są niezwykle cenne.

5. Podsumowanie

Zastosowania przedstawione przez autorów przedstawiają zarysy konkretnych zastosowań biznesowych, a dokładniej, nakierowują na drogę wykorzystania ich w biznesie. Programy uczące się mają zaprogramowaną „inteligencję”, która pomaga wykonywać wiele różnorodnych zadań. Obecnie tematyka maszyn uczących się wraca do łask po wielu latach zapomnienia. Przede wszystkim algorytmy, o których była mowa, mogą służyć do szacowania i określania trendu na podstawie statyki oraz regresji liniowej. Maszyny uczące się ciągle się rozwijają i niedługo może nastąpić fuzja systemów eksperckich i subdziedziny sztucznej inteligencji, jaką jest maszynowe uczenie się. Cechą wyróżniającą te systemy jest umiejętność przystosowania się do zmian, których jak wiemy, w środowisku biznesowym jest ich wiele. Pomimo zapomnienia systemy te mają ukryty potencjał, który może być wykorzystany nie tylko w biznesie, ale i wielu innych dziedzinach życia, w których elastyczność jest cechą wysoce pożądaną.

Literatura

1. Cichosz, P. Systemy uczące się. Warszawa : Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, 2000, s. 34.
2. Kozłowski, M. Systemy uczące się – studium problemów. [Online] [Zacytowano: 2013 12 26.] <http://home.elka.pw.edu.pl/~mkozl3/artykuly/M.Kozlowski.pdf>
3. Learning and Revising User Profiles: The Identification of Interesting Web Sites. PAZZANI, MICHAEL i BILLSUS, DANIEL. 27: Kluwer Academic Publishers, 1997, Machine Learning.
4. Zaiane, O. R. Web Usage Mining for a Better Web-Based Learning Environment. [Online] 2014 02 10. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.799&rep=rep1&type=pdf>

Zastosowania maszyn uczących się w nowoczesnym biznesie

Streszczenie

Artykuł dotyczy zagadnień związanych z maszynami uczącymi się (ang. Machine learning), która powstała w połowie XX wieku. Jest to dziedzina, która szuka efektywnych sposobów na konstruowanie systemów, które dążą do samodoskonalenia. Maszyny te doskonalą się bez ingerencji człowieka poprzez analizę doświadczeń występujących w środowisku, w jakim pracują. Dlatego też, celem artykułu było przedstawienie konceptów związanych z funkcjonowaniem maszynowego uczenia ze strony korzyści biznesowych jak i trudności wiążących się tworzeniem takich systemów w zakresie budowania abstrakcyjnych modeli systemów uczących się, ich taksonomii. Cały opis został wykonany w oparciu o klasyfikacje i precyzyjne określenie pojęć determinujących całość dziedziny, jej podmiotowość, cechy, funkcje i wyodrębnienie. Praktyka koncentruje się na wydajności i skuteczności działania tych systemów.

Zastosowania przedstawione przez autorów przedstawiają zarysy konkretnych zastosowań biznesowych, a dokładniej, nakierowują na drogę wykorzystania ich w biznesie. Obecnie tematyka maszyn uczących się wraca do łask po wielu latach zapomnienia. Maszyny uczące się ciągle się rozwijają i niedługo może nastąpić fuzja systemów eksperckich i subdziedziny sztucznej inteligencji, jaką jest maszynowe uczenie się. Cechą wyróżniającą te systemy jest umiejętność przystosowania się do zmian, których w środowisku biznesowym jest bardzo dużo.

Podsumowując artykuł, zwraca uwagę na fakt iż pomimo zapomnienia systemy te mają ukryty potencjał, który może być wykorzystany nie tylko w biznesie, ale i wielu innych dziedzinach życia, w których elastyczność jest cechą wysoce pożądaną.

Słowa kluczowe: maszyny uczące się, biznes, technologie

Machine learning applications in modern business

Abstract

This article applies to issues related to machine learning (called Machine Learning), which was founded in the mid-twentieth century. This is an area that is looking for effective ways to construct systems that strive for self-improvement. These machines are perfected without human intervention by analyzing the experiences that occur in the environment in which they work.

Therefore, the aim of this article was to present the concepts associated with the operation of machine learning on the part of the business benefits and difficulties involving creation of such systems in building abstract models of learning systems and their taxonomy. The entire description has been made on the basis of classification and determining the precise definition of the concepts of the whole field, its subjectivity, features, functions and separation. The practice of focusing on the efficiency and effectiveness of these systems.

Applications submitted by the authors present the outlines specific business applications, and more specifically, to direct the way to use them in business. Currently machine learning topics back into favour after many years of oblivion. Machine learning continues to grow, and soon may be a fusion of expert systems and artificial intelligence subdziedziny, which is a machine learning. The distinguishing feature of these systems is the ability to adapt to changes in the business environment which is very much.

In conclusion the article draws attention to the fact that despite forgetting those systems have hidden potential that can be used not only in business, but also many other areas of life where flexibility is highly desirable feature.

Keywords: machine learning, business, ai, artificial intelligence, appliances

Zużycie wirników pomp na skutek eksploatacji w warunkach kawitacji

1. Wprowadzenie

W technice zjawisko kawitacji zaobserwowano po raz pierwszy w 1895 roku [1,2]. Poznanie mechanizmu zachodzenia zjawiska kawitacji, sposobów skutecznego zapobiegania jego powstawaniu i ograniczenia skutków erozji kawitacyjnej przyczyniły się do rozwoju pomp wirowych, turbin wodnych i pędników okrętowych.

Pompy są maszynami szeroko rozpowszechnionymi w świecie. Świadczy o tym m.in. fakt, że do napędu pomp zużywa się 20÷30% energii elektrycznej produkowanej w poszczególnych krajach [3]. Kawitacja w sposób znaczący wpływa na spadek wydajności maszyn hydraulicznych oraz może prowadzić do ich przyspieszonego zużywania bądź awarii. Stanowi ona jeden z głównych czynników, obok erozji i korozji, powodujących zużywanie elementów układów pompowych np. wirników pomp [4,5]. Występowaniu zjawiska kawitacji w układach pompach sprzyjają duże prędkościami przepływu cieczy, niskie ciśnienia w całym układzie przepływowym, ponadto także gwałtowne zmiany wartości i kierunku przepływu cieczy, przepływy z oderwaniem warstwy przysięennej i inne zakłócenia przepływów [6].

Celem pracy jest opisanie przykładów zużycia kawitacyjnego wirników pomp oraz sposobów ograniczania zużycia.

2. Zjawisko kawitacji i erozji kawitacyjnej

Kawitacją nazywamy zjawisko wywołane w obszarze płynącej cieczy, spowodowane miejscowym obniżeniem się ciśnienia poniżej wartości krytycznej, bliskiej ciśnieniu parowania cieczy p_v przy danej temperaturze i polegające na tworzeniu się pęcherzyków parowo – gazowych w miejscach najniższego ciśnienia oraz ich gwałtownym zanikaniu (implozji) w strefie wyższego ciśnienia [1,7–10].

Erozję kawitacyjną nazywane jest zjawisko mechanicznego niszczenia materiału wskutek implozji pęcherzyków kawitacyjnych w pobliżu lub bezpośrednio na powierzchni ścian i polegające na powstaniu ubytku materiału. Nieco szerszym pojęciem jest uszkodzenie kawitacyjne, które obejmuje zarówno

¹ Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, www.kim.pollub.pl, www.wm.pollub.pl, email: m.szala@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, email: bartosz.filip5@gmail.com

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, email: iwonalenart29@wp.pl

erozje kawitacyjną, jak i inne uszkodzenia, takie jak odkształcenie materiału, zmiany stanu naprężeń w warstwie powierzchniowej, zmiany strukturalne, zmęczenie materiału, mikropęknięcia itp. [1,10]. Na przebieg erozji kawitacyjnej wpływa wiele parametrów uwzględniających fizyczne i chemiczne właściwości cieczy i niszczonego materiału oraz natężenie kawitacji.

Erozja kawitacyjna jest związana z dwoma zjawiskami tj. emisją fali uderzeniowej wskutek implozyjnego zaniku pęcherzyka kawitacyjnego oraz powstaniem bardzo szybkiej mikrostrzałki kumulacyjnej skierowanej do niszczonej ścianki. Erozja kawitacyjna ma charakter procesu zmęczenia [1,8,10,11].

2.1. Kawitacja w pompach i układach pompowych

Zjawisko kawitacji występuje w maszynach i urządzeniach przepływowych, a więc pompach, turbinach wodnych, zaworach zasuwach, dyszach i zwężkach pomiarowych i wszędzie tam, gdzie występuje przepływ cieczy.

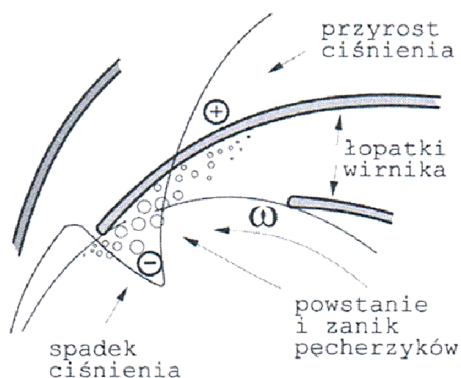
Ze względu na charakter sposobu przenoszenia cieczy z przestrzeni ssawnej do przestrzeni tłocznej, pompy dzielimy na dwie zasadnicze kategorie: pompy wyporowe i pompy wirowe [6]. Kawitacja występuje głównie w pompach wirowych, w pompach wyporowych występuje rzadziej, ze względu na stosunkowo małe prędkości przepływającej cieczy [2,7].

W pierwszym przybliżeniu przyjmuje się, iż tworzenie się pęcherzyków powietrza (a więc i powstawanie kawitacji) następuje wówczas, gdy ciśnienie w cieczy spada do wartości równej, lub bliskiej ciśnieniu pary nasyconej p_v cieczy w danej temperaturze. Typowym przykładem jest kawitacja u wlotu wirnika pompy – rys. 1.

W pobliżu krawędzi wlotowej wirnika występuje miejscowy opór (zwężenie przekroju przepływowego) i gwałtowny wzrost prędkości. Jeśli skutkiem tego ciśnienie spadnie lokalnie do wartości ciśnienia parowania, nastąpi odparowanie w skali zależnej od tego spadku.

Powstające tam pęcherzyki przemieszczają się wraz ze strumieniem cieczy do wnętrza kanału międzyłopatkowego wirnika, gdzie implodują [12].

W rzeczywistości kawitacja pojawia się przy ciśnieniu krytycznym p_{cav} , które różni się od prężności pary nasyconej cieczy. Różnice między ciśnieniami p_{cav} i p_v zależą m.in. od rodzaju i stanu cieczy oraz od stopnia jej czystości. Dodatkowe



Rys. 1. Kawitacja u wlotu wirnika pompy [12]

składniki zawarte w cieczy (np. rozpuszczone w niej gazy) osłabiają bowiem jej spójność i ułatwiają powstanie kawitacji przy ciśnieniu nieco większym od ciśnienia p_v . Procesowi powstawania, rozrostu i zasklepiania się pęcherzyków kawitacyjnych towarzyszy szereg zjawisk pochodnych, o charakterze akustycznym, mechanicznym i termodynamicznym [1,2,9,10,13].

Wywołane tym zjawiskiem implozje następują szybko po sobie, przy czym pęcherzyki pary powstają zarówno w najbliższym sąsiedztwie atakowanej powierzchni, w miejscach występowania niejednorodności powierzchni (porach, pęknięciach, rysach, itp.), powodując zmiany w warstwie wierzchniej i ubytek materiału. Bombardowanie powierzchni przez implodujące pęcherzyki pary powodują drgania całej ściany przyległej do obszaru kawitacji. Przy intensywnym przebiegu zjawiska kawitacji drgania te przenoszą się na całą pompę, a nawet na jej fundament. Kawitacji towarzyszą szum i trzaski, a przy dużym natężeniu – silny hałas spowodowany wibracjami pompy.

Występowanie zjawiska kawitacji w układach pompowych można podzielić na trzy fazy [7]:

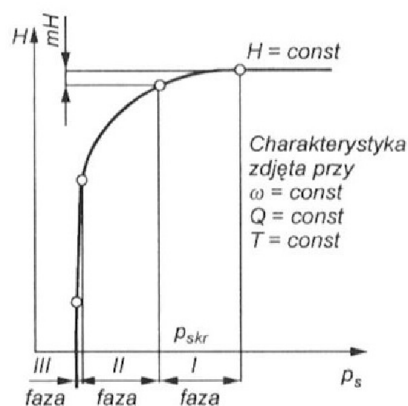
I. W pierwszym tzw. początkowym stadium, gdy zaczynają się tworzyć pęcherzyki parowo – gazowe, kawitacja nie wpływa ujemnie na pracę pompy, a nawet zdaniem niektórych badaczy powoduje nieznaczny wzrost sprawności η , tłumaczony zmniejszeniem się oporów tarcia cieczy o ścianki, dzięki pęcherzykom.

II. W drugim stadium tzw. rozwiniętej kawitacji, implozje pęcherzyków wywołują drgania całej pompy, a jednocześnie występują silne nieregularne wahania wskazań mierników ciśnienia na tłoczeniu, a w jeszcze większym stopniu po stronie ssawnej pompy oraz widoczny spadek wysokości podnoszenia H i sprawności η .

III. W trzecim stadium tzw. bardzo silnej kawitacji, występuje załamanie się charakterystyk (krzywych) przepływu, poboru mocy P oraz sprawności η .

O kawitacji występującej w pompach mogą świadczyć [6]:

- zwiększony hałas i drgania spowodowane znacznymi pulsacjami ciśnień,
- widoczne obniżenie się parametrów pracy, zwłaszcza wysokości podnoszenia H , a nawet zerwanie słupa cieczy i spadek wydajności do zera,
- znalezienie się punktu pracy na charakterystyce w obszarze I, II lub III fazy kawitacji (rys. 2),
- zniszczenia spowodowane erozją kawitacyjną, będące najbardziej oczy-

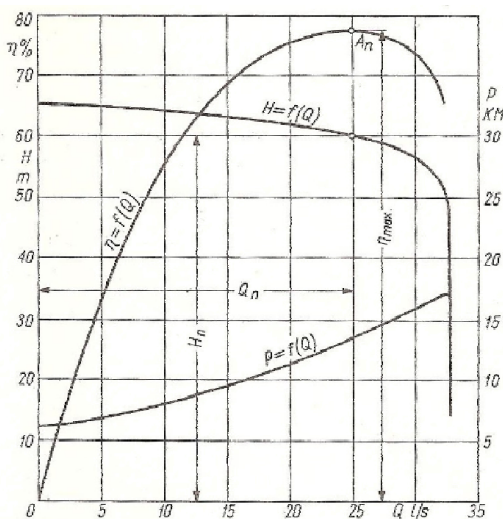


Rys. 2. Przykładowa krzywa rozwoju kawitacji. H – wysokość podnoszenia; p_s – ciśnienie na ssaniu, ω – prędkość kątowa, Q – wydajność, T – temperatura [3]

wistym dowodem występowania kawitacji w dostatecznie długim okresie czasu.

Jak podaje Łazarkiewicz i Troskoleński [2], załamanie krzywych charakterystycznych pomp wirowych występuje w różny sposób, przy czym charakter tego załamania zależy głównie od szybkobieżności pompy, n_{sf} .

Dla przykładu na wykresach charakterystycznych (rys. 3) pomp odśrodkowych o małej szybkobieżności ($n_{sf} \leq 90$) zaczątek kawitacji zaczyna się wyraźnym załamaniem krzywych $H=f(Q)$, $P=f(Q)$ i $\eta=f(Q)$.



