

POSTĘPY nauki i techniki

Advances in Science and Technology

10/2011

Zespół Redakcyjny / *Editorial Committee:*

Gabriel Borowski – *redaktor naczelny / Editor-in-Chief*

Monika Wrona – *sekretarz redakcji / Secretary*

Renata Lis – *redaktor / Editor*

Sylwester Korga – *redaktor / Editor*

Czasopismo recenzowane / *Reviewed Journal*

Rada Programowa / *Programing Board:*

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

Adres Redakcji / *Editorial Office:*

Politechnika Lubelska

Katedra Podstaw Techniki

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38

tel. (81) 538 14 89, fax (81) 525 93 85

e-mail: pnt@pollub.pl, <http://www.pnt.pollub.pl>

© Copyright by Katedra Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej.

ISSN 2080-4075

Wydawca / *Publisher:*

Oddział SIMP w Lublinie

ul. Chmielna 2a

20-079 Lublin

<http://www.lublin.simp.pl>

SPIS TREŚCI

Piotr Penkała MODELOWANIE ZŁOŻENIA SILNIKA W PROGRAMIE SOLID EDGE	5
Jacek Domińczuk WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW KONSTRUKCYJNYCH I TECHNOLOGICZNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH	14
Daniel Gąska, Antoni Świć PROCES WDROŻENIA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO WSPOMAGAJĄCEGO STERO- WANIE I ZARZĄDZANIE PRODUKCJĄ W ZAKŁADZIE OBRÓBKİ METALI KOMECH	27
Stanisław Parafiniuk, Józef Sawa, Dariusz Wołos AUTOMATYCZNE URZĄDZENIE DO OCENY STANU TECHNICZNEGO ROZPYLACZY ROLNICZYCH	39
Marek Błaszczak ANALIZA WPŁYWU ZEWNĘTRZNEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA ZMIANĘ WŁAŚCI- WOŚCI MAGNETYCZNYCH STOPU CO – CR – NI	49
Piotr Jaremek, Miron Czerniec ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW WIERCENIA NA ZUŻYCIE UZBROJENIA ŚWIDRÓW GRYZOWYCH	61
Tomasz Klepka, Paweł Zaprawa ANALIZA KONSTRUKCJI OPTOTELEKOMUNIKACYJNYCH MIKROKANAŁÓW O KSZTAŁTACH ZŁOŻONYCH	72
Miron Czerniec, Jerzy Kiełbiński, Jurij Czerniec, Piotr Jaremek OSZACOWANIE WPŁYWU MODUŁU NA ZUŻYCIE STOŻKOWEJ PRZEKŁADNI EWOLWENTOWEJ O ZĘBACH SKOŚNYCH	81
Oleg Draczew, Antoni Świć, Wiktor Taranenko STEROWANIE UKŁADEM DYNAMICZNYM OBRÓBKİ CZĘŚCI OSIOWOSYMETRYCZ- NYCH O MAŁEJ SZTYWNOŚCI	85
Łukasz Wojciechowski, Tadeusz Cisowski NOWE PODEJŚCIE W REGULACYJNYM ZARZĄDZANIU POTOKAMI TRANSPORTOWYMI	93
Witold M. Lewandowski, Tadeusz Pyś, Ewa Radziemska, Michał Rymś AUTOMATYZACJA PROCESU OBLICZEŃ EFEKTYWNOŚCI RÓŻNYCH TERMODYNAMICZNYCH WARIANTÓW PRACY UKŁADÓW ORC	99
Renata Lis MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SYMULACJI KOMPUTEROWYCH I WIRTUALNYCH LABORATORIÓW W KSZTAŁCENIU INŻYNIERÓW	113

Jerzy Montusiewicz PROJEKTOWANIE I WIZUALIZACJA 3D OGRODÓW PRZYDOMOWYCH W PROGRAMIE AUTOCAD	124
Marcin Barszcz, Mykhaylo Pashechko WYKORZYSTANIE PROGRAMU MATHCAD DO ROZWIĄZYWANIA ZAGADNIENÍ INŻYNIERSKICH NA PRZYKŁADZIE KONSTRUKCJI KRATOWEJ	140
Artur Popko PROGRAMOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI MATLAB MATHWORKS	151
Gabriel Borowski EFFECT OF FRICTION FOR DENSITY DISTRIBUTION IN DIE COMPATION OF POWDERS	159
Mirosław Malec, Renata Lis, Marcin Barszcz ŹRÓDŁA INFORMACJI O STUDIACH NA WYDZIALE PODSTAW TECHNIKI POLITECH- NIKI LUBELSKIEJ I MOTYWY ICH PODJĘCIA W PERCEPCJI STUDENTÓW	169

Piotr Penkała¹

MODELOWANIE ZŁOŻENIA SILNIKA W PROGRAMIE SOLID EDGE

Streszczenie. W artykule zaprezentowano możliwości budowania wirtualnych złożeń na przykładzie silnika Wankla. Jest to zespół, który konstrukcyjnie i technologicznie stawia przed projektantami i wykonawcami znaczne trudności. Dlatego utworzenie modelu wirtualnego wraz z symulacją ruchu jest narzędziem, które może wyeliminować błędy na etapie eksploatacji. Program Solid Edge ST2 daje bardzo duże możliwości projektowania dużych złożeń oraz przeprowadzania symulacji ruchu.

Słowa kluczowe: modelowanie złożeń, symulacja ruchu, programy CAD.

WSTĘP

Główne zasady modelowania złożeń, które wpływają na uzyskanie efektywnego i elastycznego modelu wirtualnego to:

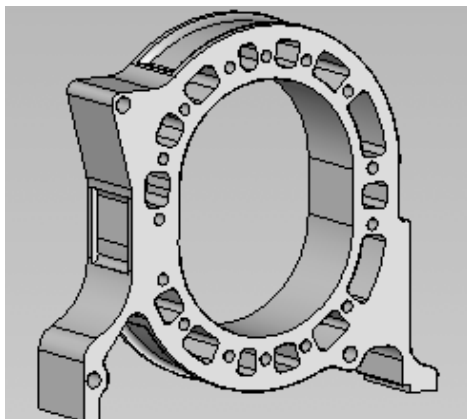
- celowy podział urządzenia na strukturę z wieloma poziomami podzłożeń, wynikającą przeważnie z funkcjonalności poszczególnych zespołów;
- odpowiedni wybór pierwszego komponentu w przestrzeni predefiniowanych w środowisku złożenia tj. korpus, podstawa, obudowa;
- wykorzystanie normaliów dostępnych z bibliotek;
- wynikające z charakteru ruchliwości nadawanie wiązań (odbieranie stopni swobody);
- niedefiniowanie zbędnych wiązań np. w elementach złącznych;
- wykorzystanie konfiguracji złożeń;
- właściwe stosowanie ruchliwości podzłożeń w złożeniu głównym w trybie elastyczny lub sztywny;
- umiejętna praca z „dużymi złozeniami” (stan pamięci komponentów w złożeniu: w pełnej pamięci, odciążony, wygaszony).

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

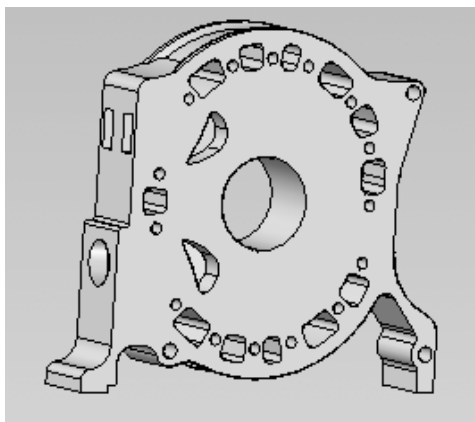
MODELOWANIE ZŁOŻENIA SILNIKA WANKLA

W Solid Edge istnieje możliwość tworzenia części w kontekście zespołu lub składania złożeń z części utworzonych uprzednio. W przypadku silnika opisanego w opracowaniu jego poszczególne elementy zamodelowane zostały oddzielnie, dlatego skorzystano z drugiej metody tworzenia zespołu.

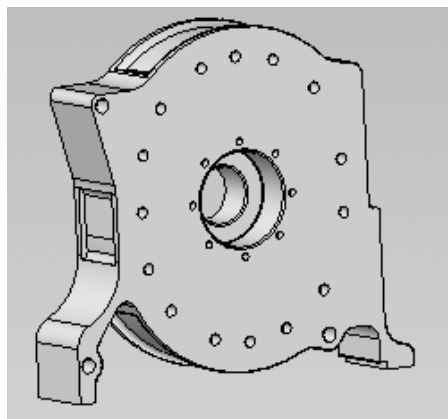
W skład złożeń wchodzi: tłok, wał, cylinder, pokrywy, układ wydechowy, tuleje, śruby i uszczelnienia. Części zespołu przedstawiono na rysunkach 1, 2 i 3.



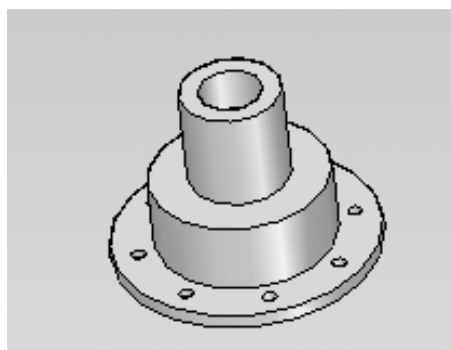
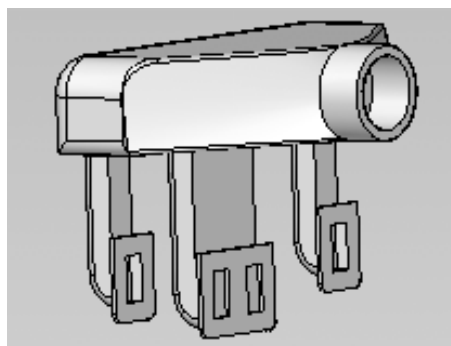
Rys. 1. Cylinder



Rys. 2a. Pokrywa – część środkowa



Rys. 2b. Pokrywa – część przednia




Rys. 3. Układ dolotowy i tuleja

Następny krok po utworzeniu nowego dokumentu zespołu to wybranie



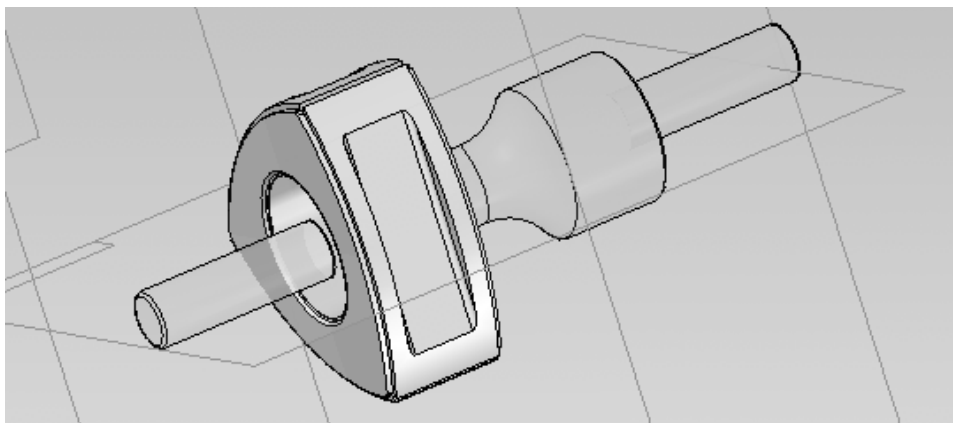
w narzędziu „EdgeBar” karty „Biblioteka części”

i utworzenie folderu, w którym zapisane zostały części silnika. Do zespołu elementy dodawane są poprzez zaznaczenie na liście pliku z otwartego w „Bibliotece części” katalogu, przeciągnięcie i upuszczenie w oknie programu. Pierwsza umieszczona część staje się podstawowym składnikiem zespołu. Solid

Edge ustala jej położenie stosując relację utwierdzenia . Żadne inne relacje nie są potrzebne, aby w pełni zdefiniować jej położenie w zespole. Pierwsza wstawiana część zostaje usytuowana tak, aby jej układ współrzędnych pokrył się z układem współrzędnych zespołu. Wybór tej części jest istotny, gdyż stanowi ona bazę, w stosunku, do której definiowane jest określenie pozostałych elementów w złozeniu.

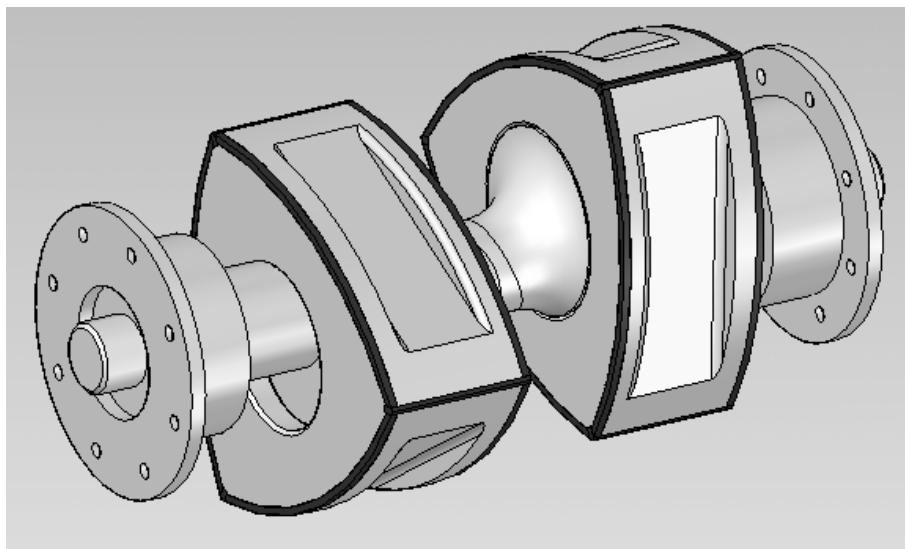
Umieszczając w zespole kolejne części określa się ich położenie poprzez określenie relacji między częścią wstawianą a istniejącymi już w zespole. Relacje te mogą być później edytowane, blokowane i usuwane.

Składając tłok i wał wykorzystano narzędzie „FlashFit”. Ten sam efekt dałoby wykorzystanie polecenia „Współosiowość” i „Przyleganie”.



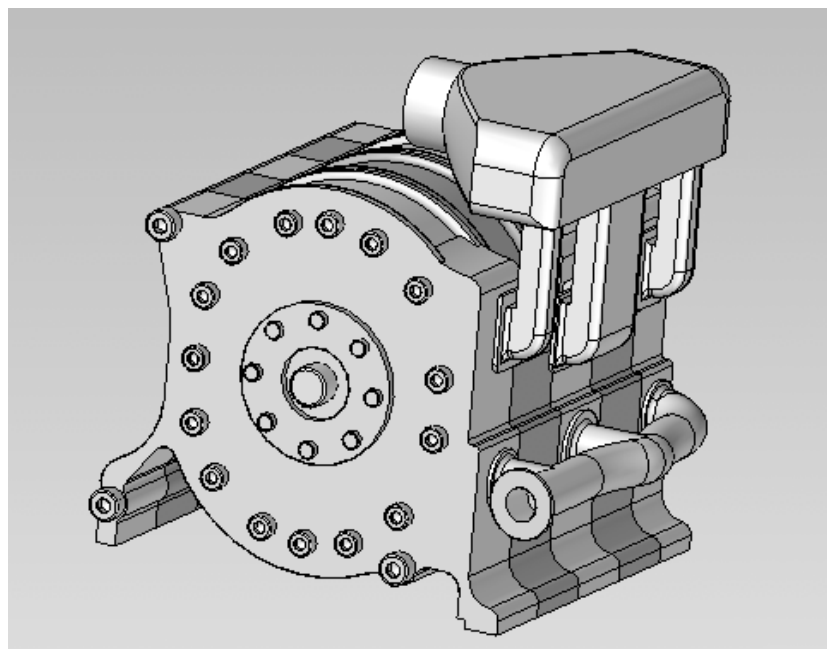
Rys. 4. Złożenie tłok - wał

Do złożenia wstawiane były i pozycjonowane kolejne części silnika.



Rys. 5. Etapy tworzenia silnika – złożenie wał, tłoki, uszczelnienia i tuleje


Końcowe złożenie przedstawia się jak na rysunku 6.



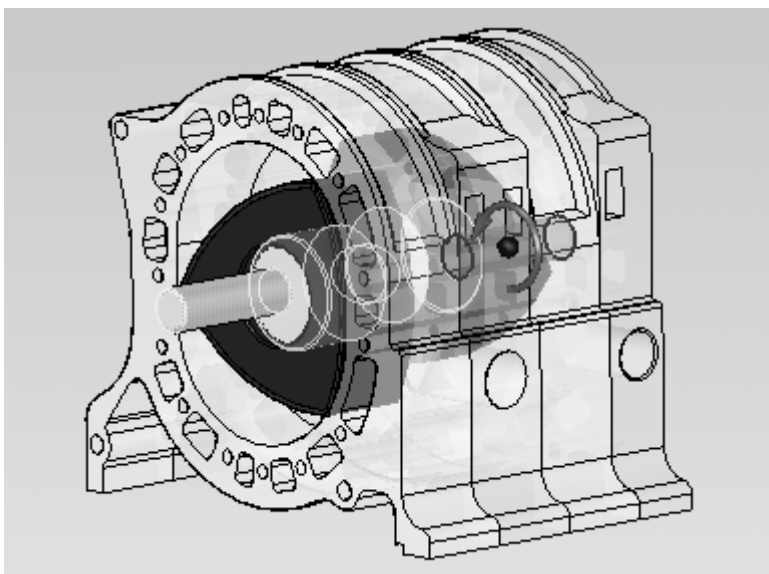
Rys. 6. Zespół silnika

SYMULACJA RUCHU

W module „Assembly” istnieje możliwość zrealizowania symulacji ruchu obrotowego lub liniowego elementów.

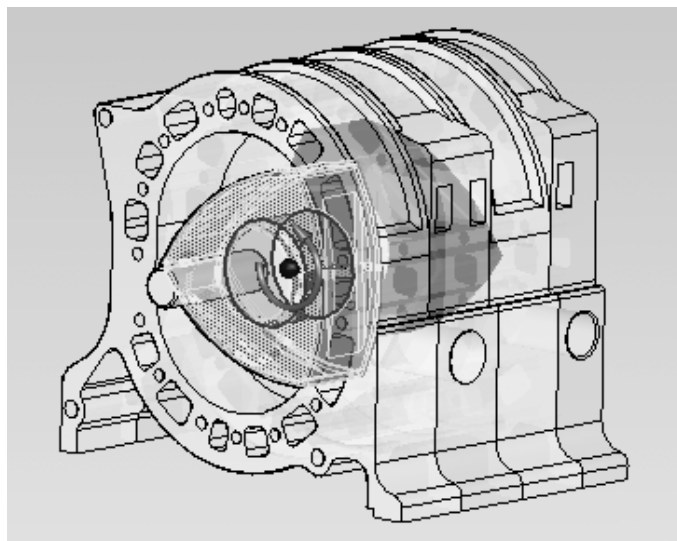
Tworzenie symulacji pracy silnika Wankla rozpoczęto od wybrania polecenia „Silnik” . Na pasku wstęgowym dokonuje się wyboru typu silnika – wybrano silnik obrotowy - oraz określa się szybkość ruchu i limit stopni.

Jako pierwszą część, która ma być napędzana przez silnik wybrano wał. Szybkość ruchu wału silnika założono na 120 rad/sekundę. Następnie wybrano oś, względem której część ma się obracać. Program wyświetla możliwe kierunki ruchu, żądany kierunek akceptuje się kliknięciem lewym przyciskiem myszy.



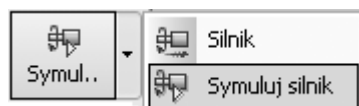
Rys. 7. Określenie osi i kierunku ruchu wału

Ponieważ w silniku ruch obrotowy wykonuje zarówno wał, jak i dwa tłoki należy nadać ruch również tłokom. W silniku Wankla prędkość obrotowa tłoka jest trzykrotnie mniejsza niż prędkość wału, dlatego w pasku „SmartStep” dla tłoka zadano trzykrotnie mniejszą prędkość 40 rad/sekundę. Oś obrotu w tym przypadku będzie oś mimośrodu. Każdej części wykonującej ruch nadajemy taki sam kierunek obrotu.

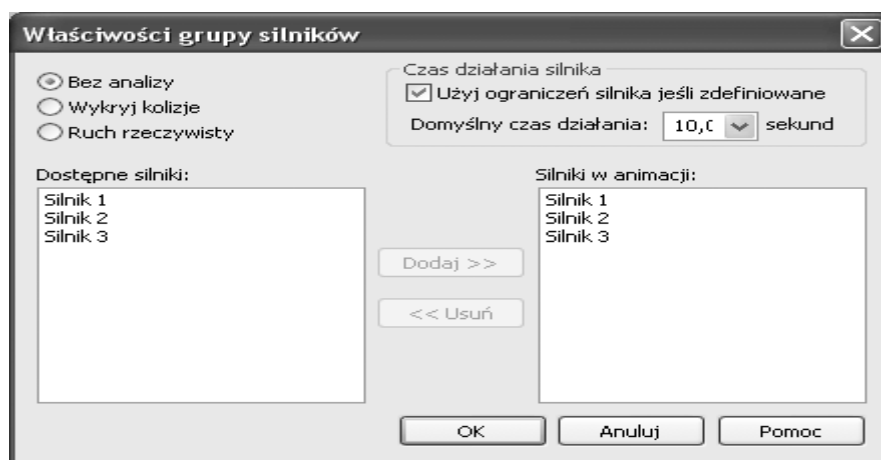


Rys. 8. Oś i kierunek ruchu tłoka

Aby obejrzeć symulację należy wybrać





Pojawia się wtedy okno: „Właściwości grupy silników”, w którym wybieramy silniki do animacji. W oknie definiuje się też wykrywanie kolizji przez program oraz czas trwania symulacji.

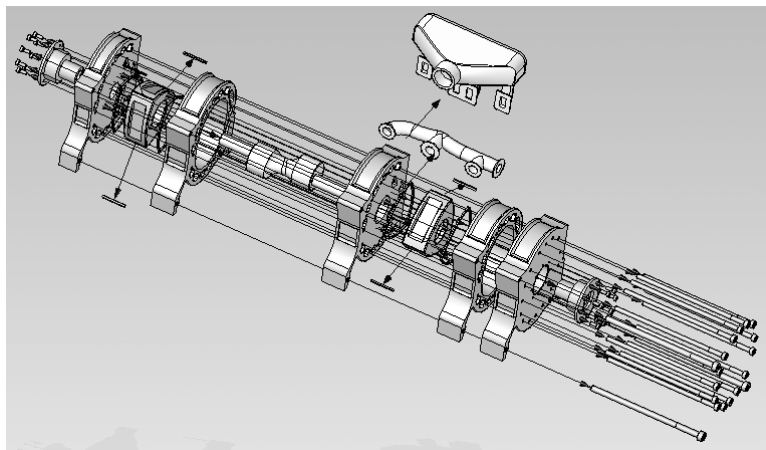


Rys. 9. Okno „Właściwości grupy silników”

Aby lepiej przedstawić konstrukcję zespołu wykonuje się widoki rozstrzelone. Celem uzyskania rozstrzelenia zespołu skorzystać należy z opcji „Rozstrzelenie – Rendering – Animacja”.

W Solid Edge dostępna jest opcja rozstrzelenia automatycznego . Wykonany w opracowaniu silnik składa się z dużej liczby elementów i zastosowanie tego polecenia nie przyniosło oczekiwanych efektów. Dlatego w tym przypadku użyto polecenia „Rozstrzel”  i w środowisku widoków rozstrzelonych odsuwano kolejno poszczególne grupy części (np. jednakowe śruby) lub części pojedyncze.

Efekty wykonania rozstrzelenia przedstawione zostały na rys. 10.



Rys. 10. Rozstrzelenie z widocznymi liniami ruchu

PODSUMOWANIE

Wzrost wymagań stawianych współczesnym konstruktorom spowodował konieczność rozbudowy zaplecza informatycznego firm przemysłowych. Nowoczesne metody projektowania CAD/CAM/CAE są powszechnie stosowane w przedsiębiorstwach zajmujących się projektowaniem i wytwarzaniem. Podstawowe narzędzia wykorzystywane przez współczesnego inżyniera to projektowanie 3D, wykonywanie złożeń i przeprowadzanie analiz MES. Wykorzystując modele 3D generuje się dokumentację techniczną i projektuje procesy wytwarzania. Jednym z istotnych elementów komputerowego wspomagania projektowania jest wykorzystanie systemów komputerowych w zakresie wirtualnego montażu maszyn. Program Solid Edge jest wygodnym narzędziem w tego typu zastosowaniach. Umożliwia zbudowanie modelu w postaci złożeń, sprawdzenie na etapie projektowania symulacji ruchu poszczególnych części a także utworzenie rysunku katalogowego.

LITERATURA

1. Chlebus E.: Techniki komputerowe CAX w inżynierii produkcji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
2. Kazmierczak G., Pacuła B., Budzyński A.: Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2004.

MODELING OF ASSEMBLY ENGINE IN THE SOLID EDGE SYSTEM

Summary

The paper presents opportunities to build on the example of virtual assembly Wankel engine. This is a team that structural and technological demands placed on designers and contractors considerable difficulties. Therefore the establishment of a virtual model with traffic simulation is a tool that can eliminate errors during its operation. The Solid Edge ST2 program gives very powerful large assembly design and simulation of traffic.

Keywords: assembly modeling, motion simulation, CAD.

Jacek Domińczuk¹

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW KONSTRUKCYJNYCH I TECHNOLOGICZNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Streszczenie. W artykule opisano wpływ czynników konstrukcyjnych tj. długości zakładki, grubości klejonych elementów, grubości spoiny klejowej, wielkości wypływk, ukosowanie końców zakładki, sztywność kleju w stanie utwardzonym, sztywność materiałów łączonych, oraz czynników technologicznych: sposób przygotowania powierzchni, temperatura, ciśnienie utwardzania, na wytrzymałość połączeń klejowych. Podano znane zależności matematyczne. Przedstawiono wykresy uzyskane w wyniku prowadzonych badań.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, wytrzymałość, czynniki konstrukcyjne, czynniki technologiczne.

WPROWADZENIE

Bardzo dużą rolę w rozwoju nowoczesnych konstrukcji odgrywa technologia klejenia. W wielu przypadkach stanowi ona alternatywę dla dotychczas stosowanych metod łączenia, uszczelniania czy regeneracji części maszyn. Ponadto klejenie stwarza nowe możliwości w zakresie łączenia materiałów pozwalając na zmniejszenie wymiarów łączonych części dzięki uproszczeniu ich konstrukcji. Jest to bardzo istotne zwłaszcza w przemyśle lotniczym i kosmicznym. Kleje znajdują również zastosowanie w naprawach pozwalając poprzez regenerację części obniżyć koszt ich realizacji. Tak szerokie możliwości zastosowania klejenia powodują konieczność poszukiwania optymalnych warunków prowadzenia tego procesu i określenia czynników w sposób istotny wpływających na wytrzymałość połączeń klejowych. Do grupy tych czynników należą czynniki konstrukcyjne i technologiczne.

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

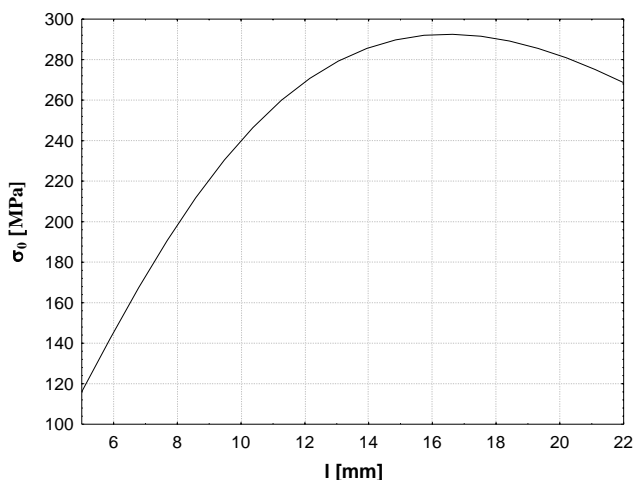
WPŁYW CZYNNIKÓW KONSTRUKCYJNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Analiza literatury oraz własne doświadczenia pozwalają stwierdzić, że na wytrzymałość połączeń klejowych ma wpływ wiele czynników konstrukcyjnych.

Do najważniejszych z nich należy zaliczyć: długość zakładki (l), grubość klejonych elementów (δ), grubość spoiny klejowej (δ_k), wielkość wypływk, ukosowanie końców zakładki, sztywność kleju w stanie utwardzonym (G_k), sztywność materiałów łączonych (E_m).

Długość zakładki

Badania wykazały, że zwiększenie długości zakładki powyżej pewnej wartości granicznej jest niecelowe. Nie skutkuje to bowiem wzrostem wytrzymałości połączenia klejowego [5, 10]. Analizując wpływ długości zakładki na wytrzymałość połączenia stwierdzono, że cechą charakterystyczną zakładkowych połączeń klejowych obciążonych na ścinanie jest to, że ich wytrzymałość nie jest proporcjonalna do długości zakładki (tym samym do pola powierzchni spoiny) [11]. Na rys. 1. przedstawiono przykładowy nomogram nośności zakładkowego połączenia klejowego.

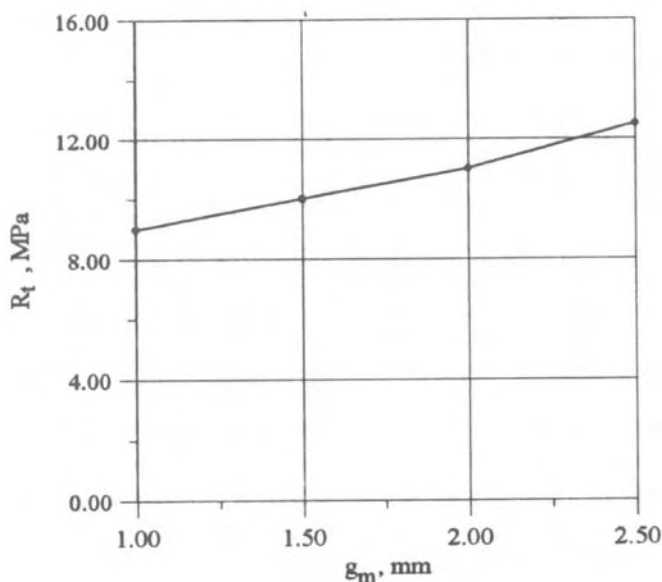


Rys. 1. Nomogram nośności jednozakładkowych połączeń blach stalowych o grubości $\delta=1$ [mm], grubości spoiny klejowej $\delta_k=0,1$ [mm], parametr $Rq=1,7$ [μm], klejonych klejem Epidian 57/PAC/100:80

Grubość klejonych elementów

Z wyników badań prezentowanych w pracach [4, 10, 11] wynika, że wraz ze wzrostem grubości klejonych elementów wzrasta wytrzymałość połączenia. Jest to związane ze zmianą rozkładu naprężeń w spoinie klejowej. Przykładowy

przebieg zmian wytrzymałości połączenia klejowego w funkcji grubości łączonych elementów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wpływ grubości łączonych elementów δ (g_m) na wytrzymałość na ścinanie R_t , połączenia wykonanego z PA6, klej E5/Z-1/ 10:1 [10]

Grubość spoiny klejowej

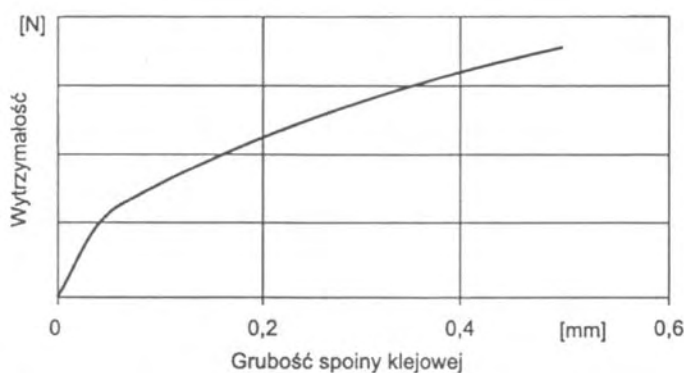
Wytrzymałość połączeń klejowych zależy od grubości ich spoin. W literaturze można odnaleźć teoretyczne zależności określające wytrzymałość połączeń klejowych na ścinanie [5]. Dla połączenia zakładkowego obciążonego siłami rozciągającymi elementy połączenia ma ona następującą postać:

$$P = \tau_n b \sqrt{\frac{2E\delta\delta_k}{G_k}} \quad (1)$$

gdzie: τ_n – niszczące naprężenie styczne spoiny klejowej, b – szerokość spoiny klejowej, E – moduł sprężystości wzdłużnej elementów klejonych, G_k – moduł sprężystości postaciowej kleju (spoiny klejowej), δ – grubość elementu klejonego, δ_k – grubość spoiny klejowej.