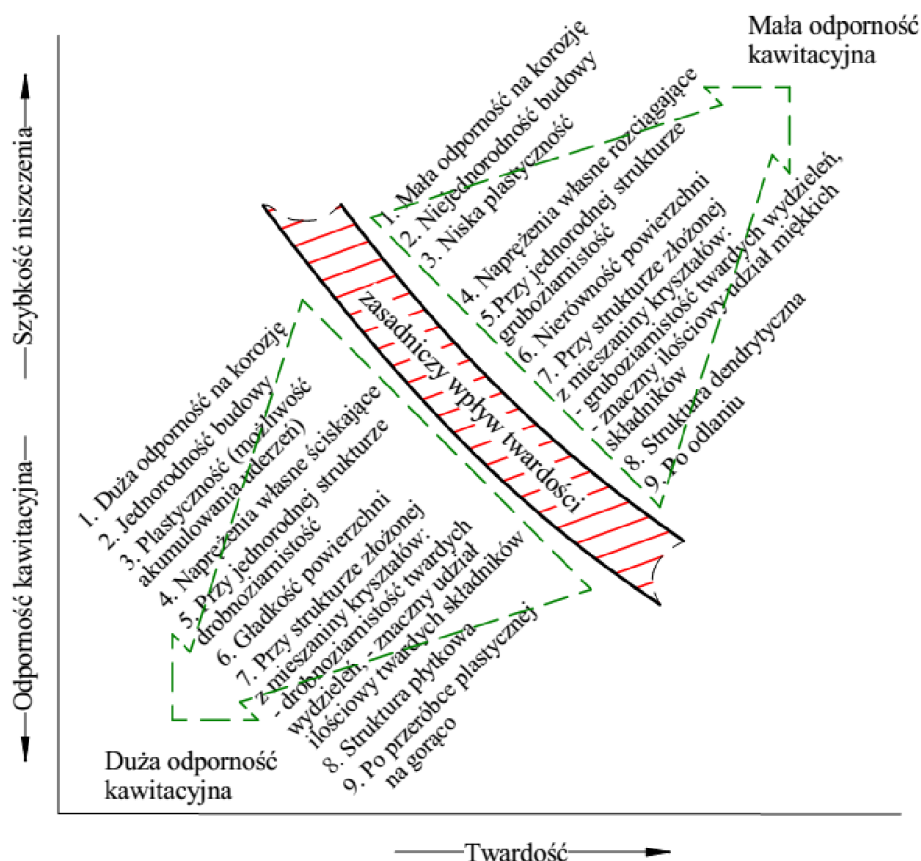
Rys. 3. Krzywe charakterystyczne jednostopniowej wolnobieżnej pompy odśrodkowej poddanej działaniu kawitacji. H – wysokość podnoszenia, Q – wydajność pompy [2]

2.2. Wpływ rodzaju materiału i jego właściwości na odporność na zużycie kawitacyjne

Odporność kawitacyjna różnych tworzyw konstrukcyjnych jest unikalną własnością danego materiału [14]. Liczne badania różnych materiałów [8,15–17], a w szczególności metali i ich stopów wykazały że, na ich odporność kawitacyjną wywierają wpływ różne czynniki [2,4,8]: 1) skład chemiczny, 2) twardość, 3) sposób kształtowania elementu (odlewanie, walcowanie, kucie), 4) obróbka cieplna, 5) obróbka mechaniczna, 6) obróbka gładkościowa.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność odporności metali na działanie kawitacji od ich właściwości fizyko-chemicznych i strukturalnych.

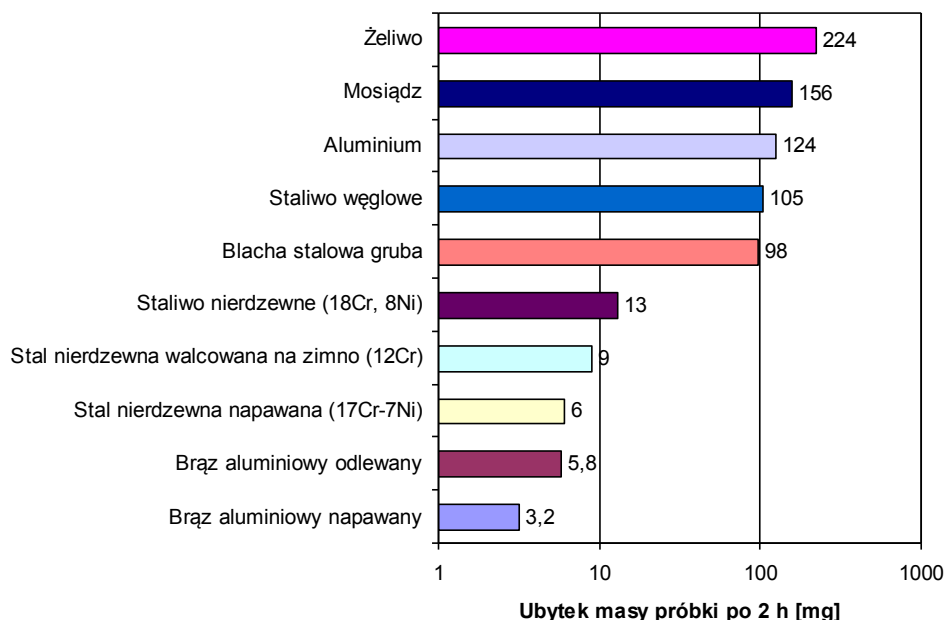
W szczególności powierzchnie metali przerobionych plastycznie są bardziej odporne niż metali odlewanych, powierzchnie gładkie odznaczają się większą odpornością, niż powierzchnie chropowate. Wszelkie niejednorodności strukturalne lub geometryczne, karby, wyszczerbienia, skazy i rysy przyspieszają proces niszczenia materiału bądź stanowią ogniska zarodkowania uszkodzeń kawitacyjnych [10,18].



Rys. 4. Zależność odporności metali na działanie kawitacji od ich własności fizyko-chemicznych i strukturalnych. Źródło: opracowanie własne na podstawie [8]

Na odporność kawitacyjną wpływa mikrostruktura materiału. Na wykresie zawartym na rysunku 5 przedstawiono odporność na erozję kawitacyjną wybranych stopów metali. Duża odporność brązów wynika z ich jednorodnej struktury, dużej wytrzymałości i twardości oraz odporności na korozję. W przypadku żeliwa szarego mamy do czynienia z materiałem o niejednorodnej strukturze, kruchym i o małej wytrzymałości, stąd mała odporność na erozję kawitacyjną [19].

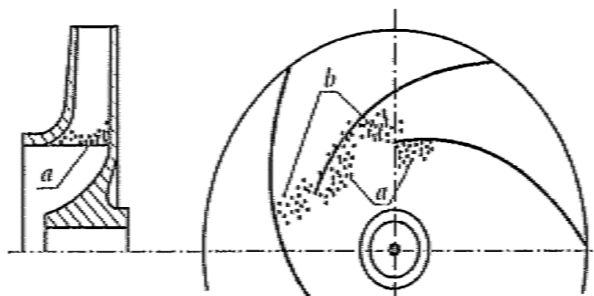
Ze względu na duży stopień komplikowania geometrii wirników pomp są one wykonywane głównie przy użyciu technologii odlewniczych. Tworzywa odlewnicze cechuje znacznie niższa odporność na zużycie kawitacyjne niż elementów przerabianych plastycznie (rys. 5). Wirniki pomp mogą być odlewane się z różnych stopów metali spośród których przeważają żeliwa [4,20].



Rys. 5. Odporność na erozję kawitacyjną metali i ich stopów wyznaczona w badaniach wykonanych metodą magnetostrykcyjną. Opracowano na podstawie [4,6,10]

3. Przykłady zużycia kawitacyjnego wirników pomp wirowych

Łopatki wirnika i kierownicy oraz powierzchnie wewnętrzne ścian, ograniczających ciecz przepływającą przez wnętrze pompy, mogą być uszkodzone działaniem korozji, erozji i kawitacji. Te trzy rodzaje uszkodzeń można łatwo rozróżnić od siebie na podstawie obserwacji zaatakowanych obszarów oraz ich położenia w kanałach przepływowych pompy.



Rys. 6. Uszkodzenia w skutek kawitacji w wirniku pompy odśrodkowej [2,6]

Uszkodzenia wywołane kawitacją (rys. 6) występują nie tylko na łopatkach ale i na bocznych ściankach wirnika (a). Miejsca najniższego ciśnienia znajdują się na tylnej ścianie łopatki w pobliżu krawędzi wlotowej (b). Przy intensywnym przebiegu kawitacji mogą być również uszkodzane końce łopatek na wylocie, kierownica łopatkowa, język w spirali oraz łopatki kierownicze, powodujące wstępne zawirowanie cieczy przed wejściem na wirnik [2].

Na rysunkach 7-10 zaprezentowano uszkodzone w różnym stopniu na skutek działania kawitacji wirniki pomp wirowych. Obszary zużycia kawitacyjnego cechuje występowanie chropowatej powierzchni. Obszary uszkodzone kawitacyjne, odznaczają się wżerami i znacznymi ubytkami materiału.



Rys. 7. Charakterystyczne dla zużycia kawitacyjnego uszkodzenie tarczy wirnika w pobliżu krawędzi wlotowych łopatek. Powiększony fragment przedstawia typową, chropowatą powierzchnię obszaru zużycia kawitacyjnego



Rys. 8. Wirnik odśrodkowy o pojedynczej krzywiźnie łopatek. Uszkodzone kavitacyjnie: tylna ściana łopatki w pobliżu krawędzi wlotowej oraz tylna część tarczy, materiał żeliwo



Rys. 9. Wirnik odśrodkowy o przestrzennej krzywiznie łopatek. Uszkodzone na skutek erozji kawitacyjnej powierzchnie tarcz wirnika oraz łopatki wirnika, materiał żeliwo



Rys. 10. Wirnik odśrodkowy o pojedynczej krzywiznie łopatek. Zużycie kawitacyjne krawędzi wylotowych łopatek wirnika, materiał brąz

W przypadku pomp niszczenie wirników i przewodów przepływowych może być spowodowane trzema czynnikami [12,21,22]:

- erozją; wywołaną głównie cząstkami stałymi w przepływającej cieczy,
- korozją; spowodowaną właściwościami fizykochemicznymi transportowanej cieczy i materiału pompy,
- kawitacją.

Oddziaływanie erozji, korozji i kawitacji na wirniki pomp może mieć charakter synergiczny. Zjawiskiem dominującym może być jeden z procesów. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono przykłady zużycia erozyjno-korozyjno-kawitacyjnego. Wirniki otwarte są stosowane do pompowania cieczy zawierających ciała stałe.



Rys. 11. Wirnik otwarty, uszkodzony na skutek oddziaływania erozji, korozji i kawitacji, dominuje zużycie erozyjne. Zużycie kawitacyjne lokalizowane na części ssawnej łopatek wirnika, materiał żeliwo



Rys. 10. Wirnik otwarty pompy wirowej z pokrytą powłoką epoksydową, uszkodzony na skutek oddziaływania erozji, korozji i kawitacji, materiał żeliwo

4. Sposoby zapobiegania zużyciu kawitacyjnemu elementów układów pompowych

Autorzy wielu prac przedstawiają sposoby eliminacji kawitacji z układów hydraulicznych np. [3–7,12,21,22]. Wg Łazarkiewicz i Troskołański [2] sposoby zapobiegania zużyciu kawitacyjnemu maszyn i urządzeń, można podzielić na trzy grupy: konstrukcyjne, instalacyjno-ruchowe oraz materiałowe.

4.1. Konstrukcyjne, instalacyjne i ruchowe

Do najczęściej stosowanych sposobów konstrukcyjnych należą [2]:

- zastosowanie pompy z wirnikiem dwustrumieniowym (o tej samej wydajności, co pompa z wirnikiem jednostrumieniowym) w celu zmniejszenia wydajności przypadającej na jedną stronę wirnika,
- zastosowanie prerotacji. Niewielki kręt wstępny w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotu wirnika zmniejsza niebezpieczeństwo powstawania kawitacji i zwiększa zdolność ssania, podnosząc jednocześnie sprawność pompy,
- stosowanie wirników o powiększonej szerokości wylotu,
- unikanie ostrych załamów przed wirnikiem,
- stosowanie wirników o łagodnej krzywiźnie przedniej tarczy,

- stosowanie niezbyt dużej liczby łopatek i skracanie co drugiej łopatki od strony wlotu (przy parzystej ich liczbie),
- zwiększanie liczby łopatek w pompach szybkoobrotowych,
- zaostrenie obrzeża łopatki na wlocie,
- stosowanie małych kątów wlotowych łopatek,
- zastosowanie wstępnego wirnika śrubowego przed wlotem wirnika pompy odśrodkowej.

Do najczęściej stosowanych sposobów instalacyjno-ruchowych należą [2]:

- instalowanie pomp w ten sposób, by wysokość ssania była możliwie mała,
- pompowanie możliwie chłodnych cieczy,
- zapewnienie odpowiedniej wysokości napływu w pompach do cieczy gorących,
- praca w warunkach normalnych, odpowiadających najwyższej sprawności.

Niebezpieczeństwo powstania kawitacji można zmniejszyć przez:

- zainstalowanie przed wlotem wirnika ejektora, zasilanego wodą z przewodu tłocznego; dzięki temu podwyższa się ciśnienie u wlotu wirnika,
- wprowadzenie do rury ssawnej, w pewnej odległości od wlotu wirnika, wody pod ciśnieniem, za pomocą jednej rurki umieszczonej w osi rury ssawnej lub kilku rurek rozmieszczonych na obwodzie wstawki wbudowanej w rurę ssawną; w ten sposób, podobnie jak przy zastosowaniu ejektora, można podwyższyć ciśnienie wody na wlocie wirnika i zwiększyć wysokość ssania pompy lub zmniejszyć wysokość wymaganego napływu,
- wprowadzenie niewielkich objętości powietrza do rury ssawnej w celu amortyzacji uderzeń pękających pęcherzyków pary.

4.2. Materiałowe

Wzrost odporności na działanie kawitacji elementów maszyn i urządzeń przepływowych, można uzyskać przez stosowanie materiałów odpornych na erozję kawitacyjną. Mogą to być stopy metali lub powłoki. Ze względu na doskonałe właściwości odlewnicze oraz stosunkowo niską cenę najpowszechniejszym tworzywem stosownym w produkcji wirników są żeliwa. Do wykonywania najbardziej zagrożonych przez kawitację wirników, stosuje się staliwa nierdzewne, brązy aluminiowe oraz stopy na osnowie niklu mimo ich znacznie wyższej ceny [4,21]. Wyższą odporność na działanie kawitacji można uzyskać stosując odpowiednie technologie wytwarzania i kształtowania właściwości wirnika. Wzrostowi odporności na erozję kawitacyjną sprzyja utwardzenie przez walcowanie, kucie, śrutowanie itp. lub obróbka powierzchniowa np. azotowanie, nawęglanie, hartowanie lub wykonanie wirników jako składających się z zespołu części tłoczonych [6]. Możliwym do zastosowania zabiegiem w celu wydłużenia okresu eksploatacji jest pokrywanie powierzchni wirników powłokami metalowymi lub kompozytowymi.

Niejednokrotnie wytworzone powłoki zwiększają odporność wirników oraz elementów pompy nie tylko na działanie kawitacji ale również na zużycie ścierne, erozyjne lub korozyjne [23–25]. Regeneracja przez nakładanie powłok metalowych lub kompozytowych winna być stosowana po uprzedniej analizie kosztów i spodziewanego efektu – jakości i trwałości [5].

5. Podsumowanie

W przypadku pomp niszczenie elementów konstrukcyjnych części przepływowych i przewodów może być spowodowane oddziaływaniem erozji, korozji lub kawitacją. Kawitacja jest zjawiskiem które ogranicza parametry pracy pomp, zakłóca działanie i skraca ich żywotność. W systemach pompowych postrzegana jako zjawisko niepożądane i dąży się do jej wyeliminowania lub ograniczenia negatywnych skutków.

Zużyciu kawitacyjnemu podlegają przede wszystkim tarcze i łopatki wirników. Odporność kawitacyjna jest unikalną właściwością danego materiału. W celu zabezpieczenia przed zużyciem kawitacyjnym wirników należy przestrzegać zalecanych paramentów pracy pompy, warto też stosować materiały o wysokiej odporności na działanie kawitacji lub powłoki metalowe i kompozytowe.

Literatura

1. J.-P. Franc, J.-M. Michel, *Fundamentals of Cavitation*, Springer, 2004.
2. S. Łazarkiewicz, A.T. Troskołański, *Pompy wirowe*, Wydawn. Naukowo-Techniczne, 1968.
3. W. Jędrał, *Pompy wirowe odśrodkowe: teoria, podstawy projektowania, energooszczędna eksploatacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1996.
4. I.J. Karassik, *Pump handbook*, McGraw-Hill, New York, 2001.
5. P. Świtalski, *ABC techniki pompowej: podstawowe zasady działania i doboru pomp z szerokim omówieniem problematyki nadzoru i technik remontowych*, ZPBiP CEDOS Sp. z o.o., 2008.
6. W. Jędrał, *Pompy wirowe*, Wydaw. Naukowe PWN, 2001.
7. M. Stępniewski, *Pompy*, Biblioteka Główna Politechniki Warszawskiej, 2005.
8. K. Steller, *O mechanizmie niszczenia materiałów podczas kawitacji*, IMP PAN, 1983.
9. C.E. Brennen, *Cavitation and Bubble Dynamics*, Oxford University Press, USA, 1995.
10. K. Wójs, *Kawitacja w cieczech o różnych właściwościach reologicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2004.
11. M. Dular, B. Stoffel, B. Sirok, *Development of a cavitation erosion model*, *Wear*. 261 (2006) 642–655.
12. P. Świtalski, *ABC techniki pompowej - Pump technology. Leksykon*, ZPBiP CEDOS Sp. z o.o., Wrocław, 2009.
13. J. Koton, *Ultradźwięki*, Warszawa, 1986.
14. *Elektrochemiczna analiza degradacji kawitacyjnej metali i stopów konstrukcyjnych*, (rozprawa doktorska), Politechnika Gdańska, 2010.