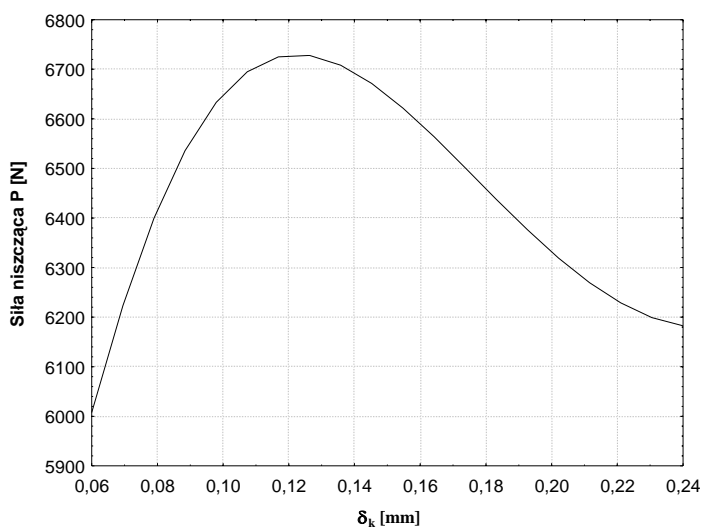
W zależności tej występuje grubość spoiny klejowej. Przy założeniu, że wartości naprężeń niszczących spoiny nie zależą od ich grubości, zależność wytrzymałości połączeń obciążonych na ścinanie byłaby następująca (rys. 3.):

$$P = C\sqrt{\delta_k} \quad (2)$$



Rys. 3. Charakter zależności wytrzymałości na ścinanie lub oddzieranie połączenia klejowego od grubości spoiny, przy założeniu niezależności naprężeń niszczących od jej grubości ($\tau_n \neq f(\delta_k)$) [5]

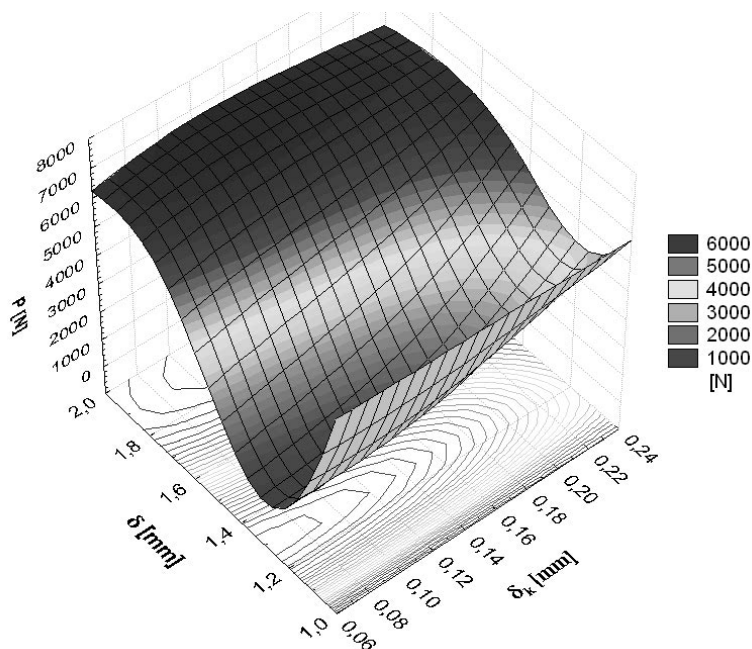
Podanej zależności nie potwierdzają wyniki badań eksperymentalnych. Przeprowadzone badania własne wykazują, że w połączeniach obciążonych na ścinanie występuje optymalna – z punktu widzenia wytrzymałości połączenia, grubość spoiny klejowej. Na rys. 4. przedstawiono wykres wpływu grubości spoiny klejowej na siłę niszczącą połączenie dla zakładkowego połączenia klejowego.



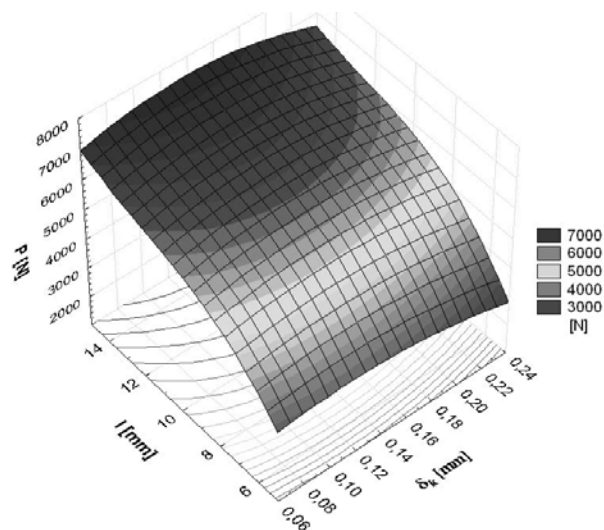
Rys. 4. Zależność wytrzymałości zakładkowych połączeń klejowych klejonych klejem Epidian 57/PAC/100:80 od grubości spoiny klejowej dla $l=12$ [mm], $\delta=2$ [mm], $Rq=2$ [μm]

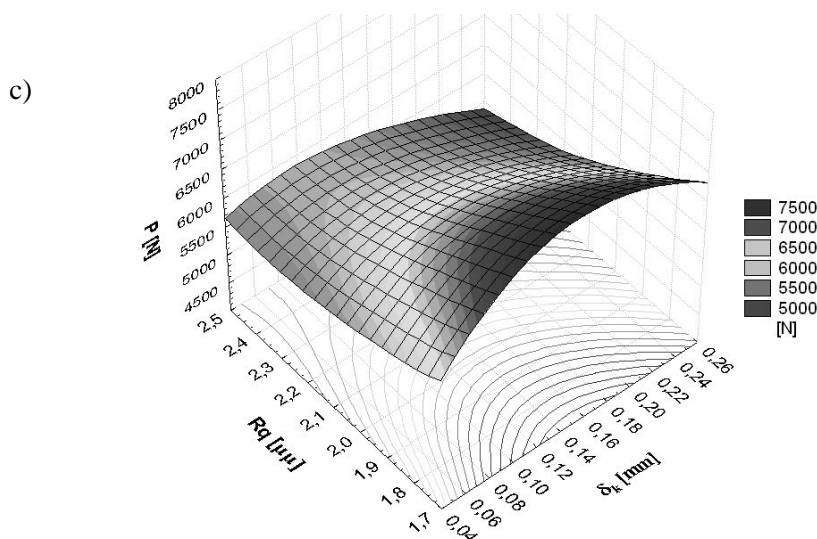
Na rys. 5. zaprezentowano prognozowane przy wykorzystaniu sieci neuronowej przebiegi zmian wytrzymałości połączenia w funkcji kolejnych wielkości zadanych dla omawianego przypadku chwilowego.

a)



b)



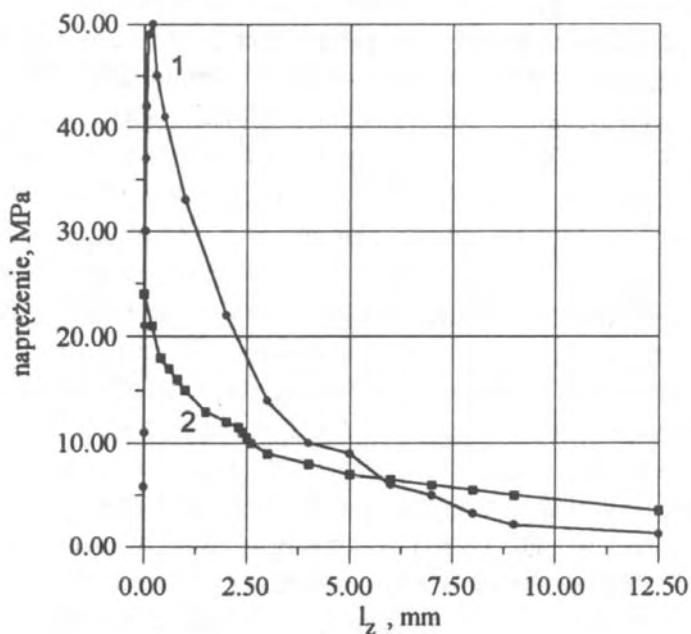


Rys. 5. Prognozowany przebieg zmian wartości siły niszczącej połączenia klejowego w funkcji: a) $\delta_k - \delta$, b) $\delta_k - l$, c) $\delta_k - Rq$

Jak wynika z prezentowanych wyników badań zmiana wytrzymałości połączenia klejowego w funkcji grubości spoiny klejowej zależy od grubości łączonych materiałów, rozwinięcia geometrycznego powierzchni i w małym stopniu od długości zakładki.

Wielkość wypłytki

Przeprowadzone przez autora pracy [7] badania wytrzymałości zakładkowych połączeń klejowych w funkcji długości linii brzegowej skleiny wykazały wzrost wytrzymałości połączenia wraz ze wzrostem długości linii brzegowej. Efekt ten należy wiązać z istnieniem wypłytki na brzegu skleiny, która zwiększa powierzchnię sklejenia. Badania zamieszczone w pracach [1, 10] wykazują, że wpływ ten jest nieco większy niż wynikający z analizy geometrycznej. Badania numeryczne wykazały, że na efekt zwiększenia naprężenia niszczącego wraz ze wzrostem długości linii brzegu skleiny wpływa także zmniejszenie się naprężenia na końcach zakładki. Przykładowy rozkład naprężenia stycznego wzdłuż długości zakładki przedstawiono na rys. 6.



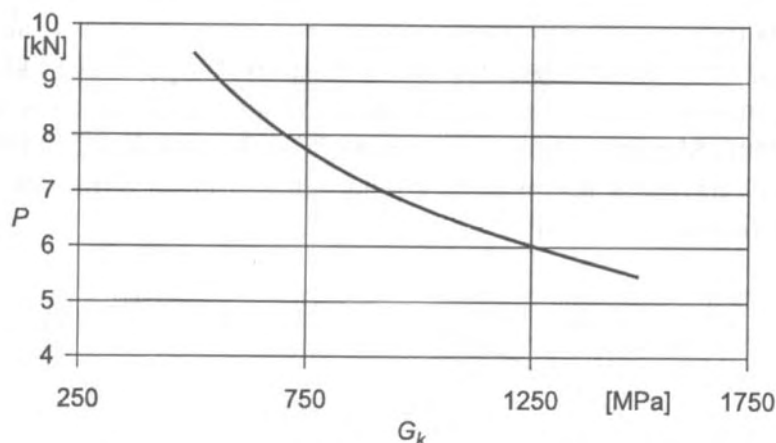
Rys. 6. Rozkład naprężenia stycznego wzdłuż długości zakładki: $E_k=3500$ [MPa], $E=2,1 \times 10^5$ [MPa], $\delta=2$ [mm], $l=25$ [mm], $P=2700$ [N], $\tau_{sr}=5,4$ [MPa], 1-połączenie bez wypływk, 2-połączenie z wypływką [10]

Ukosowanie końców zakładki

Zmniejszenie maksymalnych naprężeń na końcach spoin klejowych, a tym samym zwiększenie wytrzymałości połączeń, można uzyskać przez ukosowanie krawędzi łączonych elementów. Jak podaje autor pracy [10], obserwuje się pozytywny wpływ ukosowania końców zakładki niezależnie od grubości łączonych materiałów, jak również niezależnie od zastosowanego kleju. Autor tej pracy zauważa również, że zmniejszenie kąta ukosowania powoduje wzrost wytrzymałości połączenia.

Sztywność kleju w stanie utwardzonym

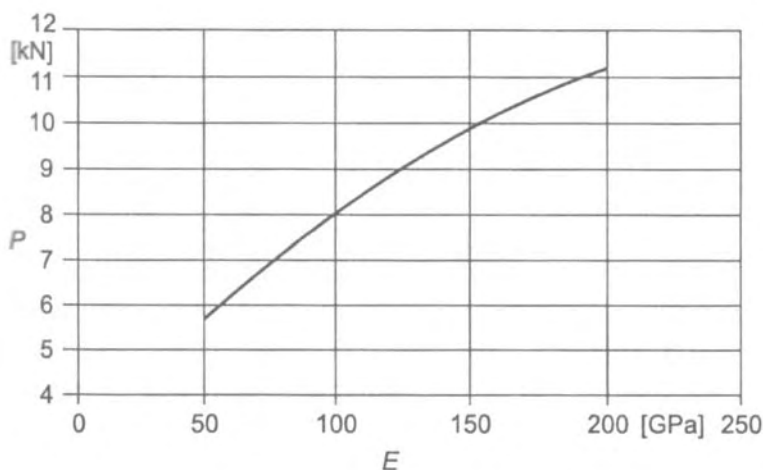
Współczynnik sprężystości poprzecznej G_k charakteryzuje sztywność kleju w stanie utwardzonym. Na podstawie informacji zawartych w pracach [16, 10, 13] oraz zależności (1) można stwierdzić, że wytrzymałość jest funkcją dwóch charakterystycznych dla kleju wielkości: naprężeń niszczących (stycznych lub normalnych) i współczynnika sprężystości (poprzecznej G_k lub wzdłużnej E_k). Z prezentowanych wyników badań można wnioskować, że wraz ze zwiększaniem się naprężeń niszczących kleju i zmniejszaniem się jego współczynnika sprężystości wzrasta wytrzymałość połączeń klejowych (rys. 7.).



Rys. 7. Zależność wytrzymałości połączenia zakładkowego obciążonego na ścinanie od wartości modułu sprężystości postaciowej kleju [13]

Sztywność materiałów łączonych

Wyniki badań eksperymentalnych prezentowanych w pracy [13] wskazują, że połączenia klejowe blach posiadających większy moduł sprężystości przenoszą większe obciążenia w porównaniu z połączeniami blach o mniejszym module (rys. 8.).



Rys. 8. Zależność wytrzymałości połączenia zakładkowego obciążonego na ścinanie od wartości modułu sprężystości elementów klejonych [13]

Jak należy się spodziewać również zmiana kształtu połączenia może korzystnie wpłynąć na wytrzymałość.

WPŁYW CZYNNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Spośród czynników technologicznych wpływających na wytrzymałość połączeń klejowych największe znaczenie odgrywa sposób przygotowania powierzchni, temperatura i ciśnienie utwardzania.

Sposób przygotowania powierzchni

Duży wpływ na wytrzymałość połączeń adhezyjnych ma sposób przygotowania powierzchni łączonych elementów [5, 8, 9, 10]. Od stanu fizyczno-chemicznego warstwy wierzchniej klejonych powierzchni zależy bowiem wytrzymałość adhezyjna (rys. 9.).

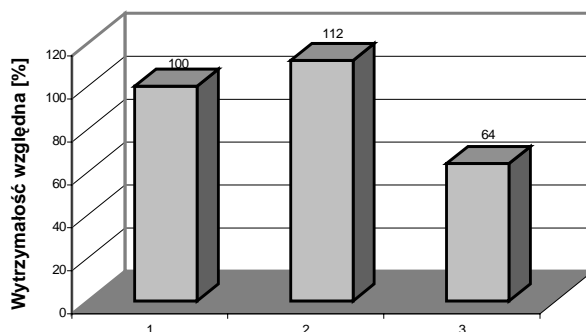
Wytrzymałość względna jest definiowana jako:

$$W_0 = \frac{W_i}{W_1} \cdot 100[\%]$$

gdzie:

W_1 – wytrzymałość dla pierwszego przypadku,

W_i – wytrzymałość dla i-tego przypadku.



Rys. 9. Wytrzymałości połączeń klejowych wykonanych ze stali St3, klej Araldit 2012 Rapid: 1-po obróbce narzędziem ściernym P320, 2-po obróbce narzędziem ściernym P320 i odtłuszczeniu preparatem Loctite 7061, 3-po obróbce narzędziem ściernym P320 i płukaniu wodą wodociągową [9]

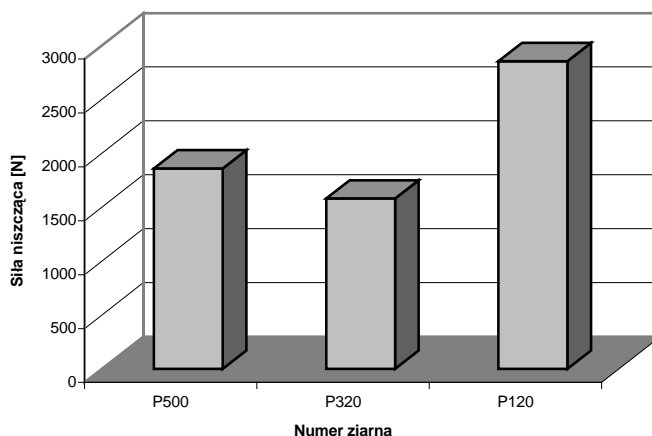
Przeprowadzone badania własne wykazały, że powierzchnie do klejenia powinny być czyste, pozbawione tłuszczów i w przypadku większości materiałów również tlenków. W przypadku stopów aluminium nie zaleca się usuwania warstwy tlenków, które są mocno związane z podłożem.

Powierzchnię materiałów przeznaczonych do klejenia można również poddawać obróbce chemicznej i elektrochemicznej [8]. Obróbkę tę należy

przewodzić zgodnie z zaleceniami będącymi wynikiem prowadzonych doświadczeń.

W przypadku zastosowania obróbki mechanicznej powierzchni (schropowacenie płótnami ściernymi, piaskowanie), następuje rozwinięcie geometryczne powierzchni, które istotnie wpływa na adhezję mechaniczną. Wzrasta czynna powierzchnia styku kleju z materiałem łączonym. Należy się spodziewać, że istnieje pewien optymalny dla danego materiału i stosowanego kleju stan rozwinięcia geometrycznego powierzchni. Nadmierne rozwinięcie może powodować obniżenie wytrzymałości, jeśli masa klejowa nie jest w stanie zwilżyć wgłębień nierówności.

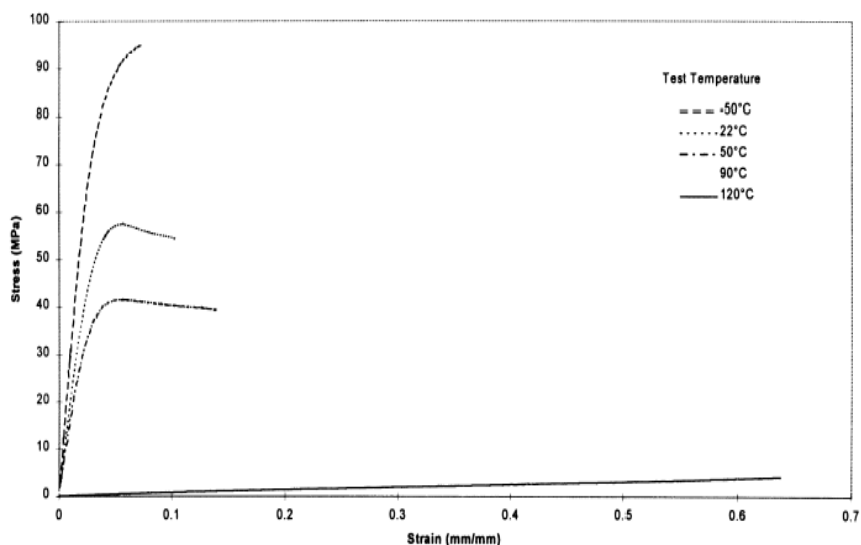
Z wyników badań własnych (rys. 10.) przeprowadzonych dla stali St3 można stwierdzić, że najwyższą wytrzymałość połączenia uzyskuje się po obróbce narzędziem nasypowym o numerze P120 – dotyczy to przypadku badania wytrzymałości połączeń, dla których w fazie ich przygotowania nie stosowano odtłuszczania.



Rys.10. Zależność wytrzymałości połączenia klejowego od stanu warstwy wierzchniej [2]

Temperatura

Na wytrzymałość połączeń klejowych ma wpływ temperatura gdyż jej zmiana rzędu kilkudziesięciu stopni powoduje zmiany właściwości tworzyw polimerowych. Wraz ze wzrostem temperatury maleje moduł sprężystości klejów, spada ich wytrzymałości kohezyjna i adhezyjna [1, 3], czego skutkiem jest obniżenie wartości naprężeń niszczących spoiny (rys. 11.). Prowadząc badania należy ustalić warunki temperaturowe prowadzenia doświadczeń.

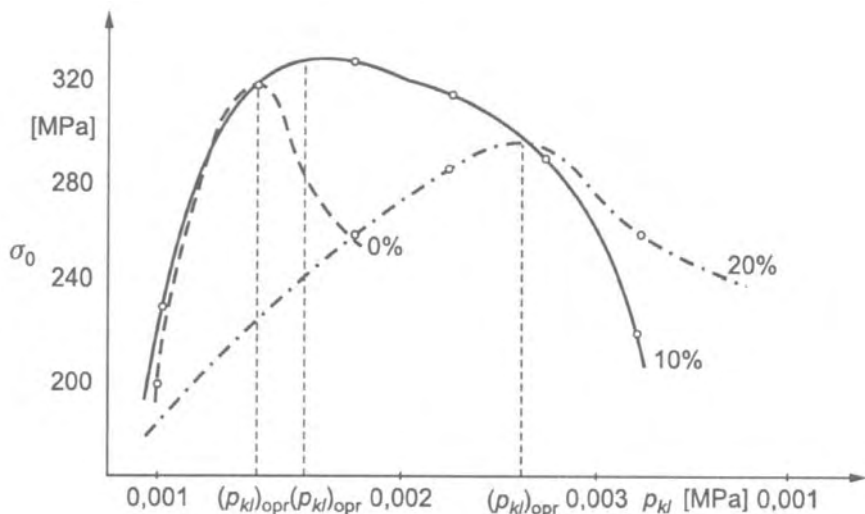


Rys. 11. Wpływ temperatury na naprężenia dla połączeń adhezyjnych [1]

Z analizy badań prezentowanych w pracach [5, 10] wynika, że wytrzymałość niektórych typów połączeń klejowych zależy od wartości modułu sprężystości i od wartości naprężeń niszczących spoiny klejowej, a innych tylko od wartości naprężeń niszczących (połączenia obciążone na odrywanie).

Ciśnienie utwardzania

Nacisk jednostkowy jest jednym z parametrów technologicznych utwardzania spoiny klejowej. Dobierając nacisk jednostkowy należy brać pod uwagę rodzaj kleju (jego gęstość, lepkość, skurcz utwardzania) oraz rodzaj sklejanых materiałów i sposób przygotowania ich powierzchni do klejenia [4, 5, 12]. Należy również dążyć do uzyskania optymalnej ze względu na wytrzymałość grubości spoiny klejowej (rys. 12).



Rys. 12. Wpływ nacisków klejenia (p_{kl}) na wytrzymałość połączeń klejowych obciążonych na ścinanie, wykonanych przy użyciu prepolimerów kompozycji Epidian 57 utwardzanej TECZA, 0%, 10%, 20% – określona procentowo część stechiometrycznej ilości utwardzacza dodawana do żywicy w celu uzyskania prepolimeru [5]

PODSUMOWANIE

Jak wynika z prezentowanej analizy wpływu poszczególnych czynników na wytrzymałość połączeń klejowych, określenie końcowej wytrzymałości połączenia jest rzeczą trudną. W przypadku procesów adhezyjnych należy szczególną uwagę zwracać na czystość powierzchni i jej rozwinięcie. Właściwie należy dobierać grubość warstwy kleju stosowanego w połączeniu. Zaś sam proces łączenia powinien przebiegać w zdefiniowanych warunkach środowiskowych. Złożoność parametrów wpływających na jakość połączenia sprawia, że dla określonego typu połączenia charakteryzującego się specyficznymi cechami geometrycznymi jak i materiału przyłączy należy indywidualnie dobierać technologię łączenia. Dotychczas nie zdefiniowano algorytmu pozwalającego w sposób prosty prognozować wytrzymałość połączeń w oparciu o czynniki konstrukcyjne i technologiczne.

LITERATURA

1. Ashcroft I.A., Abdel Wahab M.M., Crocombe A.D., Hughes D.J., Shaw S.J.: The effect of environment on the fatigue of bonded composite joints. Part 1: testing and fractography. *Composites: Part A* 32 (2001) 45–58.
2. Domińczuk J.: Technologia klejenia w montażu i regeneracji. *Technologia i Automatyzacja Montażu*. Numer: 3/2003, s. 3-9.

3. Fumito Nakagawa, Toshiyukisawa: Photoelastic thermal stress measurements in scarf adhesive joints under uniform temperature changes. *J. Adhesion Sci. Technol.*, Vol. 15, No. 1, pp. 119–135 (2001).
4. Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997 r.
5. Godzimirski J.: Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych. WNT, Warszawa 2002.
6. He X., Oyadiji S.O.: Influence of adhesive characteristics on the transverse free vibration of single lap-jointed cantilevered beams. *Journal of Materials Processing Technology* 119 (2001) 366–373.
7. Joseph D. Melogranaa, Joachim L. Grenestedt, William J. Maroun: Adhesive tongue-and-groove joints between thin carbon fiber laminates and steel. *Composites: Part A* 34 (2003), pp. 119–124.
8. Kuczmazewski J. i in.: Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego, nr 7 T08 E 03415, Lublin, 1999 r.
9. Kuczmazewski J., Domińczuk J.: Właściwości adhezyjne warstwy wierzchniej stali konstrukcyjnych. „Przegląd Mechaniczny”, 3’01, s. 5–8.
10. Kuczmazewski J.: Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali. WU Politechnika Lubelska, 1995.
11. Shih-Chuan Her: Stress analysis of adhesively-bonded lap joints *Composite Structures* 47 (1999), pp. 673–678.
12. Sikora R.: Technologiczne aspekty kierowania jakością klejenia. Nowe technologie i zastosowania żywic epoksydowych i poliestrowych, Konferencja Naukowo–Techniczna, Lublin, 1979 r., s. 357–369.
13. Żenkiewicz M.: Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych. WNT, Warszawa 2000.

THE INFLUENCE OF SELECTED CONSTRUCTIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ADHESIVE JOINTS STRENGTH

Summary

The paper presents the influence of constructional factors (the lengths of lap, thickness of joined elements, the thickness of adhesive layer, size of fash, bevelling off lap ends, the stiffness of cured adhesive, the stiffness of glued elements) and technological factors (surface treatment, temperature, the pressure of curing) on the strength of adhesive joints. Mathematical dependences were shown. Graphs received as a result of research were introduced.

Keywords: adhesive joints, strength, constructional factors, technological factors.

Daniel Gaska¹, Antoni Świć¹

PROCES WDROŻENIA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO WSPOMAGAJĄCEGO STEROWANIE I ZARZĄDZANIE PRODUKCJĄ W ZAKŁADZIE OBRÓBKİ METALI KOMECH

Streszczenie: W artykule przedstawiono aspekty analizy przedwdrozeniowej oraz proces wdrożenia systemu informatycznego do sterowania i zarządzania produkcją. Zaprezentowano analizę przedwdrozeniową ze szczególnym uwzględnieniem produkcyjnego charakteru przedsiębiorstwa. Opracowanie zawiera informacje dotyczące możliwości zarządzania projektem wdrożenia system informatycznego wraz z przykładem wdrożenia systemu w Zakładzie Obróbki Metali KOMECH

Słowa kluczowe: Systemu Planowania Potrzeb Materiałowych, analiza przedwdrozeniowa, wdrożenie.

WSTĘP

Wejście Polski do struktur Unii Europejskiej dało możliwość polskim firmom swobodnego handlu na terenie wszystkich krajów należących do UE. Tym samym mogą one zdobywać nowe rynki zbytu.

Z drugiej strony, firmy muszą zacząć konkurować z firmami już działającymi na rynku „starej” UE, a dla których otworzyły się rynki zbytu krajów nowo przyjętych do UE. Aby sprostać tak dużej konkurencji, firmy muszą inwestować w nowe technologie i sposoby zarządzania przez co mogą obniżyć koszty produkcji bez zmniejszenia jakości swoich wyrobów. Jednym ze sposobów unowocześnienia firmy, jest zastosowanie w niej programów typu ERP służących do nowoczesnego zarządzania firmą.

OKREŚLENIE PROBLEMU BADAWCZEGO

Szczegółowy opis problemu

Zakład Obróbki Metali KOMECH poszukuje rozwiązania informatycznego dzięki, któremu możliwe będzie sterowanie i zarządzanie produkcją.

Wdrożone rozwiązanie musi umożliwiać wprowadzanie do systemu takich informacji jak: stopień realizacji zlecenia, ewentualne opóźnienia, pojawiające się

¹ Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Politechnika Lubelska.

braki (wraz z opisem przyczyny ich powstawania) oraz monitorowane na bieżąco postępów w realizacji zleceń produkcyjnych, dogłębną analizę produktywności poszczególnych pracowników, ocenę poszczególnych produktów - ich wpływu na przychody i zyski przedsiębiorstwa.

Oczekiwana forma rozwiązania

Zakład oczekuje analizy przedwdrozeniowej systemu komputerowego umożliwiającego sterowanie i zarządzanie produkcją, w tym informacji o:

- szczegółowych wymaganiach przedsiębiorstwa odnośnie systemu sterowania i zarządzania produkcją,
 - jaki system wybrać,
 - analizy wybranych systemów pod kontem przydatności do realizacji określonych funkcji w przedsiębiorstwie;
- doprecyzowaniu wymagań funkcjonalnych potencjalnego systemu,
- procesach biznesowych i produkcyjnych realizowanych w przedsiębiorstwie, które powinny zostać przeniesione do systemu
- roli i obowiązkach zespołu projektowego, sposobach realizacji i implementacji wymagań funkcjonalnych, podziale na podprojekty w ramach całego projektu,
- ramowych harmonogramach prac z podziałem na etapy, szczegółowym kosztorysie realizacji poszczególnych wymagań funkcjonalnych,
- możliwościach i sposobach zarządzania projektem innowacyjnym wdrożenia systemu informatycznego w przedsiębiorstwie.

Możliwość zastosowania Systemu Planowania Potrzeb Materiałowych

System planowania potrzeb materiałowych (PPM) jest to zbiór powiązanych logicznie procedur, zasad podejmowania decyzji oraz dokumentów, mających na celu przełożenie operatywnego planu produkcji na wielkość potrzeb netto w podziale czasowym oraz określenie planowanego pokrycia tych potrzeb w zakresie każdej pozycji zapasu niezbędnej do realizacji tego planu. System planowania potrzeb materiałowych weryfikuje potrzeby netto oraz sposób ich pokrycia wtedy, gdy zmienia się plan operacyjny produkcji, stan zapasu lub konstrukcja wyrobu [1].

System jest przeznaczony do sterowania zapasami produkcyjnymi, do których zaliczyć można:

- surowce w magazynie,
- elementy niezakończone w magazynie,
- podzespoły w magazynie,
- elementy w toku produkcji,
- podzespoły w toku produkcji.

Obecnie zdecydowana większość średnich i dużych firm wykorzystuje informatyczne systemy wspomagania zarządzania. Dotyczy to jednak przede wszystkim programów księgowych. Do realizacji innych funkcji takich jak: rozliczenie kosztów, kadry, płace, środki trwałe, sprzedaż, gospodarka materiałowa, planowanie i zarządzanie produkcją, zarządzanie jakością, zarządzanie przedsięwzięciami i planowanie inwestycyjne są stosowane już o wiele rzadziej.

PRZEBIEG WYKONANIA USŁUGI BADAWCZO-ROZWOJOWEJ W ZAKŁADZIE OBRÓBK METALI KOMECH

Charakterystyka Zakładu Obróbki Metali KOMECH

Zakład Obróbki Metali KOMECH istnieje od 1980 roku i mieści się w Lublinie.

W zakładzie wykonywane są części do samochodów, traktorów, dla potrzeb przemysłu maszynowego oraz spożywczego. Odbiorcami firmy są duże znane koncerny z Niemiec, Danii, Włoch oraz Holandii.

Przedsiębiorstwo posiada nowoczesny park obrabiarek CNC (wycinarka laserowa, wycinarka plazmowa HD, prasa krawędziowa, centra obróbcze frezarskie i tokarskie, giętarka trzpieniowa). Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii mogą być wytwarzane części o skomplikowanych kształtach i wysokiej dokładności.

Dokonano analizy Zakładu Obróbki Metali KOMECH pod kontem możliwości wdrożenia systemu informatycznego klasy ERP oraz wybrano główne obszary działalności w których system powinien zostać wdrożony w pierwszej kolejności tj.:

- obrót towarowy,
- proces produkcji.

Wymagania przedsiębiorstwa odnośnie systemu sterowania i zarządzania produkcją

Miarą powodzenia przedsięwzięcia są korzyści, jakie uzyska Firma dzięki zastosowaniu proponowanego innowacyjnego rozwiązania. Korzyści te to przede wszystkim:

1. Znacznie łatwiejsza i szybsza możliwość określenia kosztów produkcyjnych tzw. technicznego kosztu wytworzenia poszczególnych wyrobów.
2. Szybkie i dokładne sporządzanie kalkulacji wyrobów.
3. Możliwość szybkiej odpowiedzi na zapytania ofertowe potencjalnych klientów.
4. Ocena wydajności poszczególnych stanowisk pracy.

5. Raportowanie o stopniu obciążenia poszczególnych stanowisk pracy.
6. Ocena pracy pracowników na poszczególnych stanowiskach.
7. Możliwość porównania wydajności poszczególnych osób i zespołów ludzkich.
8. Szybka weryfikacja założonych teoretycznie kosztów wytwarzania z faktycznie poniesionymi.
9. Możliwość oceny opłacalności produkcji każdego wyrobu (jednostkowego).
10. Możliwość oceny każdego pracownika pod względem jakości wykonywanych części (ilości braków - zawinionych lub niezawinionych).
11. Właściwe rozliczenie z ilości normatywnego zużycia, materiałów i surowców na 1 sztukę wyrobu.
12. Jawność jakości pracy poszczególnych pracowników-okresowe arkusze ocen pracy w poszczególnych zawodach.
13. Identyfikacja wyrobów wykonywanych przez poszczególnych pracowników na poszczególnych stanowiskach.
14. Obiektywność i rzetelność zebranych danych o sposobie pracy poszczególnych pracowników (eliminacja subiektywizmu w ocenie pracy - eliminacja czynnika ludzkiego), co do rejestrowanych danych oraz subiektywnej ludzkiej oceny.
15. Automatyczny elektroniczny rejestr, elektroniczny zegar, licznik czasu pracy.
16. Szybkość pozyskiwania i przetwarzania danych i informacji o procesie produkcji, co za tym idzie szybka możliwość zapobiegania negatywnym zjawiskom, finansowym-ekonomicznym, organizacyjnym, logistycznym, czynnikom ludzkim.
17. Szybka możliwość eliminacji zjawisk (patologicznych) negatywnych w życiu przedsiębiorstwa

Wszystkie te zjawiska i korzyści wpływają na wzrost konkurencyjności firmy na krajowym i globalnym rynku oraz czynią przedsiębiorstwo nowoczesnie zorganizowanym i dobrze przygotowane do działania w warunkach i według zasad gospodarki wolnorynkowej.

OKREŚLENIE PROCESÓW PRODUKCYJNYCH REALIZOWANYCH W PRZEDSIĘBIORSTWIE ORAZ OKREŚLENIE RAM DZIAŁANIA WDRAŻANEGO SYSTEMU

Obszar produkcyjny w przedsiębiorstwie KOMECH jest typowym procesem realizacji produkcji powtarzalnej o określonej w czasie partii produkcyjnej.

W przedsiębiorstwie w sposób precyzyjny zdefiniowano procesy technologiczne, oraz zlecenia produkcyjne, realizowane zgodnie z planem produkcji opracowanym z wyprzedzeniem dwutygodniowym. Oprócz dwutygodniowego planu produkcji funkcjonuje prognoza na kolejne dwa tygodnie, która może jednak ulec zmianie przed jej uruchomieniem czyli na dwa tygodnie przed jej zamknięciem. Przedsiębiorstwo chce aby wdrażany program mógł realizować m.in. następujące funkcje w stosunku do procesu zarządzania produkcją:

- przechowywanie zdefiniowanych procesów technologicznych oraz zleceń produkcyjnych,
- kalkulację kosztów normatywnych,
- generowanie dokumentacji produkcyjnej,
- ewidencja i rozliczanie zleceń.

Technologia

W przypadku każdego wyrobu można opracować różne wersje technologii zarówno na obrabiarki tradycyjne jak również na nowoczesne obrabiarki sterowane numerycznie. Technologia przygotowywana jest przy uwzględnieniu określonej wielkości partii produkcyjnej (może ona być równa jednej jednostce wyrobu).

Zapis technologii obejmuje zdefiniowaną listę operacji zawierającą:

- numer operacji,
- komórkę produkcyjną, w której jest wykonywana (gniazdo maszyn lub wybraną maszynę),
- czas wykonania, przygotowawczo-zakończeniowy (TPZ) i czas jednostkowy (TJ),
- listę zasobów wejściowych operacji (materiały, półfabrykaty, materiały technologiczne, usługi),
- listę produktów wyjściowych z operacji - może być ich wiele.

Wykorzystywane w zapisie technologii zasoby materiałowe powinny w systemie zostać określone jako „produkty”. Sposób ich wykorzystywania w ramach funkcji systemu determinują następujące cechy:

- rodzaj – towar, środek trwały,
- poziom fabrykacji – materiał, półfabrykat lub wyrób gotowy,
- źródło pochodzenia (zasoby wejściowe WE) – z zakupu, z magazynu lub z poprzedniej operacji,
- przeznaczenie (zasoby wyjściowe - WY) – do następnej operacji, magazynu lub wprost do Klienta.

Zasoby materiałowe WE/WY procesu przyporządkowywane są do poszczególnych operacji –wskazuje się normy zużycia. Obsługiwane są relacje zgodne z formułą „wiele do wielu”. Przyporządkuje się zasoby typu maszyny, pracownicy oraz zasoby typu narzędzia i przyrządy we właściwych jednostkach miary.

Normy zużycia zasobów w opisie technologii są podawane na jedną jednostkę produktu wyjściowego lub na partię tego produktu.

Dla produktu można zdefiniować więcej niż jedną technologię, co pozwala uwzględnić technologię bazową i technologie wariantowe.

Technologia stanowi przede wszystkim model procesu dla tworzonych na jej podstawie zleceń produkcyjnych. Na jej podstawie dokonuje się kalkulacji kosztów normatywnych procesu. Wdrażany system powinien dodatkowo, jako podstawę kalkulacji kosztów zasobów magazynowanych, wskazać średnie, maksymalne lub ostatnie ceny ich nabycia. Zasoby nie magazynowe i usługi mają w firmie określone koszty jednostkowe, które definiuje się w przypadku konkretnego zasobu na podstawie danych historycznych.

W przedsiębiorstwie realizowana jest obsługa zleceń produkcyjnych opartych na zdefiniowanych technologiach. Na potrzeby zleceń prowadzone jest planowanie potrzeb materiałowych. Obsługa zleceń obejmuje ponadto rozliczanie kosztów – normatywnych i rzeczywistych oraz ewidencję realizacji zleceń.

Zlecenia mogą być zainicjowane przez system komputerowy w sposób automatyczny lub zdefiniowane samodzielnie przez Użytkownika. Zlecenie jest dokumentem roboczym, którego elementy mogą być modyfikowane. Zlecenie zwolnione do produkcji otrzymuje status „Aktywne” i nie może już podlegać zmianom. Zlecenie aktywne ma kilka stanów związanych z ewidencją wykonania operacji tj. rozpoczęte, rozpoczęta pierwsza operacja, zakończona ostatnia operacja. Zlecenie, które ma zakończoną ostatnią operację może zostać zamknięte. Operacja zamknięcia zlecenia powoduje także zamknięcie ewidencji kosztów.

Dokumenty związane z transakcjami pobrania (Rw) oraz zdania wytworzonych półfabrykatów lub wyrobów (Pw) powinny być generowane w systemie automatycznie.

Zlecenia produkcyjne

W przypadku zlecenia o dowolnym stanie i statusie Użytkownik powinien mieć możliwość wykonania następujących raportów:

- przewodnik warsztatowy (gdy zlecenie jest aktywne staje się dokumentem produkcyjnym),
- kalkulacja kosztów według zasobów zdefiniowanych w zleceniu, w układzie kosztów normatywnych i rzeczywistych z wyliczeniem stopnia zaawansowania kosztów rzeczywistych wyrażonego w procentach,
- rozliczenie zlecenia, czyli ilościowego rozliczenia zasobów oraz zliczonych produktów wyjściowych i braków.

Z uruchomionych operacji można z chwilą spisu wytworzonych w operacji półfabrykatów lub wyrobów – wygenerować dokumenty typu Pw. Zadania w trybie Pw również mogą być realizowane częściowo.

WYBRANE FUNKCJONALNOŚCI DLA FIRMY ZAKŁAD OBRÓBK METALI KOMECH W SYSTEMIE VENDO ERP

Magazyn i Logistyka

Cel:

- sprawne funkcjonowanie działów odpowiedzialnych w firmie za zamówienia i magazyn,
- zmniejszenie kosztów magazynowych poprzez optymalizację stanów magazynowych,
- usprawnienie dystrybucji i zaopatrzenia.

Funkcje:

- wielomagazynowość,
- rozchody wg. LIFO, FIFO, wskazania partii,
- dokumenty magazynowe (PZ, WZ, RW, PW, MM),
- rezerwacje towarów, rezerwacje „w przód”, rezerwacja na partie towarów,
- obsługa backorderów - towarów oczekujących na dostawę i braków (niepokryte zamówienia od klientów),
- zapytania ofertowe do dostawców, przyjmowanie zamówień, składanie zamówień,
- generowanie jednych rodzajów dokumentów z drugiego rodzaju (według procesu sprzedaży lub zakupu np. FV z WZ, WZ z zamówień klientów, PZ z zamówień,
- rozliczanie towarów kaucjonowanych (TK) - kto, ile i co jest winien, dokumentacja obrotów TK, obciążenia kontrahentów za TK,
- daty ważności partii, obsługa numerów seryjnych towarów i produktów,
- wagi, objętości, opakowania towarów, alternatywne jednostki miary,
- zapewnienie identyfikowalności partii,
- obsługa zmienników,
- wystawianie zleceń transportowych i listów przewozowych,
- współpraca z czytnikami kodów kresowych i drukarkami etykiet,
- rozbudowane analizy magazynowe: stany na wskazany dzień, towary zalegające, obroty magazynowe, itp.

Faktura VAT nr 25/S/07/FV "DOK. WYDRUKOWANY"

Dane podawawcy: Dane kontrahenta Inne parametry Wartości dowolne

Dane podawawcy: Numer dokumentu: 25/S/07/FV
Magazyn: Magazyn Główny
Data sprzedaży: 15-06-2007 Wystawienia: 15-06-2007
Nabywca (FZ): EDMAR S.A.
Odbiorca (FZ): EDMAR S.A.
Forma płatn.: Przelew Data płatności: 22-06-2007

Wartości: Wartość netto: 3 195.86 PLN
VAT (od netto): Zmniejszenie: 703.09 PLN
Kwota do zapłaty: 3 898.95 PLN Zapłacono: 0.00 PLN
Pozostało do zapłaty: 3 898.95 PLN
Wpłacone zaliczki: 0.00 PLN Rozliczono: 0.00 PLN
Grupa I: Zadłużenie: -77 639.99 PLN

	Kod	Nazwa	Ilość	j.m.	Cena jedn.	W/ut. netto	V..	W/ut. brutto
1	POLKA_TEST	polka testowa	20.000	szt	130.00	2600.00	22	3172.00
2	AA2205001-020D	Blocki "YTONIS" gładkie 60x20x11...	1.000	szt	105.74	105.74	22	129.00
3	AABLAHCYNYK...	Blacha cynkowana 2mm	5.000	M2	74.58	372.90	22	454.94
4	1701100-034	Cement portlandski "25" z dodatkami	1.000	T	10.66	10.66	22	13.01
5	1302599-033A	Drabiny z rur stalowych, spawane	2.000	kg	53.28	106.56	22	130.00

Aktualny Towar nie wydany Dok. skrajzone Drukuj Funkcje + Dodaj Zakazanie Do bufora

Rys. 1. Dokument faktury VAT do wydruku

Produkcja

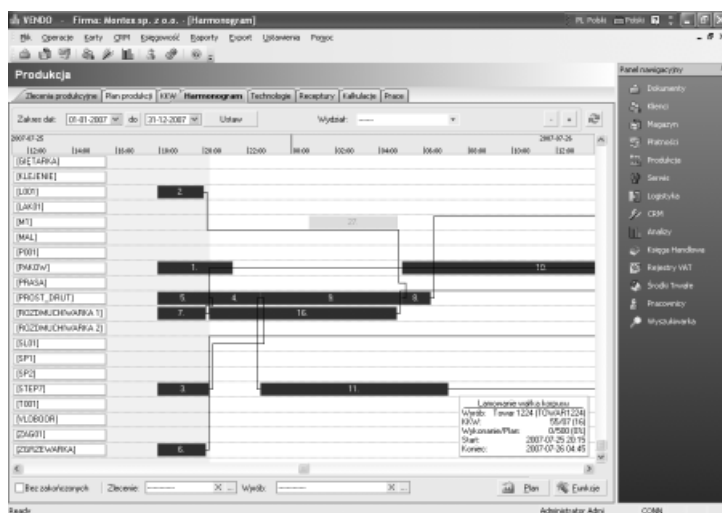
Cel:

- podniesienie efektywności produkcji (zmniejszenie jednostkowego kosztu wytworzenia),
- poprawa terminowości realizacji,
- podniesienie jakości wyrobów.

Funkcje:

- definiowanie technologii produktu:
 - operacje (marszruta), które muszą być wykonane. Vendo umożliwia tworzenie marszrut produkcyjnych zarówno liniowych, drzewiastych oraz praktycznie o dowolnym grafie przebiegu. Każdy materiał /półprodukt użyty do produkcji może posiadać
 - swoją własną technologię, stąd wyrób może posiadać strukturę hierarchiczną,
 - materiały i półprodukty niezbędnych do wykonanie każdego etapu,
 - gniazda robocze na, których wykonujemy poszczególne operacje,
 - czasy technologiczne,
 - kooperacje,
 - zakładane braki na każdym etapie produkcji,
 - możliwość definiowania alternatywnych marszrut produkcyjnych,
- tworzenie kosztorysów wyrobów,
- wystawianie zleceń produkcyjnych,

- tworzenie podzleceń na brakujące półprodukty wraz z wyliczaniem ilości uwzględniającej stany magazynowe półproduktów oraz zapotrzebowania na półprodukt przy innych zleceniach,
- harmonogramowanie produkcji: okresowe, na wydział, na stanowisko robocze,
- graficzne odwzorowanie produkcji przy pomocy wykresu Ganita (rys. 2),
- tworzenie Przewodników Produkcyjnych umożliwiających rejestrację:
 - ilości wykonanych produktów,
 - czasu produkcji,
 - pracownika wykonującego daną pracę,
 - maszyny (gniazda roboczego) na którym wykonano produkcję,
 - braków i odpadów produkcyjnych,
- drukowanie kodów kreskowych na Przewodnikach (znacznie ułatwia to rejestrowanie produkcji),
- drukowanie etykiet, obsługa kodów kreskowych,
- wydanie materiałów i półproduktów na produkcje oraz przyjmowanie wyrobów gotowych i półproduktów w ramach zlecenia i przewodnika produkcyjnego,
- rozliczenie produkcji,
- zamówienia do dostawców surowców na podstawie planów produkcji i receptur,
- planowanie potrzeb materiałowych w oparciu o zaawansowane funkcje rezerwacji oraz obsługi backorderów (braków i zapotrzebowań) system umożliwia zarządzanie zabezpieczeniem materiałów na potrzeby produkcji,
- raporty produkcji, raporty wydajności pracowników i maszyn, produkcja w toku,
- integracja z systemami zarządzania jakością.



Rys. 2. Widok harmonogramu produkcji w układzie Gantt'a

PLANOWANIE I ORGANIZACJA PRACY

Cel:

- podniesienie efektywności i jakości pracy,
- planowanie pracy, przydzielanie celów, zadań i odpowiedzialności,
- raporty pracowitości i efektywności pracownika,
- zmniejszenie pracochłonności zadań.

Funkcje:

- automatyzacja wielu prac oraz definiowanie procedur w obszarach obsługi sprzedaży, zaopatrzenia, produkcji, gospodarki magazynowej,
- planowanie i rejestracja wykonanych kontaktów,
- zlecanie zadań do wykonania sobie i innym pracownikom,
- document tracking - archiwizacja dokumentów, faxów, e-maili (opcja),
- przypomnianie o terminach oraz zadaniach do wykonania,
- wyznaczanie celów handlowcom (wielkości sprzedaży, marży, liczba znalezionych klientów, wykonanych kontaktów),
- raporty aktywności i pracowitości pracowników,
- ułatwienia w pracy - szeroki i stale rozbudowany moduł analiz, generowanie i kopiowanie dokumentów (np. podobna oferta, faktura, lub zamówienie), wydruk etykiet adresowych,
- wspomaganie w korespondencji seryjnej: e-mailing, wydruk etykiet adresowych,
- rejestrowanie operacji wykonanych przez pracowników w systemie.

PROWADZENIE WDROŻENIA

Samo pojęcie wdrożenia jednoznacznie wiąże się z czasem dużej transformacji w zakresie działania przedsiębiorstwa. Wymaga zaangażowania, współpracy i dobrej woli nie tylko kierownictwa, zarządu ale również wszystkich pracowników firmy. Jest to niekiedy wymagająca i niełatwa droga przemian, ale za to nieunikniona. Proces zmian dawnego stylu postępowania jak i standardowych zachowań.

Zazwyczaj wyróżniamy trzy fazy operacji występujące kolejno po sobie, mianowicie fazę sprzeciwu, fazę mechanicznej pracy oraz fazę pełnego zrozumienia.

Pierwsza faza jest w rzeczywistości najtrudniejsza do przezwyciężenia.

Początkowo może występować złudne wrażenie utrudnienia oraz spowolnienia pracy. Niestety, w wielu przypadkach towarzyszy temu również niechęć pracowników.

Następnym stadium jest czas mechanicznej pracy. Pracownicy używają danego systemu tylko dlatego że mają takie zalecenia od kierownictwa, nie są jednak do niego przekonani. Następuje tutaj wyrobienie w sobie pewnych odruchów i nawyków co do sposobu działania programu.

Po całkowitym wdrożeniu następuje znaczny wzrost szybkości i ilości wykonywanych operacji. Ci sami pracownicy, w tym samym czasie są w stanie wykonać większą ilość pracy. Szybciej docierają do interesujących informacji, znacznie skracają czas obsługi klientów co analogicznie przekłada się na zwiększenie ich efektywności oraz poprawę dotychczasowych wyników.

Etapowanie projektu i terminy realizacji

Właściwe prace następują kilka miesięcy przed wystartowaniem systemu i kończą się zwykle parę tygodni po rozpoczęciu pracy na programie. Szczegółowy harmonogram wdrożenia wykonany został na podstawie terminów zawartych w umowie. Dаты i terminy rozmów oraz szkoleń ustalone zostały indywidualnie tak aby termin startu systemu, określony w umowie, pozostał niezagrożony. System wdrożony w obszarach: **Obrót towarowy, Produkcja**. Wdrożenie w każdym z obszarów podzielone zostało na kluczowe etapy, tzw. „kamienie milowe”. Zakres czynności, wykonanych w obrębie każdego z etapów zależy w dużej mierze od charakteru i właściwości funkcjonowania przedsiębiorstwa w tym przypadku ze względu na produkcyjny charakter prowadzonej działalności skupiono się na produkcji oraz procesach bezpośrednio związanych z jego powstaniem.

Część procesów wdrożeniowych jest niezmienna i można zaliczyć do nich między innymi ustalenie właściwego obiegu dokumentów i informacji oraz poszczególnych procedur.

Dаты ich wdrożenia mogą być zróżnicowane i ustalane są w taki sposób aby poszczególne obszary wzajemnie się uzupełniały. W porozumieniu z

kierownikiem wdrożenia, koordynatorem oraz właściwym kierownikiem działu następuje podział „kamieni milowych” na część konfiguracyjną i szkoleniową. Ich zakres dotyczy prawidłowego funkcjonowania poszczególnych stanowisk pracy w firmie. Przykładem jest tutaj konfiguracja wydruków lub ustawienie uprawnień pracownika do ingerencji w programie.

Taki rodzaj inicjacji systemu nie dezorganizuje pracy pojedynczego pracownika lub działu w firmie.

PIŚMIENNICTWO

1. Brzeziński M.: Sterowanie produkcją: materiały do ćwiczeń i projektowania. Opracowanie zbiorowe pod red. Marka Brzezińskiego, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 2001r.
2. Durlik I.: Strategie organizacji produkcji. Nowe koncepcje zarządzania. Warszawa: Wydawnictwo PLACET, 2004.
3. Fertsch M.: Podstawy zarządzania przepływem materiałów w przykładach. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania, 2007.
4. Gąska D.; Zakłócenia w pracy systemów sterowania produkcją spowodowane wpływem otoczenia zewnętrznego oraz metody ich redukcji, Informacyjne aspekty zarządzania i sterowania produkcją. Lublin: Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 2005, redakcja Antoni Świć, s. 161-167.
5. Gąska D.: Opracowanie modelu informatycznego układu sterowania procesem wytwórczym z wykorzystaniem systemu informatycznego Microsoft Business Solutions-Axapta. Przegląd Mechaniczny nr 12/S, 2006, s. 59-60.
6. Gąska D., Świć A.; The standardized audit of security and the reliability of ERP systems; Modelling and Designing in Production Engineering. Lublin: Lubelskie Towarzystwo naukowe, 2009, s. 7-18;
7. <http://www.bpsc.com.pl>

THE PROCESSES OF PRACTICAL IMPLEMENTATION OF COMPUTERIZED PRODUCTION MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM IN A METALS PROCESSING CENTER KOMECH

Summary

The article presents aspects of the pre-implementation analysis and the possibility of the realization of the practical implementation of the computerized production management information system in a production company. It presents the pre-implementation analysis with the consideration for the specific character of the production company. The paper also presents information related to the possibilities of the management of the project of the practical implementation of the computer system and the example of the practical implementation of the system in a Metals Processing Center KOMECH.

Keywords: material requirements planning (MRP) system, pre-implementation analysis, practical implementation.

Stanisław Parafiniuk¹, Józef Sawa¹, Dariusz Wołos²

AUTOMATYCZNE URZĄDZENIE DO OCENY STANU TECHNICZNEGO ROZPYLACZY ROLNICZYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę oceny stanu technicznego rozpylaczy stosowanych w opryskiwaczach rolniczych. Zaprezentowano automatyczne urządzenie testujące przeznaczone do kompleksowego badania rozpylaczy, które wyposażono w specjalistyczne oprogramowanie komputerowe pozwalające na szybką weryfikację wybranych parametrów technicznych rozpylaczy pod kątem ich przydatności do dalszego użytkowania. Urządzenie zawiera również system gromadzenia i przetwarzania danych, dzięki czemu możliwe jest modelowanie jakości pracy belki polowej w warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: rozpylacz płaskostrumieniowy, natężenie wypływu, równomierność poprzeczna opadu rozpylonej cieczy, urządzenie testujące.

WSTĘP

Rosnące wymagania dotyczące produkcji żywności oraz ciągle rozwijana koncepcja rolnictwa zrównoważonego powodują, że także procesy produkcji rolniczej obarczone są szeregiem obowiązków, które należy spełnić podczas stosowania środków ochrony roślin. Dobra praktyka produkcyjna w organizacji ochrony roślin wymaga przede wszystkim szerokiej popularyzacji niezbędnej wiedzy oraz zapewnienia technicznych instrumentów do jej praktycznego wykorzystywania. Jednym z tych instrumentów jest powszechna dostępność urządzeń umożliwiających ocenę stanu technicznego sprzętu do aplikacji pestycydów. Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. (Dz. U. z 2004 r. Nr 11 poz. 94 z późn. zm.) [7] dotycząca nadzoru nad stanem technicznym sprzętu służącego do wykonywania zabiegów chemizacyjnych, nakłada obowiązek badania opryskiwaczy rolniczych pod względem ich sprawności do stosowania środków ochrony roślin. Badania takie mogą być przeprowadzane jedynie przez specjalnie powołane w tym celu jednostki (stacje kontroli opryskiwaczy - SKO) i dotyczą opryskiwaczy wykorzystywanych w produkcji polowej oraz sadowniczej. Odstęp czasu między kolejnymi badaniami nie może być dłuższy niż 3 lata. Kontrola obejmuje wizualną ocenę stanu technicznego oraz badania poszczególnych elementów układu cieczowego opryskiwaczy przy pomocy odpowiedniego

¹ Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania w Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

² Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Politechnika Lubelska.

oprzyrządowania. Szczegółowej ocenie poddaje się belkę polową z rozpylaczami, które są najważniejszymi elementami opryskiwacza.

Jakość ich pracy wpływa na ilość dystrybuowanej cieczy na jednostkę powierzchni oraz na równomierność opadu rozpylonej cieczy. Długotrwała eksploatacja prowadzi do zużycia rozpylaczy, a intensywność tego procesu i jego skutki zależą od wielu czynników, takich jak: materiał szczelin wylotowych rozpylaczy (dysze), rodzaj stosowanych środków ochrony roślin, warunki przechowywania oraz poprawność eksploatacji.

UWARUNKOWANIA BADAŃ ROZPYLACZY

Osiągnięcie żadanego efektu w ochronie roślin wymaga naniesienia na opryskiwane powierzchnie określonych ilości substancji czynnych. Zbyt mała dawka nie daje oczekiwanego rezultatu, natomiast przekroczenie zalecanej dawki prowadzi do uszkodzenia, a nawet zniszczenia uprawy. Wśród wielu czynników wpływających na jakość oprysku decydujące znaczenie ma stan techniczny stosowanych rozpylaczy. W czasie długotrwałej pracy ulegają one procesowi naturalnego (fizycznego) zużycia oraz różnym przypadkowym uszkodzeniom, co powoduje konieczność okresowego sprawdzania jakości ich działania.

Obecnie w rozpylaczach sprawdza się takie parametry jak: natężenie wypływu jednostkowego, współczynnik asymetrii opadu rozpylonej cieczy oraz kąt rozpylenia cieczy. Kontrolę z reguły poddaje się opryskiwacze zagregatowane z ciągnikami rolniczymi z wykorzystaniem szeregu odrębnych urządzeń, dlatego szybka realizacja pełnego zakresu badań jest utrudniona. Pomiary wykonuje się w określonych warunkach, zgodnych z metodykami badań opracowanymi przez Głównego Inspektora Ochrony Roślin i Nasiennictwa (GIORiN). Brak jest jednak automatycznych urządzeń przeznaczonych do oceny stanu technicznego rozpylaczy rolniczych - szczególnie płaskostrumieniowych, na co zwracali uwagę Langman i Pedryc [2].

Jedną z metod oceny stanu technicznego rozpylaczy jest badanie ich natężenia wypływu jednostkowego przy użyciu różnego rodzaju przepływomierzy. Mogą to być przepływomierze montowane bezpośrednio na korpusach rozpylaczy belki polowej opryskiwacza polowego jak i ramie łukowej opryskiwacza sadowniczego [1]. Występują również urządzenia mobilne, z elektronicznym odczytem objętości wypływu cieczy z rozpylacza i automatycznym rejestrowaniem danych. Urządzenia takie stosuje się w stacjach oceny opryskiwaczy w niektórych krajach, np. Belgii. Pozwalają one na szybką diagnostykę rozpylacza pod względem wypływu cieczy w przypadku, gdy natężenie wypływu jest większe niż $\pm 10\%$ [3]. Taki sposób pomiaru umożliwia ocenę wydatku nominalnego przy zadanym ciśnieniu, jednak nie określa równomierności dystrybucji rozpylonej cieczy. Zakłada się, że rozpylacz o poprawnym wydatku zachowuje również poprzeczną równomierność dystrybucji

rozpylonej cieczy. Innym sposobem oceny jakości pracy rozpylaczy jest wykorzystanie stołu rowkowego zawierającego szereg równoległych i lekko nachylonych kanałów, poniżej których ustawione są naczynia miarowe lub urządzenia do pomiaru objętości cieczy. Znane są zarówno wersje proste jak i w pełni zautomatyzowane, a także elektroniczne urządzenia pomiarowe, przystosowane do współpracy z komputerami. W stacjach kontroli opryskiwaczy (SKO) dopuszcza się stosowanie stołów rowkowych tzw. ręcznych o szerokości rowków 50 mm i elektronicznych stołów rowkowych o szerokości 100 mm. Dla obu tych urządzeń są określone odrębne kryteria oceny jakości pracy rozpylaczy i są one ostrzejsze w przypadku stołów o rozstawie rowków równym 50 mm [4, 5, 6].

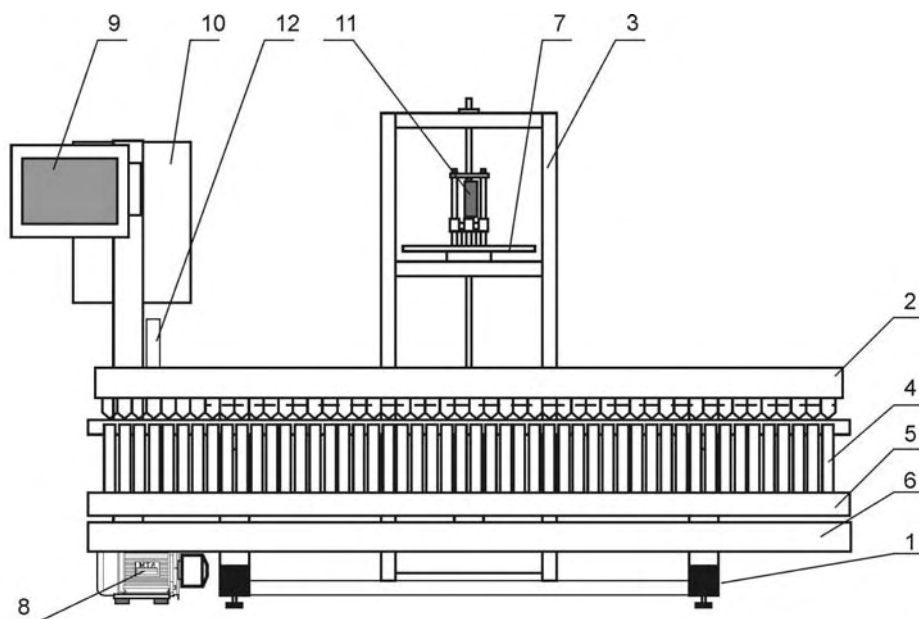
Elektroniczny stół rowkowy pozwala na ocenę równomierności opadu rozpylonej cieczy na powierzchnię płaską a oprogramowanie stołu przedstawia w sposób graficzny rozkład opadu i wyznacza współczynnik zmienności CV tego opadu. Przyjmuje się, że równomierność opadu jest poprawna, jeżeli współczynnik CV nie przekracza 10%. W tej metodzie pomiaru nie można jednoznacznie określić, który z rozpylaczy nie spełnia parametrów oprysku, ponieważ strugi wachlarzy rozpylonej cieczy zachodzą na siebie a sumaryczny opad na stół rowkowy składa się z kilku strug.

Do pomiaru kąta rozpylenia cieczy używa się urządzeń optycznych, na przykład aparatu fotograficznego a następnie, na podstawie analizy obrazu, określa się kąt strugi rozpylacza.

MATERIAŁ I METODY

W pracy przedstawiono urządzenie do indywidualnej kontroli stanu technicznego rozpylaczy rolniczych oraz sposób wykorzystania tych wyników do oceny belki polowej opryskiwacza, w którą wmontowano badane rozpylacze. Badania rozpylaczy pozwalają stwierdzić czy parametry pracy danego rozpylacza są zgodne z parametrami nominalnymi określonymi w standardach ISO i podawanymi przez producenta. Istotnym celem tych badań jest sprawdzenie parametrów rozpylacza takich jak: natężenie wypływu cieczy, równomierność rozkładu rozpylonej cieczy i kąt wachlarza wypływającej cieczy z rozpylacza. W wyniku długotrwałej pracy rozpylacze zużywają się, przez co zakładane dla nich natężenie wypływu ulega zmianie, lub następuje deformacja wypływającej strugi z rozpylacza szczelinowego.

Zbudowane urządzenie do testowania rozpylaczy rys. 1. pozwala na zbadanie wszystkich wyżej wymienionych parametrów pracy rozpylaczy montowanych w opryskiwaczach rolniczych. Jednym z podstawowych zespołów urządzenia jest stół rowkowy, którego zamontowanie pozwala na zebranie opadu rozpylonej cieczy z powierzchni $2,5\text{ m}^2$.

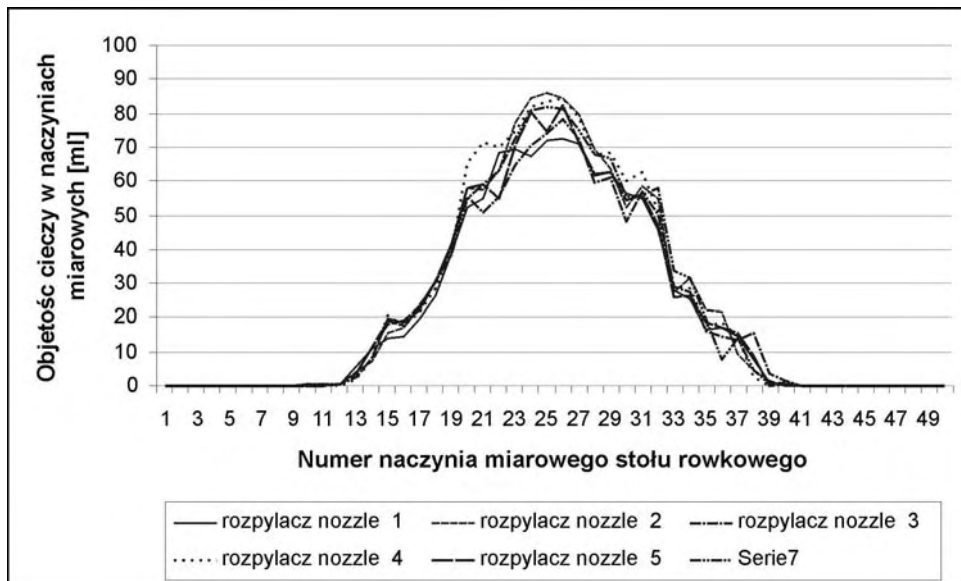


Rys. 1. Urządzenie testujące do badań szczelinowych rozpylaczy rolniczych
 1- rama urządzenia, 2-stół rowkowy, 3-kolumna wyźwigu zasobnika rozpylaczy, 4- naczynia miarowe, 5-zespół elektroniki pomiarowej, 6-naczynie zbiorcze, 7-zasobnik rozpylaczy, 8-pompa, 9-komputer, 10-szafa sterownicza, 11- króciec przyłączeniowy, 12- zespół hydrauliczny

Fig. 1. Device testing to investigations of crevice agricultural nozzles
 1- frame of device, 2- the groove table, 3- the lift mechanism of container of nozzles, 4- measuring cylinder, 5- aggregate of measuring electronics, 6- collect tank, 7- container of nozzles, 8- pump, 9- computer, 10- control wardrobe, 11- connector, 12- the hydraulic aggregate

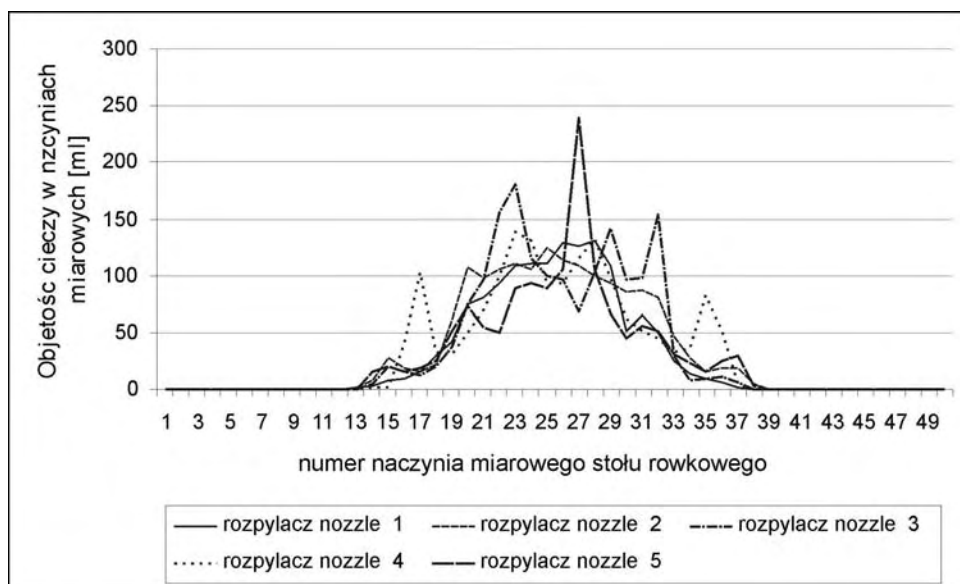
Nad stołem rowkowym zamontowany jest zasobnik rozpylaczy, który automatycznie może się przemieszczać w płaszczyźnie poziomej. Dozowanie cieczy umożliwia przesuwany króciec, znajdujący się ponad zasobnikiem. Zasobnik z rozpylaczami można przemieszczać w płaszczyźnie pionowej, w zakresie od 300 do 800 mm nad poziomem stołu rowkowego. Stół rowkowy urządzenia posiada 50 równoległych do siebie kanałów, które są pochylone pod nastawnym kątem. Zebrana struga rozpylonej przez rozpylacz cieczy kierowana jest do naczyń miarowych wyposażonych w elektroniczne czujniki mierzące objętość zebranej w naczyniach cieczy. Zasobnik rozpylaczy jest tak skonstruowany, że szczeliny rozpylaczy są ustawione prostopadłe do rowków stołu lub mogą być obrócone pod kątem 7 stopni tak jak to ma miejsce na belce polowej opryskiwacza.