15. S. Hattori, T. Kitagawa, Analysis of cavitation erosion resistance of cast iron and nonferrous metals based on database and comparison with carbon steel data, *Wear*. 269 (2010) 443–448. doi:10.1016/j.wear.2010.04.031.
16. S. Hattori, R. Ishikura, Revision of cavitation erosion database and analysis of stainless steel data, *Wear*. 268 (2010) 109–116. doi:10.1016/j.wear.2009.07.005.
17. R.H. Richman, W.P. McNaughton, Correlation of cavitation erosion behavior with mechanical properties of metals, *Wear*. 140 (1990) 63–82.
18. M. Szala, T. Hejwowski, I. Lenart, Cavitation erosion resistance of Ni-Co based coatings, *Advances in Science and Technology – Research Journal*. 8 (2014) 36–42.
19. T. Okada, Y. Iwai, A. Yamamoto, A study of cavitation erosion of cast iron, *Wear*. 84 (1983) 297–312. doi:10.1016/0043-1648(83)90271-5.
20. Hydro-Vacuum S.A. - Pompy i Systemy Pompowe. (2013). www.hydro-vacuum.com.pl/.
21. E. Grist, *Cavitation and the centrifugal pump: a guide for pump users*, CRC Press, 1998.
22. J. Bagieński, *Kawitacja w urządzeniach wodociągowych i ciepłowniczych*, Wydaw. Politechniki Poznańskiej, 1998.
23. J.H. Boy, *Cavitation and erosion-resistant thermal spray coatings* by Jeffrey H. Boy ... [et al.], [Champaign, IL] : US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratories ; [Springfield, VA : National Technical Information Service], 1997.
24. T. Hejwowski, *Nowoczesne powłoki nakładane cieplnie odporne na zużycie ścierne i erozyjne*, Lublin Politechnika Lubelska, 2013. <http://bc.pollub.pl/dlibra/docmetadata?id=4059>.
25. *Coatings Can Improve Pump Impeller Cavitation Damage Resistance*, (n.d.). <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-28/issue-4/departments/pump-tips-techniques/coatings-can-improve-pump-impeller-cavitation-damage-resistance.html> (accessed July 31, 2014).

Zużycie wirników pomp na skutek eksploatacji w warunkach kawitacji

Streszczenie

Kawitacja w układach pompowych jest zjawiskiem niekorzystnym oddziaływującym w sposób niekorzystny na parametry pracy oraz podzespoły pomp np. wirniki. W pracy wyjaśniono pojęcie kawitacji i erozji kawitacyjnej. Przedstawiono przyczyny występowania kawitacji układach pompowych. Scharakteryzowano przykłady uszkodzonych w wyniku działania erozji kawitacyjnej wirników pomp wirowych. Omówiono sposoby zapobiegania kawitacji i erozji kawitacyjnej w układach pompowych.

The pump impellers worn by exploitation in cavitation conditions

Abstract

The occurrence of cavitation in pump systems is disadvantageous and it affects pump operation parameters and pump elements such as impellers. In the paper, the terms of cavitation and cavitation erosion were explained. The causes of cavitation occurrence in pump systems were presented. Examples of impellers worn by cavitation erosion were characterized. Methods of prevention from cavitation and cavitation erosion in pump systems were described.

Badania strukturalne tarczy hamulcowej

1. Wprowadzenie

Układ hamulcowy jest słusznie uważany za jeden z najważniejszych elementów odpowiadających za bezpieczeństwo pojazdów. Współcześnie zagadnienia bezpieczeństwa są priorytetem przy projektowaniu nowych pojazdów, planowaniu infrastruktury drogowej i zarządzaniu ruchem pojazdów [1,2]. Tematyką bezpieczeństwa transportu w różnych aspektach zajmowali się między innymi badacze [1-4]. Badacze w pracach [1-3] przedstawili problematykę poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce i krajach Europy, zwrócili oni uwagę na problematykę układów bezpieczeństwa w autobusach miejskich i podmiejskich [4].

Ideowa zasada działania hamulca roboczego w pojeździe samochodowym jest niezwykle prosta. W momencie naciśnięcia pedału hamulca przez kierowcę, energia kinetyczna samochodu zamieniana jest w energię termiczną, w wyniku tarcia następuje wzrost temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej bądź bębna oraz pozostałych elementów wchodzących w skład układu hamulcowego. Ilość wydzielonej energii jest uzależniona od masy pojazdu oraz różnicy pomiędzy prędkością na początku i na końcu hamowania [5,6].

Niezależnie od konstrukcji poszczególnych mechanizmów, układy hamulcowe powinny wyróżniać się niezawodnością, dużą skutecznością działania oraz brakiem negatywnego wpływu na stateczność pojazdu [7]. Wymagania stawiane układom hamulcowym samochodów sformułowano w Regulaminie 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (ECE) [8]. Wymagania te można określić według następujących kryteriów: krótka droga hamowania, krótki czas reakcji, szybkie narastanie ciśnienia czynnika roboczego w układzie, reakcja układu adekwatna do nacisku na pedał hamulca, mała wrażliwość na brud i korozję, niezawodność, odporność na ścieranie, niskie koszty eksploatacji [9]. Bezpieczna eksploatacja samochodu wpływa na bezpieczeństwo transportu

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Koło Naukowe Metaloznawców, email: amaruszczyk@gmail.com

² Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Koło Naukowe Metaloznawców

³ Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Instytut Inżynierii Materiałowej, email: kzdrowska@wip.pcz.pl,

⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej email: m.szala@pollub.pl

samochodowego jako całości. Obecnie wszystkie nowe pojazdy dopuszczone do ruchu na terenie Unii Europejskiej są wyposażone w podstawowe systemy bezpieczeństwa, układy bezpieczeństwa biernego oraz stale rozwijane systemy bezpieczeństwa czynnego [10,11]. Nie bez znaczenia jest technologia i materiał, z którego wykonano elementy układu hamulcowego. Tarcze hamulcowe mogą być wytwarzane metodami odlewniczymi – powierzchnie odlewów wymagają odpowiedniej obróbki wykańczającej. Technologicznie istotne jest by tarcza hamulcowa cechowała się jednorodną strukturą, gdyż taka budowa wewnętrzna elementu wpływać będzie m.in. na powtarzalność warunków i stabilność parametrów procesów obróbki wykańczającej tarczy hamulcowej.

Celem pracy jest scharakteryzowanie układów hamulcowych oraz przeprowadzenie analizy jednorodności strukturalnej tarczy hamulcowej. Analizę wyników badań przeprowadzono pod kątem dalszej obróbki wykańczającej powierzchni odlewu.

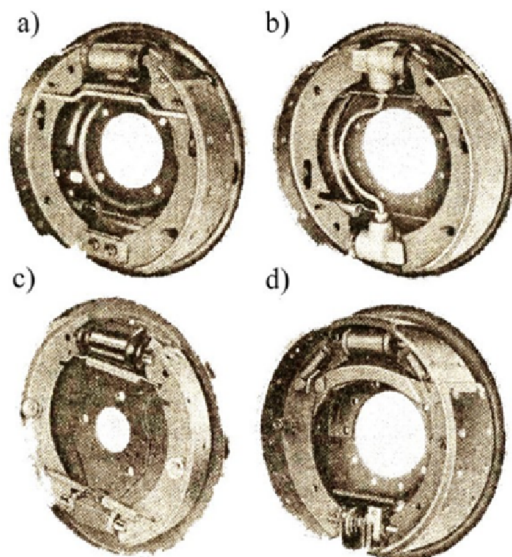
2. Charakterystyka układów hamulcowych

Układy hamulcowe można podzielić ze względu na roboczą powierzchnię cierną na tarczowe lub bębnowe bądź ze względu na sposób uruchamiania, wówczas wyróżnia się hamulce uruchamiane hydraulicznie, mechanicznie, elektromechanicznie lub pneumatycznie [6].

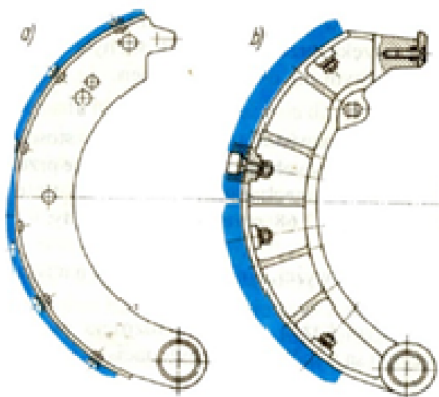
2.1. Hamulce bębnowe

W hamulcach bębnowych moment hamowania powstaje wskutek tarcia między wewnętrzną powierzchnią obracającego się wraz z kołem bębna hamulcowego, a umieszczonymi w bębnie, zabezpieczonymi przed obrotem szczękami hamulcowymi. Bęben hamulca obraca się wraz z piastą koła. Szczęki hamulcowe znajdujące się wewnątrz bębna są zamocowane do nieruchomej tarczy hamulcowej. Pomiędzy końcami szczęk hamulcowych umieszczony jest rozpieracz, który po naciśnięciu przez kierowcę pedału hamulca powoduje dociśnięcie szczęk hamulcowych do wewnętrznej powierzchni bębna hamulcowego, co wywołuje siłę tarcia, czyli wytworzenie momentu hamowania. Po zwolnieniu nacisku na pedał hamulca rozpieracz przestaje naciskać na szczęki hamulcowe. Bębny hamulcowe wykonuje się zazwyczaj jako odlewy żeliwne. Na rysunku 1 przedstawiono odmiany hamulców bębnowych.

Szczęki hamulcowe stosowane w hamulcach bębnowych (rys. 2) są wykonywane jako spawane z elementów tłoczonych z blachy, a w większych samochodach odlewane. Szczęki hamulcowe muszą zapewniać odpowiednią sztywność oraz być trudno odkształcalne. Ich zewnętrzne powierzchnie pokryte są okładzinami ciernymi [6].



Rys. 1. Różne typy hamulców bębnowych: a) hamulec dwuszczkowy ze szczęką współbieżną, b) hamulec z dwiema szczękami współbieżnymi, c) hamulec z jednokierunkowym samowzmacniaczem, d) hamulec z dwukierunkowym wzmacniaczem [12]



Rys. 2. Szczeka hamulcowa a) spawana, b) odlewana [12]

2.2. Hamulce tarczowe

W hamulcach tarczowych siła tarcia powstaje w wyniku dociskania płaskich klocków do tarczy hamulcowej wirującej wraz z piastą koła. Tarcze zwykle są wykonane ze stali lub żeliwa, najbardziej zaawansowane wykonuje się z ceramiki lub kompozytów węglowych [13]. W celu nadania odpowiedniego kształtu obie płaszczyzny cierne odlewanych tarczy żeliwnych są poddawane odpowiedniej obróbce [6].

Typowy tarczowy układ hamulcowy składa się z następujących elementów: zacisku z siłownikiem hydraulicznym lub pneumatycznym, mocowania zacisku, klocków hamulcowych, a także tarczy hamulcowej [14,15]. Tarczowe układy hamulcowe stopniowo wypierają z użycia układy bębnowe. Wynika to z wielu charakterystycznych cech układów tarczowych, m.in. braku samowzmocnienia, tzn. zasysania okładzin hamulcowych z uwagi na płaską powierzchnię cierną, możliwości precyzyjnego dozowania siły hamowania, wysokiej odporność na duże obciążenia cieplne ze względu na dobre warunki chłodzenia wynikające z środowiska pracy, prostej konserwacji i wymianie okładzin, samoczynnej regulacji luzu, samooczyszczalności pod wpływem siły odśrodkowej [16,17]. Podobnie jak w przypadku hamulców bębnowych istnieje kilka koncepcji tarczowego układu hamulcowego. Jednym z nich jest hamulec tarczowy z zaciskiem pływającym, którego zasada działania jest następująca: na nieruchomym wsporniku osadzony jest pływający zacisk w kształcie ramy. Tłoczek dociska wewnętrzną wkładkę cierną bezpośrednio do tarczy i równocześnie popycha w przeciwną stronę zacisk, który dociska wkładkę cierną zewnętrzną do przeciwnej strony tarczy [18].

Kolejnym typem konstrukcji tarczowego układu hamulcowego jest zastosowanie nieruchomego zacisku. W tym rozwiązaniu dwa tłoki umieszczone w nieruchomej obudowie dociskają z obu stron wkładki cierne do tarczy hamulcowej [19]. Mimo wielu zalet oraz większej skuteczności, hamulce tarczowe zużywają się szybciej niż ich bębnowe odpowiedniki. Jest to spowodowane, m.in. większymi siłami dociskowymi pomiędzy elementami ciernymi, wchodzącymi w skład układu hamulcowego [16].

2.3. Wymagania stawiane układom hamulcowym w pojazdach kołowych

Rozwój układów hamulcowych nakierowany jest m.in. na uzyskanie jak najkrótszej drogi hamowania. Parametr długości drogi hamowania z określonej prędkości jest podstawowym parametrem opisującym skuteczność układu hamulcowego pojazdu. Na drogę hamowania ma wpływ m.in. wartość ciśnienia w oponach [20]. Z badań przeprowadzonych przez producentów samochodów wynika, iż udział wypadków podczas hamowania stanowi ok. 40-45% wszystkich wypadków drogowych. Większości z tych wypadków można było uniknąć, gdyby droga hamowania była krótsza [21].

Złożoność współczesnego hydraulicznego układu hamulcowego wynika przede wszystkim z jego powiązania z innymi układami wspomagającymi kierowcę, takimi jak ABS Anti Blocking System, ASR Anti Skid Regulation, ESP Electronic Stability Program, BA Brake Assistant, ale również układy typu adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy ACC Adaptive Cruise Control, „Stop & Go” itp. [10,11].

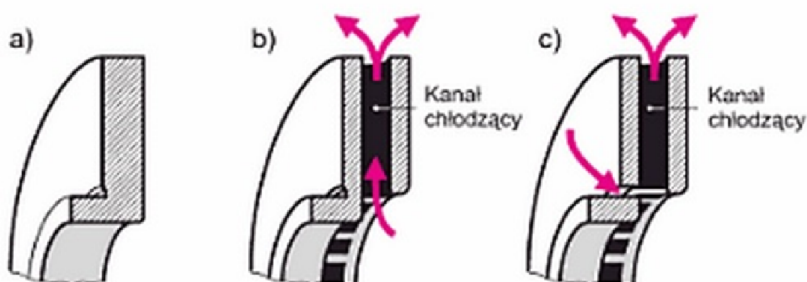
Od elementów składowych układu hamulcowego wymaga się aby charakteryzowały się małą higroskopijnością, dużą odpornością korozyjną oraz odpowiednią wytrzymałością mechaniczną z uwzględnieniem wysokiej temperatury pracy oraz dużych naprężeń powstałych podczas kontaktu powierzchni ciernych [22].

2.4. Materiały wykorzystywane do produkcji elementów ciernych układu hamulcowego

Trudne warunki pracy elementów ciernych układów hamulcowych wymuszają stosowanie odpowiednich materiałów. Materiały wykorzystywane do wytwarzania elementów ciernych powinny posiadać [23]:

- dużą wartość ciepła właściwego,
- wysoki punkt topienia,
- wysoki współczynnik przewodzenia ciepła,
- niski współczynnik rozszerzalności cieplnej,
- stabilność i równomierność zmian chemicznych i fazowego składu oraz struktury i innych własności warstwy wierzchniej w procesie eksploatacji,
- dużą stabilnością mechaniczną, chemiczną i termochemiczną,
- stabilną i wysoką wartość współczynnika tarcia,
- dobrą technologiczność (np. obrabialność, mała kruchość),
- odporność na korozję, odporność na działanie wody, olei oraz innych substancji.

Duży wpływ na spełnienie tych wymagań ma konstrukcja elementów ciernych. Aspekt konstrukcyjny ma wpływ na intensywność chłodzenia rozgrzanej wskutek tarcia tarczy hamulcowej. Przykładowo w pracy [24] opisano przykład pęknięć cieplnych monolitycznej tarczy hamulcowej. Na rysunku 3 oraz 4 przedstawiono różne typy tarcz hamulcowych, spotykane w pojazdach kołowych.



Rys. 3. Rodzaje tarcz hamulcowych a) pełna, b) wentylowana od wewnątrz, c) wentylowana od zewnątrz [25]



Rys. 4. Tarcza hamulcowa z widocznymi otworami i nacięciami mającymi za zadanie odprowadzanie ciepła z elementu [13]

2.4.1. Okładziny cierne

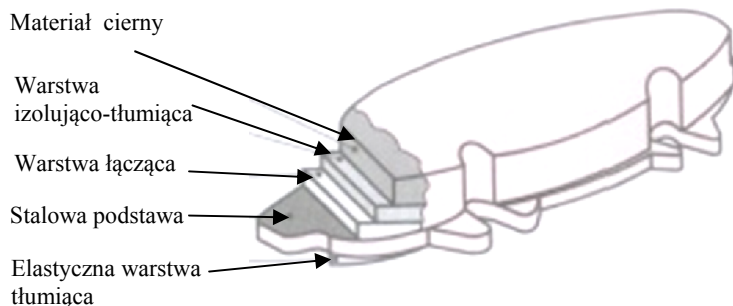
W celu zapewnienia odpowiednich parametrów procesu hamowania do produkcji okładzin ciernych należy stosować odpowiednie materiały. Materiały stosowane do wytwarzania okładzin ciernych można podzielić na następujące grupy [23]:

- metale i ich stopy – stanowią ok. 14% objętości okładziny (np. wata stalowa, proszek miedziany),
- wypełniacze – stanowią ok. 23% objętości okładziny (np. tlenek glinu, mika, tlenek żelaza, baryt),
- środki antyadhezyjne – stanowią ok. 35% objętości okładziny (np. siarczek antymonu, grafit, sproszkowany koks),
- materiały ogniotrwałe – stanowią ok. 28% objętości okładziny (np. proszki na bazie żywic, włókna aramidowe).