Uzyskane wyniki badania poszczególnych rozpylaczy, tj. ciśnienie cieczy, natężenie wypływu z rozpylacza oraz ilość zebranej rozpylonej cieczy z poszczególnych rowków stołu są gromadzone w bazie danych, co umożliwia komputer przemysłowy urządzenia testującego. Odczyty dla każdego z pomiarów są zapisywane w bazie danych i można je zestawiać w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym. Urządzenie testujące działa w sposób automatyczny. Możliwe jest kolejne badanie max do 40 rozpylaczy zarówno w jednym powtórzeniu jak i kilkukrotne testowanie poszczególnych rozpylaczy (dowolna ilość powtórzeń).



Rys. 2. Rozkład rozpylonej cieczy z pięciu pierwszych badanych rozpylaczy TeeJet XR 11003 VK

Fig. 2. Distribution of liquid sprayed from five examined nozzles TeeJet XR 11003 VK

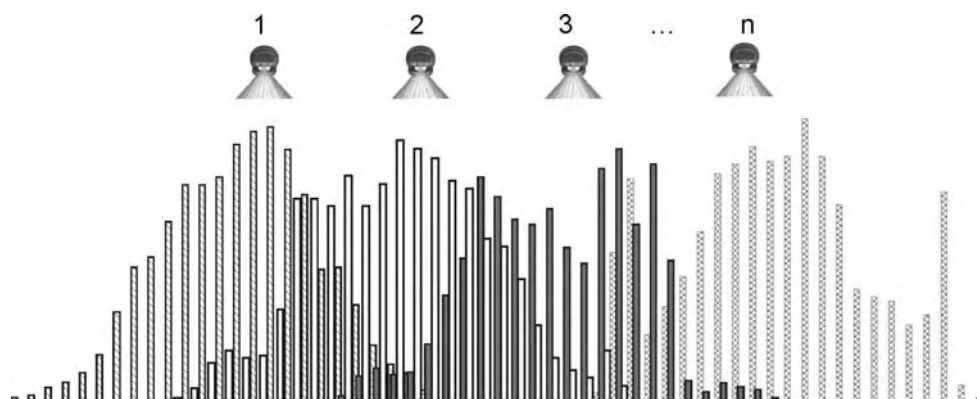


Rys. 3. Rozkład rozpylonej cieczy z pięciu pierwszych badanych rozpylaczy TTD JET RS 110 R

Fig. 3. Distribution of liquid sprayed from five examined nozzles TTD JET RS 110 R

Przykładowe wyniki uzyskane z badań pojedynczych rozpylaczy, uzyskanych na urządzeniu testującym zestawiono na rysunku 2 i 3. Dla czytelności rysunku przedstawiono po 5 wyników uzyskanych z badanych rozpylaczy. Ciśnienie w czasie badania wynosiło 3 bary. Na podstawie odczytu uzyskanych danych można określić (także statystycznie) równomierność rozpylonej strugi cieczy i sprawdzić czy jej ilości są symetryczne względem osi rozpylacza. Nowe rozpylacze powinny mieć równomierny rozkład strugi rozpylonej cieczy, zbliżony do rozkładu normalnego.

Uzyskane wyniki badań pojedynczych rozpylaczy pozwalają na zbudowanie wirtualnej belki połowej i ocenę równomierności opadu rozpylonej cieczy na badaną płaszczyznę. Uzyskana zbiorowość wyników pozwala na symulowanie doboru ustawień poszczególnych rozpylaczy na belce połowej opryskiwacza jak i odniesienie wyników tych badań do innych metod oceny pracy rozpylaczy np. przy użyciu elektronicznego stołu rowkowego. Sposób budowy wirtualnej belki połowej przedstawiono na rysunku 4.

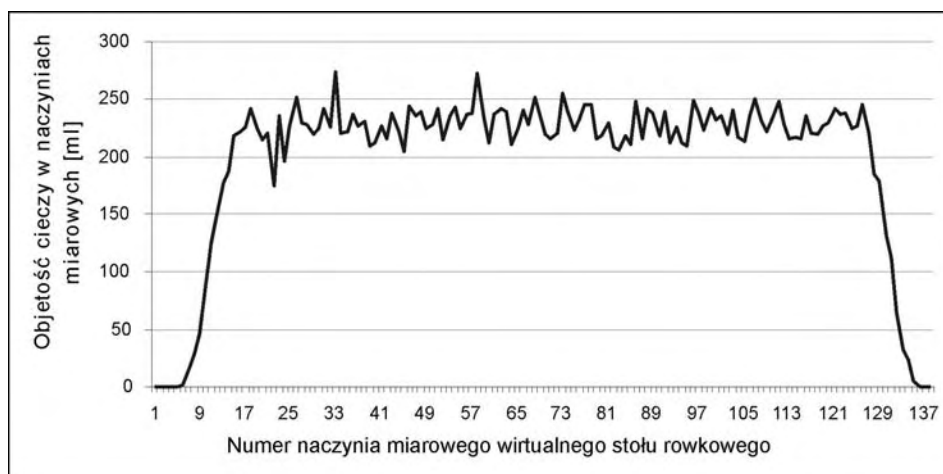


Rys. 4. Sposób budowy wirtualnej belki polowej.

Fig. 4. Method the building of virtual field beam

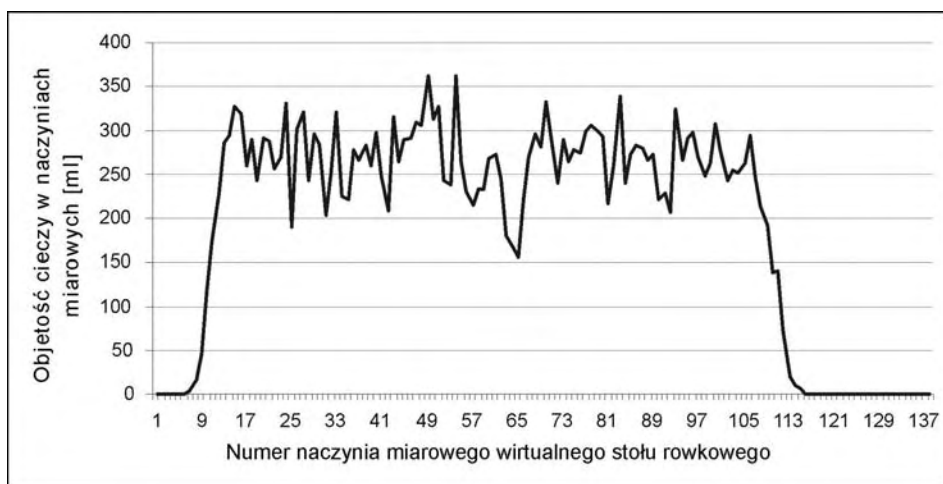
Ilości zebranej cieczy w naczyniach miarowych zestawia się w taki sposób, aby rozkłady rozpylonej cieczy zachodziły na siebie a osie rozpylaczy były od siebie oddalone co 10 rowków miarowych co daje identyczny rozkład cieczy, podobnie jak na opryskiwaczu rolniczym. Suma ilości cieczy z poszczególnych rozkładów pozwala na uzyskanie ilości cieczy przypadającej na daną szerokość opryskiwanej powierzchni. Na podstawie tych wyników możliwe jest obliczenie wartości średniej opadu rozpylonej cieczy, wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności CV. Wartością tego współczynnika wyraża się jakość pracy opryskiwacza rolniczego.

Charakterystyki opadu rozpylonej cieczy zestawione na wirtualnym stole rowkowym przedstawiono na rysunkach 5 i 6. W badaniach wykorzystano dwa rodzaje eksploatowanych w warunkach rolniczych rozpylaczy szczelinowych: TeeJet XR 110 VK -24 sztuki oraz TTD JET RS110 R - 20 sztuk. Ciśnienie cieczy wynosiło 3 bary, wysokość zamontowania rozpylaczy nad stołem rowkowym wynosiła 500 mm, czas badania pojedynczego rozpylacza 60 s. Uzyskane wyniki zestawiono w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Przy określeniu wartości średniej i odchylenia standardowego odrzucono skrajne wartości, tak jak to ma miejsce w badaniach belki polowej opryskiwacza, przeprowadzanych przy pomocy mobilnych stołów rowkowych.



Rys. 5. Charakterystyka opadu rozpylonej cieczy uzyskana na wirtualnym stole rowkowym o szerokości rowków 100 mm dla rozpylaczy TTD JET RS 110 R przy ciśnieniu 3 bary. CV = 6,43 %

Fig. 5. The profile of the fall of sprayed liquid obtained using the virtual row table of grooves width 100 mm for nozzles TTD JET RS 110 R, pressure 3 bars, CV = 6,43 %



Rys. 6. Charakterystyka opadu rozpylonej cieczy uzyskana na wirtualnym stole rowkowym o szerokości rowków 100 mm dla rozpylaczy TTD JET RS 110 R przy ciśnieniu 3 bary. CV = 15 %

Fig. 6. The profile of the fall of sprayed liquid obtained using the virtual row table of grooves width 100 mm for nozzles TTD JET RS 110 R, pressure 3 bars, CV = 15 %

PODSUMOWANIE

Poprawne działanie rozpylaczy rolniczych ma wpływ na jakość ochrony roślin, a w konsekwencji jest jednym z czynników decydujących o ekonomicznych efektach procesów produkcji rolniczej. Przedstawione w pracy urządzenie umożliwia kompleksowe badanie i diagnozowanie rozpylaczy stosowanych w opryskiwaczach rolniczych. Wykonanie tych badań jest bezpieczne dla personelu obsługującego urządzenie testujące (przygotowanie rozpylaczy do badań) i możliwe do wykonania w krótkim czasie przy zapewnieniu precyzji pomiarów. Wyposażenie urządzenia w specjalne oprogramowanie komputerowe pozwala na szybkie modelowanie pracy belki polowej opryskiwacza oraz jednoznaczne wyeliminowanie rozpylaczy nie spełniających podstawowych parametrów technicznych takich jak np.: natężenie wypływu, kąt oprysku czy równomierność rozkładu rozpylonej cieczy (CV).

BIBLIOGRAFIA

1. Langenakens J.: Software for inspections of sprayers: needs and solutions. Third European workshop on standardised procedure for the inspection of sprayers in Europe. Julius-Kuhn-Archiv 426, 2010: 112-118.
2. Langman J., Pedryc N.: Ocena rozpylaczy płaskostrumieniowych na podstawie charakterystyki rozkładu poprzecznego strugi cieczy. Inżynieria Rolnicza. Nr 10 (52), 2003: 269-276.
3. Mostade O., Briffeunil P.: ITEQ- Comprehensive solutions for the inspection of sprayers. Third European workshop on standardised procedure for the inspection of sprayers in Europe. Julius-Kuhn-Archiv 426: 130-132.
4. Sawa J., Kubacki K., Huyghebaert B.: Metodyczne ograniczenia w obowiązkowych badaniach opryskiwaczy. Problemy Inżynierii Rolniczej, 4(38), 2002: 17-25.
5. Świechowski W., Hołownicki R., Doruchowski G., Godyń A.: Porównanie metod oceny rozpylaczy płaskostrumieniowych. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 4 (54), 2006: 5-12.
6. Szulc T., Sobkowiak B.: Badania Funkcjonalne rozpylaczy dla sprzętu do ochrony roślin. Materiały konferencyjne nt. Racjonalna technika Ochrony roślin. Skierniewice, 2001: 148-156.
7. Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 roku o ochronie roślin (Dz.U z 2004r. Nr 11, poz 94 z późn. zm).

**Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego
MNiSW 493/N-Belgia/2009/0 pt., „Opracowanie metod i urządzenia do kompleksowych
badań jakości pracy rozpylaczy rolniczych oraz walidacja tych metod”**

AUTOMATED DEVICE FOR EVALUATION THE TECHNICAL CONDITION OF AGRICULTURAL NOZZLES

Summary

The problem of the technical conditions estimation of nozzles working in agricultural spraying machines was introduced in the paper. The automatic device for defining the technical condition of nozzles, that estimates work parameters in a total manner was presented. It allows quick verification of nozzles considering the possibility of further usage. Collected data help conducting theoretical modeling of hitch field beam in laboratory conditions.

Keywords: flat stream nozzle, the intensity of flow, the transverse uniformity sprayed liquid fall, testing device.

Marek Błaszczak¹

ANALIZA WPŁYWU ZEWNĘTRZNEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA ZMIANĘ WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNYCH STOPU Co-Cr-Ni

Streszczenie

W części analitycznej artykułu przedstawiono podstawy teoretyczne wyjaśniające wpływ budowy wewnętrznej biomateriałów na bazie kobaltu na zmianę własności magnetycznych. Szczególny nacisk położono na analizę struktury domenowej jako cechy mającej istotny wpływ na zachowanie się biomateriałów w silnym zewnętrznym polu magnetycznym. W części badawczej przedstawiono wyniki pomiarów koercji z których wynika że materiał ten znajduje się na pograniczu diamagnetyzmu i paramagnetyzmu.

Słowa kluczowe: biomateriały, stopy kobaltu, właściwości magnetyczne

WSTĘP

Magnetyzm, podobnie jak grawitacja i elektryczność, jest uniwersalną właściwością materii. Jedynym i pierwotnym jego źródłem jest ruch ładunku elektrycznego. W odniesieniu do mikroświata właściwości magnetyczne atomów wynikają z ruchu orbitalnego i wirowego elektronów oraz nukleonów w jądrze [6]. W ujęciu makroskopowym naturalny magnetyzm obserwuje się dla magnetytu (Fe_2O_3) lub wykazują go magnesy wytwarzane z materiałów ferromagnetycznych lub przewodniki z prądem. W bieżącym opracowaniu zostaną uwzględnione jedynie pola magnetyczne stałe, gdzie wartość indukcji w czasie nie ulega zmianie i jest jednorodna, dla których wartość indukcji jest jednakowa dla rozważanej przestrzeni. Natomiast pola gradientowe oraz pole elektromagnetyczne zostaną potraktowane marginalnie z tego względu, iż zakres badań nie obejmuje tego rodzaju oddziaływań.

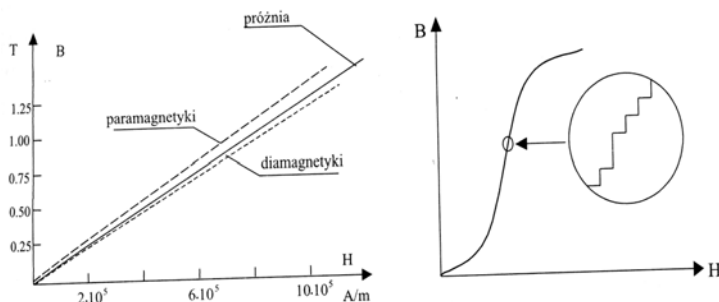
Struktura domenowa

Polem magnetycznym nazywamy pole sił, działających na magnesy, na przewodniki, w których płynie prąd elektryczny i na swobodne ładunki elektryczne będące w ruchu. Charakterystyczną, i ogólnie znaną wielkością pola magnetycznego jest indukcja magnetyczna \mathbf{B} , która jest zależną od przenikalności magnetycznej oraz od natężenia pola magnetycznego:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad (1)$$

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

gdzie: H – natężenie pola magnetycznego, A/m
 μ – przenikalność bezwzględna materiału, H/m



Rys. 1. Zależność pomiędzy indukcją magnetyczną B a natężeniem pola magnetycznego H : a) w przypadku diamagnetyków, b) ferromagnetyków

Cechą charakterystyczną materiałów jest ich wartość przenikalności magnetycznej. W celu umożliwienia porównania przenikalności różnych materiałów przyjęto posługiwać się przenikalnością magnetyczną względną, którą zdefiniowano jako:

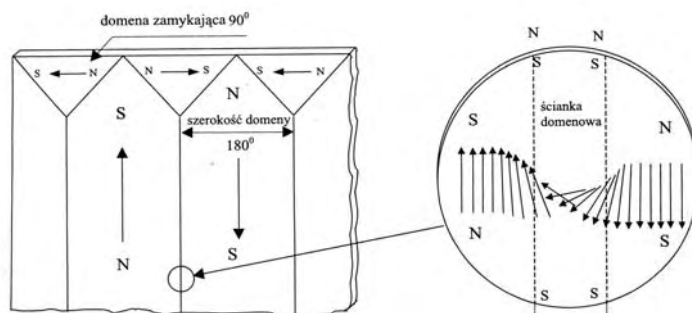
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2)$$

gdzie: $\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7}$ [H/m] – przenikalność magnetyczna próżni,
 μ_r – przenikalność magnetyczna względna materiału.

Z przedstawionych zależności wynika praktyczny wniosek, że wartości przenikalności względnej μ_r świadczą o zdolności danego ośrodka do gromadzenia pola magnetycznego. W zależności od zachowania się ciał w polu magnetycznym można je podzielić na diamagnetyczne, paramagnetyczne i ferromagnetyczne. Krzywa magnesowania $B = f(H)$ materiałów ferromagnetycznych nie jest gładka, lecz składa się z odcinków prostych, co schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Zasadniczą przyczynę tego zjawiska (zwanego szumem Barkhausena) stanowi struktura magnetyczna ferromagnetyków.

Nawet bez udziału zewnętrznego pola magnetycznego składa się ona ze domen tj. obszarów, z których każdy namagnesowany jest do nasycenia. Momenty magnetyczne wszystkich domen znoszą się i zakłada się, że materiał magnetycznie miękki nie wykazuje żadnych właściwości magnetycznych przy $H_{zew} = 0$. Jeżeli nastąpi trwałe uporządkowanie magnetyczne takich obszarów, materiał charakteryzują się zewnętrznymi właściwościami magnetycznymi (biegunami) i jest zaliczany do materiałów magnetycznie twardych. Struktura domenową, można uważać za obowiązującą także dla magnetyków miękkich.

W praktyce jest ona bardziej skomplikowana co dla materiału polikrystalicznego przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Ilustracja ścianki domenowej w materiale magnetycznie miękkim

Na rysunku 2. przedstawiono ich wyidealizowaną strukturę paskową (180 – stopniową) oraz domykającą (90 – stopniową). Ostateczny kształt struktury domenowej zależy jednak od stopnia zgodności układu ze stanem o najniższym poziomie energii. Grubość ścianki domenowej wynosi 10^{-7}m . Zmiana kierunku ustawienia spinów magnetycznych zachodzi w obrębie zaledwie kilkuset odległości międzyatomowych (szacunek ten wynika z podzielenia grubości ścianki domenowej przez średnice atomów Fe, Ni, Co (tabela 1).

Oddziaływanie pola magnetycznego na substancję wyraża się zdolnością do namagnesowania, którą określa zależność

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (3)$$

gdzie: χ – podatność magnetyczna,
 M – namagnesowanie,
 H – natężenie pola.

Podatność stanowi podstawę podziału substancji na diamagnetyki o ujemnej podatności magnetycznej, paramagnetyki i ferromagnetyki o podatności dodatniej.

Diamagnetyzm

Diamagnetyzm związany jest z dążnością ładunków elektrycznych do częściowego ekranowania wnętrza substancji przed zewnętrznym polem magnetycznym, zgodnie z prawem elektrodynamiki Lenza [11]. Analizę diamagnetyzmu atomów i jonów przeprowadza się na podstawie twierdzenia Larmora [10], wyrażającego zależność pomiędzy ruchem elektronu wokół jądra bez udziału i z udziałem pola H oraz nakładającej się precesji rozkładu elektronów. Precesja Larmora rozkładu elektronów jest równoważna prądowi elektrycznemu J , określanemu zależnością.

$$J = -\frac{Ze^2}{4\pi mc^2} \quad (4)$$

gdzie: Z – liczba elektronów e ,
 m – masa elektronu,
 c – prędkość światła w próżni.

Przenikalność magnetyczna diamagnetyka μ na jednostkę objętości może być określona wzorem:

$$\eta = -\frac{Ze^2 N}{6mc^2} \langle r^2 \rangle \quad (5)$$

przy czym $\langle r^2 \rangle$ stanowi średni kwadrat odległości elektronu od jądra.

Z przedstawionych zależności wynika, że w substancjach diamagnetycznych wektor namagnesowania J skierowany jest przeciwnie do pola magnesującego, co wyraża się ujemną wartością podatności magnetycznej.

Do ciał diamagnetycznych zalicza się takie substancje, jak rtęć, złoto, ołów, miedź, żelazo γ oraz wodę – czyli o wartościach podatności $\chi = -(10^{-3} - 10^{-6})$. Diamagnetyki osłabiają pole magnetyczne, ale jest to efekt indukowany, tj. powstający w następstwie umieszczenia tego materiału w zewnętrznym polu magnetycznym. W materiałach metalicznych implantowanych do organizmu wśród diamagnetyków mogą się znaleźć Ag, Au, a więc metale jednowartościowe oraz postacie alotropowe węgla np. diament lub grafit, które znalazły zastosowanie w niektórych powłokach implantów.

Paramagnetyzm

Paramagnetyzm jest wynikiem oddziaływania elektronów walencyjnych o niecałkowicie sparowanych spinach z zewnętrznym polem magnetycznym. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrony o spinie ujemnym ustawiają się zgodnie z kierunkiem pola i zmniejszają swoją energię. Natomiast elektrony o spinie dodatnim orientują się przeciwnie do kierunku przyłożonego pola i zwiększają swoją energię o tę samą wartość [10]. Część elektronów o spinie dodatnim przemieszcza się do pasma, w którym znajdują się elektrony o spinie ujemnym, aż do chwili wyrównania się energii Fermiego [11]. W konsekwencji wzrasta liczba elektronów w obszarze pasma ze stanami o ujemnej projekcji spinów i pojawia się stały moment magnetyczny o energii 2 μH . Namagnesowanie paramagnetyka M określa się za pomocą równania Langevina [7].

$$M = N\mu L(x) \quad (6)$$

gdzie: N – liczba atomów na jednostkę objętości substancji,
 $L(x)$ – funkcja Langevina $\equiv \text{ctg } x - x^{-1}$
 $x \equiv \mu H / k_B T$.

Z kolei podatność magnetyczna paramagnetyka wyrażona jest zależnością:

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{N\mu^2}{3k_B T} = \frac{C}{T} \quad (7)$$

gdzie: $C \equiv N\mu^2/3k_B$ – stała Curie

W przypadku paramagnetyków następuje niewielkie uporządkowanie momentów magnetycznych atomów takich pierwiastków jak: glin, magnez czy platyna. Zmiany występują w zakresie $\mu = 1,000002 \div 1,003$. Jeżeli przyjmiemy że substancje o takiej przenikalności magnetycznej są paramagnetyczne, to przenikalność $\mu = 1,005 \div 1,002$ cechująca stopy o strukturze austenitycznej przeznaczone na implanty jest problematyczna w klasyfikowaniu ich bez zastrzeżeń do grupy paramagnetyków. Należałoby w takim przypadku mówić raczej o ferromagnetyzmie tego typu materiałów. Najślabszym paramagnetykiem okazuje się powietrze, dla którego $\mu = 3,7 \times 10^{-7}$.

Ferromagnetyk ma spontaniczny moment magnetyczny, tzn. występuje w nim moment magnetyczny nawet bez przykładania z zewnątrz pola magnetycznego.

Wypadkowy moment magnetyczny w ferromagnetykach tworzą momenty spinowe elektronów, porządkowanych w skutek wymiennego oddziaływania elektronów 3d [10]. Wiadomo, że podczas zbliżania się wzajemnego atomów ferromagnetyka na odległość, umożliwiającą nakładania się częściowe pól elektronowych, następuje obniżenie energii elektronów o spinach równoległych. To wzajemne oddziaływanie elektronów pasm 3d sąsiadujących atomów wywołuje nie tylko zmniejszenie energii elektronów o spinach równoległych, lecz także samorzutne porządkowanie spinów w paśmie d w temperaturach poniżej temperatury Curie. Procesowi temu zachodzącemu w ferromagnetykach towarzyszy uporządkowanie struktury magnetycznej. Ta przemiana jest więc wynikiem kwantowo-mechanicznego oddziaływania elektronów sąsiadujących atomów, które prowadzi do zmiany rozkładu elektronów w stanach spinowych.

Materiały ferromagnetyczne charakteryzują się niezwykle dużymi wartościami podatności magnetycznej rzędu 10^3 – 10^6 lub nawet większej. Głównymi przedstawicielami ciał ferromagnetycznych są: żelazo, kobalt, nikiel oraz gadolin. Ich podstawowe charakterystyki zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka podstawowych pierwiastków ferromagnetycznych

Pierwiastek	Orbita nieskompensowana	Konfiguracja elektronów	Moment magnetyczny		Indukcja nasycenia B w 0 K [T]	Promień atomu r [nm]	Temp. Curie T _c [K]	Temp. topienia T _m
			teoretyczny	zmierzony				
Fe	3d	3d ⁶ 4s ²	4	2,2	2,16	0,126	1043	1808
Co	3d	3d ⁷ 4s ²	3	1,7	1,80	0,126	1404	1753
Ni	3d	3d ⁸ 4s ²	2	0,6	0,61	0,124	631	1728
Gd	4f	4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	7	7,1	2,54	0,179	292	1585

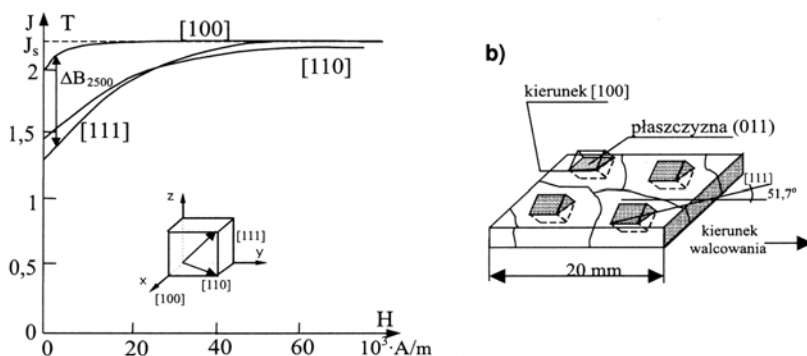
W analizie pominięto pierwiastki ferromagnetyczne o bardzo dużych indukcjach nasycenia, ale o niezwykle małej temperaturze Curie. Z przedstawionych w tabeli 1 pierwiastków także gadolin posiada niską temperaturę Curie (292 K) i z tego też powodu nie znajduje szerszego zastosowania. Pierwiastki ferromagnetyczne – o określonej wartości teoretycznej momentów magnetycznych w skutek rozpraszania i ruchów cieplnych atomów, wykazują się mniejszymi właściwościami magnetycznymi aniżeli wynika to z ilości niesparowanych elektronów (np. dla żelaza moment teoretyczny wynosi 4, a zmierzony 2,22, tabela 1). Najszerze zastosowanie wśród materiałów ferromagnetycznych znalazły Fe, Co oraz Ni, występujące często jako stopy.

W przypadku stopów metali następuje ujednolicenie sieci krystalicznych w stosunku do sieci pierwiastków składowych. Przykładem takiego stopu może być układ Co – Fe gdzie następuje unifikacja sieci krystalicznych kobaltu o strukturze heksagonalnej i żelaza o strukturze regularnej w kierunku sieci regularnej. W wyniku tego moment magnetyczny stopu jest sumą momentów dwóch podsieci. Efektem tego zjawiska jest stop 35%Co – Fe, który charakteryzuje się największą znaną indukcją 2,43 T [5], podczas gdy dane prezentowane w tabeli 1 wykazują mniejsze wartości indukcji nasycenia dla poszczególnych pierwiastków (dla Co – 1,8 T dla Fe – 2,16 T). Przypadek ten może być potwierdzeniem tezy jaką przedstawiło kilku badaczy, która w ogólnym ujęciu wskazuje na fakt, iż właściwości fizyczne w tym właściwości magnetyczne stopów wybiegają poza ogólnie przyjęte schematy prognozowania właściwości stopów metali [12, 9, 4]. Możliwe jest jednak częściowe uporządkowanie momentów atomów np. Au i Cu (materiały diamagnetyczne) z domieszką ferromagnetyków Fe, Ni, Co i wówczas materiały te charakteryzują się cechami ferromagnetycznymi. Ze względu na duży wpływ przypadkowego rozłożenia momentów magnetycznych w omawianym typie materiałów, trudno jest wskazać obszary ich praktycznego wykorzystania.

Zasadniczą cechą dla dobrych właściwości magnetycznych okazuje się szerokość domeny, która wynosi niekiedy setne części mm. Szerokość domeny powinna być jak najmniejsza, gdyż materiał poddawany procesowi przemagnesowania zmienia swą strukturę magnetyczną przemienne i skokowo. Następuje to zarówno poprzez przesuwanie ścianek pochodzących od domen składowych, jak i obrotów wektorów magnetyzacji w domenach [10].

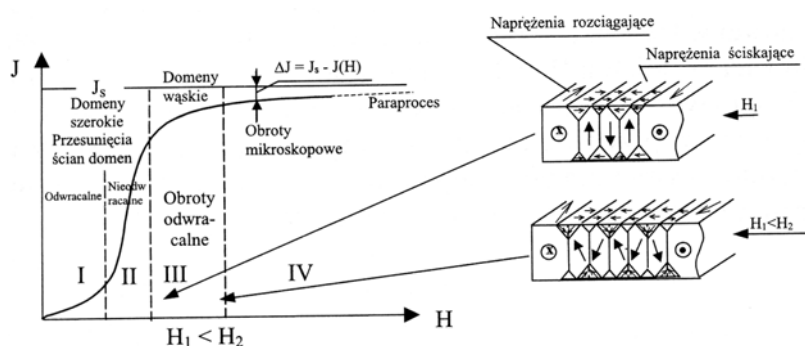
W materiałach polikrystalicznych struktura domenowa uzależniona jest od struktury krystalicznej tj. od orientacji i rozmiarów poszczególnych ziaren, defektów sieci krystalicznej i wtrąceń, naprężeń mechanicznych itp. Struktura krystaliczna i wymienione czynniki wywołują nawet w przypadku materiałów anizotropowych (o wyróżnionym kierunku uprzywilejowania magnetycznego), bardzo rozwiniętą strukturę domenową. Obok ścian domenowych 180° i zamykających 90° (rys. 2), występują: ścianki proste (granice domen równoległe do kierunku [100] rysunek 3), kliny (figury które swymi ostrzami wskazują kierunki [100], krople i koronki (figury, ukierunkowane jak poprzednio) oraz

mozaika (beżładne figury, z których nie można wnioskować o uprzywilejowanym kierunku).



Rys. 3. Kierunkowe zmiany właściwości magnetycznych, a) krzywe magnetyzacji monokryształów Fe, b) orientacja krystalitów w ziarnach blachy krzemowej [13,14]

Magnesowanie materiału realizuje się poprzez przesuwanie ścian domenowych oraz przy odpowiednio dużym polu, poprzez obroty wektorów magnetyzacji do kierunku zewnętrznego pola magnetycznego. Przy wzroście pola magnetycznego granice domen początkowo przesuwają się skokowo rys. 1b powodując dużą stratność krzywej magnesowania. Proces ten jest odwracalny rys. 4 i ustaje w pobliżu zakrzywienia krzywej magnesowania.