Scharakteryzowane materiały wchodziły w skład okładzin ciernych, stosowanych w małych samochodach klasy średniej. Materiały wykorzystywane do wyrobu okładzin hamulcowych, stosowanych w samochodach klasy wyższej oraz samochodach wyczynowych, mogą znacząco od nich odbiegać [18].

Początkowo, jako materiały cierne stosowano skórę, drewno oraz korek [26]. Do niedawna typowym materiałem, z którego wykonywano okładziny cierne była termoutwardzalna żywica, wzmocniona włóknami azbestowymi, która w chwili obecnej jest zabroniona na terenie Unii Europejskiej. Elementy cierne poza wymaganiami dotyczącymi prawidłowych warunków eksploatacji muszą spełniać wysokie wymagania dotyczące komfortu podróżujących, aby podczas

hamowania nie występował uciążliwy nadmierny hałas oraz drgania, dlatego też wkładki poddaje się badaniom homologacyjnym [9]. Budowa typowej wkładki ciernej jest przedstawiona na rysunku 5.



Rys. 5. Budowa wkładki ciernej [9]

2.4.2. Materiały stosowane do wytwarzania tarcz hamulcowych

Najszerzej stosowaną odmianą żeliwa do produkcji części motoryzacyjnych, w tym tarcz hamulcowych, jest żeliwo szare. Szerokie zastosowanie tego materiału wynika m.in. ze stosunkowo dużej odporności na ścieranie oraz dużej przewodności ciepła tego stopu [20,26]. Zużycie tarcz hamulcowych jest ściśle uzależnione od rodzaju pojazdów w jakim są zastosowane oraz warunków, w jakich są użytkowane. W wyniku częstego hamowania w warunkach miejskich tarcza hamulcowa pracuje w podwyższonej temperaturze, lecz nie przekraczającej A_{c1} . Zjawisko to może wiązać się ze zmianą struktury w wyniku rozpadu struktury cementytu eutektoidalnego oraz utleniania wzdłuż wydzieliń grafitu. Rezultatem tego jest znaczne osłabienie struktury odlewu, na skutek cyklicznych zmian temperatury elementu, które w efekcie może prowadzić do zmęczenia cieplnego elementu [27].

W celu zwiększenia trwałości struktury zmniejsza się zawartość krzemu i wprowadza się pierwiastki stabilizujące cementyt, głównie Cr i Mo. Jednakże, pierwiastki te mogą zwiększać skłonność żeliw do pękania w warunkach zmęczenia cieplnego, dlatego stosuje się je w żeliwach, które zawierają min. 3,4% C. Przykładowy skład chemiczny żeliwa stosowanego w wyżej wymienionych warunkach jest następujący: 3,2÷3,5% C, 1,7÷2,1% Si, 0,5÷0,75% Mn, max 0,12% S, max 0,15% P, 0,3÷0,5% Cr lub Mo. Natomiast w ciężkich pojazdach użytkowych oraz samochodach wyczynowych podczas intensywnego hamowania z dużych prędkości ruchu, kiedy ciepło wydzielane na powierzchni nie może zostać szybko odprowadzone w głąb materiału, można zaobserwować krótkotrwałe duże różnice temperatur, przy czym temperatura powierzchni ciernej może wynieść nawet 950°C. Po odciążeniu hamulca może dojść do zahartowania wierzchniej warstewki o grubości sięgającej 25µm w wyniku wytworzenia się martenzytycznej struktury na powierzchni.

Naprężenia cieplne i fazowe, wywołane zmianą temperatury i zmianą objętości warstwy martenzytycznej, mogą po pewnym czasie doprowadzić do zniszczenia odlewu. Dlatego na odlewy tarcz hamulcowych przeznaczonych do samochodów ciężarowych stosuje się najczęściej żeliwo o zawartości węgla $3,4 \div 3,9\%$. Zwracając uwagę na zużycie ściernie, korzystne jest równomierne rozmieszczenie grafitu płatkowego, który wpływa decydująco na zmniejszenie różnicy temperatury między powierzchnią, a rdzeniem odlewu. Najczęściej stosowanym żeliwem przez europejskich producentów tarcz hamulcowych jest żeliwo o zawartości węgla na poziomie $3,1 \div 3,5\%$ [28].

Bardzo istotnym parametrem materiału, który ma być wykorzystany do produkcji tarcz hamulcowych jest skrawalność określana jako funkcja wielu czynników takich jak [29]:

- składu stopu,
- twardości odlewu,
- wytrzymałości tworzywa,
- właściwości ściernych,
- struktury.

3. Badania strukturalne tarczy hamulcowej

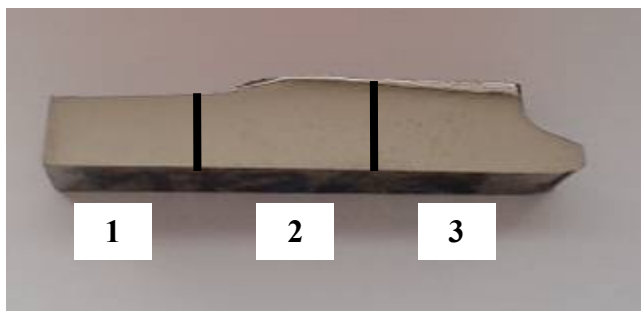
3.1. Materiał i metodyka badań

Obiektem badań była tarcza hamulcowa, której wycinek przedstawiono na rysunku 6. Rysunek 7 przedstawia przekrój poprzeczny badanego elementu podzielony na trzy obszary.



Rys. 6. Obiekt badań – wycinek tarczy hamulcowej

Przy użyciu mikroskopu metalograficznego Axiovert 25 firmy Carl Zeiss Jena obserwowano mikrostrukturę przekroju w trzech obszarach, w ich części środkowej i przy brzegu. Obserwacje prowadzono na zglądach metalograficznych nietrawionych i trawionych nitaliem.



Rys. 7. Przekrój poprzeczny tarczy hamulcowej z zaznaczonymi obszarami badań

Mikrostrukturę scharakteryzowano określając kształt, rozmiary, udziały procentowe poszczególnych faz. Pomiary długości wydzieleń grafitu wykonano zgodnie z normą PN-60/H-04661. Aby podać wielkość wydzieleń grafitu dokonano pomiaru trzech największych płatków grafitu w analizowanym obszarze. Stopień dyspersji perlitu w żeliwie określono według normy PN64/H-04663, tj. określono odległości międzyplatkowe perlitu. Obliczenia stopni dyspersji wykonuje się w polach, gdzie perlit uzyskał najwyższy stopień dyspersji. Dokonano oceny jednorodności strukturalnej każdego z trzech obszarów przekroju tarczy hamulcowej. Na przełomach wykonanych na granicy obszarów 1/2 oraz 2/3 (wg rys. 7) wykonano badania faktograficzne, przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego Phenom World ProX.

3.2. Wyniki i ich analiza

Analiza mikrostruktur wykazała, że badany element tarczy hamulcowej wykonany jest z żeliwa szarego z grafitem płatkowym w osnowie perlityczno-ferrytycznej. Na podstawie obserwacji mikrostrukturalnych, w każdym z trzech obszarów stwierdzono różnice w budowie grafitu. Kształt i rozmiary wydzieleń grafitu wpływają na właściwości odlewu [28-30].

Na rysunkach 8÷10 zaznaczono przykładowe miejsca pomiarów parametrów długości wydzieleni grafitu. Na rysunkach 11-13 ukazano mikrostruktury poszczególnych badanych obszarów tarczy hamulcowej natomiast na rysunku 14 przedstawiono powierzchnie przełomów.

W obszarze pierwszym (rys. 8) występuje grafit w skupiskach o długich płatkach oraz cienki i poszarpany o długości płatków odpowiadającej wg PN-60/H-04661 klasie 125-250 μ m. W obszarze drugim zidentyfikowano

różnice w morfologii grafitu dla brzegu oraz środka próbki. Przy brzegu próbki grafit jest dłuższy i grubszy, niż w środku obszaru drugiego (rys. 9). Część środkową badanego obszaru cechuje występowanie stosunkowo wąskiego, poszarpanego oraz wstępującego w skupiskach grafitu płatkowego, którego długość odpowiada klasie 250-500 μm . Na rysunku 10 przedstawiono powierzchnie zglądu nietrawionego w obszarze trzecim, w którym grafit płatkowy odpowiada klasie 125-250 μm .

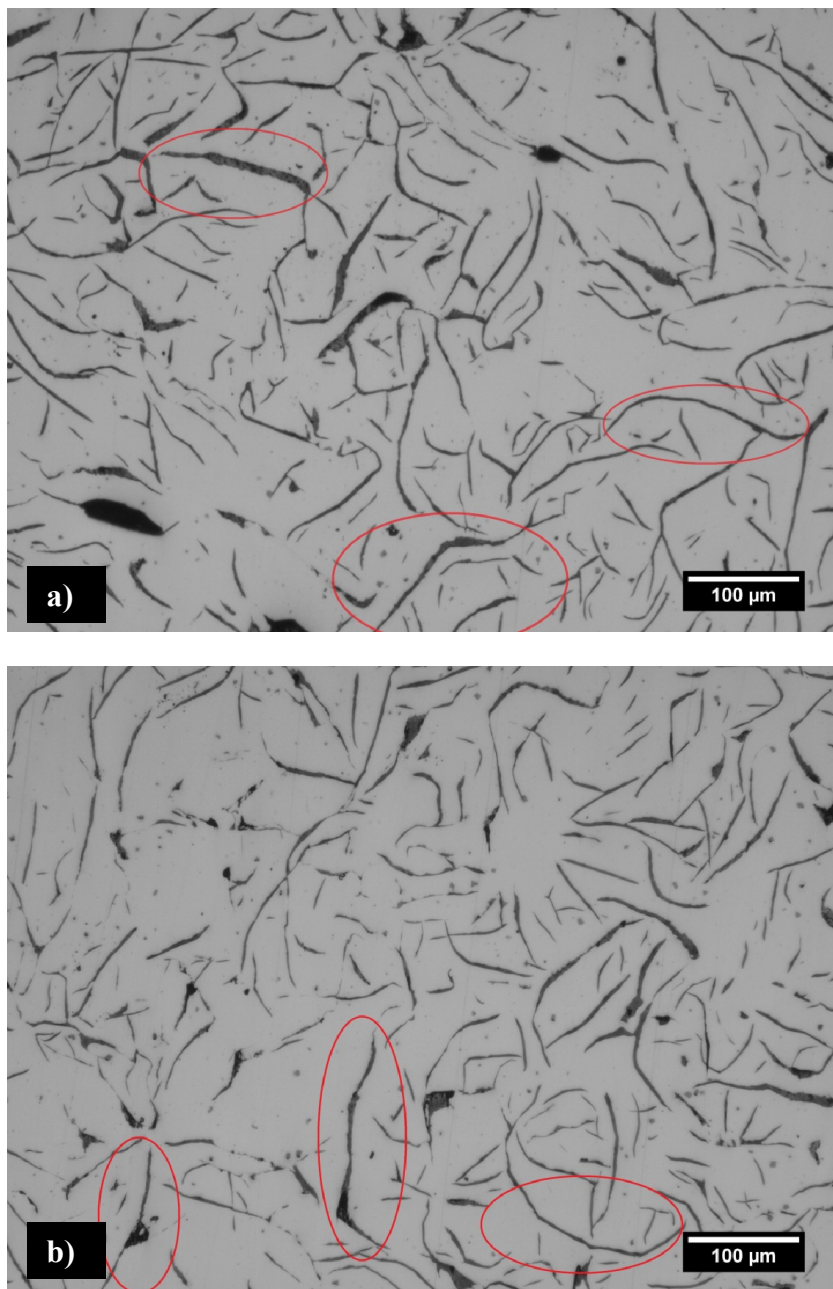
Grafit w postaci płatków rozmieszczony jest w osnowie metalowej w różny sposób: w postaci skupisk, jak również równomiernie. Największe różnice w morfologii grafitu pomiędzy brzegiem i środkiem badanego elementu występują w obszarze drugim. Może to mieć związek z procesami zachodzącymi podczas krzepnięcia i krystalizacji elementu. Drugi badany obszar znajduje się w części środkowej odlewu, która krystalizowała jako ostatnia.

W obszarze pierwszym (rys. 11) grafit płatkowy jest węższy i krótszy, niż w drugim (rys. 12), dla którego odnotowano równomiernie rozłożone na powierzchni mikrostruktury pola perlitu. W obszarze trzecim odnotowano większy udział ferrytu, niż w obszarze drugim. Grafitu płatkowego w obszarze trzecim jest mniej, niż w obszarze drugim. Jest ułożony stosunkowo równomiernie, w koloniach o małym stopniu izolacji. Przewaga perlitu występującego w mikrostrukturze zwiększa odporność na zużycie ściernie żeliwa [27,28], co może wydłużać okres eksploatacji tarczy hamulcowej.

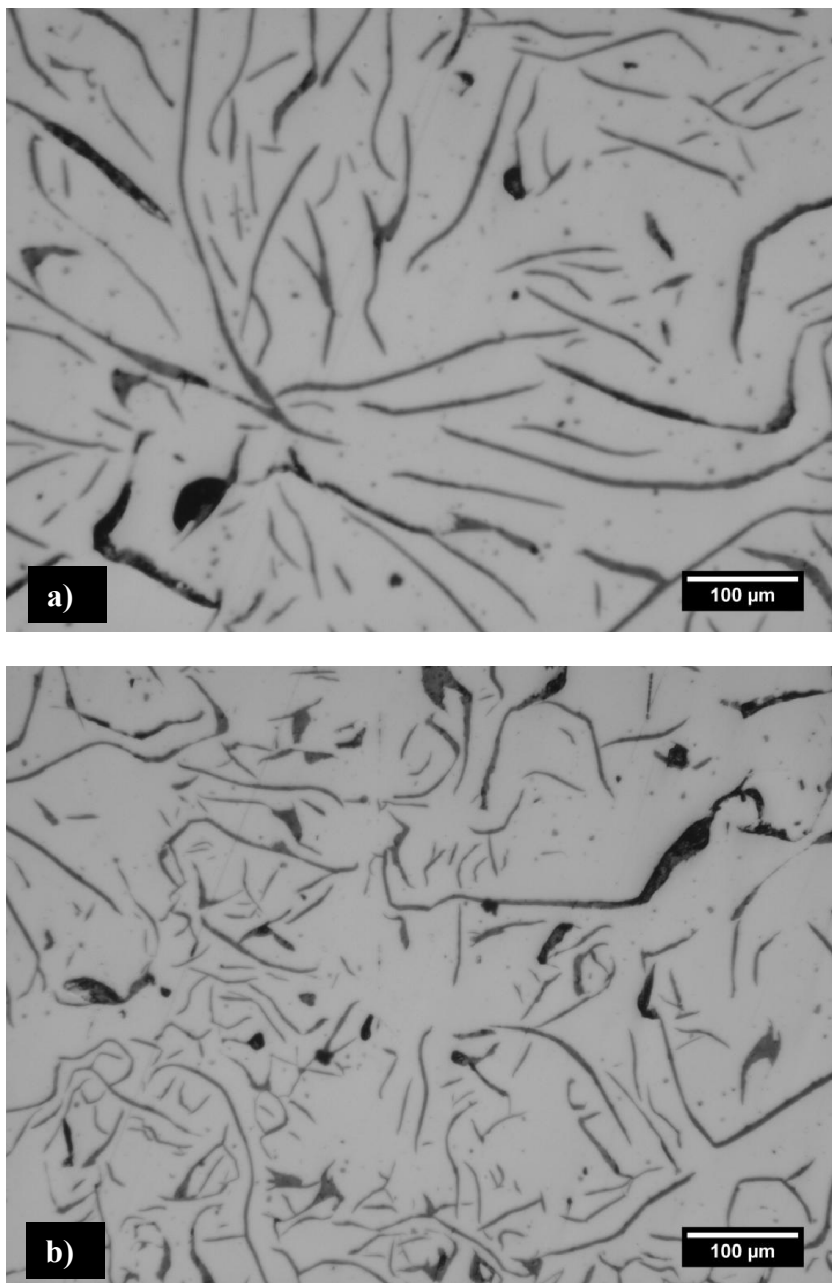
W każdym z badanych obszarów składnikiem strukturalnym osnowy jest perlit o różnym stopniu dyspersji. Dyspersja perlitu w badanych obszarach wg PN64/H-04663 odpowiada klasie Pd 1,0, co oznacza, że odległości międzyblaszkowe mieszczą się w granicach od 0,8 μm do 1,3 μm . Taka postać perlitu nazywana jest drobnoziarnistą. Perlit odpowiadający klasie Pd 1,4, gdzie odległości międzyblaszkowe oscylują pomiędzy 1,3 μm , a 1,6 μm jest nazywany perlitem średnio blaszkowym. W obszarze trzecim dyspersja perlitu odpowiada klasie Pd 1,6, a odległości między blaszkami są wyższe, niż 1,6 μm . Jest to charakterystyczne dla perlitu grubo blaszkowego.

Na właściwości żeliwa wpływają udziały ilościowe poszczególnych faz mikrostruktury. Udział ferrytu oraz perlitu w obszarze pierwszym wynosi odpowiednio 15,6% oraz 58,5%; w drugim ferryt stanowi 19,7%, a perlit 64,5%. W obszarze trzecim ferryt występuje w ilości 15,3%, natomiast perlit 63,4%. Perlit korzystnie wpływa na jego własności wytrzymałościowe odlewów żeliwnych [28,29], natomiast stosunkowo duży udział procentowy zawartości grafitu w osnowie metalowej wpływa korzystnie na trwałość narzędzi stosowanych w obróbce wykańczającej odlewu.

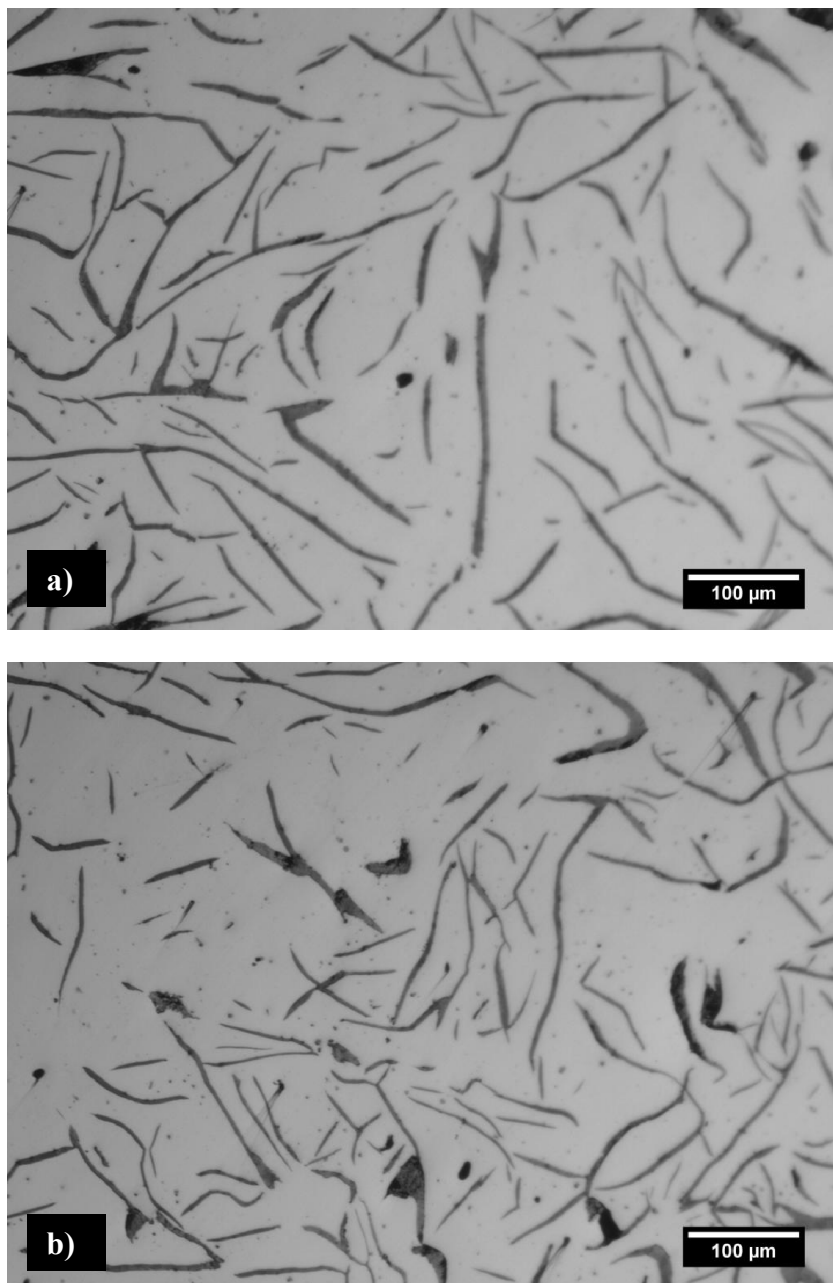
Powierzchnie przełomów (rys. 14) charakteryzują się występowaniem grafitu w postaci płatków na tle osnowy metalowej. Na podstawie porównania fotografii przełomów nie stwierdzono wyraźnych różnic w mikrostrukturze.



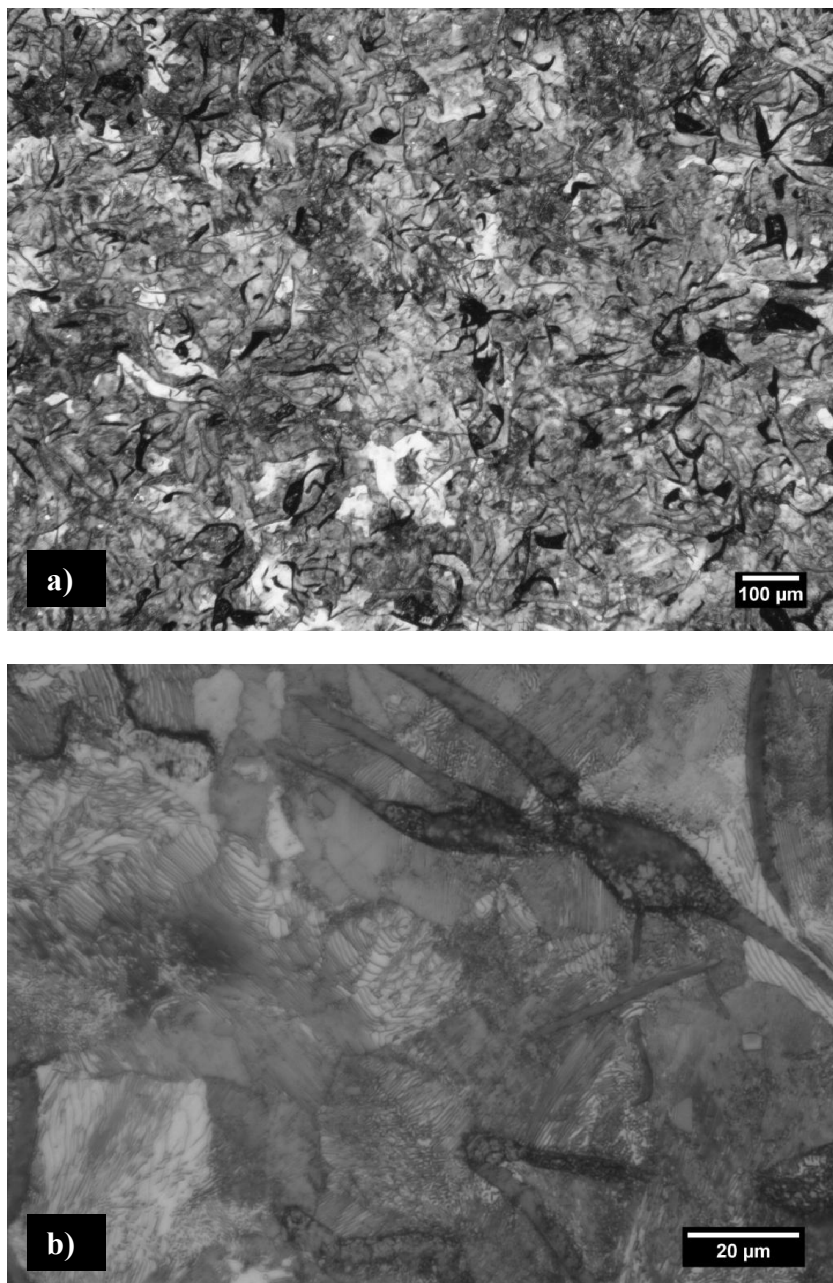
Rys. 8. Mikrostruktura tarczy hamulcowej, zgład nietrawiony, pow. 100x. Mikrostruktura pierwszego badanego obszaru: a) przy brzegu próbki, b) na środku próbki



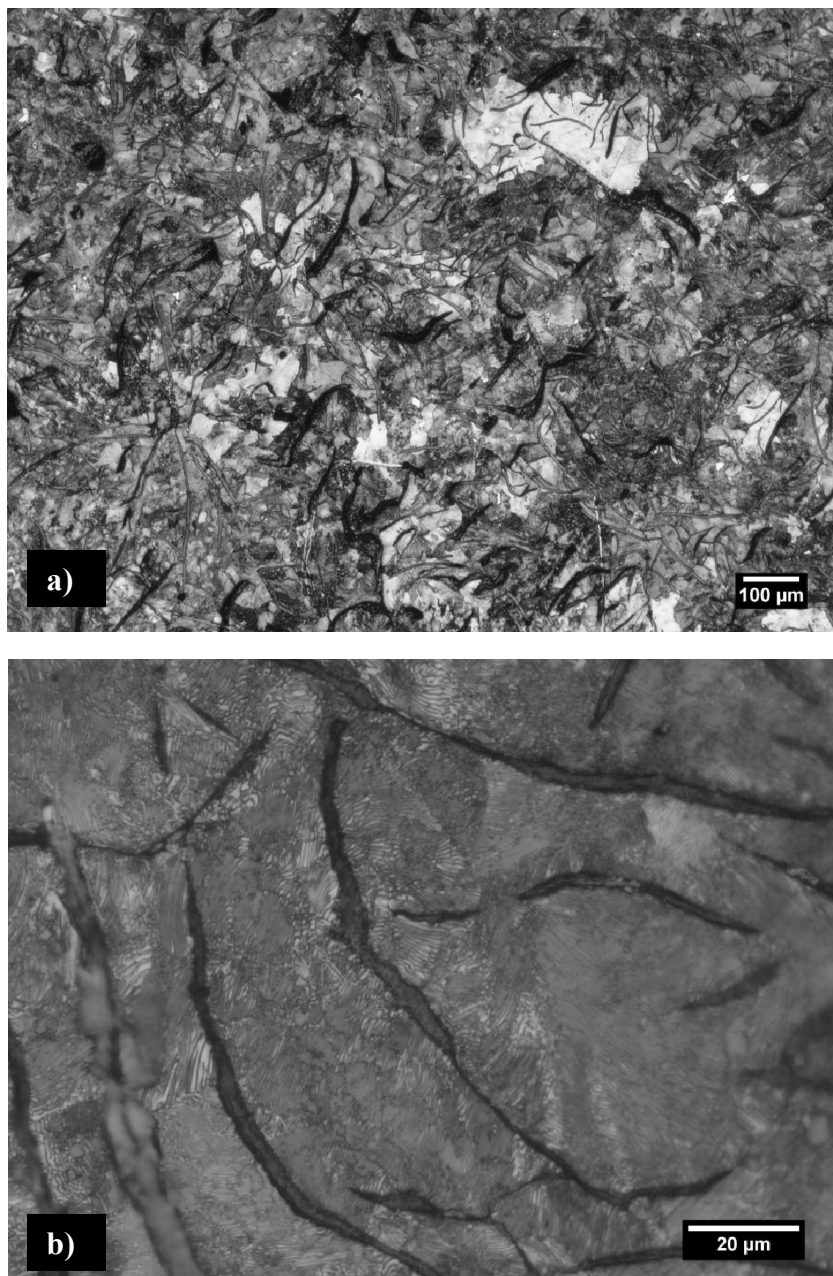
Rys. 9. Mikrostruktura tarczy hamulcowej, zgład nietrawiony, pow. 100x. Mikrostruktura drugiego badanego obszaru ujawniona: a) przy brzegu próbki, b) na środku próbki



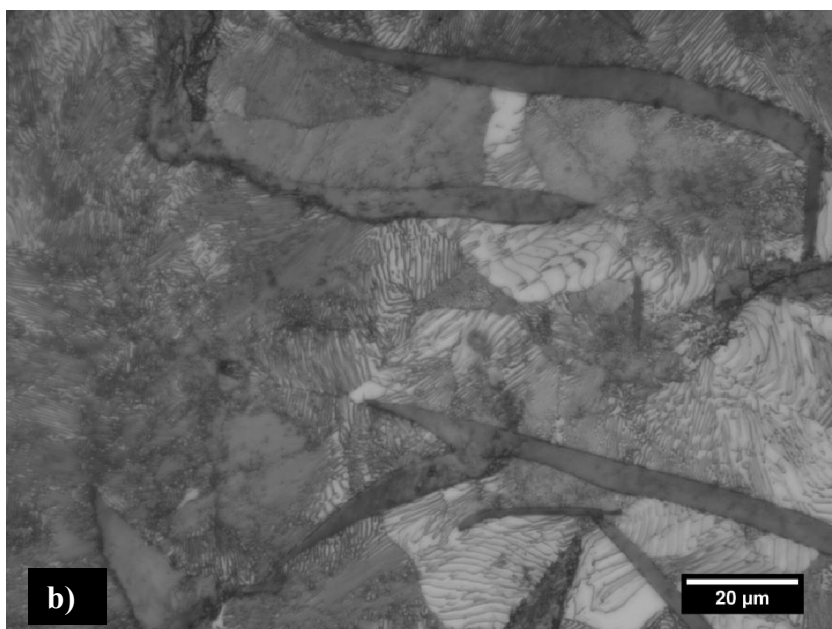
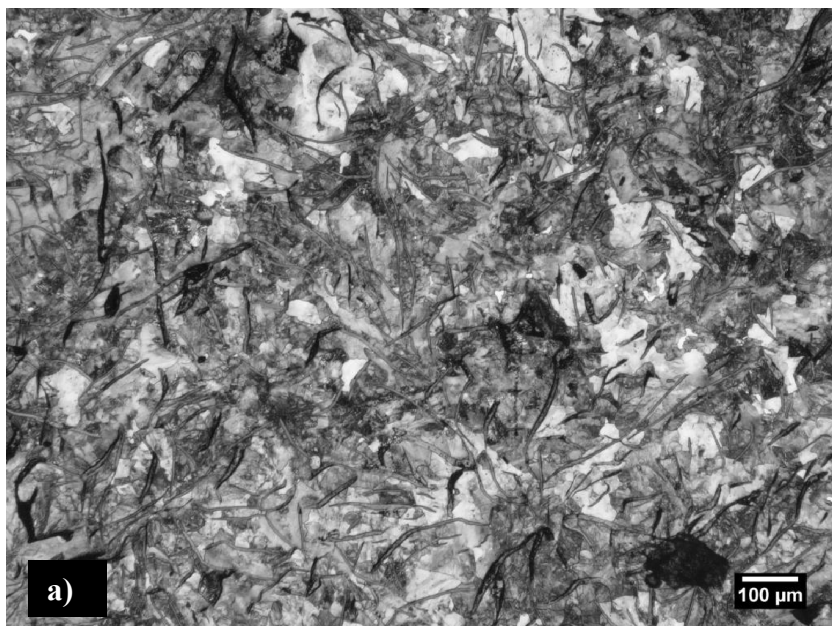
Rys. 10. Mikrostruktura tarczy hamulcowej, zgląd nietrawiony, pow. 100x. Mikrostruktura trzeciego badanego obszaru ujawniona: a) przy brzegu próbki, b) na środku próbki