Rys. 4. Etapy magnesowania stopu amorficznego

Dalszy wzrost namagnesowania następuje w wyniku obrotów wektorów magnetyzacji, co wymaga stosunkowo dużego wzrostu natężenia pola magnetycznego, a więc i energii. Opis ilościowy zjawiska jest dość trudny, gdyż obok ścian domenowych 180° występują w materiałach domeny zamykające, które utrudniają proces magnesowania i powodują dodatkowy wzrost stratności (energii na przemagnesowanie).

Ruch ścianek oddzielających domeny ulega zahamowaniu na licznych wtrąceniach znajdujących się w materiale, przy czym najbardziej niepożądane są wtrącenia o rozmiarach cząstek odpowiadających grubości ściany domenowej ($0,1 - 1 \mu\text{m}$) [14].

Wskutek powstania domen zamykających wokół wtrąceń przesunięcie ścian z tych położów wymaga dodatkowego wkładu energii pola zewnętrznego, co wywołuje wzrost natężenia koercji i wzrost stratności materiału.

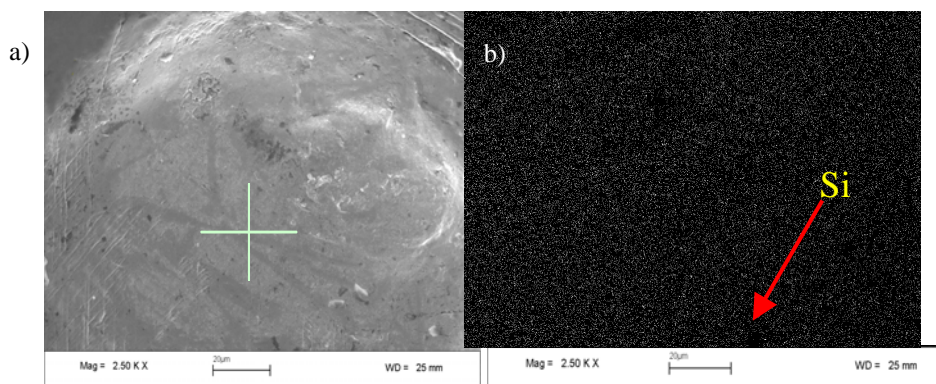
Jak wynika z przedstawionych informacji, zarówno materiały magnetycznie miękkie jak i twarde charakteryzują się nie tylko nieliniową krzywą magnesowania ale także histerezą magnetyczną [11], której postać może być opisana za pomocą funkcji elementarnej. W konsekwencji wciąż bardzo aktualnymi i aktywnie rozwijanymi są liczne prace dotyczące zagadnienia prawidłowego modelowania (w ujęciu matematycznym) właściwości materiałów magnetycznych [2, 11].

MATERIAŁ BADAWCZY

Badania mikrostrukturalne stopu odlewniczego w stanie surowym i po obróbce cieplnej polegały na określeniu struktury wlewka. W strukturze odlewniczej widoczne są kryształy kolumnowe, które są wynikiem powolnego procesu chłodzenia w formach [3].

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na strukturę stopu odlewniczego na bazie kobaltu są wysokie wymagania w zakresie czystości co wymaga zastosowania specjalnych warunków technologicznych (topienie i odlewanie w próżni). Powodują one, że stop tego typu cechuje skłonność do grubokrystalicznej struktury czego efektem są kryształy kolumnowe[3].

Mikroanaliza składu chemicznego stopu odlewniczego wykazała równomierne rozmieszczenie pierwiastków stopowych, których udział procentowy w materiale jest większy od 0,5 %. Otrzymane wyniki przedstawia rysunek 4.b na którym widoczne jest równomierne rozmieszczenie podstawowych pierwiastków stopowych Co, Cr, Ni. Rozmieszczenie pierwiastków na analizowanej powierzchni świadczy o braku segregacji grawitacyjnej oraz mikrosegregacji w obszarze dendrytów.



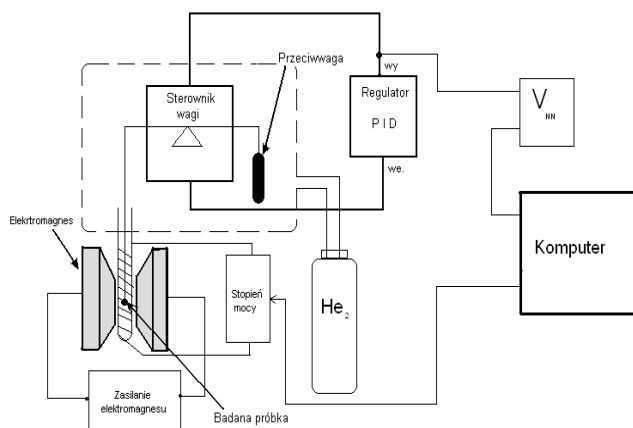
Rys. 4. Mikroanaliza składu chemicznego, a) topografia powierzchni, b) rozkład Co +Ni

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNYCH

Badania właściwości magnetycznych obejmowały określenie stopnia namagnesowania materiału pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego w temperaturze otoczenia ~ 293 K oraz temperatury Curie dla materiału M5[15].

Pomiaru dokonano na stanowisku do badania stopnia namagnesowania przy użyciu wagi magnetycznej. Schemat stanowiska przedstawiony jest na rysunku 6

Próbki przygotowano w postaci prętów o wymiarach $5 \times 8 \times 80$ mm, a następnie podano je obróbce cieplnej (wyżarzaniu) w temperaturach 1173 K w czasie 12 godzin, 1223 K, 1323 K, 1373 K w czasie 0,75 h. z chłodzeniem na wolnym powietrzu.



Rys. 6. Schemat stanowiska do badań namagnesowania

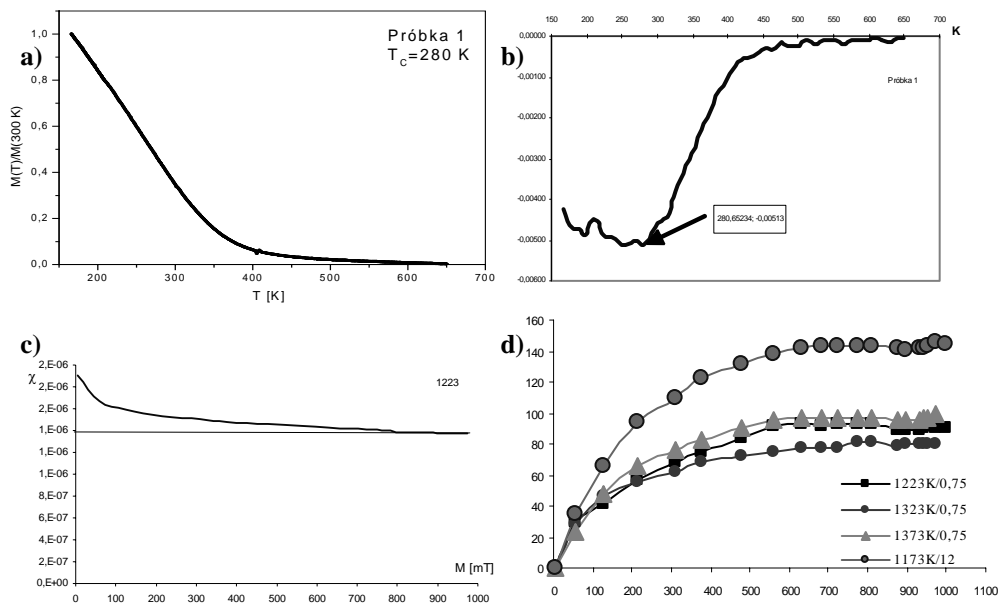
WYNIKI

Badanie właściwości magnetycznych stopu o strukturze odlewniczej oraz po obróbce cieplnej zostały poprzedzone analizą obrazów dyfrakcyjnych. Zwrócono uwagę na efekt tekstury, który stanowił podstawę wykluczenia danego materiału z tej części badań by ograniczyć liczbę czynników mogących mieć wpływ na właściwości magnetyczne. Graficzną prezentację wyników przedstawia rys. 7 a –d. Temperaturę Curie obliczono na podstawie pomiarów spadku szybkości namagnesowania w zależności od temperatury. Punkt Curie dla stopu wyżarzanego w różnych temperaturach określono po zróżniczkowaniu i jest to najniższa wartość krzywej rys. 7b.

Podatność dla stopu po obróbce cieplnej przyjęto jako wielkość otrzymaną po osiągnięciu stanu nasycenia dla poszczególnych temperatur wyżarzania:

$$\chi_{1123} = 1,45 \cdot 10^{-6}, \chi_{1223} = 1,38 \cdot 10^{-6}, \chi_{1323} = 1,37 \cdot 10^{-6}, \chi_{1373} = 1,39 \cdot 10^{-6}$$

Przedstawione na rys 6 wielkości koercji świadczą o bardzo słabych właściwościach ferromagnetycznych. Wielkość koercji na poziomie 7–11 wg. skali Gaussa może wskazywać, że jest to materiał magnetycznie twardy natomiast na podstawie normy dotyczącej materiałów magnetycznych [16], iż jest to materiał magnetycznie miękki, jeżeli natężenie koercji jest mniejsze niż 1×10^3 A/m.



Rys. 7. Wykres: a) temperatury Curie dla próbki wyżarzanej w temperaturze 1223 K w czasie 0,75 h, b) po zróżniczkowaniu c) podatność magnetyczna, d) porównawczy namagnesowania próbek

PODSUMOWANIE

Ferromagnetyzm stali Cr-Ni-Mo wyraża się w praktyce współczynnikiem przenikalności $\mu_{160} = (1,256 \div 1,259) \cdot 10^{-6}$ H/m w zależności od stanu umocnienia. W stanie umocnionym np. przez odkształcenie plastyczne współczynnik przenikalności magnetycznej osiąga górne wartości.

Nie w pełni kontrolowany ferromagnetyzm możemy odnieść do pozostałych grup stopów np. w stopach na bazie kobaltu, typu Protasul, stwierdzono obecność ferromagnetycznego martenzytu, natomiast w stopach na bazie tytanu występuje martenzytyczna faza β – Co.

W pracach Bartona i Marciniaka [1, 8] podjęto próbę określenia właściwości magnetycznych stali austenitycznych, w tym również powszechnie stosowanej na implanty do zespołów dociskowych stali Cr-Ni-Mo typu 316. Określono zmianę współczynnika przenikalności oraz nasycenia magnetycznego po różnych etapach procesu wytwarzania. Ocena właściwości magnetycznych stali i stopów przeznaczonych na implanty nie jest w literaturze eksponowana, gdyż z zasady materiały te należą do grupy materiałów odpornych na korozję i ta właściwość stanowi przedmiot analizy badawczej.

LITERATURA

1. Barton J., Marciniak J.: Wiad. Hut. 4, 1980,
2. Bertotii G.: Hysteresis in magnetism, Academic Press, San Diego 1998
3. Błaszczak M. Praca doktorska. Lublin 2005
4. Bojar Z.: Analiza wpływu struktury na odporność korozyjną i mechanizm pękania stopów kobaltu typu Vitalium. WAT. Warszawa 1992.
5. Boll R.: Weichmagnetische Werkstoffe, Vakuumschmelze GmbH, Wydawnictwo Siemens Aktiellschaft 1990
6. Gonet B.: Oddziaływanie stałego pola magnetycznego na organizmy żywe. PAM Szczecin 1991
7. Kittel A.: Wstęp do fizyki ciała stałego. PWN, Warszawa 1976
8. Marciniak J., Barton J., Trzcionka J.: Wiad. Hut. 6, 1980
9. Marciniak J.: Biomateriały. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002.
10. Matheisel Z.: Blachy elektrotechniczne walcowane na zimno, WNT Warszawa 1973
11. Morich A. H.: Fizyczne podstawy magnetyzmu. PWN, Warszawa 1970
12. Purcell E.M.: Elektryczność i magnetyzm. PWN, Warszawa, 1974
13. Rajan K.: J. Mater. Sci.vol. 18, 1983 pp 257 – 264.
14. Shishida H., Kan T., Ito Y.: The Magnetic Domain and Properties of Amorphous Ribbons, IEEE Trans. On Magnetism 1985, Vol. MAG-21, nr 1.
15. Surowska B. Kształtowanie składu chemicznego struktury stopów Co –Cr-Ni-Mo jako biomateriałów. Wyd. PL. Lublin 1997
16. Norma IEC, Publication 404 -1. Magnetic materials Part 1. Classification, Geneva 1979

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON CHANGE OF MAGNETIC PROPERTIES OF CO-CR-NI ALLOY

Summary

Theoretical basis explaining the influence of internal structure of biomaterials based on cobalt on the change of magnetic properties were introduced in the analytic part of the article. The special emphasis was placed on the analysis of the domain structure as the attribute essentially influencing the behavior of biomaterials in strong external magnetic field. The results of the measurements of coercive force, Curie temperature and magnetic susceptibility which prove that the investigated material can be placed on the borderland between diamagnetism and paramagnetism were presented in research part of paper.

Keywords: biomaterials, the melts of cobalt, magnetic properties.

Piotr Jaremek¹, Miron Czerniec¹

ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW WIERCENIA NA ZUŻYCIE UZBROJENIA ŚWIDRÓW GRYZOWYCH

Streszczenie: Przedstawiono wyniki oceny wpływu prędkości obrotowej wiercenia oraz obciążenia osiowego na zużycie elementów uzbrojenia świdra trójgryzowego w oparciu o opracowany dla niego model kinetyki kontaktu tribologicznego z urabianą calizną. Przeprowadzono analizę obliczeniową wspomnianych parametrów, wyniki podano w postaci graficznej.

Słowa kluczowe: wiertnictwo, świder gryzowy, trwałość, zużycie.

Czynnikami decydującymi o zużyciu uzbrojenia świdra gryzowego jest trwałość elementów jego uzbrojenia oraz parametry procesu wiercenia takie jak: prędkość obrotowa wiercenia i nacisk osiowy działający na świder. Przyczyną zużywania się zębów jest zjawisko ich poślizgu względem urabianej calizny. Modelowanie matematyczne procesu zwiercania skał oraz symulacja na tej podstawie zużycie uzbrojenia świdra, pozwala na zoptymalizowany wybór narzędzia. W oparciu o opracowany [3-5] ogólny model matematyczny badania kinetyki zużywania się materiału uzbrojenia świdra w warunkach tarcia ślizgowego w kontakcie ze skałą przeprowadzono rozważania według dwóch metod w których przyjęto dwie funkcje opisujące rozkład nacisków kontaktowych. Dla każdej z metod opracowano szczegółowe modele: pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia przybliżenia, uwzględniające parametry procesu wiercenia, geometrię świdra trójgryzowego jak również właściwości fizyko – mechaniczne materiałów pary tribologicznej. Opracowane modele umożliwiły przeprowadzenie analizy zużycia zębów świdra w funkcji czasu trwania procesu wiercenia, prędkości obrotowej oraz nacisku osiowego działającego na świder według poniższych zależności [6,7]:

Metoda 1

- model pierwszego stopnia (I.1)

$$T_i = \frac{AR_{oi}\tau_t^m h_{**} \left(e^{\frac{cm h_s}{h_{**}}} - 1 \right)}{60u^2 n_1 R_i s_i \tau_o^m cm} \quad (1)$$

¹ Instytut technologicznych Systemów Informacyjnych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Po przekształceniu otrzymamy:

$$h_i = \frac{h_{**}}{cm} \cdot \ln \left[\frac{60T_* R_i c m s_i u^2 n_1}{A R_{oi} h_{**}} \cdot \left(\frac{\tau_o}{\tau_t} \right)^m + 1 \right] \quad (1a)$$

- model drugiego stopnia (I.2)

$$T_i = \frac{A R_{oi} \tau_t^m h_{**} \left(e^{\frac{cm h_*}{h_{**}}} - 1 \right)}{60 u^2 n_1 (R_i - h_* \cos \delta) s_i \tau_o^m cm} \quad (2)$$

- model trzeciego stopnia (I.3)

$$T_i = \frac{A R_{oi} \tau_t^m}{60 u^2 n_1 s_i \tau_o^m} \cdot \int_0^{h_*} \frac{e^{\frac{cm h}{h_{**}}}}{R_i - h \cos \delta} dh \quad (3)$$

gdzie:

$$\tau_o = f \cdot \sqrt{\frac{E \cdot N \cdot [1 - \sin(0.5\gamma)]}{\pi(1 - \nu^2) \cdot l_\Sigma \cdot [0.5l \cos(0.5\gamma)]}} \quad (4)$$

Metoda 2

- model pierwszego stopnia (II.1)

$$T_i = \frac{A \tau_t^m R_{oi}}{60 R_i s_i f^m u^2 n_1} \left(\frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{EN \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)} \right)^{\frac{m}{2}} \frac{\left[\left(h_* \sin \frac{\gamma_i}{2} + \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} - \left(\frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} \right]}{\left(\frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (5)$$

stąd po przekształceniu otrzymamy:

$$h_i = \frac{\left(\frac{T_*}{M_i} + D_i \right)^{\frac{2}{m+2}} - \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2}}{\sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (5a)$$

gdzie:

$$M_i = \frac{R_{oi} A \tau_t^m}{60 u^2 f^m R_i n_1 s_i} \left[\frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{NE \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)} \right]^{\frac{m}{2}} \left[\left(\frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2} \right]^{-1}, \quad D_i = \left(\frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1}$$

- model drugiego stopnia (II.2)

$$T_i = \frac{A \tau_i^m R_{oi}}{60(R_i - h_* \cos \delta) s_i f^m u^2 n_1} \left(\frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{EN \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2}\right)} \right)^{\frac{m}{2}} \frac{\left[\left(h_* \sin \frac{\gamma_i}{2} + \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} - \left(\frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} \right]}{\left(\frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (6)$$

- model trzeciego stopnia (II.3)

$$T_i = \frac{A \tau_i^m R_{oi}}{60 f^m s_i u^2 n_1} \cdot \left(\frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{EN \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2}\right)} \right)^{\frac{m}{2}} \cdot \int_0^{h_*} \frac{\left(\frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} + h \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}}}{R_i - h \cos \delta} dh \quad (7)$$

W powyższych równaniach przyjęto następujące oznaczenia: A, m - bezwymiarowe wskaźniki wytrzymałości frykcyjnej badanego materiału w skojarzeniu tribologicznym i przyjętych warunkach badania, C - nieznaną stałą wyznaczoną na drodze doświadczalnej, f - współczynnik tarcia ślizgowego, $\tau_o = \tau_{\max}$ dla $h = 0$ i $x = 0$; $\tau_o = fp(0,0)$, $\tau_i = 0.5\sigma_{0.2}$ - granica plastyczności materiału na ścinanie, $\sigma_{0.2}$ - umowna granica plastyczności materiału na rozciąganie, $h_* = h \rightarrow h_{**}$ - dyskretne wartości zużycia, h_{**} - dopuszczalne zużycie zęba, γ_i - kąt wierzchołka zęba, δ - kąt pochylenia płaszczyzny wieńca względem płaszczyzny przekroju poprzecznego otworu, R_{oi} - promień toczenia się i -tego wieńca gryza względem calizny otworu, R_i - promień i -tego wieńca gryza, s_i - skok między zębami, $u = \omega_2/\omega_1$ - liczba przełożenia świdra, $n_1 = \frac{30\omega_1}{\pi}$ - prędkość obrotowa świdra, ω_1 - prędkość kątowa świdra, ω_2 - prędkość kątowa gryza, E, ν - moduł Younga i liczba Poissona skały, N - nacisk osiowy na świder, $l_\Sigma = \sum_1^{\tilde{n}_i} l_{ni}$ - długość sumarycznej linii styku zębów świdra z calizną, l_{ni} - długość linii styku poszczególnych zębów, l - szerokość wierzchołka zęba, \tilde{n}_i - liczba zębów na każdym wieńcu, jednocześnie stykających się z calizną, L_i - droga tarcia ślizgania zęba na i -tym wieńcu przypadająca na jeden obrót świdra, $n_i = \frac{2\pi R_i}{s_i}$ - ilość zębów na i -tym wieńcu.

Przeprowadzono analizę wpływ podstawowych parametrów procesu wiercenia: nacisku osiowego działającego na świder i prędkości obrotowej przewodu wiertniczego, na zużycie uzbrojenia świdra w otworze wiertniczym.

Do analizy obliczeniowej przyjęto następujące wartości parametrów procesu wiercenia: nacisk osiowy $N = 0,07; 0,14; 0,21; 0,28 MN$, prędkość obrotowa $n_1 = 70; 100; 130; 160 obr / min$. Obliczenia przeprowadzono dla wszystkich kombinacji wartości podanych parametrów. Parametry konstrukcyjne świdra zastały podane w tab.1 [2]. Pozostałe dane do obliczeń przyjęto: $u = 1.57$, $f = 0.3$, $l_\Sigma = 0.175m$, $l = 0.002m$, skała - granit, wartości parametrów $\tau_s = 385 MPa$, $E = 2 \cdot 10^4 MPa$, $\nu = 0,25$, przyjęto z [1,2] podobnie jak wartości $A = 1,27 \cdot 10^5$, $c = 1,2$, $m = 1,8$ dla których, w powyższych pracach, przedstawiono metodę ich wyznaczania. Wartości τ_o zostały wyznaczone w funkcji nacisku osiowego N wg zależności (4).

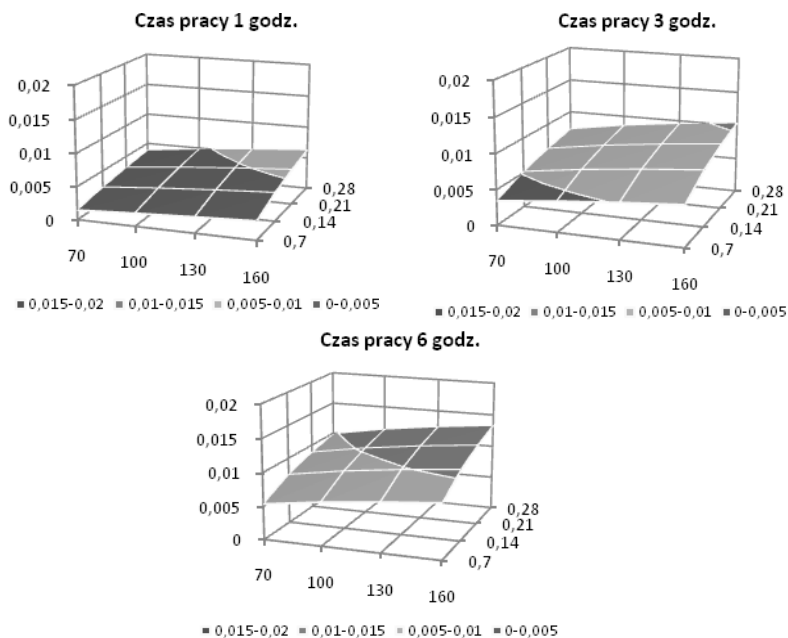
Tabela 1. Parametry świdra trójgryzowego

Table 1. Tricone drill parameters

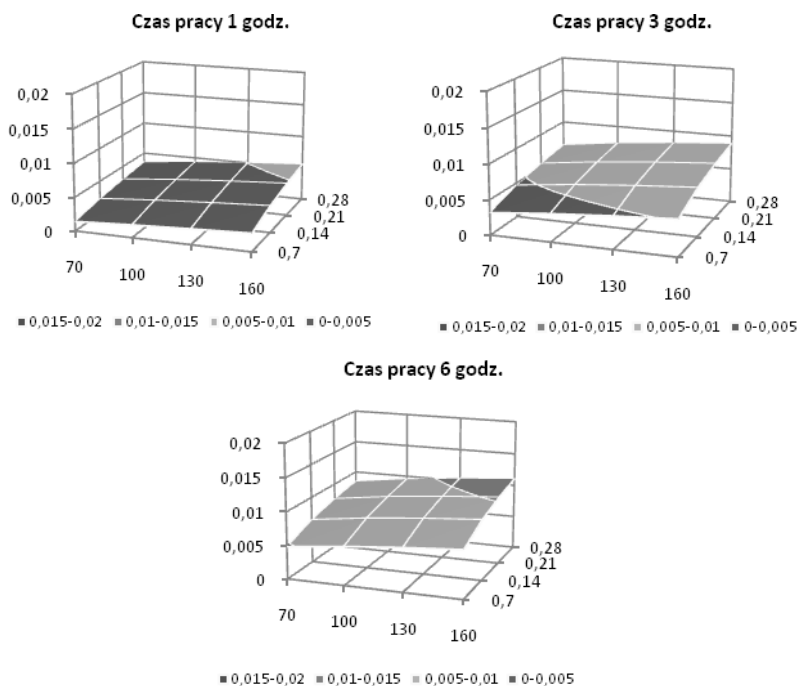
Gryz/wieniec	$R_{oi}[mm]$	$R_i[mm]$	$n_i[szt.]$	$\gamma_i[stopni]$	$s_i[mm]$	$l_m[mm]$	$L_i[mm]$
I/1	143	92	20	42	29.7	18	67.42
I/2	103	73	17	44.9	28.3	10	57.24
I/3	65	45	12	43.6	25.7	10	47.30
I/4	17	13	5	41.4	25.4	27	29.86
II/1	145	92	19	42	31.3	13	68.11
II/2	110	80	19	43.8	27.9	12	58.79
II/3	78	55	14	43.7	26.2	10	50.85
II/4	40	28	7	43.3	27.3	10	39.21
III/1	140	90	21	42	28.3	27	66.80
III/2	90	64	16	44	26.5	10	53.98
III/3	55	38	10	44.3	25	10	44.28

Wyniki rozwiązania numerycznego zużycia uzbrojenia skrajnych wieńców gryza pierwszego tj. I/1 oraz I/4, przeprowadzone zgodnie z metodą pierwszą w oparciu o model I.2 oraz w oparciu o model I.3. Według metody 1 obliczono na każdym wieńcu średnie zużycie $h_i = f(T_*)$ zębów wg zależności (1a), oraz w oparciu o zależności (2,3) wyznaczono metodą kolejnych przybliżeń wartości funkcji $h_i = f(T_*)$, dla $T_* = 0, 1, 2, \dots 6$ godz. Wyniki obliczonego zużycia h_i [m] (oś pionowa), w funkcji nacisku osiowego i prędkości obrotowej, przedstawiono na poniższych wykresach. Wyniki rozwiązania numerycznego dla modelu I.2 podano na rys. 1 a, b natomiast dla modelu I.3 na rys. 2 a, b.

a)

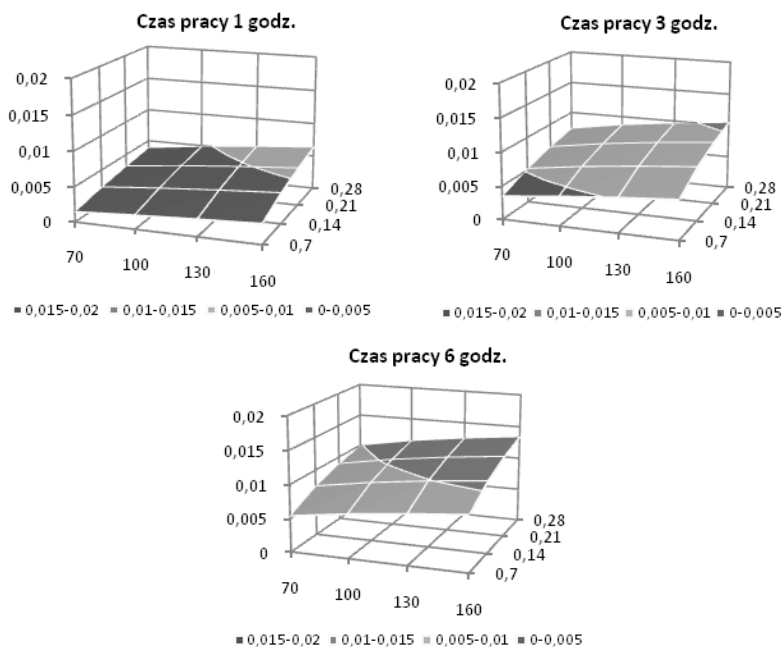


b)

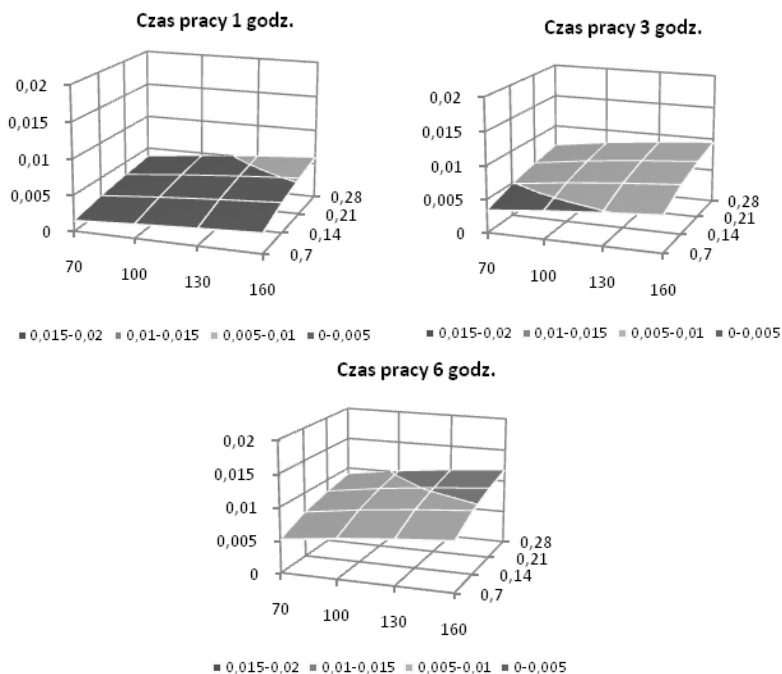


Rys. 1. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 1.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się
a) na 1 wieńcu (I/1) b) na 4 wieńcu (I/4)

a)

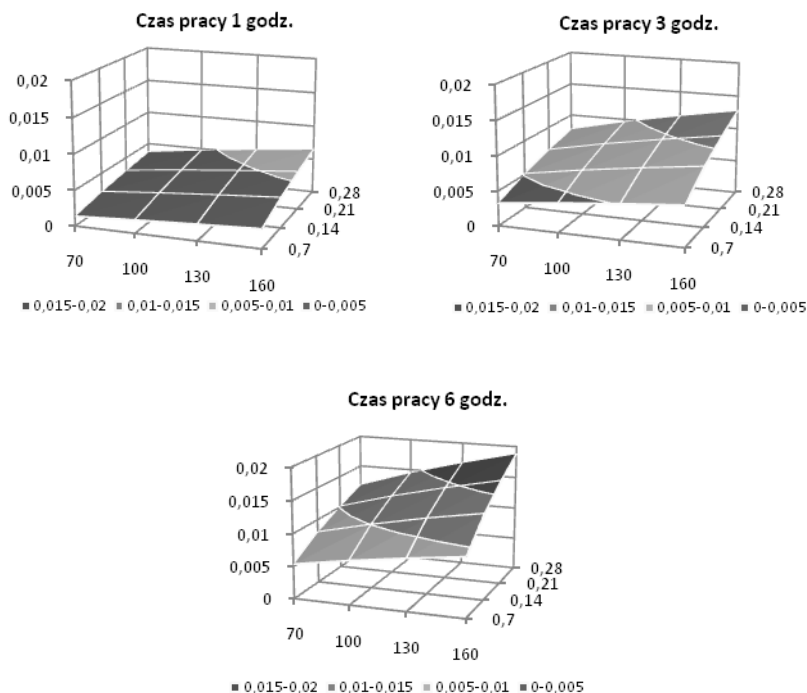


ba)

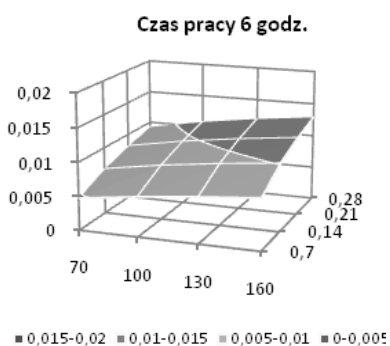
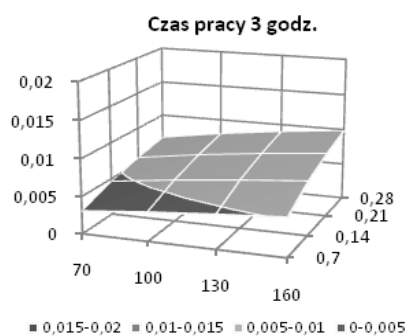
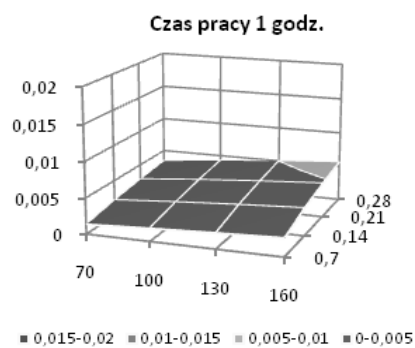


Rys. 2. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 1.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się a) na 1 wieńcu (I/1) b) na 4 wieńcu (I/4)

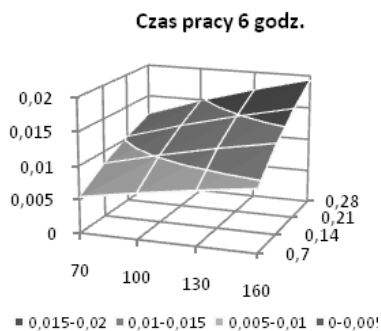
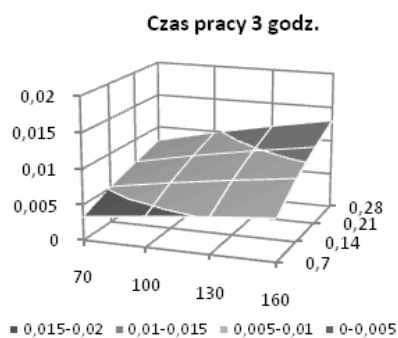
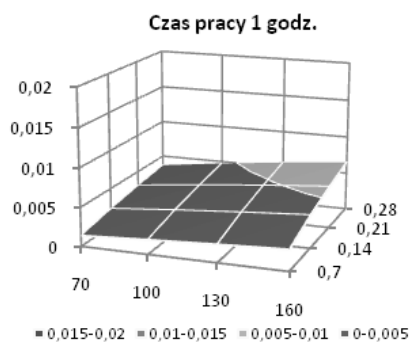
Podobnie jak dla obliczeń przeprowadzonych zgodnie z wykorzystaniem metody pierwszej, przeprowadzono takie same obliczenia, dla skrajnych wieńców I/1 i I/4, wykorzystując metodę drugą. Według metody 2 obliczono na każdym wieńcu średnie zużycie $h_i = f(T_*)$ zębów świda wg zależności (5a) oraz w oparciu o zależności (6,7) wyznaczono metodą kolejnych przybliżeń wartości funkcji $h_i = f(T_*)$ również dla $T_* = 0, 1, 2, \dots, 6$ godz. Wyniki rozwiązania numerycznego dla modelu II.2 podano na rys. 3 a, b natomiast dla modelu II.3 na rys. 4 a, b.