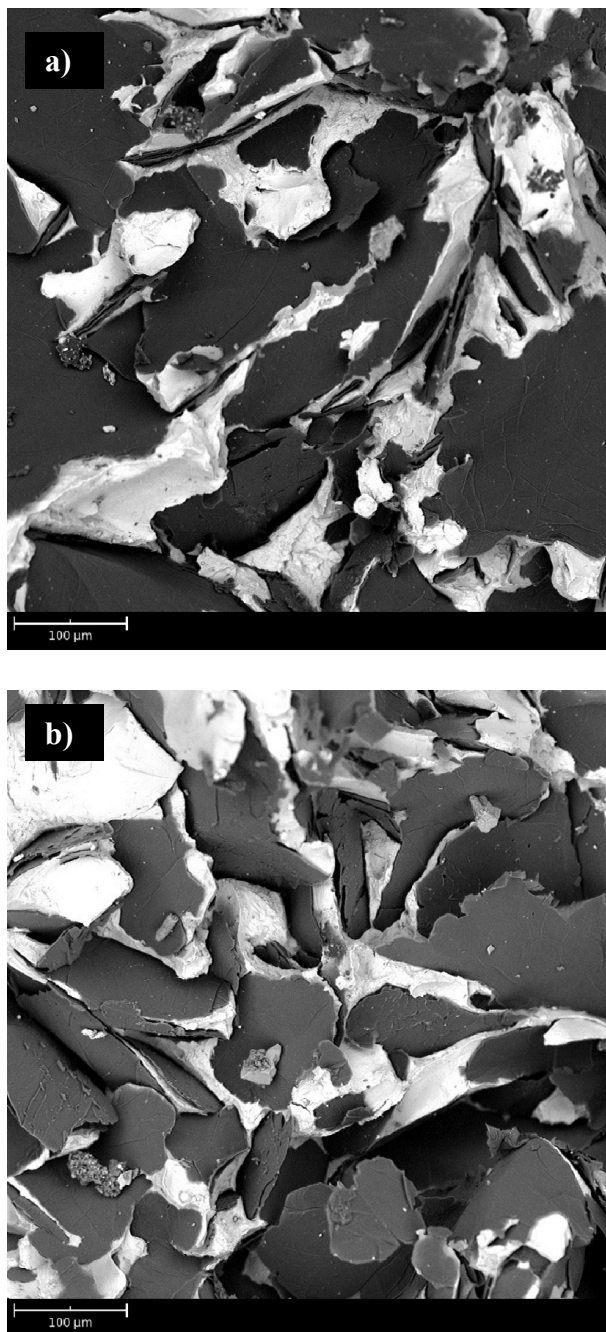
Rys. 11. Mikrostruktura tarczy hamulcowej po trawieniu, obszar pierwszy
a) pow. 50x, b) pow. 500x



Rys. 12. Mikrostruktura tarczy hamulcowej po trawieniu, obszar drugi
a) pow. 50x, b) pow. 500x



Rys. 13. Mikrostruktura tarczy hamulcowej po trawieniu, obszar trzeci
a) pow. 50x, b) pow. 500x



Rys. 14. Powierzchnie przełamów wykonane:
a) na granicy obszarów 1/2 oraz b) na granicy obszarów 2/3

4. Podsumowanie i wnioski

Badana tarcza hamulcowa wykonana została z żeliwa szarego z grafitem w postaci płatków w osnowie perlityczno-ferrytycznej. W analizowanych obszarach zidentyfikowano niejednorodną morfologię grafitu. Obszar drugi wyróżnia się długimi, grubymi płatkami rozmieszczonymi równomiernie na całej badanej powierzchni. Obszary pierwszy i trzeci cechowały zbliżone wartości parametrów opisujących geometrię i ułożenie grafitu. Zależność ta może być spowodowana sposobem chłodzenia, jak i wynikać z technologii odlewania tarczy hamulcowej.

Największą dyspersję perlitu zaobserwowano w obszarze trzecim, gdzie stwierdzono klasę Pd 1,6. Najmniejsza dyspersja odpowiadała klasie Pd 1,0 i została zaobserwowana w obszarze pierwszym. Niezróżnicowana budowa strukturalna odlewu zapewnia optymalne właściwości.

Jednorodna struktura stwarza dogodne warunki do prowadzenia procesów obróbki skrawaniem. W badanym elemencie stwierdzono występowanie niejednorodności strukturalnych, które w dalszych etapach obróbki elementu mogą powodować problemy z doбором optymalnych parametrów obróbki wykańczającej element.

Literatura

1. Caban J., Vrábel J., Drożdżel P., Stan bezpieczeństwa transportu drogowego w Polsce i na Słowacji w porównaniu z innymi krajami UE. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 3/2013, s. 1129-1138.
2. Caban J., Drożdżel P., Liścak S., Wybrane aspekty stanu bezpieczeństwa w transporcie drogowym. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2012, nr 3 (89), Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Warszawa 2012, s. 13-19.
3. Szczęsny P., Rymarz J., Korelacja wybranych wskaźników bezpieczeństwa ruchu drogowego na przykładzie Polski i krajów sąsiednich. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2012, nr 5 zeszyt 10, s. 153-162.
4. Rybicka I., Komsta H., Krzywonos L., Analiza uszkodzenia układów bezpieczeństwa na przykładzie autobusów przedsiębiorstwa komunikacji samochodowej „Wschód” w Lublinie. Technika Transportu Szynowego, koleje, tramwaje, metro. Nr 10/2013, s. 1211-1216.
5. <http://autokult.pl/2011/12/06/bezpieczne-hamowanie-wszystko-o-tarczach-hamulcowych-z-dnia13.02.2014>.
6. Rychter R. Budowa pojazdów samochodowych, Warszawa, wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 1987.
7. Orzełowski S. Budowa podwozi i nadwozi samochodowych, Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 2008.
8. Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking. UN ECE, Regulation No 31.
9. Fundowicz P., Radzimierski M., Wieczorek M., Konstrukcja pojazdów samochodowych, Warszawa, wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 2010.

10. Caban J., Holeša L., Jachymek M., Opielak M., Stopa P., Šarkan B., Vrábel J., Badania płynu hamulcowego w samochodach osobowych. Technika Transportu Szynowego, koleje, tramwaje, metro. Nr 10/2013, s. 1183-1192.
11. Caban J., Drożdżel P., Holeša L., Vrábel J., Šarkan B., Research on the brake fluid testers. TRANSCOM 2013 10th European Conference of Young Researchers and Scientists, Proceedings Section 1, Transport and Communications Technology. University of Žilina, 24-26 June 2013 Žilina, Slovak Republic, s. 15-18.
12. <http://www.iepm.pr.radom.pl/dokumenty/BSiTR/Logistyka/Inst%203.pdf> 13.02.2014
13. <http://autokult.pl/2011/12/06/bezpieczne-hamowanie-wszystko-o-tarczach-hamulcowych>
14. Gabrylelewicz M., Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych. Układy hamulcowy i kierowniczy, zawieszenie oraz nadwozie. Część 2, Warszawa, wydawnictwo Komunikacji i Łączności 2011.
15. Klimaszewska K., Moraczyński O., Zdrodowska K., Szala M., Badania strukturalne elementu zacisku hamulcowego, w: M. Szala, M. Walczak (Red.), Zagadnienia teoretyczne i aplikacyjne w inżynierii materiałowej, Politechnika Lubelska, Lublin, 2014: s. 94–108. <http://bc.pollub.pl/dlibra/docmetadata?id=8329>.
16. Chicińska B.(red), Podwozia i nadwozia samochodów osobowych., Warszawa, wydawnictwo REA 2008.
17. Ługowski T., Ługowski J., Mechanik pojazdów samochodowych. Budowa i eksploatacja pojazdów samochodowych. Demontaż, naprawa i obsługa układu hamulcowego.[wydawnictwo broszurowe], Zeszyt 16, Warszawa, wydawnictwo Komunikacji i Łączności 2001.
18. Fundowicz P., Radzimierski M., Wieczorek M.,Konstrukcja pojazdów samochodowych, Warszawa, wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 2010.
19. Ługowski T., Ługowski J.,Mechanik pojazdów samochodowych. Budowa i eksploatacja pojazdów samochodowych. Demontaż, naprawa i obsługa układu hamulcowego.[wydawnictwo broszurowe], Zeszyt 16, Warszawa wydawnictwo Komunikacji i Łączności 2001.
20. Caban J., Drożdżel P., Barta D., Liščák Š.: Systemy monitorujące ciśnienie w oponach pojazdów. IX International Science-Technical Conference Automotive Safety 2014, Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych, Rajecke Teplice, 8-10 April 2014 - 2014, s. 60-66.
21. Prochowski L., Hamulce tarczowe i bębnowe porównanie właściwości na obecnym etapie rozwoju techniki samochodowej, Archiwum motoryzacji L. s. 3-18 2001.
22. Rudnik D., Sobczak N., Gazda A., Homa M., Siewiorek A., Pietrzak K., Makowska K., Właściwości termofizyczne żeliwa przeznaczonego do produkcji tarcz hamulcowych, Prace instytutu Odlewnictwa, Tom LI zeszyt 3, 2011.
23. Ścieszka F., Hamulce cierne. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i tribologiczne, Radom Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji 1998
24. Gardyński L.A., Szala M., Uszkodzenia eksploatacyjne elementów pojazdów, w: L. Gardyński, M. Szala (Red.), Wybrane zagadnienia z budowy i eksploatacji maszyn, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013: s. 76–109. <http://bc.pollub.pl/dlibra/docmetadata?id=6036>.
25. Fundowicz P., Radzimierski M., Wieczorek M., Konstrukcja pojazdów samochodowych, Warszawa, wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne 2010.

26. Jaśkiewicz Z. (red), Poradnik inżyniera samochodowego. Elementy i materiały, Warszawa, wydawnictwo Komunikacji i Łączności 1990.
27. Vadiraj A., Balachandran G., Kamaraj M., Gopalakrishna B., Venkateshwara D., Wear behavior of alloyed hyper eutectic gray cast iron, Tribology International 43, 2010.
28. Podrzucki C., Żeliwo struktura właściwości zastosowanie tom II, Kraków, wydawnictwo ZG STOP 1991.
29. Sakwa W., Żeliwo, Wydawnictwo Śląsk, 1974.
30. Bondaruk F.(red.) Atlas znormalizowanych stopów odlewniczych, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1972.

Badania strukturalne tarczy hamulcowej

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z konstrukcją oraz zasadą działania typowych układów hamulcowych, stosowanych w pojazdach kołowych, m.in. układy tarczowe oraz bębnowe. Scharakteryzowano wymagania konstrukcyjno-materiałowe, stawiane podzespołom wchodzącym w skład układu hamulcowego. Część badawcza pracy dotyczy tarczy hamulcowej. Na podstawie zdjęć mikrostruktur, dokonano identyfikacji żeliwa oraz szczegółowo poddano analizie powierzchnię badanych próbek.

Structural investigation of brake discs

Abstract

The monograph introduces terms associated with the construction and principles of working of typical braking circuits used in wheeled vehicles, i.e. brake discs and drum brakes. The article characterizes the construction and material requirements the units of braking system are subjected to. The research section of the article relates to brake discs. On the grounds of photos of microstructures, the identification of cast iron and a very detailed analysis of examined specimens are carried out.

Modyfikacje parametrów obróbki stali 60SiCr7 i ich wpływ na charakter przełomów przy obciążeniach dynamicznych

1. Wprowadzenie

Poznanie zależności pomiędzy właściwościami wytrzymałościowymi kształtowanymi w procesie wytwarzania a możliwą propagacją pęknięć ma we współczesnych konstrukcjach podstawowe znaczenie, ponieważ pozwala stosować elementy zoptymalizowane pod względem masy. Przedmiotem badań właściwości materiału są również popularne stale sprężynowe, np. krzemowo-chromowe o zawartości węgla około 0,6%. Stale te stosowane są na sprężyny, mające za zadanie akumulację energii odkształcenia oraz na takie elementy, gdzie – ze względu na charakter obciążenia – konieczne jest zastosowanie materiału o dużej wartości stosunku granicy plastyczności do granicy wytrzymałości. Stal 60Si7 jest wykorzystywana w przemyśle krajowym do wytwarzania typowych sprężyn, sprężyn zawieszenia pojazdów samochodowych oraz resorów pojazdów specjalnych. Elementy sprężyste produkowane w Polsce są eksportowane do montowni zlokalizowanych na wszystkich kontynentach. Na obecnym etapie wiedzy i rozwoju konstrukcji elementów sprężystych za bardzo ważne, ze względów techniczno-ekonomicznych, uważane są badania nad poprawą właściwości ich materiału oraz doskonalenie konstrukcji i technologii wytwarzania. Przekonanie to powtarza się zarówno w literaturze światowej jak i w publikacjach krajowych [1-3].

W Stanach Zjednoczonych badania stali z gatunku SAE 9254ALFG, o zawężonej tolerancji składu chemicznego, pozwoliły na uzyskanie wytrzymałości doraźnej o wartości zwiększonej do 2950 MPa. Zwiększenie wytrzymałości doraźnej uzyskuje się poprzez zwiększenie udziału węglików VC, ϵ oraz $(\text{Fe,Cr,V})_3\text{C}$. Bada się również możliwości zwiększania wytrzymałości, w tym zmęczeniowej, przez prowadzenie odpuszczania przy temperaturze niższej, w porównaniu do zalecanej, oraz stosowanie stali o większej liczbie pierwiastków stopowych, również jako mikrodotyków [4-6].

Proces wytwarzania niektórych typów sprężyn projektuje się z wykorzystaniem metody nagrzewania indukcyjnego, która zapewnia korzyści

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, www.kim.pollub.pl, email: k.drozd@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, www.kim.pollub.pl, email: m.szala@pollub.pl

wynikające ze skróconego czasu wygrzewania elementów. Ten typ nagrzewania pozwala na zabezpieczenie przed dekohezją warstwy wierzchniej z powodu oddziaływania wysokiej temperatury pieca. Metody kształtowania materiałów, zwiększające wytrzymałość doraźną, najczęściej mają jednocześnie niekorzystny wpływ na trwałość zmęczeniową [7,8]. Ważne jest więc określenie wpływu technologii na właściwości użytkowe materiału w warunkach porównywalnych do warunków eksploatacyjnych, które prowadzi się również w naszym [9,10]. W przypadku technologii wytwarzania niektórych rodzajów sprężyn bada się możliwości stosowania obróbki powierzchniowej, która mogłaby chronić warstwę wierzchnią materiału szczególnie w sytuacji, gdy wytworzone powłoki malarskie stanowią niewystarczającą ochronę na skutek ich ścierania [11,12].

Badania przedstawione w tej pracy posłużyły do określenia odporności próbek na pękanie przy obciążeniach dynamicznych. Przytoczone wyniki otrzymano dla próbek ze stali 60Si7, po zastosowaniu różnych modyfikacji procesu technologicznego możliwych do wykorzystania w warunkach produkcyjnych. Uzupełnieniem przedstawionych tutaj badań są opublikowane własne wyniki i które odnoszą się do problematyki kruchości stali sprężynowej w obniżonej temperaturze eksploatacji [13] oraz publikacje wyników badań wytrzymałości zmęczeniowej materiału [14-16].

Celem pracy było przedstawienie wpływu modyfikacji parametrów obróbki stali 60Si7 na charakter przelomów przy obciążeniach dynamicznych. Realizację celu badań prowadzono metodami mikroskopowymi i faktograficznymi, w tym z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego ImagePro+.

2. Materiały i metody badań

2.1. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Jako przedmiot badań wybrano często wykorzystywaną stal sprężynową 60Si7 w postaci płaskowników walcowanych na gorąco. Z materiału tego wykonano standardowe próbki o przekroju 10x10 mm (przekrój w miejscu wykonania karbu 8x10 mm) do badań wytrzymałości przy obciążeniach dynamicznych.

Tab. 1. Porównanie składu chemicznego stali 60Si7 użytej do wykonania próbek do badań i zaleceń wg normy PN-H-84032:1974

Pierwiastek		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
Zawartość [% masy]		0,58	0,68	1,68	0,03	0,01	0,04	0,06
Zalecenia normy	max	0,63	0,60	2,00	0,03	0,03	0,30	0,30
	min	0,57	0,90	1,60				

Źródło: opracowanie własne

Analiza składu chemicznego, przeprowadzona przy użyciu spektrometru rentgenowskiego Philips PW 2400, wykazała występowanie w stali pierwiastków wymienionych w tab. 1. W tabeli tej zawarto również graniczne zawartości pierwiastków przytoczone z normy, na którą powołuje się producent materiału. Z analizy tab. 1 wynika, że zawartość siarki w badanej stali osiąga dopuszczalne maksimum dla stali przeznaczonej na sprężyny a zawartość fosforu w stali jest znacznie mniejsza niż dopuszczalna wartość 0,03%. Zwraca również uwagę zmniejszona, w porównaniu z danymi normatywnymi, zawartość Ni i Cr, czyli pierwiastków których większy udział mógłby mieć wpływ na zwiększenie hartowności materiału.

Średnia twardość materiału próbek przed rozpoczęciem badań, oznaczona metodą Brinella, wynosiła 277 HB5/750.

2.2. Przygotowanie próbek

Próbki do badań wytrzymałości dynamicznej przygotowano metodami obróbki skrawaniem z uwzględnieniem kierunkowości struktury materiału w stanie dostawy. W materiale wykonano karb typu U (Mesnager) o głębokości 2 mm.