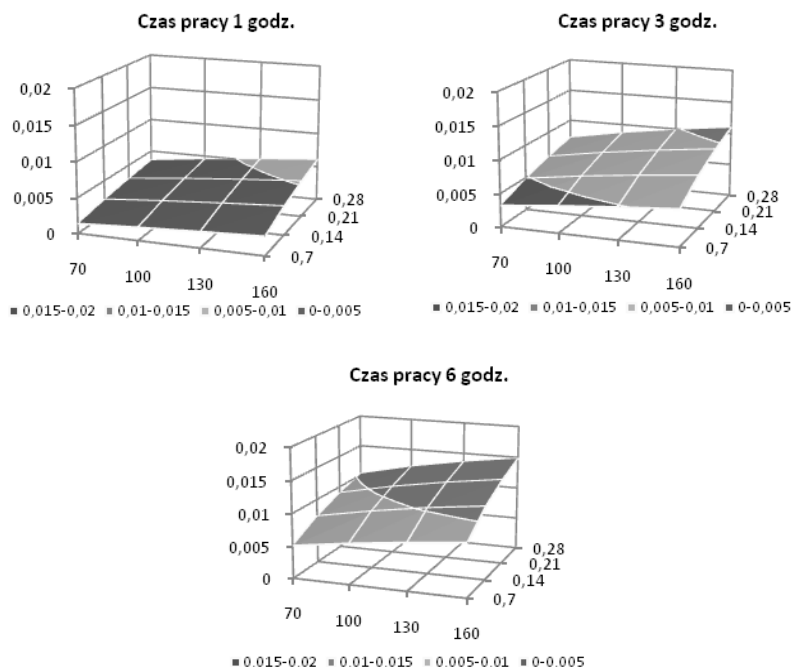
Rys. 3a. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 1 wieńcu (I/1)



Rys. 3b. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 4 wieńcu (I/4)



Rys. 4a. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 1 wieńcu (I/1)



Rys. 4b. Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 4 wieńcu (I/4)

WNIOSKI

Analiza wyników rozwiązania numerycznego, zamieszczonego na rys. 1, 2, 3, 4 pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dla wieńca zewnętrznego (I/1) zużycia obliczone wg modeli 1.2 i 1.3 są zbliżone do siebie dla całego zakresu analizowanej prędkości obrotowej i nacisku osiowego podczas trwania procesu wiercenia. Ten sam fakt można zauważyć w przypadku zastosowania w analizie modeli 2.2 i 2.3.
2. Dla wieńca wewnętrznego (I/4), wraz z upływem czasu wiercenia, zużycie obliczone wg modelu 1.2 jest mniejsze od zużycia obliczonego w oparciu o model 1.3. Różnice te są już zauważalne po pierwszej godzinie wiercenia i powiększają się w miarę upływu czasu. To samo można zauważyć w przypadku stosowania modeli 2.2 i 2.3.
3. Zużycie wieńca zewnętrznego I/1 jest większe od zużycia wieńca wewnętrznego I/4. Wieniec zewnętrzny potrzebuje mniej czasu aby osiągnąć dopuszczalne zużycie i jak wykazuje analiza jest bardziej na nie narażony.
4. Dysproporcje wynikające z analizy zużycia wieńca wewnętrznego I/4 przy pomocy modeli 1.2 i 1.3 oraz 2.2 i 2.3 skłaniają do zastosowania przy szczegółowej analizie, modeli trzeciego stopnia przybliżenia 1.3 lub 2.3.

5. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej zużycie elementów uzbrojenia, obliczone wg wspomnianych metod, rośnie na obydwu analizowanych wieńcach.
6. Zwiększenie liczby obrotów świdra przy stałym obciążeniu powoduje zbliżone do liniowego zwiększenie zużycia zębów na analizowanym gryzie. W przypadku mniejszych wartości nacisku osiowego zużycie zębów na poszczególnych wieńcach będzie dość zróżnicowaną. Ze zwiększeniem nacisku osiowego różnice te maleją.
7. Wzrost nacisku osiowego powoduje nieliniowe zwiększenie zużycia zębów. Na poszczególnych wieńcach różnych gryzów obserwują się nieco odmienny charakter tej nieliniowości.
8. Opracowane modele pozwalają na jakościowe i ilościowe określenie wpływu parametrów wiercenia na zużycie uzbrojenia świdra gryzowego.

LITERATURA

1. Andrejkiw A.E. ; Czerniec M.W. Ocena kontaktowego wzajemoddziaływania truszczychszja detalej maszin. – Kijew: Nauk. Dumka, 1991. - 160 s.
2. Czerniec M.; Jaremek P.: Badanie trwałości uzbrojenia świdrów gryzowych i ich efektywności. Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz, tom 16/1999.
3. Czerniec M., Jaremek P. Diagnoza obliczeniowa trwałości i efektywności świdrów gryzowych. II Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej „Diagnostyka 2000”. Warszawa 19 – 22.09.2000.
4. Czerniec M., Jaremek P. Do pitannja ocinku znoszuwannja ozbrojennja ta mechanicznoj szbidkosti burinnja triszaroszkwimi dolotami. Czastina 1- Ocinka znoszywannja ozbrojennja. Problems of Tribology, No 2, 2003.
5. Czerniec M., Jaremek P. Do pitannja ocinku znoszuwannja ozbrojennja ta mechanicznoj szbidkosti burinnja triszaroszkwimi dolotami. Czastina 2 - Ocinka mechanicznoj szwidkosti burienja. Problems of Tribology, No 3, 2003.
6. Czerniec M., Jaremek P. Analiza matematyczna zużycia uzbrojenia świdrów gryzowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Zagadnienia dydaktyczne w środowisku systemów technologicznych. Kazimierz Dolny 2003.
7. Czerniec M., Jaremek P. Analiza wpływu nacisku osiowego na zużycie uzbrojenia świdrów gryzowych. Eksploatacja i niezawodność, nr 4(24), 2004, s.73-78.

ANALYSIS OF DRILLING PARAMETERS INFLUENCE ON DRILLING BITS EQUIPMENT WEAR

Summary

The article presents the results of impact assessment drilling speed and axial load on the wear of tricone bit equipment based on a model developed for the kinetics of tribological contact with the mining undisturbed soil. An analysis of the calculation of these parameters, the results are given in graphic form.

Keywords: Drilling, drilling bit, durability, wear.

Tomasz Klepka¹, Paweł Zaprawa²

ANALIZA KONSTRUKCJI OPTOTELEKOMUNIKACYJNYCH MIKRO-KANAŁÓW O KSZTAŁTACH ZŁOŻONYCH

Streszczenie: W artykule zaprezentowano przykład analizy konstrukcji optotelekomunikacyjnych mikro-kanałów o kształtach złożonych. Przedstawiono ideę stosowania tego typu wytworów oraz wskazano nowe ich cechy funkcjonalne, które mogą znaleźć zastosowanie w różnych dziedzinach techniki. Na przykładzie wytłoczyn w postaci zespołu z trzema mikro-kanałami przedyskutowano możliwości zmian konstrukcyjnych w wytworze złożonym. Podstawowym kryterium do porównań była ilość materiału potrzebna do uzyskania wymaganej konstrukcji.

Słowa kluczowe: konstrukcje złożone, kanały polimerowe, analiza geometryczna.

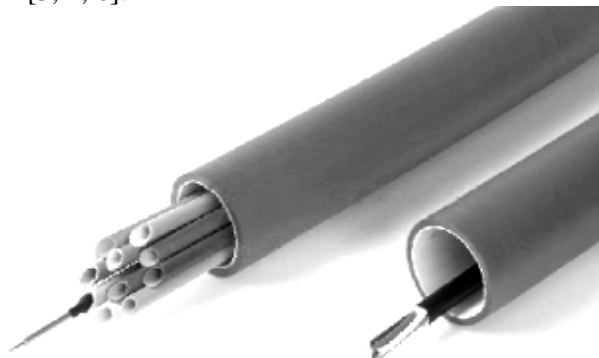
WPROWADZENIE

Podczas budowy linii telekomunikacyjnych dąży się do tego, aby kanały instalacyjne zapewniły żądany stopień ochrony mechanicznej cienkich włókien w kablu światłowodowym. Dotyczy to zarówno procesu układania kabli w kanale, jak i późniejszej jego eksploatacji. Nowe konstrukcje mikro-kabli charakteryzują się tym, że powłoka zewnętrzna może być wykonana z różnych tworzyw polimerowych, takich jak PE, PP, PS, SI, a ich średnica może wynosić od ok. 0,5 do 2 mm. Ponadto mogą one składać się z dużej liczby włókien światłowodowych wynoszących w jednym mikro-kablu nawet do 144. Wytrzymałość mechaniczna mikro-kabli w porównaniu do kabli konwencjonalnych, z uwagi na brak centralnego elementu usztywniającego, jest także dużo mniejsza [2]. Wszystko to prowadzi do tego, że bardzo ważne jest uzyskanie kanału o odpowiednim kształcie oraz wytrzymałości mechanicznej [7]. Uwzględniając fakt, że tego typu nowe rozwiązania konstrukcyjne mikro-kabli muszą spełniać wymagania odpowiednich norm telekomunikacyjnych, istnieje potrzeba utworzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych kanałów i mikro-kanałów o kształtach złożonych. Kanały te, wytwarza się głównie z PE-HD, PVC oraz PP, a ich wymiary są od 6 do 50 mm, przy grubości ścianki kanału od 0,5 do 6 mm [1, 8, 11, 13].

¹ Katedra Procesów Polimerowych, Politechnika Lubelska.

² Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Politechnika Lubelska.

W technikach optotelekomunikacyjnych dotychczas wykorzystywane były wytwory jednokanałowe (rys. 1), jednak rozwój konstrukcji kabli i mikro-kabli spowodował potrzebę budowy wytworów wielokanałowych, a także wytworów o kształtach złożonych [3, 4, 6].



Rys. 1. Wygląd zespołu z mikro-kanałami oraz tradycyjnego kanału z kablem optotelekomunikacyjnym [4]

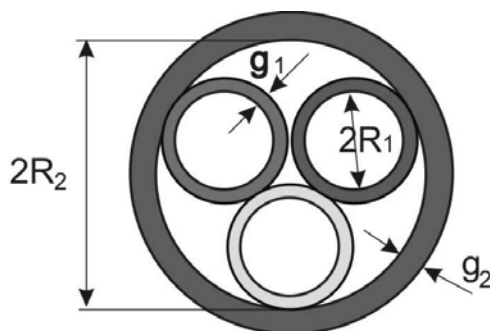
CHARAKTERYSTYKA MIKRO-KANAŁÓW O KSZTAŁTACH ZŁOŻONYCH

Badania analityczne prowadzono na dwóch rodzajach elementów konstrukcyjnych. Pierwszy z nich był wytworem, składającym się z kilku mikro-kanałów umieszczonych wewnątrz walcowej rury osłonowej, drugi natomiast był wytworem jednolitym geometrycznie, z charakterystycznymi tunelami funkcjonalnymi. Tego typu wytwory wytwarza się najczęściej za pomocą wytłaczania w linii technologicznej [12, 9, 10]. Poszczególne mikro-kanały w zależności od potrzeb mogą być wytwarzane z wielu różnych tworzyw polimerowych, mieć różną konstrukcję i barwę itp. Wszystko to prowadzi do tego, że do ich wytworzenia wymagane jest prowadzenie kilku procesów na oddzielnych liniach technologicznych. Mikro-kanały łączy się następnie w zespoły na oddzielnym stanowisku technologicznym, podczas procesu współwytłaczania [11]. Tak wykonana konstrukcja zapewnia stosunkowo dużą wytrzymałość mechaniczną, co pozwala na umieszczanie w zespole złożonym mikro-kabli optotelekomunikacyjnych, a nawet poszczególnych włókien światłowodowych przeznaczonych do przesyłania sygnału. Innym nowym rozwiązaniem jest konstrukcja wytworu z charakterystycznymi tunelami funkcjonalnymi. Wytwór taki jest otrzymywany w pojedynczej linii technologicznej wytłaczania, a żądany kształt i wymiary poszczególnych tuneli uzyskuje się w narzędziu – głowicy wytłaczarskiej za pomocą grupy rdzeni kształtujących [6].

CHARAKTERYSTYKA MODELI OBLICZENIOWYCH

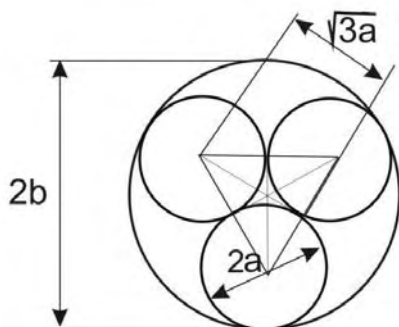
Jednym z ważnych kryterium oceny efektywności wytłaczania tego typu wytworów jest między innymi ilość materiału – tworzywa polimerowego, jaka jest potrzebna do wytworzenia analizowanej konstrukcji [12]. Ponieważ ilość materiału potrzebna na wykonanie metra bieżącego wytworu jest równa Sl , gdzie S jest polem powierzchni przekroju wytworu, a l jego długością (w tym przypadku $l = 1$ m), analizę można ograniczyć do wyznaczenia pola otrzymanych figur w przekroju poprzecznym. Obliczenia prowadzono na trzech mikro-kanalach tworzących zespół złożony (rys. 3), porównując go do wytworu mającego trzy tunele funkcjonalne wykonane w wytworze litym (rys. 4). W efekcie tego przeanalizowano cztery warianty modeli konstrukcyjnych.

W pierwszym modelu (rys. 2) przyjęto, że promień wewnętrzny zespołu wynosi R_2 , a promień wewnętrzny mikro-kanalów R_1 , zaś grubość zespołu oraz ścianki mikro-kanalu wynoszą odpowiednio g_2 , g_1 . Sumę pól wszystkich figur (czterech pierścieni kołowych) oznaczmy przez S_1 .



Rys. 2. Przykład konstrukcji walcowego zespołu z mikro-kanalami umieszczonymi w jego wnętrzu (model I)

Ze względu na geometryczny układ tych figur, wpisania trzech pierścieni kołowych o średnicy wewnętrznej $2R_1$ w pierścień kołowy o średnicy $2R_2$, wielkości R_1 i R_2 nie mogą być dobrane przypadkowo [5]. Przy rozważeniu ogólnego problemu wpisania układu trzech kół o promieniach równych a parami stycznych w koło o promieniu b można wyznaczyć wielkości charakteryzujące układ, takie jak: położenie środków kół wewnętrznych, środek koła zewnętrznego czy promień koła zewnętrznego.



Rys. 3. Ogólny schemat wyznaczania wymiarów charakterystycznych

Środki kół wewnętrznych leżą w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku równym $2a$. Środek koła zewnętrznego leży w punkcie przecięcia się wszystkich trzech wysokości tego trójkąta. W tym przypadku środek koła dzieli wysokości trójkąta w stosunku 1:2. Ponieważ w tym przypadku wysokość trójkąta równobocznego jest równa $\sqrt{3}a$ więc promień dużego koła wynosi $b = \frac{2}{3}\sqrt{3}a + a$. Otrzymujemy więc wzór łączący promień małych kół z promieniem dużego koła:

$$b = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) a \quad (1)$$

Aby wykorzystać powyższy związek zauważmy, że dla zespołu złożonego z rury i mikro-kabli, a wynosi $R_1 + g_1$ (jest to promień zewnętrzny mikro-kabla), zaś b wynosi R_2 jest to więc promień wewnętrzny dużego koła (zespołu). Otrzymujemy więc zależność

$$R_2 = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) (R_1 + g_1) \quad (2)$$

Oznacza ona, że R_2 nie może być mniejsze od wyrażenia po prawej stronie znaku równości. Jeśli R_2 byłoby większe od tego wyrażenia, to w układzie takim nie byłoby styczności kół. Z tego powodu powyższa równość może być zastąpiona równością przybliżoną, ale z niewielkim odchyleniem od wartości dokładnej, co pozwala na przykład na uwzględnianie wartości skurczu przetwórczego w mikro-kanalach. Z powyższych obliczeń otrzymujemy, że pole przekroju poprzecznego w modelu I wynosi:

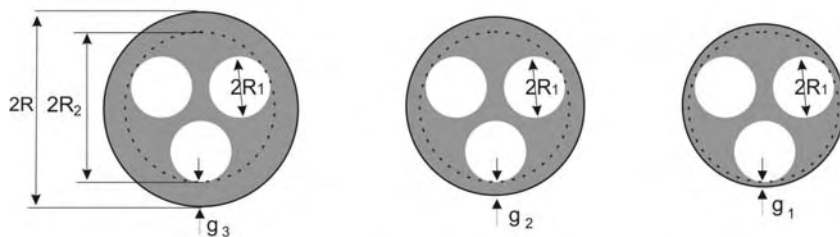
$$S_1 = \pi(g_2^2 + 2g_2R_2 + 3g_1^2 + 6g_1R_1) \quad (3)$$

W modelu drugim, będącym wytworem litym promienie wewnętrzne tuneli wynoszą R_1 , natomiast promień zewnętrzny jest zależny od grubości ścianki g rozumianej jako minimalna odległość tunelu od powierzchni zewnętrznej wytworu (w jednej płaszczyźnie przekroju poprzecznego). Przyjęto także, że odległość pomiędzy sąsiednimi tunelami wynosi w najwyższym miejscu g_1 , czyli tyle ile grubość ścianki mikro-kanalu w modelu pierwszym (rys.4). Uwzględniając aspekt wytrzymałości wytworu, w zależności od grubości g ścianki, przyjęto w tym modelu prowadzenie obliczeń przy trzech wariantach:

- grubość ścianki rury jest równa sumie grubości ścianki rury i mikro-kanalu w modelu pierwszym, tj. $g_3 = g_1 + g_2$ (rys. 4a)
- grubość ścianki rury jest taka sama jak grubość ścianki rury w modelu pierwszym, tj. g_2 (rys. 4b)
- grubość ścianki rury jest taka sama jak grubość ścianki mikro-kanalu w modelu pierwszym, tj. g_1 (rys. 4c)

Pole przekroju wytworu litego jest więc pomniejszone o pola 3 kół stanowiących przekroje tuneli i wynosi:

$$S_2 = \pi \left(\frac{2R_1 + g_1}{\sqrt{3}} + R_1 + g \right)^2 - 3\pi R_1^2 \quad (4)$$



Rys. 4. Przykłady wytworów litych o kołowym przekroju poprzecznym z tunelami funkcjonalnymi przy różnej grubości ścianki (model II)

Należy pamiętać o tym, że liczba g jest minimalną odległością tunelu od krawędzi zewnętrznej wytworu. Zatem przyjęcie grubości nawet najmniejszej z trzech wyżej przedstawionych nie powoduje istotnego zmniejszenia wytrzymałości całej konstrukcji. Korzystając ze wzoru (1), przy $a = 2R_1 + g_1$, można obliczyć promień zewnętrzny wytworu złożonego:

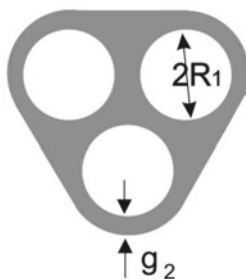
$$R = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} + 1 \right) (2R_1 + g_1) + g \quad (5)$$

który zależy od przyjętej w trzech wariantach grubości g .

W prosty sposób z modelu drugiego można uzyskać kolejny, trzeci model korzystając z zasad technologii konstruowania wytworów z tworzyw, zastępując przekrój kołowy wytworu przekrojem o kształcie trójkąta „wygładzonego” kołowo w narożach (rys. 5). Otrzymana figura, stanowiąca przekrój, składa się z siedmiu części: 3 wycinków kołowych o promieniu $R_1 + g$ i kącie rozwarcia 120 stopni (łącznie składają się więc w jedno koło), trzech prostokątów o bokach $2R_1 + g_1$ i $R_1 + g$ oraz trójkąta równobocznego o boku $2R_1 + g_1$.

Podobnie jak w modelu drugim rozważano te same trzy warianty grubości ścianki g . Pole łączne tych figur można więc obliczyć ze wzoru:

$$S_3 = \frac{\sqrt{3}}{4}(2R_1 + g_1)^2 + 3(2R_1 + g_1)(R_1 + g) + \pi(R_1 + g)^2 - 3\pi R_1^2 \quad (6)$$



Rys. 5. Przykład wytworu litego o kształcie złożonym z tunelami funkcjonalnymi (model III)

Możliwy do dyskusji jest także model czwarty, będący odmianą wytworu z modelu trzeciego. Różni się on tym, że w miejscach nadmiaru materiału można dodatkowo wprowadzić korektę technologiczną polegającą na usunięciu nadmiaru materiału z trzech obszarów (rys. 6), w zależności od wariantu w kształcie trójkąta równobocznego (model IVa) lub półkola (model IVb).



Rys. 6. Przykłady wytworów litych o kształcie złożonym z tunelami funkcjonalnymi z usunięciem nadmiarem materiału (model IVa oraz IVb)

W tym przypadku otrzymany nowy przekrój poprzeczny można obliczyć ze wzoru:

$$S_4 = S_3 - \Delta, \quad (7)$$

gdzie Δ oznacza sumę pól usuniętych obszarów. Mamy więc:

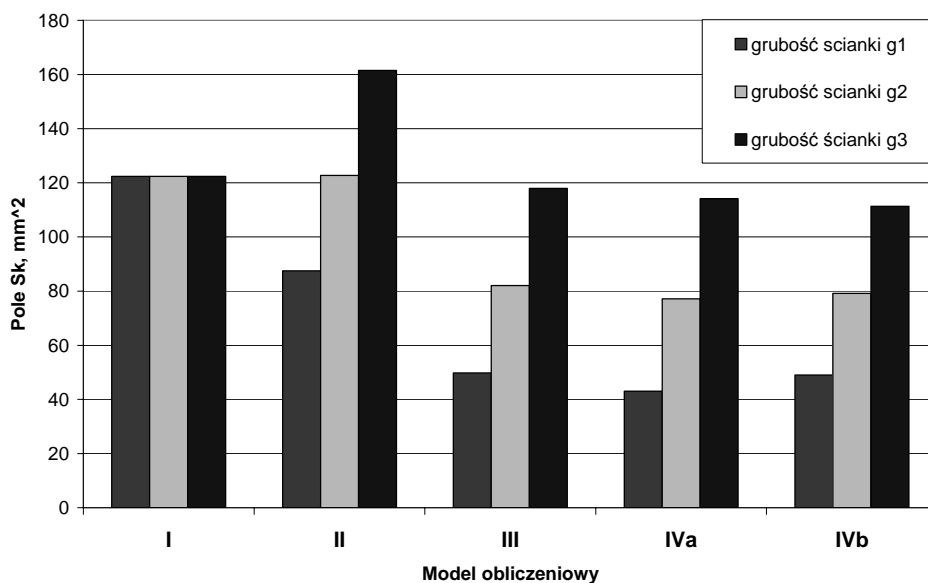
$$\Delta_a = \frac{3\sqrt{3}}{4} g^2 \quad (8)$$

lub

$$\Delta_b = \frac{3\pi}{2} \left(\sqrt{\left(R_1 + \frac{1}{2}g_1\right)^2 + (R_1 + g)^2} - (R_1 + g) \right)^2 \quad (9)$$

W powyższych obliczeniach przyjęto, że bok usuniętego trójkąta jest równy g , zaś wymiary półkola dobrano tak, aby po usunięciu materiału w tych przestrzeniach grubość ścianki miała nadal wartość g .

Przykład obliczeniowy wykonano na standardowych wytworach [3] przyjmując następujące wymiary rzeczywiste mikro-kanalów: $R_1 = 2,75$ mm, $R_2 = 7,55$ mm, $g_1 = 0,75$ mm, $g_2 = 1,5$ mm. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie wykresu (rys. 7).



Rys. 7. Porównanie pól figur tworzących poszczególne wytworów w zależności od rodzaju modelu obliczeniowego

WNIOSKI

Analiza mikro-kanalów o kształtach złożonych pozwala na porównanie wytworów z tworzyw z uwagi na przyjęte kryterium konstrukcyjne. Wartości wskaźników S_k (dla $k = 1, 2, 3, 4$) dostarczają informacji o wymaganej ilości materiału, która jest potrzebna do wytworzenia wymienionych modelowych konstrukcji. Wytwory, będące zespołami mikro-kanalów do zastosowań optotelekomunikacyjnych wykonuje się na wielu stanowiskach, co między innymi zwiększa czasochłonność, a także wskaźniki ekonomiczne. Wytwory lite z tunelami funkcjonalnymi, w tym przypadku, wydają się być korzystnym rozwiązaniem, pozwalającym m.in. na wykonanie ich na jednym stanowisku technologicznym.

Zgodnie z oczekiwaniami wyniki obliczeń potwierdziły, że wytwór lity z trzema tunelami funkcjonalnymi o przekroju koła i o grubości ścianki $g = g_3$ powoduje zwiększenie ilości użytego materiału o 30% w stosunku do zespołu walcowego z trzema mikro-kanalami. Otrzymana konstrukcja wykazuje jednak zdecydowanie większą wytrzymałość mechaniczną, co może znaleźć zastosowanie także w innych dziedzinach techniki. Przyjmując wartość g równą g_2 , ilość potrzebnego materiału w porównaniu z zespołem walcowym w zasadzie jest taka sama. Dalsze zmniejszanie grubości ścianki do wymiaru g_1 pozwala na wyraźne zmniejszenie ilości użytego materiału polimerowego o wartość 30 % w stosunku do zespołu z mikro-kanalami. Jednakże przy zastosowaniu tej samej grubości g_1 , ale w modelu trzecim, oszczędność materiału sięga 60%. Przy przejściu od modeli trzeciego typu do modeli czwartego typu korzyści związane z oszczędnościami materiału są maksymalnie rzędu 10%.

Tak duża oszczędność ilości materiału (model trzeci i ewentualnie czwarty) wskazuje, że prowadzenie dokładniejszych analiz konstrukcyjnych wytworów tego typu o kształtach złożonych z tunelami funkcjonalnymi jest w pełni uzasadnione i może prowadzić do uzyskania ciekawych wskaźników technologicznych.

LITERATURA

1. Gifford, W.A. : A three-dimensional analysis of coextrusion in a single manifold flat die. *Journal Polymer Engineering and Science* 2000, 40 (9).
2. Griffioen W., Plumettaz G., Nobach HG.: Theory, software, testing and practice of cable in duct installation. 55th International Wire & Cable Symposium, Rhode Island, USA 2006.
3. Katalog techniczny Arot Polska.
4. Katalog techniczny Dura Line (USA).
5. Kreyszig E.: *Advanced Engineering Mathematics*, 8th ed., Wiley & Sons 1999.

6. Klepka T.: Konstrukcje osiowo-symetrycznych wytworów o kształtach złożonych. *Polimery* 2008, 53, 5, s. 390.
7. Klepka T.: Badania wytworów osiowo symetrycznych o segmentowej budowie ścianki. Praca zbiorowa pod redakcją E. Bociągi. *Przetwórstwo Materiałów Polimerowych*, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2010.
8. Michaeli, W.: Monoextrusion dies for thermoplastics. In *Extrusion Dies for Plastics and Rubber*, 2nd Ed.; Hanser, 1992.
9. Patent amerykański nr 5536461: Tube multipack methods of manufacture (1966).
10. Patent amerykański nr 6676881: Apparatus for producing multiple channel duct assembly and method thereof (2004).
11. Rauwendall C.: *Polimer Extrusion*. Carl Hansen Verlag, Munich 1986.
12. Sikora R.: *Przetwórstwo Tworzyw Wielkocząsteczkowych*. WE, Warszawa 1993
13. Sikora R, Klepka T.: Przegląd konstrukcji rur optotelekomunikacyjnych z tworzyw. Projektowanie, stosowanie i eksploatacja elementów maszyn i urządzeń. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1996.

Praca naukowa finansowana ze środków MNiSW
projekt badawczy N N508 486138.

ANALYSIS OF COMPLEX CONSTRUCTIONS OF OPTOTELECOMMUNICATION MICRO-DUCTS

Summary

In the paper the example of construction of opto-telecommunication ducts with diverse cross-sections was analyzed. The idea of applying this type of products was presented. Their new functional features that could be used in different technology fields were pointed out. Basing on a compound product with three micro-channels, the possibilities of some improvements in the construction of such complex products were discussed. The main criterion in the comparison of different analyzed models was the amount of material which is necessary to obtaining a specific construction.

Key words: multiple construction, polymer ducts, geometric analysis.

Miron Czerniec¹, Jerzy Kielbiński¹
Piotr Jaremek¹, Jurij Czerniec²

OSZACOWANIE WPŁYWU MODUŁU NA ZUŻYCIE STOŻKOWEJ PRZEKŁADNI EWOLWENTOWEJ O ZĘBACH SKOŚNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badania wpływ modułu na zużycie zębów przekładni stożkowych z zębami skośnymi. Ustalono, że zwiększenie modułu powoduje zmniejszenie zużycia. Wyniki obliczeń podano w postaci graficznej.

Słowa kluczowe: Przekładnia stożkowa o zębach skośnych, moduł zazębienia, zużycie.

BADANIE ZUŻYCIA PRZEKŁADNI STOŻKOWEJ

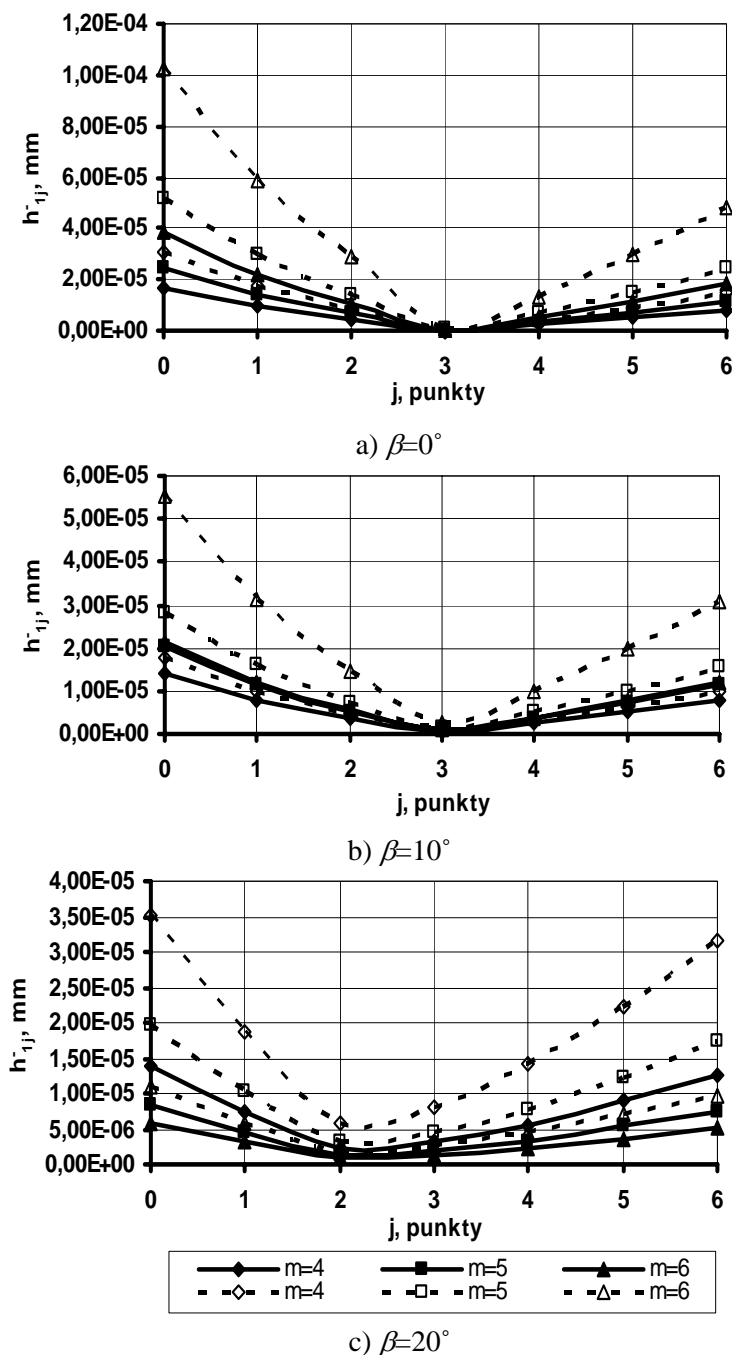
W oparciu o zmodyfikowaną metodę badania kinetyki zużywania przekładni stożkowych z zębami skośnymi przedstawioną w wyżej podanym artykule przebadano wpływ modułu przy zazębieniu dwuparowym na zużycie zębów kół o różnych kątach ich pochylenia. Dla rozwiązania zagadnienia wybrano następujące dane:

- liczba obrotów wału czynnego $n_1 = 750$ obr/min;
- kąt pochylenia zębów $\beta = 0^0, 10^0, 20^0$;
- współczynnik tarcia ślizgowego $f = 0.07$;
- normalny moduł zazębienia $m = 4, 5, 6$ mm;
- liczba przełożenia $u_K = 3$; - liczba zębów kół $z_{1K} = 20$; $z_{2K} = z_{1K} u_K$;
- moc na wale czynnym $P = 20$ kW;
- szerokość wieńca zębownika $b = 50$ mm;
- materiał zębownika – stal 38H4J, azotowana na głębokość 0.4 ... 0.5 mm; twardość HB 600; wytrzymałość doraźna przy rozciąganiu $R_m = 1040$ MPa, umowna granica plastyczności $R_{0.2} = 730$ MPa; charakterystyki odporności materiału na zużycie - $C_1 = 3.5 \cdot 10^6$, $m_1 = 2$;
- materiał koła zębatego – stal 40H, hartowanie, HB 341; $R_m = 981$ MPa, $R_{0.2} = 690$ MPa; $C_2 = 0.17 \cdot 10^6$, $m_2 = 2.5$; moduły Younga $E_1 = E_2 = 2.1 \cdot 10^6$ MPa, współczynniki Poissona $\nu_1 = \nu_2 = 0.3$; smarowanie – olej z lepkością kinematyczną $\nu_{+50^0} \approx 15$ cSt.