Obróbkę cieplną próbek prowadzono w piecu elektrycznym muflowym typu LM312.11. Regulację temperatury pieca do obróbki cieplnej próbek prowadzono przy użyciu wbudowanego układu termoregulacji o dokładności ± 5 K w zakresie temperatury austenitizacji. Zgodnie z zaleceniami zawartymi w karcie materiałowej, próbki chłodzono w oleju w sposób ciągły, co odpowiada hartowaniu na wskroś w zwykły sposób, z zamierzeniem otrzymania struktury martenzytycznej. Przed wykonaniem obróbki cieplnej, dla kilku grup próbek, zastosowano zabezpieczenie powierzchni próbek przed wpływem środowiska pieca hartowniczego. Zabieg ten zrealizowano przy użyciu preparatu Durferit Waga, który znajduje zastosowanie między innymi do zabezpieczania niektórych powierzchni stali przed nawęglaniem. Powłokę ochronną o grubości od 0,2 do 0,3 mm uzyskano metodą zanurzania próbek w tym preparacie. Zabiegi tego typu są proponowane jako metody ograniczania dekohezji warstwy wierzchniej podczas samej obróbki cieplnej [10,12].

Bieżącą kontrolę wyników obróbki cieplnej prowadzono poprzez pomiary twardości metodą Rockwella. Ostatecznie, twardość próbek przygotowanych do badań, po hartowaniu i odpuszczaniu, zawierała się w granicach od 400 do 420 HB5/750.

Po obróbce cieplnej, dla niektórych grup próbek, w komorze środowiskowej przeprowadzono symulację środowiska oddziałującego na warstwę wierzchnią elementów. Jako czynnika korozyjnego użyto wodnego roztworu chlorku sodu o stosunku 20:1 $\pm$ 200:1 i odczynie pH z zakresu od 6,5 do 7,5. Czas ekspozycji symulowanego środowiska korozyjnego na próbki do badań wytrzymałości dynamicznej określono na 48 godzin oraz 96 godzin, a temperaturę w komorze

środowiskowej regulowano w zakresie 303 ± 2 K. Wyniki badań tak przygotowanych próbek porównywano również z wynikami dla próbek nie ekspozowanych w środowisku korozyjnym.

2.3. Badania odporności na pękanie przy obciążeniu dynamicznym

Badania odporności materiału próbek na działanie obciążeń dynamicznych prowadzono z użyciem wahadła Charpy o energii nominalnej 147 J i maksymalnej prędkości odkształcenia równej 5,6 m/s. Temperaturę próbek podczas wykonywania testu regulowano w zakresie 243–313 K. Zakres temperatury badania był zbliżony do dwukrotnych maksymalnych rocznych wahań temperatury powietrza w jakiej pracują sprężyny, np. zawieszek pojazdów).

Wytrzymałość dynamiczną określano stosując po trzy próbki do badań przy każdej z dziewięciu wartości temperatury. Liczność próby dla każdej grupy próbek wynosiła więc 27. Wykonano badania sześciu grup próbek przygotowanych według różnych procesów technologicznych. Wartość udarowości wyznaczano jako iloraz energii przełomu do najmniejszego nominalnego pola przekroju próbek w płaszczyźnie pracy wahadła (8x10 mm). W przypadku badanych próbek udarowość wynosiła w granicach od 140 do 260 kJ/m². Wyniki badania udarowości zostały opublikowane w pracy [13].

2.4. Badania fraktograficzne i metalograficzne

Po wykonaniu badań wytrzymałościowych prowadzono badania fraktograficzne przełomów oraz badania metalograficzne mikroskopowe warstw wierzchnich próbek, ze szczególny uwzględnieniem obszarów uszkodzeń. Badania metalograficzne wykonano z zastosowaniem mikroskopów optycznych Nikon oraz mikroskopu skaningowego Leo 1430VP. Analizę składu chemicznego na powierzchni przełomów i próbek metalograficznych wykonano sondą EDS (energy dispersive spectroscopy), w którą wyposażony był mikroskop skaningowy. Badania fraktograficzne uzyskanych przełomów prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania ImagePro Plus.

2.5. Rachunek błędów i statystyka

Wyniki badań poddano obróbce statystycznej. Maksymalny błąd względny wyznaczania wartości udarowości próbek, określony według zależności (1), nie przekraczał 4,38%.

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta E_{n1} + \Delta E_{n2}}{E_n} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h} \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta b = \Delta h = 0,001$ mm – błąd pomiaru długości;

$\Delta E_{n1} = 0,0316 \text{ J}$ – błąd wynikający z klasy przyrządu;

$\Delta E_{n2} = 0,03 \text{ J}$ – błąd wynikający z niedokładności odczytu.

Weryfikacje hipotez o braku różnic pomiędzy badanymi cechami wykonano wg nieparametrycznego testu zgodności. Badane cechy spełniają minimalne wymogi odnośnie zastosowania tego testu o ciągłości dystrybucyjności i liczności próby większej od 6.

Sformułowano hipotezę zerową $H_0 : F_n = F_m$ o braku istotnych różnic pomiędzy dystrybucyjnymi, wobec hipotezy alternatywnej $H_1 : F_n \neq F_m$, która wykluczała brak różnic statystycznych. Wartość statystyki wyznaczona z zależności (2) ma rozkład asymptotyczny równy rozkładowi Kołmogorowa.

$$D_{nm} = \sqrt{\frac{n \cdot m}{n + m}} \cdot [\max |F_n(x) - F_m(x)|] \quad (2)$$

gdzie:

D_{nm} – wartość statystyki dla dwóch prób o liczności n i m ;

F_n, F_m – wartości dystrybucyjności dla prób o liczności n i m ;

x – obejmuje wszystkie wartości zaobserwowane w obydwu porównywanych próbach.

W wyniku obliczeń wyznaczono dolną i górną wartość parametru z , odpowiednio z zależności (3) i (4).

$$z_* = D_{nm} - \lambda_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (3)$$

$$z^* = D_{nm} + \lambda_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (4)$$

gdzie:

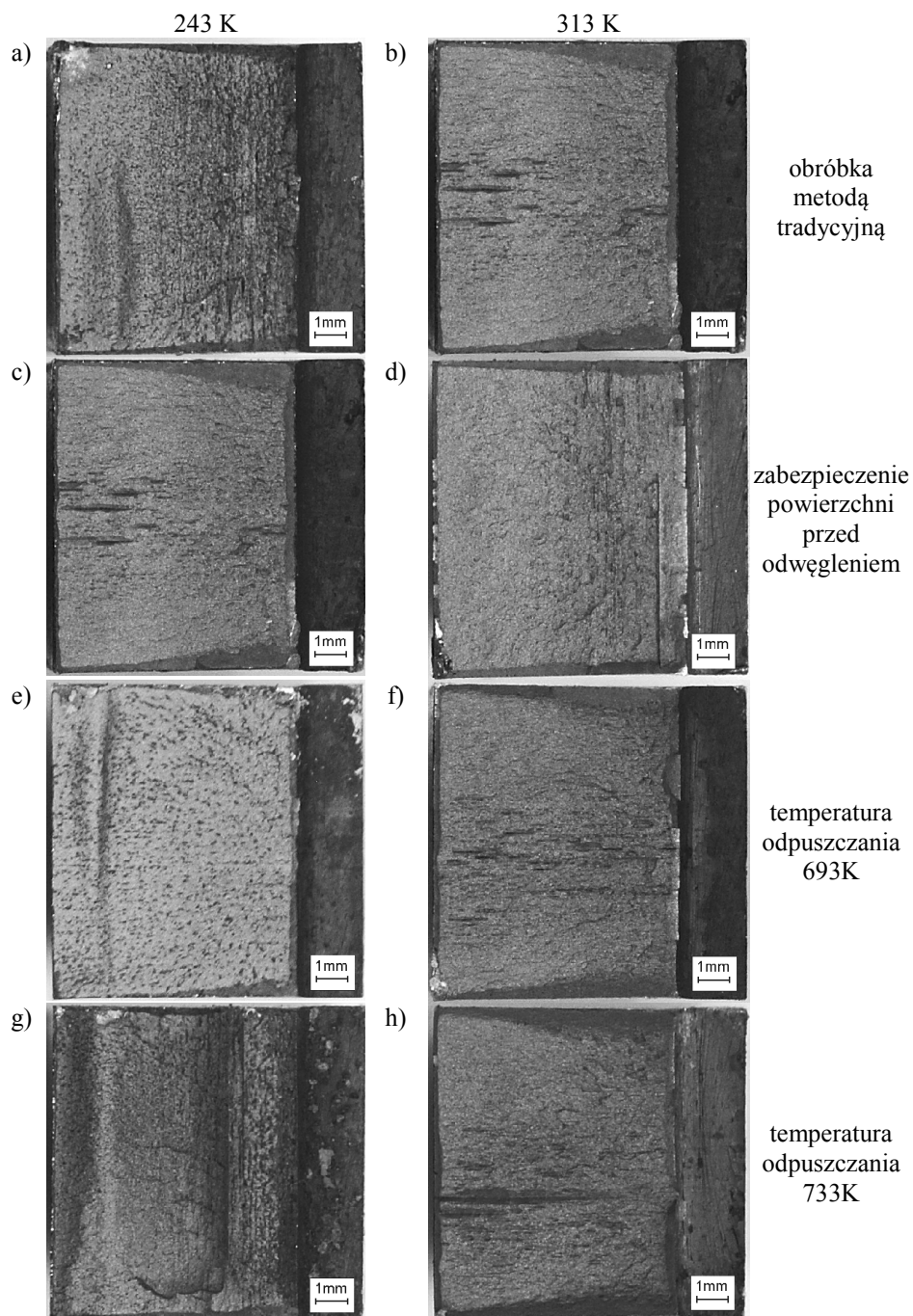
$\lambda_{1-\frac{\alpha}{2}} = \lambda_{0,975} = 1,960$ – kwantyl rozkładu normalnego;

$\alpha = 0,05$ – poziom istotności (dla 95% przedziału ufności);

$n = 27$ – liczność próby.

3. Wyniki badań i dyskusja

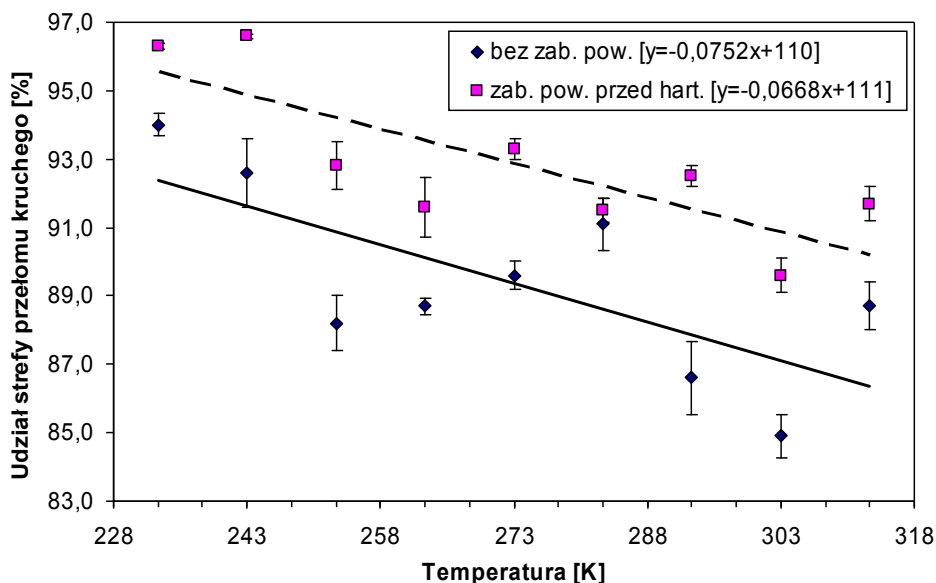
Dla próbek ze stali 60Si7 wykonano badania wytrzymałości na obciążenia dynamiczne. Przełomy uzyskane w wyniku tych badań cechują się różną strukturą, zależną głównie od temperatury próbek podczas badania. W celu ich scharakteryzowania wyznaczono udział strefy przełomu kruchego w odniesieniu



Rys. 1. Przykłady porównania struktury przełomów, wykonanych przy temperaturze 243 K oraz 313 K próbek obrabianych w różny sposób [opracowanie własne]

do całej powierzchni przelomu. W przypadku przechodzenia materiału w stan kruchy granica plastyczności materiału osiąga wartość granicy wytrzymałości i na przelomach nie jest widoczna strefa odkształcenia plastycznego materiału. W takim przypadku udział strefy przelomu kruchego osiąga wartość 100% [8].

Na rysunku 1 przedstawiono obrazy przelomów próbek ze stali 60Si7. Przelomy wykonano przy różnej temperaturze próbek. Zgodnie z przewidywaniami, przelomy wykonane przy temperaturze 243K (rys. 1a, c, e, g) charakteryzują się mniejszym udziałem strefy odkształconej (większą kruchością) niż te wykonane przy temperaturze wyższej (rys. 1b, d, f, h). Wiąże się z tym odpowiednio większa powierzchnia, która uległa uszkodzeniu bez widocznych odkształceń plastycznych. Podczas badania udarności przy temperaturze 313K (rys. 1b i 1f i 1h) próbki uległy znacznym odkształceniom (zmianie przekroju) w obszarze przelomu spowodowanym przez plastyczne odkształcenie materiału podczas testu.

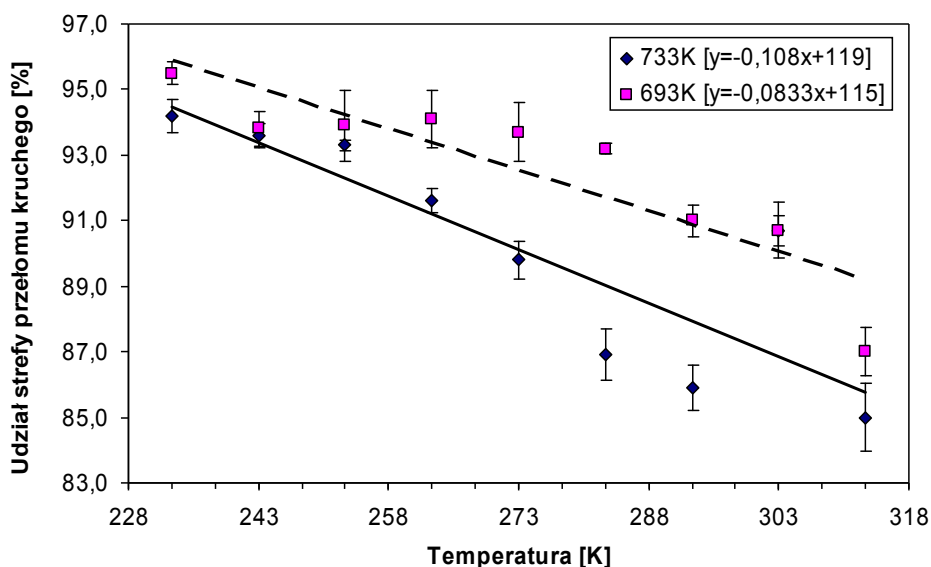


Rys. 2. Średni udział strefy przelomu kruchego dla próbek po zabezpieczeniu powierzchni (oraz bez stosowania takiego zabiegu) w zależności od temperatury testu [opracowanie własne]

Zależności udziału strefy przelomu kruchego, dla próbek zabezpieczonych przed wpływem atmosfery pieca hartowniczego i próbek obrabianych bez takiego zabezpieczenia, przedstawiono na rys. 2. Przelomy próbek przygotowanych wg pierwszego z tych sposobów (przelomy na rys. 1c i d), następnie ulepszanych cieplnie, charakteryzowały się większym udziałem strefy przelomu kruchego, od 3% do 4%, w całym zakresie temperatury badania. Przy najniższej temperaturze badania, różnice wartości udziału strefy przelomu

kruchego były mniejsze. Ze statystycznego punktu widzenia, porównując statystyki dla dystrybuanty wartości przedstawionych na rys. 2 można mówić o istotnej różnicy (poziom istotności 0,05) wynikającej ze sposobu obróbki próbek.

Wysunięto wniosek, że zabezpieczenie przed odwęgleniem, podczas ulepszania cieplnego, spowodowało w warstwie wierzchniej zwiększenie wartości stosunku granicy plastyczności do granicy wytrzymałości. Z punktu widzenia wytrzymałości materiału (ograniczenie destrukcji warstwy wierzchniej przez oddziaływanie atmosfery pieca hartowniczego), powinna to być zmiana korzystna, jednak w badanych warunkach spowodowała zmniejszenie strefy przelomu, która uległa odkształceniu plastycznemu. To z kolei bezpośrednio wpłynęło na zwiększenie udziału strefy przelomu kruchego.