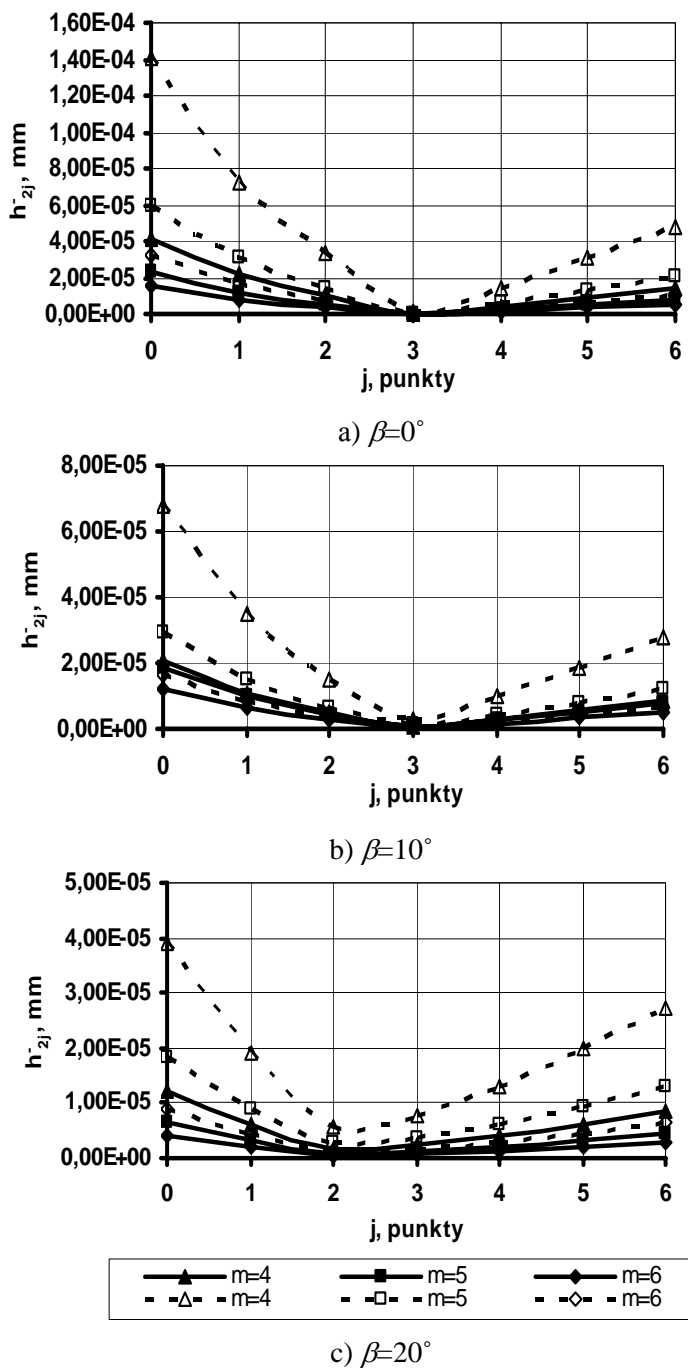
¹ Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Politechnika Lubelska.

² Dział Badań Naukowych, Państwowy Uniwersytet Pedagogiczny w Drohobyczu (Ukraina).

Wyniki rozwiązania numerycznego podano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Wpływ modułu na zużycie zębniaka w ciągu 1 godziny



Rys. 2. Wpływ modułu na zużycie koła zębatego w ciągu 1 godziny

W przekładni stożkowej moduł zazębienia zmienia się na długości zęba. Odpowiednio przez linie ciągłe podano zużycie zębów w przekroju czołowym, gdzie moduł zaębienia jest największy, a przez linie kreskowe - zużycie w przekroju wewnętrznym, gdzie moduł zazębienia jest najmniejszy. Na wykresach podano wielkości zużycia w siedmiu punktach zarysów zębów. Punkt $j = 0$ odpowiada wejściu zębów w zazębienie, a punkt $j = 6$ – wyjściu z zazębienia.

PODSUMOWANIE

Ustalono, że przy zwiększeniu modułu zużycie liniowe zębów maleje niezależnie od kąta ich pochylenia w obu badanych przekrojach. Zmniejszenie zużycia przy zwiększeniu modułu jest mniejsze w przekroju czołowym (zewnątrznym) zębów. Przy tym prawidłowości oraz wartości zużycia zębów obu kół są prawie jednakowe. Natomiast w przekroju wewnętrznym obserwuję się znacznie intensywniejszy wpływ modułu na zużycie, a zęby koła zębatego zużywają się bardziej istotnie niż zęby zębniaka.

EVALUATING THE INFLUENCE OF HOOKING MODULE ON WEAR OF CONIC EVOLVENT GEAR WITH OBLIQUE COGS

Summary

In the article the results of research on the influence of hooking module on tooth wear of conic gears with oblique cogs has been presented. It was established, that module increase leads to decrease of wear. The results of investigations have been presented graphically.

Key words: conic gear with oblique cogs, hooking module, wear.

Oleg Draczew¹, Antoni Świć², Wiktor Taranenko²

STEROWANIE UKŁADEM DYNAMICZNYM OBRÓBK CZĘŚCI OSIOWOSYMETRYCZNYCH O MAŁEJ SZTYWNOŚCI

Streszczenie. Uzasadniono i sprawdzono dostrojenie układu dynamicznego umożliwiające zwiększenie dokładności i wydajności obróbki. Analizowany jest układ sterowania automatycznego procesami dynamicznymi układu technologicznego z obwodem (konturem) dodatkowym.

Słowa kluczowe: sterowanie, układ dynamiczny, obróbka, część o małej sztywności

WSTĘP

Zwiększenie dokładności obróbki wałów o małej sztywności nie jest możliwe bez sterowania procesami obróbki toceniem. Na charakterystyki dynamiczne procesu obróbki wpływają różnorodne, zmienne w czasie, czynniki technologiczne. Należy, więc zagwarantować stałość charakterystyk dynamicznych procesu skrawania drogą sterowania drganiami układu technologicznego.

Procesy dynamiczne układu sprężystego obrabiarki uwarunkowane są oddziaływaniami siłowymi na układ w procesie skrawania.

MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU DYNAMICZNEGO OBRÓBK CZĘŚCI

Równania opisujące zachowanie układu, z uwzględnieniem opóźnienia siły od przemieszczeń oraz przemieszczeń podukładu technologicznego (narzędzia lub półfabrykatu) w płaszczyźnie skrawania stycznej do powierzchni obrabianej, mają postać [1, 3, 4]:

¹ Państwowy Uniwersytet Techniczny w Togliatti, Rosja,

² Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych, Politechnika Lubelska.

$$\begin{aligned}
 T_{1Y}^2 y'' + T_{2Y} y' + y &= g_Y \cdot F_Y, \\
 T_{3Z}^2 z'' + T_{4Z} z' + z &= g_Z \cdot F_Z, \\
 F_Z + T_Z F_Z' &= m_Z \cdot y + n_Z \cdot f + h_1 z', \\
 F_Y + T_Y F_Y &= m_Y \cdot y + n_Y \cdot f + h_2 z', \\
 f &= K_K \cdot z,
 \end{aligned} \tag{1}$$

- gdzie: h_1, h_2 - współczynniki tłumienia względem osi z i y drgań stycznych, odpowiednio dla stycznej F_Z i promieniowej F_Y składowej siły skrawania;
- T_Z, T_Y - opóźnienia stałe składowych siły skrawania spowodowane zmianą parametrów przekroju warstwy;
- $T_{1,2,Y}, T_{1,2,Z}$ - stała czasowa inercyjna oraz stała czasowa tłumienia obwodów normalnego i stycznego;
- y, z - przemieszczenia względem odpowiednich osi;
- m_Z, n_Z, m_Y, n_Y - współczynniki wzmocnienia procesu skrawania odnośnie przyrostu szerokości i grubości warstwy skrawanej odpowiednio dla składowych siły skrawania F_Z i F_Y ;
- K_K - współczynnik przekształcenia przemieszczeń stycznych we wzdlużne;
- f - zmiana grubości warstwy skrawanej;
- g_Y, g_Z - podatności obwodów normalnego i stycznego.

Wartości współczynników do obliczeń siły skrawania przyjęto z literatury [2, 5, 7]. Do określenia stałych opóźnienia siły skrawania spowodowanego zmianą grubości warstwy skrawanej, długość drogi skrawania w przypadku składowej stycznej przyjęto równą 0,12 mm, a składowej normalnej 0,51 mm. Stała opóźnienia składowej siły skrawania F_Z dla różnych materiałów półfabrykatu jest mniejsza od 2 do 5 razy od F_Y [2, 7]. W przypadku elementów układu technologicznego o dodatkowym stopniu swobody zakłócenie odkształceń początkowo ma miejsce w płaszczyźnie stycznej do powierzchni skrawania, a następnie w normalnej. Wpływ przemieszczenia na dokładność w kierunku stycznej siły skrawania jest o rząd mniejszy, niż w kierunku promieniowej. Generowanie drgań w kierunku promieniowym sprzyja redystrybucji energii zakłóceń i jej rozpraszaniu przy drganiach. Dlatego przy określaniu sił skrawania należy uwzględnić tłumienie, chociaż drgania przy skrawaniu generowane są w zakresie od 150 do 500 Hz.

Do obliczeń stałych czasowych układu technologicznego zastosowano dane eksperymentalne (współczynniki tłumienia, sztywności, masa zredukowana), uzyskane przy pomiarze drgań swobodnych gasnących.

Sztywność układu dynamicznego w kierunku stycznym przy wprowadzeniu przekształtnika zmniejszyła się od 2 do 4 razy.

Z układu równań (1) otrzymano transmitancje układu dynamicznego:

$$G_1(s) = \frac{y}{F_y} = \frac{g_Y}{T_{1Y}^2 s^2 + T_{2Y}s + 1}, \quad G_2(s) = \frac{z}{F_Z} = \frac{g_Z}{T_{3Z}^2 s^2 + T_{4Z}s + 1},$$

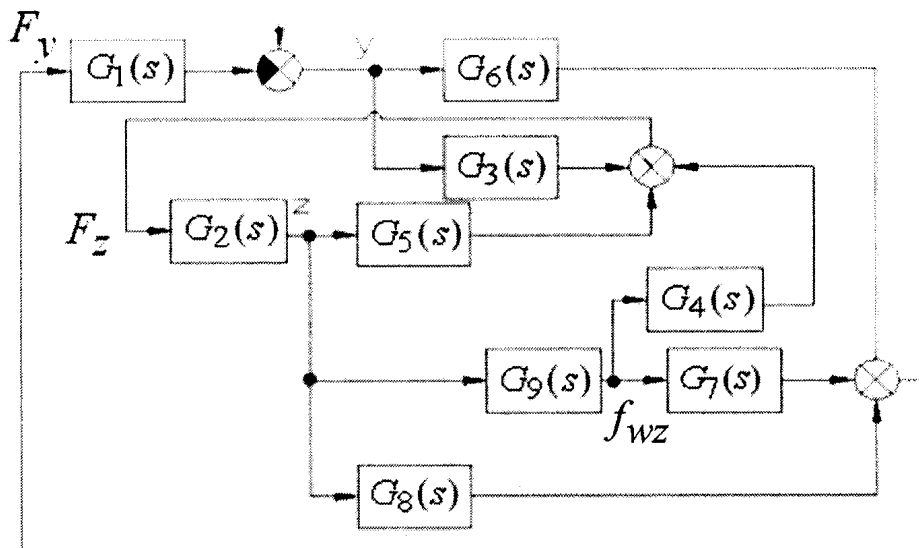
$$G_3(s) = \frac{F_Z}{y} = \frac{m_Z}{1 + T_Z s}, \quad G_4(s) = \frac{F_Z}{f} = \frac{n_Z}{1 + T_Z s}, \quad G_5(s) = \frac{F_Z}{z} = \frac{h_1 s}{1 + T_Z s},$$

$$G_6(s) = \frac{F_Y}{y} = \frac{m_Y}{1 + T_Y s}, \quad G_7(s) = \frac{F_Y}{f} = \frac{n_Y}{1 + T_Y s}, \quad G_8(s) = \frac{F_Y}{z} = \frac{h_2 s}{1 + T_Y s},$$

$$G_9(s) = \frac{f}{z} = K_K,$$

gdzie s – operator Laplace’a.

W oparciu o transmitancje operatorowe opracowano schemat strukturalny układu dynamicznego z obwodem stycznym (rys. 1).

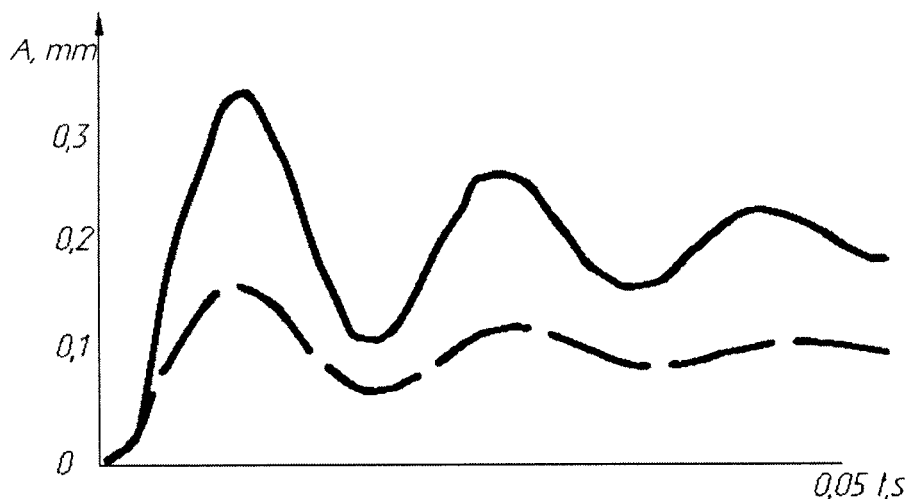


Rys. 1. Schemat strukturalny układu dynamicznego z obwodem stycznym

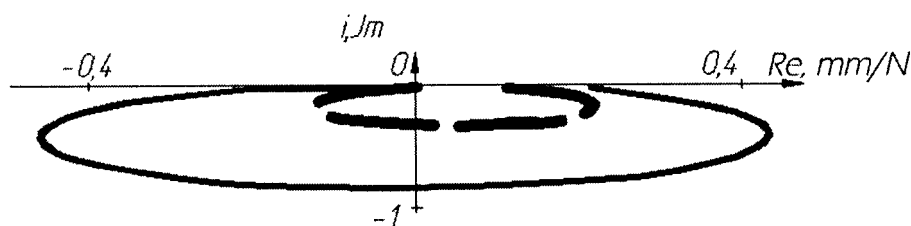
Fig. 1. The block diagram of dynamic system with contiguous circuit

Procesy przejściowe i amplitudowa charakterystyka fazowo-częstotliwościowa (ACHFC) otwartego układu dynamicznego, ze stycznym obwodem i bez, przedstawione są na rys. 2.

a)



b)



Rys. 2. Procesy przejściowe (a) i ACHFC (b) układów dynamicznych bez obwodu stycznego (—) i z obwodem stycznym (---)

Fig. 2. Transitory processes (a) and Attenuation Diagram of Transient-Frequency Response (b) without (—) and with the contiguous circuit (---)

Wprowadzenie dodatkowego stopnia swobody prowadzi do zwiększenia sztywności statycznej i dynamicznej w kierunku promieniowym a także zmniejszenia czasu niezbędnego do zanikania procesów przejściowych w układzie technologicznym przy działaniu zakłóceń.

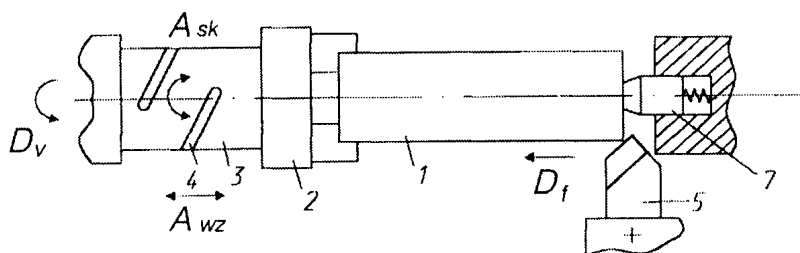
Dane eksperymentalne otrzymane przy toczeniu oraz roztaczaniu części o małej sztywności pokazały, że wprowadzenie obwodu stycznego zwiększa dokładność obróbki i zmniejsza chropowatość powierzchni. Przy toczeniu zastosowano urządzenia do generowania drgań, zarówno w podukładach kształtowania części „półfabrykat- podpory”, jak i „nóż- suport”.

We wszystkich przypadkach obserwowano zwiększenie dokładności wymiarów, lecz szczególnie należy odnotować znaczące zmniejszenie błędów położenia i kształtu obróbianej powierzchni. Mikrozarys powierzchni był przy tym nierównomierny w zakresie długości części z powodu zmiennych warunków obróbki. Jednak w odróżnieniu od obróbki w takich samych warunkach przy zastosowaniu standardowego wyposażenia powierzchnia nie ma wklęsłości.

Do generowania drgań w podukładzie „półfabrykat - podpory” przy toczeniu zastosowano przemiennik falowodowy jako wiążący element między półfabrykatem i uchwytem. Przemiennik falowodowy wykonany jest w postaci pręta z przelotowym rowkiem śrubowym do wytworzenia drgań kompleksowych. W podukładzie „nóż-suport” zastosowano nóż z rowkami klinowymi, w które wstawiono kliny z możliwością regulowania siły ich zacisku. Do roztaczania również zastosowano przemiennik falowodowy umieszczony w koniku, wypełniający ponadto funkcje wytaczadła dla mocowania głowic wytaczarskich.

UKŁAD STEROWANIA STABILIZACJI PARAMETRÓW PROCESU OBRÓKI WIBRACYJNEJ

Opracowano układ sterowania do stabilizacji parametrów procesu obróbki wibracyjnej, wykorzystujący sprężysty przemiennik falowodowy generujący różne drgania (rys. 3).

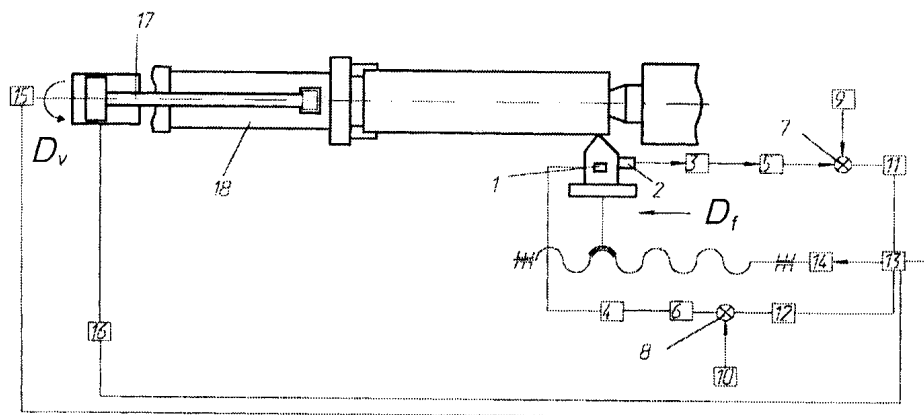


Rys. 3. Układ technologiczny z przemiennikiem falowodowym
Fig. 3. Technological system with the inverter

Obróbka jest wykonywana w następujący sposób. Półfabrykat 1 ustawiany jest w przyrządzie 2 z elementem sprężystym 3, mającym rowki śrubowe 4. Półfabrykat wprowadzany jest w ruch obrotowy D_v , a narzędzie 5 realizuje ruch posuwowy D_f wzdłuż półfabrykatu 1. Przy wcinaniu się narzędzia 5 w półfabrykat 1 ma miejsce jego skręcanie oraz odkształcenie wzdłużne.

W wyniku okresowych procesów relaksacyjnych, związanych z podziałem wiorów w strefie ich powstawania w elemencie sprężystym 3, od półfabrykatu 1

podpartego kłębem osadzonym na sprężynie 7 generowane są kompleksowe drgania skretne-wzdłużne A_{wz} .



Rys. 4. Schemat układu automatycznego sterowania procesem toczenia
Fig. 4. The diagram of automated control system of turning

Obwód sterowania (rys. 4) zawiera czujniki 1 i 2 emisji wibroakustycznej stycznej i wzdłużnej (EWA), które przez wzmacniacze 3 i 4, przetworniki 5 i 6 są połączone z sumatorami 7 i 8, do których podłączone są zadajniki wzdłużnej i stycznej składowych wibracji 9 i 10. Obwody poprzez przetworniki 11 i 12, podłączone są do przełącznika 13 połączonego z napędami posuwów 14, prędkości 15 i napędem 16 naciągu cięgna 17 elementu sprężystego 18.

W trakcie obróbki wibracyjnej prowadzona jest diagnostyka procesu skrawania - wykonywany jest pomiar EWA w kierunkach osiowym i stycznym, co umożliwia określenie amplitudy i częstotliwości drgań względnych w tych kierunkach a przez to kształtu drgań. Ponieważ proces powstawania wióra określający drgania zależy od stałych składowych siły skrawania, jest ona stabilizowana poprzez sterowanie posuwem.

Uzyskanie wysokiej efektywności skrawania wymaga utrzymywania w określonym zakresie częstotliwości drgań elementu układu technologicznego, generującego drgania kompleksowe a przez to odpowiedniego kształtu i amplitudy drgań. W tym celu dla różnych operacji należy zastosować różne nastawienia układu technologicznego z uwzględnieniem kształtu amplitudowej charakterystyki częstotliwościowej (ACHCZ) podukładu nieliniowego „półfabrykat-element sprężysty”.

Kształt drgań przemiennika falowodowego lub noża zastosowanych do wytworzenia drgań określany jest w funkcji częstotliwości wzbudzenia i częstotliwości własnej drgań podukładu „półfabrykat-element sprężysty” (w zależności od niego generowane są głównie drgania wzdlużne, skręcające lub kompleksowe).

Toczenie zgrubne należy wykonywać na wznoszącej się (dorezonansowej) gałęzi ACHCZ podukładu nieliniowego „element sprężysty - półfabrykat). Do toczenia dokładnego wykorzystywana jest gałąź zarezonansowa ACHCZ.

Częstotliwość i amplituda drgań są określane parametrami nastawienia technologicznego: charakterystykami elementu sprężystego – przemiennika falowodowego (stopniem jego ściśnięcia, skokiem i głębokością rowków śrubowych) oraz parametrami skrawania. Przy zastosowaniu układu sterowania regulowanie częstotliwości drgań wykonywane jest zgodnie z zależnością:

$$f = \frac{1000v_c}{60k_L l}, \quad (3)$$

gdzie: v_c - prędkość skrawania;
 k_L - współczynnik spęczenia wióra;
 l - długość segmentu wióra.

Sterowanie prędkością skrawania stabilizuje częstotliwość powstawania wióra. Rezonans na składowej skręcającej ma miejsce przy niższych częstotliwościach, niż na składowej wzdłużnej. Sterując wielkością naciągu elementu sprężystego, określa się wymagane drgania dla różnych rodzajów obróbki (zgrubnej lub wykańczającej). Obróbka wykańczająca realizowana jest przy większej prędkości skrawania, co wiąże się z wyższą częstotliwością powstawania wióra i odpowiednio wyższą częstotliwością drgań, wymuszonych. Wstępnie należy, więc ustawić sztywność sprężystego przetwornika dla uzyskania rezonansu na składowej skręcającej. Częstotliwość własna elementu sprężystego powinna być większa (w wyniku większej jego sztywności).

PODSUMOWANIE

Obróbka zgrubna przy rezonansie drgań wzdłużnych umożliwia stabilne rozdrabnianie wióra i zwiększenie dokładności kształtu. Przy rezonansie na składowej skręcającej drgań przy odpowiedniej częstotliwości drgań, uzyskiwana jest maksymalna dokładność kształtu w przekroju poprzecznym.

W porównaniu z obróbką przy zastosowaniu standardowego wyposażenia technologicznego zastosowanie układu technologicznego z obwodem stycznym zwiększa dokładność od 2 do 4 razy, a układ sterowania umożliwia stabilizację parametrów dokładności i mikroprofilu w kierunku wzdłużnym.

Obróbka półfabrykatów o małej sztywności ze sterowaniem charakterystykami dynamicznymi procesu skrawania jest możliwa po dokonaniu minimalnej modernizacji urządzeń produkcyjnych. Umożliwia to zwiększenie dokładności w porównaniu z technologią tradycyjną.

PIŚMIENNICTWO

1. Draczow A., Taranenko G., Taranenko W., Hałas W., Świć A.: Sterowanie obróbką wibracyjną wałów długowymiarowych. Pomiary. Automatyka. Robotyka. Miesięcznik naukowo-techniczny nr 2, 2009, s. 132 – 138.
2. Drachev A., Taranenko G., Taranenko V., Świć A.: Sposob termomekhanicheskoy obrabotki nezhestkikh dlinnomernykh valov. Modern technologies, quality, restructuration. Kishinev 2009.
3. Eliasberg M. N., Demczenko V. A., Savinov I. A. Sposob strukturnogo povyszenia vibroustoiczivosti pri rezanii. Stanki i instrument, 1983, №4, s 3-7.
4. Kedrov S. S. Kolebania metallorėzuszczich Stankom. Moskva: Mashinostroenie, 1978, 199 s.
5. Poduraev V. N. Obrabotka rezaniem s vibraciami. Moskva: Mashinostroenie, 1970, 350 s.
6. Świć A. Technologia obróbki wałów o małej sztywności. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2009, 244 s.
7. Taranenko W., Świć A.: Urządzenia sterujące dokładnością obróbki części maszyn o małej sztywności. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2006, 186 s.

CONTROLLING THE DYNAMIC SYSTEM OF MACHINING AXIAL SYMMETRIC LOW RIGID ELEMENTS

Summary

The metal-cutting technological system update by the tangent control circuit for the precision and productivity increasing is substantiated and approved. The automatic control system for the operating this technological system is observed.

Keywords: control, electrochemical processing, non-rigid long length shafts.

Tadeusz Cisowski¹, Łukasz Wojciechowski²

NOWE PODEJŚCIE W REGULACYJNYM ZARZĄDZANIU POTOKAMI TRANSPORTOWYMI

Streszczenie. W niniejszym artykule pokazano nowe podejście w regulacyjnym zarządzaniu potokami transportowymi na kolei, z wykorzystaniem systemów inteligentnych opartych na zastosowaniu efektywnych procedur heurystycznych w poszukiwaniu rozwiązań zadań kombinatorycznych o dużych rozmiarach. Przewiduje ono odejście od systemów eksperckich oraz koncentrację na modelu symulacyjnym sytuacji decyzyjnych, który bazuje na metodach adaptacji, identyfikacji i prognozowania sytuacji. Pokazano możliwości dialogowe symulacyjnego modelu decyzyjnego.

Słowa kluczowe: potoki transportowe, systemy inteligentne, procedury heurystyczne, sztuczna inteligencja.

WSTĘP

Zarządzanie potokami transportowymi należy do zadań słabo sformalizowanych, o dużych rozmiarach. Podstawową metodą ich rozwiązywania jest doświadczenie i wiedza ludzi bezpośrednio uczestniczących w procesie podejmowania decyzji. Personel ten bardzo często funkcjonuje w otoczeniu automatycznych miejsc pracy. Opisane miejsca wyposażone są w środki informatyczne, pozwalające przyspieszyć proces podejmowania decyzji w sytuacjach złożonych, wyeliminować błąd, przeprowadzić syntezę rozwiązań wcześniejszych, prognozować następstwa rozwiązań oraz decyzji regulujących. Praca decydenta zarządzającego potokami transportowymi w otoczeniu automatycznych miejsc pracy winna się opierać na stosowaniu metod sztucznej inteligencji.

Taki decydent powinien umieć prognozować, rozpoznawać i określać prawdopodobne następstwa sytuacji trudnych, lokalizować obszary ich oddziaływania, opracować plan likwidacji trudności oraz kontrolować jego realizację.

Jest rzeczą oczywistą, że decydent w sytuacjach kryzysowych może pominąć ważną zasadę z powodu stresu lub braku czasu.

Systemy dyspozytorskie powinny mieć możliwość interpretacji i objaśnienia sposobu osiągnięcia konkretnego rozwiązania w zarządzaniu potokami

¹ Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie.

² Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Politechnika Lubelska.

transportowymi. Bardzo często w procesie identyfikacji trudności dysponujemy niepełnymi danymi rzeczywistymi. W takich sytuacjach metody oparte na sztucznej inteligencji nabierają szczególnego znaczenia, gdyż pozwalają na wykorzystanie wiedzy i doświadczenia dyspozytora w zarządzaniu potokami transportowymi. Istnieje również pragmatyczny aspekt stosowania systemów inteligentnych.

Jeżeli programy komputerowe będą akumulować i wykorzystywać tę wiedzę to z czasem mogą osiągnąć wysoki poziom efektywności.

Efektywność inteligentnych systemów dyspozytorskiego zarządzania przejawia się w skróceniu wagono-godzin postoju taboru kolejowego i poprawie bezpieczeństwa ruchu. Większość złożonych problemów zarządzania potokami transportowymi nie posiada rozwiązania dokładnego, gdyż występuje w złożonych kontekstach zjawisk socjalnych i fizycznych o dużych rozmiarach, noszących charakter kombinatoryczny i trudnych do opisanie. Taki charakter cechuje system organizacji potoków wagonów. Zastosowanie systemów inteligentnych w opracowaniu planu zestawiania pociągów towarowych powinno uwzględniać możliwość powrotu do punktu poprzedniego, w przypadku gdy wybrana strategia okazuje się nieefektywną. Ponadto systemy te powinny funkcjonować również wtedy, kiedy minimalizowana jest określona funkcja celu.

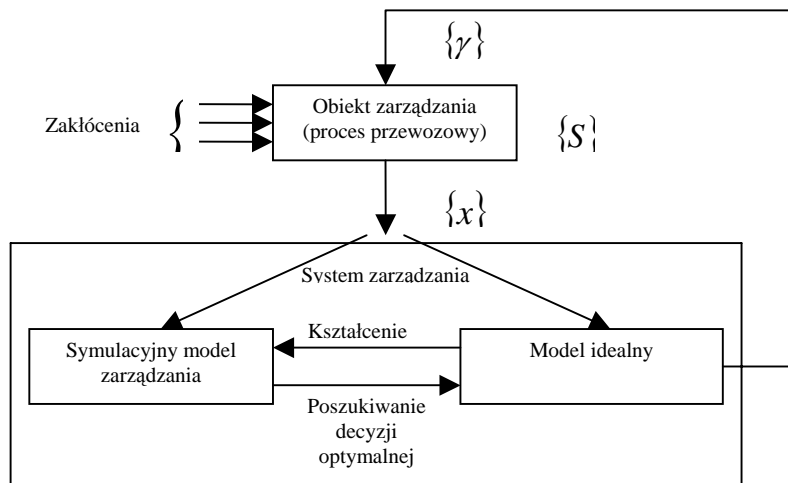
Nowe podejście w regulacyjnym zarządzaniu potokami transportowymi z wykorzystaniem systemów inteligentnych oparte jest na zastosowaniu efektywnych procedur heurystycznych w poszukiwaniu rozwiązań zadań kombinatorycznych o dużych rozmiarach. Przewiduje się w nim odejście od systemów eksperckich oraz koncentrację na modelu symulacyjnym sytuacji decyzyjnych, który bazuje na metodach adaptacji, identyfikacji i prognozowania sytuacji.