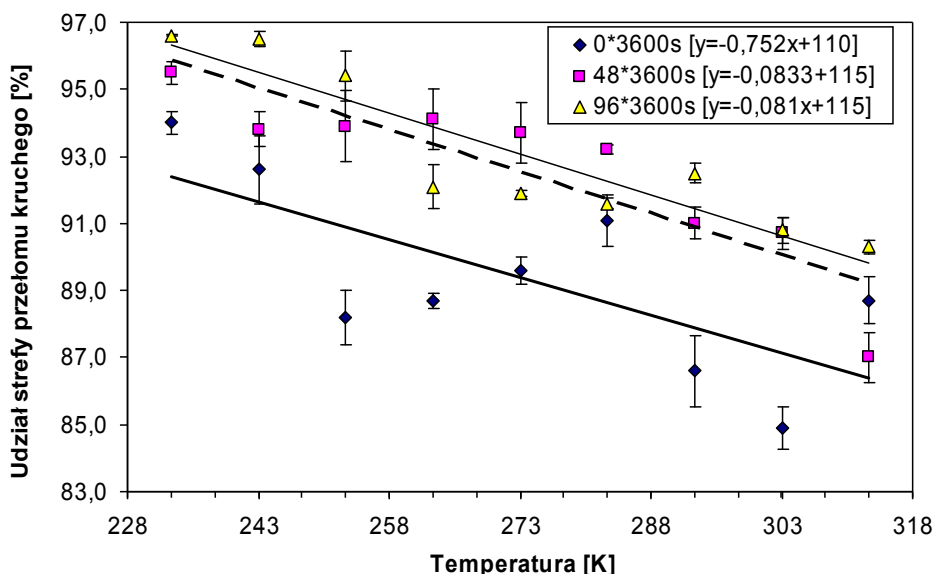


Rys. 3. Wpływ temperatury odpuszczania na strukturę przelomu przy obciążeniu dynamicznym. Próbkę hartowano, odpuszczano, ekspozowano w komorze środowiskowej przez czas 48h i badano [opracowanie własne]

Zmniejszenie temperatury odpuszczania próbek do 693 K, co jest zgodne z publikowanymi parametrami obróbki [3,4], wpłynęło na zwiększenie udziału strefy przelomu kruchego, zwłaszcza przy największej temperaturze badania (rys. 3, rys. 1e i 1f). Maksymalna różnica udziału strefy przelomu kruchego, w porównaniu z wartościami dla próbek odpuszczanych przy temperaturze 733K (rys. 1g i 1h), osiągnęła ponad 4%. Dla próbek badanych przy największej temperaturze, średni odsetek udziału strefy przelomu kruchego był zbliżony w porównywanych próbkach. Zgodnie z danymi literaturowymi, obniżenie temperatury odpuszczania materiału na sprężynie pozwala podwyższyć wartość

trwałości zmęczeniowej, jednak odporność na pękanie kruche może się zmniejszyć, szczególnie przy największej temperaturze eksploatacji.

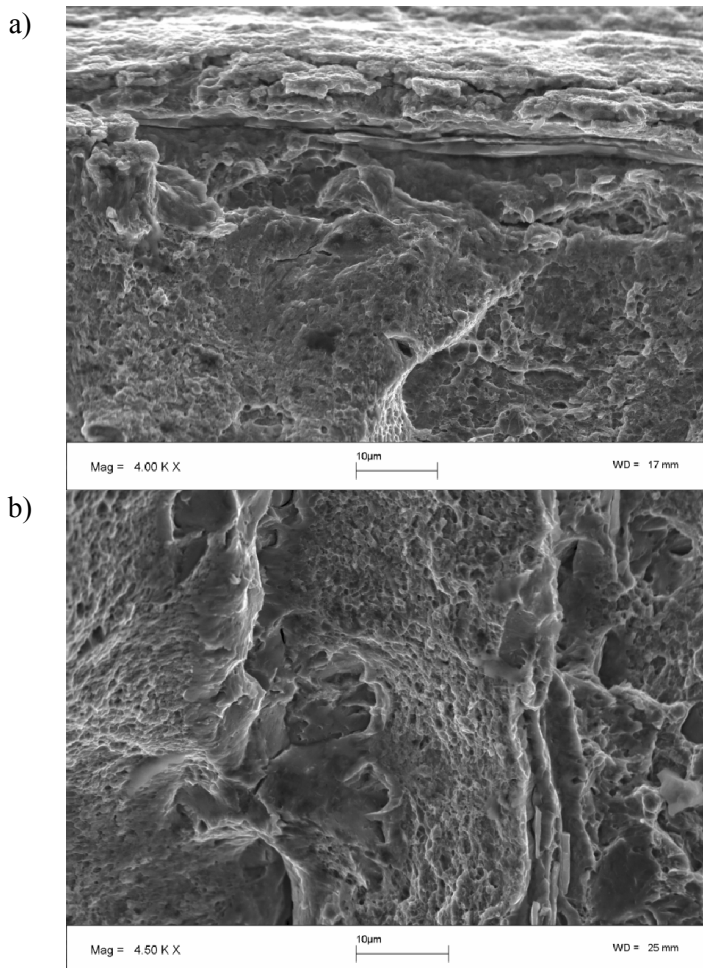
Wartości udziału strefy przełomu kruchego na próbkach po badaniu wytrzymałości dynamicznej były porównywalne (maksymalna różnica wyniosła około 0,8 %) podczas testu w całym zakresie temperatury badania (rys. 4). Największy udział strefy przełomu kruchego uzyskano dla próbek nie poddawanych oddziaływaniu środowiska solnego. Należy stwierdzić, że występowanie dekohezji warstw wierzchnich, spowodowanych oddziaływaniem środowiska solnego, wiązała się ze zmniejszeniem wielkości strefy plastycznie odkształconej na uzyskanych przełomach.

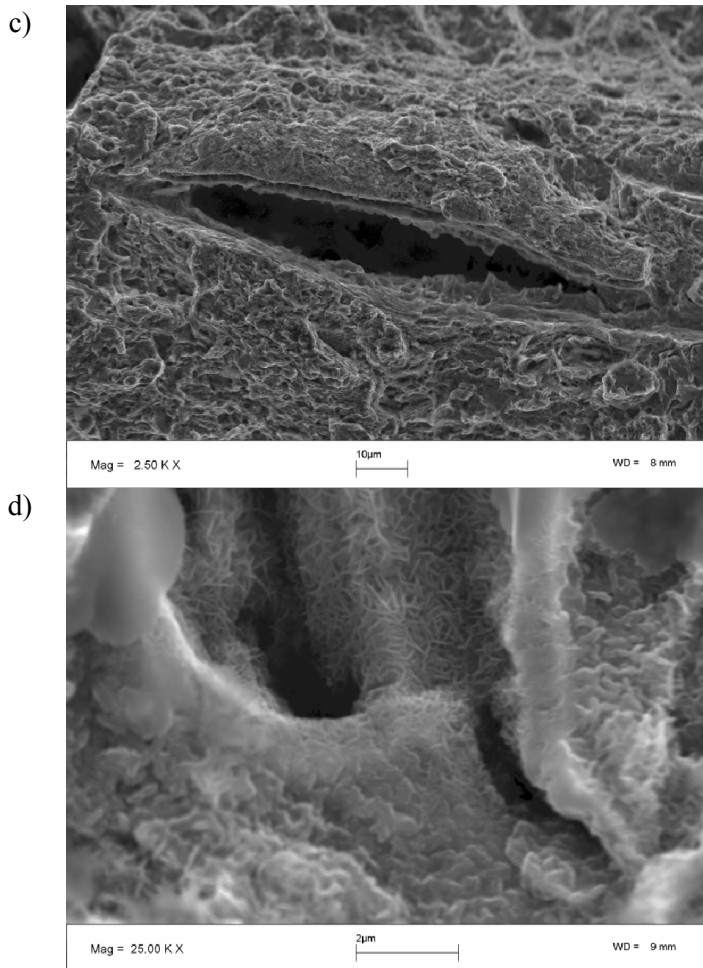


Rys. 4. Wpływ czasu oddziaływania środowiska korozyjnego (0h, 48h i 96h) na strukturę przełomu uzyskanego przy obciążeniach dynamicznych. Dla próbek ulepszanych cieplnie, (nie)eksponowanych w komorze środowiskowej przez różny czas i badanych [opracowanie własne]

Wyniki analizy udziału strefy przełomu kruchego na przełomach próbek ze stali 60Si7 przedstawiono na rysunkach 2 – 4. Udział strefy przełomu kruchego zmieniał się w granicach 86-96%. Niezależnie od tego jakie parametry obróbki były regulowane, zwracają uwagę odwrotne zależności funkcyjne pomiędzy temperaturą podczas badania a udziałem strefy przełomu kruchego. Analiza statystyczna rozkładów dystrybuanty, we wszystkich badanych przypadkach (oprócz zmiany czasu oddziaływania środowiska solnego), wykazała różnice wystarczające, aby przy poziomie zgodności 0,05 odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy temperaturą badania a udziałem strefy przełomu kruchego ze względu na badane cechy.

Potwierdzenie oceny struktury uzyskanych przełamów uzyskano podczas obserwacji powierzchni przełamów przy użyciu mikroskopu skaningowego. Przykłady obserwowanych struktur dla przełamów uzyskanych przy temperaturze 263 K przedstawiono na rys. 5. Przełomy miały charakter transkrystaliczny kruchy (rys. 5a). Na rys 5b widoczna jest krawędź pomiędzy skrzydełkiem a rdzeniem próbki, rozdzielająca charakterystyczne obszary przełomu transkrystalicznego mieszanego. Przełom trans krystaliczny plastyczny przedstawiono na rys. 5c, gdzie widoczne są szczeliny będące pozostałością po walcowaniu materiału. Równoległe do karbu, w jego sąsiedztwie powstały mikropęknięcia o znacznych wymiarach (rys. 5d). Przełom kruchy występował również w rdzeniu próbek (rys. 5d). W pobliżu krawędzi próbek, na powierzchni przełomu, obserwowano materiał w różnym stopniu odkształcony, jak to przedstawiono na rys. 5c.





Rys. 5. Mikrofotografie SEM struktury materiału na przełomie przy temperaturze 263K:
a) transkryształiczny kruchy przełom w pobliżu karbu próbki hartowanej po zabezpieczeniu powierzchni; b) przełom transkryształiczny mieszany rdzenia próbki z widocznymi uskokami;
c) przełom transkryształiczny plastyczny z widoczną szczeliną powstałą podczas walcowania;
d) transkryształiczny kruchy przełom rdzenia próbki z widocznymi szczelinami i wiskerami
[opracowanie własne]

4. Podsumowanie i wnioski

Oceniając udział części kruchej na przełomach próbek wykonanych ze stali 60Si7 należy zauważyć niezbyt dużą plastyczność materiału. Podczas badań przy obciążeniach dynamicznych próbki tej stali ulegały częściowym odkształceniom w obszarze przełomu. Dla przełomów tych stwierdzono duży udział strefy przełomu kruchej obejmujący nie mniej niż 86% w całym zakresie regulacji temperatury badania.

Charakterystyczną tendencją, widoczną na wszystkich wykresach zamieszczonych w pracy było występowanie coraz większej strefy przelomu kruchego przy obniżaniu temperatury badania. Mimo to nie zaobserwowano przechodzenia materiału w stan kruchy, rozumianego jako gwałtowne zmniejszenie energii przelomu przy obniżaniu temperatury badania. Udarność stali 60Si7 słabo zależy od temperatury, stal wykazywała wysoką odporność na przechodzenie w stan kruchy w badanych warunkach. Jest to stan korzystny, zważywszy na typowe przeznaczenie tego materiału na sprężyny zawieszek pojazdów.

Zastosowanie symulowanego oddziaływania środowiska powodowało zwiększenie udziału strefy przelomu kruchego w badanych próbkach. Badania wykazały występowanie statystycznie istotnych różnic pomiędzy wartościami udziału strefy przelomu kruchego ze względu na wszystkie badane sposoby modyfikacji technologii obróbki materiału.

Badania mikroskopowe potwierdziły mieszany charakter przelomów uzyskanych w wyniku badań wytrzymałości dynamicznej. Przelomy miały charakter transkrystaliczny mieszany, a na charakterystycznych fragmentach próbek można wyróżnić wyraźne strefy przelomu kruchego lub plastycznego. Powierzchnie przelomów kruchych charakteryzowały się występowaniem różnej wielkości mikropęknięć równoległych do płaszczyzny karbu.

Korzystne właściwości elementów sprężystych można uzyskać stosując proponowane dwa zmodyfikowane sposoby obróbki materiału. Zabezpieczenie powierzchni materiału przed wpływem atmosfery pieca hartowniczego oraz zmniejszenie temperatury odpuszczania, które mogą wpływać na zmianę charakteru przelomu widoczną jako zmniejszenie udziału strefy przelomu kruchego. Taka modyfikacja technologii stali sprężynowych pozwoliłaby na zwiększenie trwałości sprężyn eksploatowanych w kraju.

Literatura

1. McCaflin D., Fatemi A.: Torsional deformation and fatigue of hardened steel including mean stress and stress gradient effects. *International Journal of Fatigue* 26 (2004) 773-784.
2. Nakoneczny A., Mońka G.: Wpływ kulowania na wytrzymałość zmęczeniową stali sprężynowej po oddziaływaniu korozji. *Inżynieria Powierzchni* 3 (2004) 14-19.
3. Branowski B., Głowala S.: Synthesis attempt and applications of the universal principles in design of springs. *Metodi Modelŭvannâ Ob'ektiv Proektuvannâ*. Vidavnictvo Lvovskoï Politehniki 651 (2009) 157-167.
4. Barani A.A. (et al.): Design of high strength steels by microalloying and thermomechanical treatment. *Materials Science & Engineering A463* (2007) 138-146.
5. Nie Y. (et al.): Effect of boron on delayed fracture resistance of medium-carbon high strength spring steel. *Journal of Iron and Steel Research* (2007)14, s. 53-57.
6. Prawoto Y. (et al.): Carbon restoration for decarburized layer in spring steel. *Journal of Materials Engineering and Performance* 13 (2004)5, s. 627-636.

7. Clarke C.K., Borowski G.E.: Evaluation of leaf spring failure. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 6 (2005) 54-63.
8. Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
9. Shilong W. (et al.): Research on torsional fretting wear behaviors and damage mechanisms of stranded-wire helical spring. *Journal of Mechanical Science and Technology* 25 (2011) 2137-2147.
10. Drozd K.: Abilities of reliability increasing of flat elastic elements. *Konferencja Automatizacja: Problemy, Idei, Rešenja, Sevastopol 2006*, s. 141-143.
11. Medvedev A.M. (et al.): Protection of steels and alloys from oxidation and decarburization during heat treatment in muffle and bell furnaces. *Metal Science and Treatment* 45 (2003)7-8, s. 270-272.
12. Cai Z.B., Zhu M.H., Zhang Q.: Oxidation behaviors of steel-to-steel contact under torsional fretting wear. *Journal of Xi'an Jiaotong University* 43 (2009) 86-90.
13. Drozd K., Weroński A.: Technologia kształtowania odporności stali resorowej na obciążenia dynamiczne przy niskich temperaturach. *Inżynieria Materiałowa* 6 (2003) 295-298.
14. Zhang D.K., Ge S.R.: Fatigue performance of steel wires with fretting worn notch. *Journal of Mechanical Engineering* 42 (2006) 173-177.
15. Branowski B.: Sprężyny metalowe. Wyd. PWN, Warszawa 2013.
16. Drozd K., Gardynski L.: Wytrzymałość zmęczeniowa stali sprężynowych przy oddziaływaniu środowiska korozyjnego na powierzchnię próbek. *Inżynieria Powierzchni* (2010)1, s. 36-43.

Modyfikacje parametrów obróbki stali 60Si7 i ich wpływ na charakter przelomów próbek przy obciążeniach dynamicznych

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analizy przelomów próbek z karbem, powstających przy obciążeniach dynamicznych. Próbkę wykonano z często wykorzystywanej stali sprężynowej o znaku 60Si7. Badania polegały na charakteryzowaniu powierzchni uzyskanych przelomów pod kątem względnego udziału strefy nieodkształconej, którego wartość dochodzi do 100% w przypadku przelomu kruchego. Stwierdzono statystycznie istotne zależności pomiędzy morfologią przelomów a wszystkimi badanymi cechami i parametrami obróbki materiału.

Słowa kluczowe: stal sprężynowa, obróbka cieplna, obciążenia dynamiczne.

Modification of treatment parameters of 60Si7 steel and its effect on fracture at impact load

Abstract

The results of the analysis of fractured in the impact test of notched specimens are shown in the paper. The samples were made of spring steel 60Si7 which is often used in vehicles suspension. The study consisted in characterizing fracture surface which had been obtained during tests. After tests, there were calculated the percentage of undeformed area, the value of which reaches 100% in the case of brittle fracture of samples. There was a statistically significant relationship between the morphology of the fracture and all the studied features and parameters of the material processing.

Keywords: spring steel, heat treatment, impact load

Indeks autorów

Czyż Zbigniew	21
Drozd Kazimierz	98
Dudek Piotr	53
Dziubińska Anna	6
Feder-Kubis Joanna	32
Filip Bartosz	64
Girol Anna	42
Gontarz Andrzej	6
Grabowski Łukasz	21
Jaczyński Mikołaj	42
Jaworska Mariola	42
Kiryluk Justyna	78
Lenart Iwona	64
Maruszczyk Andrzej	78
Pietrykowski Konrad	21
Pizoń Jakub	53
Siemionek Ewa	6
Szala Mirosław	64,78,98
Świerczek Urszula	32
Węgorowski Paweł	6
Zdrodowska Kamila	78