W artykule przedstawiono model symulacyjny wspomagania decyzji w zarządzaniu potokami transportowymi na kolei, który jest „przyjaznym interfejsem” pomiędzy decydentem i dynamicznymi bazami danych. W bazach tych odwzorowane są technologiczne procesy zarządzania operatywnego. Interfejs ten jest rozwinięciem koncepcji zintegrowanych baz danych. Pokazano możliwości dialogowe modelu decyzyjnego.

FUNKCJONOWANIE SYMULACYJNEGO MODELU DECYZYJNEGO W TRYBIE „PORADY”

Informatyzacja transportu kolejowego powinna zakładać automatyzację nie tylko zbioru, obróbki i przechowywania informacji ale również automatyzację podstawowych etapów racjonalnego zarządzania potokami transportowymi.

Po etapie szkolenia moduł symulacyjny [1] może funkcjonować w dialogowym trybie porady (rys. 1).



Rys. 1. Struktura zarządzania procesem przewozowym za pomocą modelu symulacyjnego

Fig. 1. The structure of the transport process management by means of a simulation model

Idea tego funkcjonowania jest następująca: niech w procesie zarządzania procesem przewozowym decydent podejmuje N różnego rodzaju decyzji (regulacja załadunku, przesuwu wagonów próżnych itp.), tworzących zbiór operacji $\{G\}$. Zbiór ten charakteryzuje się jednakową strukturą informacji wejściowej $\{X(t)\}$. W chwili początkowej decydent podejmuje decyzję $\gamma_l(t_i)$ dotyczącą operacji G_l , gdzie $l = \overline{1, N}$.

Decyzja ta jest zasadna, jeżeli jest dopuszczalna w chwili t_{i+n} . Zatem wybór decyzji γ_i w chwili $t[n]$ oddaje stan systemu w chwili $t[n+1]$. Tym samym model staje się zdolnym do prognozowania [2]. Dla dowolnej mikrosytuacji $X(t_j)$ zarejestrowanej w chwili t_j , przy $i \leq j < i+n$ model określa sytuację S_m , do której należy $X(t_j)$. Zgodnie z tą sytuacją podejmowana jest decyzja $\gamma_l(t_i)$ dotycząca operacji $G_l \in \{G\}$, w wyniku której otrzymamy plan optymalny:

$$\{X_1^*(t_j), X_2^*(t_j), \dots, X_n^*(t_j)\} = \{X_m^*(t_j)\} \in \{X(t_j)\}.$$

Ponieważ $X_p(t) \in \{X(t)\}$, gdzie $p = \overline{1, n}$ to wskaźniki planu $\{X_m^*(t_j)\}$ uzyskane w $(j-i)$ -tym takcie ekstrapolacji zmieniają odpowiednie wartości

wskaźników w mikrosytuacji $X(t_j)$ i model przejdzie do mikrosytuacji $X(t_j + 1)$. Możliwy proces funkcjonowania modelu pokazano w tabeli korelacji. Proces prognozowania decyzji w przedziale czasu $(t_i \div t_{i+n})$ kontynuowany jest do momentu aż decydent zaakceptuje decyzję $\gamma_i(t_i)$, tj. uzyskamy sytuację idealną S^* , która zapewnia realizację wszystkich planowanych wskaźników $\{X_{plan}\} \in \{X\}$ lub zostanie wyczerpana liczba taktów ekstrapolacji n w zadanym przedziale czasu [3]. Proces normalnego funkcjonowania modelu nie zostanie naruszony, jeśli decydent w dowolnym takcie ekstrapolacji odrzuci „propozycję” modelu, zastępując ją decyzją swoją, bardziej preferowaną. Jeżeli w okresie planowym $t_i \div t_{i+n}$ model „osiągnie” sytuację idealną S^* , to tworzy się łańcuch decyzji $\gamma_1 - > \gamma_2 - > \gamma_r - > \dots - > \gamma_z$ powodujących przejście obiektu w sytuację S^* , w minimalnej liczbie taktów.

W ogólnym przypadku zadanie zarządzania operatywnego procesu przewozowym jest wielokryteriowe, rozwiązywane w zbiorze kryteriów $F = \{f\}$ i ograniczeń $\{A\}$. Wadą istniejących procedur dialogowych rozwiązywania tego typu zadań jest brak możliwości uwzględniania rozwiązań w sytuacjach analogicznych. Procedura poszukiwania rozwiązania przez decydenta każdy raz rozpoczyna się od początku, co w przypadku zarządzania operatywnego może okazać się niemożliwym ze względu na ograniczenia czasowe.

Opracowany model daje zasadniczo nowe możliwości w rozwiązywaniu zadań wielokryterialnych. W zarządzaniu operatywnym zestaw kryteriów i ograniczeń zależy od konkretnej sytuacji wyboru decyzji S_r . Dlatego też każde rozwiązanie γ_r w pełni można określić następująco:

$$\gamma_r \Rightarrow \langle \{f_i^r\}, \overline{\alpha^r}, \overline{A^r} \rangle;$$

gdzie:

$\{f_i^r\}$ - zbiór kryteriów wykorzystanych w sytuacji S_r ,

α^r - wektor wag lub priorytety kryteriów,

$\overline{A^r}$ - ograniczenia w sytuacji S_r .

Wektor wag kryteriów $\overline{\alpha^r} = \{\alpha_1^r, \alpha_2^r, \dots, \alpha_i^r\}$ w sytuacji S_r powstaje na bazie algorytmu szkoleniowego [1].

W etapie szkolenia decydent buduje swoją funkcję celu, tj. funkcję preferencji w sytuacji S_r :

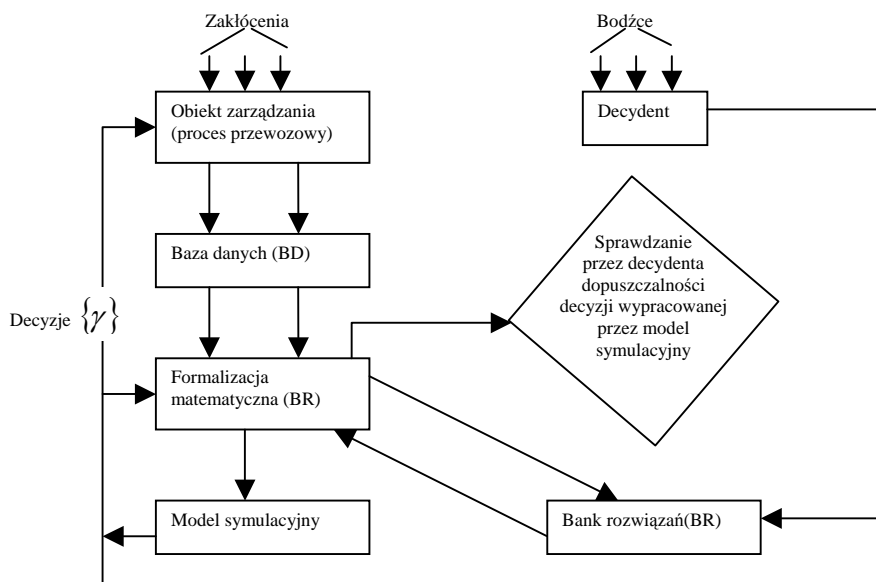
$$F^r = \sum_i \alpha_i^r f_i(X) \text{ gdzie } \sum_i \alpha_i^r = 1.$$

Po etapie szkolenia rozwiązanie zadania wielokryterialnego w sytuacji S_r sprowadza się do następującego zagadnienia programowania matematycznego:

$$\text{określić } \underset{x}{extr} \sum_i \alpha_i^r f_i^r(X) \text{ przy } \{\overline{A^r}\}.$$

Budowa i wykorzystanie symulacyjnych modeli decyzyjnych w zarządzaniu procesem przewozowym wymaga opracowania automatycznego banku rozwiązań, w którym znajdują się i są przechowywane rozwiązania z sytuacji poprzednich. Opracowanie takiego banku rozwiązań stwarza te same problemy jak w przypadku banku danych, tj. ujednolicenie rozwiązań, zintegrowany charakter obróbki rozwiązań, stworzenie języka rozwiązań, itd. [4].

Na rysunku 2 pokazano schemat interakcji banku rozwiązań (BR) z bazami danych (BD) w zarządzaniu procesem przewozowym.



Rys. 2. Schemat banku rozwiązań i bazy danych
Fig. 2. The diagram of a bank of solutions and of the database

Zbiór rozwiązań $\{\gamma\}$ określa dopuszczalne działania w bazie danych, tj. stanowi zbiór funkcji określanych w zbiorze stanów bazy danych. Tym samym opracowany symulacyjny model decyzyjny wyznacza nowy kierunek modelowania struktury i dynamiki za pomocą złożonego systemu algorytmów działających na ogólnym, zorganizowanym w pamięci komputera, relacyjnym modelu danych [5].

PODSUMOWANIE

Prace w dziedzinie „intelektualizacji” technologii w transporcie kolejowym powinny sprowadzać się między innymi do stworzenia systemu wspomagania decyzji zarządzania potokami transportowymi. W pierwszej kolejności system ten powinien wspomagać dyspozytorów, na różnych poziomach zarządzania w prognozowaniu i rozpoznawaniu sytuacji trudnych, określać następstwa tych sytuacji, obszar ich występowania oraz plan ich likwidacji. Większość zadań dotyczących zarządzania potokami transportowymi pojawia się w złożonych kontekstach zjawisk socjalnych i fizycznych, o dużych rozmiarach, które mają charakter kombinatoryczny. Intelaktualne wspomaganie tego zarządzania polega na wykorzystaniu efektywnych procedur heurystycznych w rozwiązywaniu zadań kombinatoryki o dużych rozmiarach.

W niniejszej pracy pokazano wykorzystanie symulacyjnych modeli decyzyjnych w zarządzaniu procesem przewozowym na kolei. Po zakończeniu szkolenia model „podpowiada” decydentowi rozwiązania najbardziej korzystne i nadaje systemowi wspomagania decyzji cechy sztucznej inteligencji. Tym samym różni się on zasadniczo od semiotycznych modeli zarządzania sytuacyjnego, które nie wykorzystują do końca informacji zgromadzonych w bazach danych.

BIBLIOGRAFIA

1. Cisowski T.: Wspomaganie decyzji w zarządzaniu potokami transportowymi na kolei. Artykuł przyjęty do druku w miesięczniku „Technika transportu szynowego”.
2. Gevarter W.: An Overview of Expert System, Washington, D.C. National Bureau of Standards, 1982.
3. Кутыркин А.В.: Построение имитационных моделей процессов принятия решений в АСУЖТ. Вестник ВНИИЖТ, 1978, № 3.
4. Stefik M.: The Organization of Expert System, Paolo Alto, Caliph: Xerox Paolo Alto Center, 1982.
5. Zieleniewski J.: Podstawowe pojęcia teorii systemów, organizacji, sterowania i zarządzania. W pracy zbiorowej: Współczesne problemy zarządzania. PWN, Warszawa 1974.

NEW APPROACH IN REGULATORY MANAGEMENT OF TRAFFIC STREAMS

Summary

The article presents a new approach in regulatory management of railway traffic streams using intelligent systems based on application of effective heuristic procedures in search for solutions to large combinatorial problems. According to the approach, expert systems are likely to be less popular whereas the simulation model of decision situations based on adaptation, identification and forecasting situations will attract more attention. Furthermore, the paper shows dialogue possibilities of the simulation decision model.

Key words: traffic streams, intelligent systems, heuristic procedures, artificial intelligence.

Witold M. Lewandowski¹, Tadeusz Pyś¹
Ewa Radziemska¹, Michał Rymś¹

AUTOMATYZACJA PROCESU OBLICZEŃ EFEKTYWNOŚCI RÓŻNYCH TERMODYNAMICZNYCH WARIANTÓW PRACY UKŁADÓW ORC

Streszczenie: Artykuł poświęcony jest opisowi możliwości automatyzacji podstawowych obliczeń w procesie projektowania instalacji na bazie układów ORC. Już na etapie początkowym projektu niezbędne jest prawidłowe oszacowanie możliwości związanych z parametrami źródła dostępnej energii oraz dokonanie wyboru odpowiednich wariantów pracy układów. Każdorazowe wykonywanie schematycznego procesu obliczeń w stosunku do każdego spośród dużej ilości potencjalnych, dostępnych na rynku, czynników roboczych może być nie tylko czasochłonne ale też problematyczne, ze względu na dużą różnorodność baz czynników, poziomów odniesienia ich parametrów oraz konieczność poszukiwań w różnych źródłach. Istniejące aktualnie na rynku oprogramowanie zoptymalizowane jest pod kątem podstawowego dotychczas zadania jakim były obliczenia stosowane w chłodnictwie. Istnieje zatem realne zapotrzebowanie na oprogramowanie zoptymalizowane pod kątem układów ORC, pozwalające w szybki i prosty sposób ocenić parametry takie jak sprawność projektowanego układu, parametry potrzebne do doboru wymienników, skraplaczy, czy turbin. Zaprezentowany program obliczeniowy ORCcalc ma w założeniu być odpowiedzią na to zapotrzebowanie. Dzięki zastosowaniu oprogramowania można zaoszczędzić czas i efektywniej przeprowadzać analizę wielu wariantów jednocześnie, biorąc jako kryterium np. sprawność projektowanego układu.

Słowa kluczowe: układy ORC, oszczędność energetyczna, automatyzacja obliczeń.

WPROWADZENIE

Ponieważ powszechnie znane parametry termodynamiczne wody jako czynnika roboczego stosowanego w klasycznych siłowniach parowych nie były zadowalające, szczególnie przy niskich jej parametrach, już w latach sześćdziesiątych ub. wieku poszukiwano czynników niskowrzących pod kątem realizacji obiegu binarnego oraz zagospodarowania energii odpadowej o temperaturze nośnika poniżej 400 °C [11].

Wzrost zainteresowania takimi czynnikami zintensyfikował się wraz z rozwojem technologii opartej na układzie ORC (Organic Rankine Cycle), jednakże wobec niskiej jego efektywności energetycznej, wynikającej z niewysokiego poziomu temperatury nośnika, silnie odbiegającego od technologii opartej na silnikach tłokowych i wirniko-

¹ Katedra Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska.

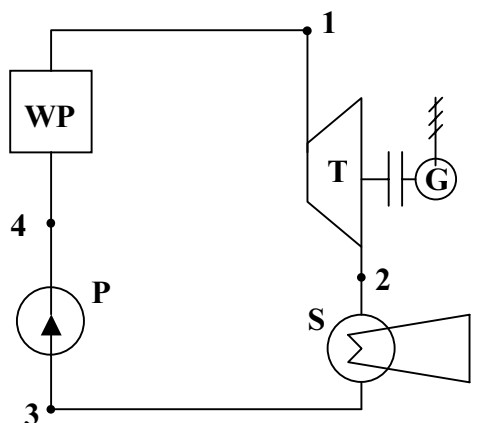
wych, wymagających mimo wszystko stosowania paliw konwencjonalnych, rozwiązanie takie długo nie znajdowało uznania. Dopiero zauważenie możliwości wykorzystania tej technologii przy zagospodarowywaniu nisko- i śródotemperaturowych niekonwencjonalnych zasobów energii, szczególnie odpadowej i odnawialnej, zwłaszcza opartej na spalaniu biomasy, wymusiły wzrost zainteresowania taką technologią.

Układ ORC początkowo przewidziany w OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) do wykorzystania różnicy temperatury pomiędzy wodą na powierzchni i w głębi oceanu, do wytwarzania energii elektrycznej, jest obecnie intensywnie testowany w instalacjach geotermalnych [3, 12], instalacjach do konwersji biomasy [2], a nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykorzystać go również do zagospodarowania ciepła odpadowego [4, 10, 15].

Konstrukcję najprostszego wariantu instalacji ORC przedstawiono na rysunku 1. Jak wskazują wyniki badań i doświadczenia najbardziej znanych firm z branży [1] układ taki zapewnia stosunkowo wysoką sprawność w odniesieniu do nakładów inwestycyjnych.

Dodatkowo można podjąć próbę podwyższenia sprawności układu ORC, poprzez zastosowanie podgrzewacza mieszkankowego zasilanego z upustu turbiny. Wariant taki nie sprawdzi się jednakże w przypadku, gdy źródło ciepła plasuje się w przedziale zbyt niskich wartości temperatury (poniżej 150 °C). W takim przypadku lepsze wyniki poprawy sprawności otrzymuje się stosując regeneracyjny wymiennik ciepła [6, 8].

Inne metody zwiększenia sprawności, np. poprzez zastosowanie w obiegu termodynamicznym przegrzewu czynnika przed turbiną w praktyce nie wykazują znaczącej poprawy sprawności, a niekiedy wręcz mogą ją obniżyć.



Rys. 1. Układ siłowni parowej, WP – wytwornica pary, T – turbina parowa, G – generator energii elektrycznej, S – skraplacz i P – pompa

Fig. 1. Steam power plant system, WP – steam generator/evaporator, T – steam turbine, G – electricity generator, S – condenser, and P – pump

Przy projektowaniu układu ORC pod konkretne zapotrzebowanie przemysłowe pamiętać należy o uzyskiwaniu możliwie wysokiej sprawności, lecz równocześnie, a może przede wszystkim, o kosztach związanych z jego uruchomieniem i eksploatacją [5]. Problem może pojawić się nie tylko podczas doboru konstrukcji, ale też przy wyborze czynnika niskowrzącego, pracującego w instalacji. Często zapewniające wyższą sprawność oleje silikonowe są w praktyce zbyt kosztowne i w konsekwencji zastosowanie tańszego butanu, czy innego dobrze znanego czynnika wykorzystywanego w klasycznym chłodnictwie, okazuje się lepszym rozwiązaniem.

OPIS PROBLEMU

Proces projektowania instalacji opartych na układach ORC (Organic Ranking Cycle) jest zawsze ściśle powiązany z dostępnym źródłem energii, jego parametrami termodynamicznymi i fizykochemicznymi oraz przede wszystkim określonymi nakładami finansowymi przeznaczonymi na inwestycję. Biorąc to pod uwagę, istotne wydaje się, aby już w początkowym etapie planowania instalacji zminimalizować czasowo- i roboczo- chłonność doboru właściwych parametrów pracy instalacji oraz czynnika roboczego spełniającego określone kryteria [5, 6, 8]. Jak wiadomo analityczna procedura oceny pojedynczego wariantu pracy układu ORC zabiera zwykle bardzo dużo czasu, zwłaszcza gdy chcemy sprawdzić wszystkie teoretycznie możliwe przypadki pracy w kombinacji z różnymi znanymi czynnikami roboczymi. Z tego powodu projektanci ograniczają się zwykle do rozpatrywania jedynie typowych, dobrze im znanych i sprawdzonych wcześniej rozwiązań, pomijając rozwiązania, być może lepsze, ale wymagające dodatkowych lub dłuższych analiz.

Kolejne etapy procesu projektowania obejmują niemniej ważne kroki jak: wybór wariantu pracy, dobór potrzebnych urządzeń wraz z ich parametrami wejściowymi i wyjściowymi oraz oszacowanie kosztów związanych z podjętymi decyzjami. Pociąga to za sobą rutynowe stosowanie kilku gotowych rozwiązań do wszystkich projektowanych instalacji, a to z kolei stoi w sprzeczności z indywidualnym charakterem poszczególnych dostępnych źródeł energii odpadowej. Często z pozoru dobry (pod względem ekonomicznym) wybór, może być nie do przyjęcia z punktu widzenia wydajności pracy układu lub odwrotnie. Rezygnując z przeanalizowania wszystkich możliwych wariantów, często nie dochodzi się do optymalnego rozwiązania.

Wydaje się że indywidualne podejście, wymagające analizy szerokiej ilości wariantów, z których większość zostanie wyeliminowana, jako nietrafne, i pozostawienie tylko najbardziej obiecujących wariantów prowadzi do opracowania rozwiązań optymalnych, najlepiej wykorzystujących istniejące uwarunkowania źródła. Aby stosowanie takiego nieschematycznego, indywidualnego podejścia było częściej brane pod uwagę, należy znacząco skrócić czas potrzebny na ocenę pojedynczej teoretycznej konfiguracji. Jest to możliwe poprzez opracowanie numerycznego programu do obliczania i termodynamicznej symulacji pracy układu ORC w dowolnej konfiguracji i z dowolnym

czynnikiem roboczym o znanych parametrach termodynamicznych. Przybliżeniu zalet stworzonego w tym celu programu jest poświęcone niniejsze opracowanie.

Punktem wyjścia do opracowania tego programu była wcześniejsza żmudna i czasochłonna praca autorów, którzy analitycznie projektowali instalacje ORC opierając się w znaczącej mierze na dobrze zdefiniowanych modelach fizycznych. W ich trakcie zebrano doświadczenie niezbędne do opracowania wytycznych do zbudowania programu, przy pomocy którego będzie można przeprowadzić większość potrzebnych obliczeń szybciej, w sposób automatyczny (tzn. wyręczający użytkownika; nie wymagającego żadnej interakcji, poza podaniem znanych warunków początkowych; generującego na ich podstawie kompletne rozwiązania) lub przynajmniej półautomatyczny (tzn. wyręczającego użytkownika tylko częściowo; generującego rozwiązania częściowe lub wymagające kontroli warunków brzegowych). Zaoszczędzony w ten sposób czas przekłada się na lepsze wykorzystanie dostępnych środków inwestycyjnych.

DOTYCHCZASOWA METODYKA POSTĘPOWANIA

Analityczne obliczenia np. teoretycznej sprawności układu ORC, w połączeniu z empirycznymi danymi tabelarycznymi i wykresami charakteryzującymi dostępne źródło energii, stanowią klasyczną podstawę projektowania i oceny rozwiązań technicznych. Korzystanie wyłącznie z zestawień tabelarycznych jest jednak obecnie rzadko wykorzystywane i stanowi przede wszystkim element weryfikacji informacji otrzymywanych ze specjalistycznego oprogramowania. Wiąże się to głównie ze wspomnianą już automatyzacją obliczeń i gotowymi elektronicznymi bazami danych, udostępnianymi (bezpłatnie lub na licencji) poprzez firmy produkujące czynniki robocze (głównie na potrzeby chłodnictwa).

Do najbardziej znanych programów komputerowych należą min. Coolpack, GateCycle, Thermoflex, Cycle Tempo, Solkane. Służą one głównie do projektowania instalacji do wytwarzania ciepła technologicznego (w przypadku programu Coolpack również wody lodowej) na potrzeby wentylacji i klimatyzacji oraz do projektowania instalacji grzewczych (w programie Coolpack poprzez biblioteki modułu FDBES – Heatpack).

Zaimplementowane w aplikacjach rysowanie schematu układu polega zwykle na wskazywaniu przebiegu instalacji przy zadeklarowanej średnicy rurociągu. Programy potrafią automatycznie dobierać pozostałe parametry techniczne (np. kolana, trójniki i elementy redukcyjne) oraz wskazywać obliczone parametry fizyczne (np. masowe natężenie przepływu czynnika, wartości entalpii w poszczególnych punktach) posługując się wbudowanymi w nie bazami danych.

Wymienione powyżej, istniejące na rynku oprogramowanie, skierowane jest głównie do projektowania rozwiązań mających zastosowanie w chłodnictwie (Coolpack, Solkane) lub też, jak w przypadku programu Cycle Tempo, do budowy dowolnych instalacji przemysłowych. W obydwu podejściach dostrzec można pewne zalety i wady takich rozwiązań. W przypadku programów chłodniczych obliczenia można, co praw-

da, zaadoptować do potrzeb układów ORC, jednak wymaga to od użytkownika wykonania szeregu obliczeń pośrednich i końcowego połączenia wyników cząstkowych w jedną całość. Program Solkane zawiera wprawdzie zaimplementowany klasyczny układ ORC, jednak jego możliwości obliczeniowe są zbyt ubogie.

W przypadku drugiej grupy programów (Cycle Tempo) problemem może być ich zaawansowanie. Projektant w początkowej fazie doboru czynnika pod określone źródło energii poświęcić musi sporą część czasu na opracowanie całego układu. Nie bez znaczenia staje się tu odpowiednie przeszkolenie dotyczące obsługi samego oprogramowania, które ze względu na swoją uniwersalność zawiera dużą ilość opcji. Ponadto programy kompleksowe są z reguły dość kosztowne w użytkowaniu. Wymagają wykupienia licencji, która w zależności od wersji może być nieopłacalna dla firmy specjalizującej się wyłącznie w układach ORC. W takim ujęciu zaleta wszechstronności oprogramowania staje się jego wadą.

Wobec powyższych przesłanek uzasadnionym stało się opracowanie nowego oprogramowania, które nie zastąpi zaawansowanych, uniwersalnych „kombajnów”, pozwoli jednak na szybką weryfikację danych projektowych i przeanalizowanie możliwych wariantów. Opracowano program ORCcalc, bazujący na obliczeniach stosowanych w programach chłodniczych, skierowanym wyłącznie na potrzeby układów ORC. Jest on bardziej rozwinięciem programów działających na polu chłodnictwa niż szczególnym przypadkiem programów stricte inżynierskich. Jego zadanie polega na wstępnej obróbce i walidacji danych, wskazanie wytycznych projektowych i udzielenie odpowiedzi na pytanie, które rozwiązania są teoretycznie możliwe do realizacji. Informacja taka stanowi dla projektanta ważne ogniwo pomiędzy doбором parametrów układu, a projektowaniem konkretnej instalacji.

WYNIKI ANALIZY – PROGRAM OBLICZENIOWY

Przeanalizowano metodykę projektowania trzech wariantów termodynamicznych realizacji instalacji opartej o układy ORC. Do analizy wytypowano najbardziej obiecujące z punktu widzenia sprawności i skomplikowania warianty: obieg klasyczny Rankine’a, obieg z regeneracyjnym wymiennikiem ciepła (RWC) oraz obieg z podgrzewaczem mieszankowym zasilanym z upustu turbiny (PM).

Na tej podstawie opracowana została pierwsza wersja programu ORCcalc, dostarczająca czterech narzędzi wspomagających stosowaną przez autorów metodykę projektowania układów zagospodarowywania ciepła odpadowego.

Program ORCcalc korzysta z istniejącej od wielu lat i nadal rozwijanej przez NIST (National Institute of Standards and Technology) bazy danych, zawierającej modele matematyczne czynników i substancji używanych w m.in. chłodnictwie, zwanej w skrócie RefProp (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database). Dane w niej zebrane opracowane są na podstawie dotychczasowych wyników doświadczalnych i stanowią odniesienie dla wszystkich najważniejszych programów

w branży. W obecnej wersji, dla zachowania maksymalnej prostoty interfejsu użytkownika, program ORCcalc korzysta wyłącznie z modeli oznaczonych w dokumentacji jako domyślne (nawet jeśli RefProp udostępnia inne modele obliczeniowe wybranych czynników). W związku z powyższym, przewidywana dokładność obliczeń jest ściśle uzależniona od poprawności modeli matematycznych proponowanych przez NIST. Algorytmy obliczeniowe ORCcalc mogą pogarszać z racji stosowania operacji zmiennoprzecinkowych, jednak ogólne testy wskazują, że jest to wpływ marginalny i pomijalny.

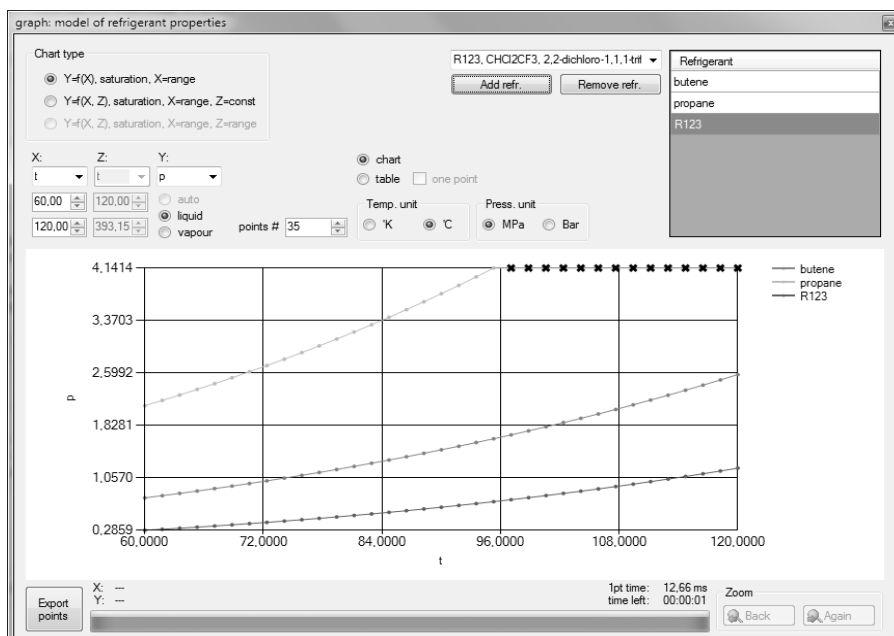
Generowanie wykresów i zestawień tabelarycznych

Proponowane narzędzie w pełni zastępuje termodynamiczne „papierowe” wersje tabel parowych bardzo wielu czynników. Pozwala określać zarówno wartość charakterystyk w zadanych punktach, jak i tworzyć porównawcze wykresy i zestawienia tabelaryczne dla wybranych czynników dostępnych w bazie modeli, w zadanych zakresach i jednostkach, co pokazuje „zrzut z ekranu” programu ORCcalc, zamieszczony na rysunku 2.

Funkcja generowania wykresów i zestawień tabelarycznych w praktyce służyć może kontroli zgodności otrzymywanych wyników parametrów termodynamicznych z danymi modelowymi zawartymi w bazach danych czynników oraz do szybkiego porównywania z innymi źródłami, czy wynikami badań eksperymentalnych. Oprócz metody graficznej (rys. 2), wyniki mogą być również prezentowane w formie tabelarycznej (rys. 3), ułatwiającej dokładne odczytywanie wartości numerycznych. Mogą też zostać zapisane w prostym formacie CSV (Comma Separated Values) dającym się odczytywać przez inne programy kalkulacyjne, jak np.: Microsoft Excel, MathCad, Scientific WorkPlace. Liczba punktów w serii generowanej automatycznie w podanym zakresie jest konfigurowalna. Metoda ta dobrze sprawdza się przy generowaniu wykresów porównawczych, jednak praktycznie niemożliwe jest takie ustawienie próbkowania i zakresu obliczeń, aby automatycznie otrzymać wartości dla wszystkich interesujących punktów. Z tego powodu, w formie tabelarycznej, dla wygenerowanej serii istnieje możliwość dodania punktów charakterystyki, wyliczonych dodatkowo w zadanych szczególnych miejscach, także spoza wytyczonego zakresu.

W opracowanej wersji program umożliwia tworzenie zestawień, w oparciu o założenie zmienności co najwyżej jednego parametru. W praktyce jest to jednak w zupełności wystarczające do tworzenia typowych wykresów:

- wartości jednego parametru Y w obliczu zmieniającego się innego parametru X, przy założeniu, że czynnik znajduje się w stanie nasycenia; np. wykres wartości temperatury czynnika pod ciśnieniem z zakresu 2,0–10,0 MPa; przydatny przy generowaniu wykresów stanu nasycenia;
- wartości jednego parametru Y w obliczu zmieniającego się innego parametru X przy znanej i stałej wartości różnego od nich parametru Z; nie zakłada stanu nasycenia; np. wykres wartości entalpii czynnika przy temperaturze z zakresu 60–120 °C pod zadaniem ciśnieniem 12,0 MPa; przydatny przy generowaniu wykresów przemian izotermicznych, izobarycznych, itp.



Rys. 2. Graficzne zestawienie parametrów termodynamicznych wybranych czynników
Fig. 2. Graphical comparison of thermodynamic parameters of selected fluids

graph: model of refrigerant properties

Chart type: ☒ Y=f(X), saturation, X=range; ☐ Y=f(X, Z), saturation, X=range, Z=const; ☐ Y=f(X, Z), saturation, X=range, Z=range

X: t; Z: t; Y: p

Temp. unit: ☒ K; ☐ °C; Press. unit: ☒ MPa; ☐ Bar

Refrigerant: butene, propane, R123

points # 35

x	z	butene	propane	R123
60		0.761753377291276	2.1167529196543011	0.2858873622407373
61,764705882352928		0.79436145427713434	2.1946409550722019	0.30063118193738775
63,529411764705856		0.82798784664296732	2.2746403837671054	0.31594654545356204
65,294117647058783		0.86265227960676583	2.3567949610291334	0.33184765748128486
67,058823529411711		0.89837468407332743	2.4411501413294294	0.34834885201566979
68,823529411764639		0.93517520763952688	2.5277532842863657	0.36546459165151646
70,588235294117567		0.97307422669708543	2.6166539088853646	0.38320946710673526
72,3529411764705		1.0120923597238389	2.7079040097452998	0.40159819693640203
74,117647058823422		1.0522504818680107	2.8015584522369612	0.42064562750915685
75,88235294117635		1.0935697409404044	2.897675468062316	0.44036673318155406
77,647058823529278		1.1360715749464663	2.9963172809822187	0.46077661675890341
79,4117647058822		1.1797777313075419	3.0975509061030353	0.48189051018885037
81,176470588235134		1.2247102879363028	3.2014491895948511	0.503727377554404013
82,941176470588061		1.2708916763621605	3.3080921964800969	0.52629190629231748
84,705882352940999		1.3193447031330669	3.417569437090146	0.54961053906437356

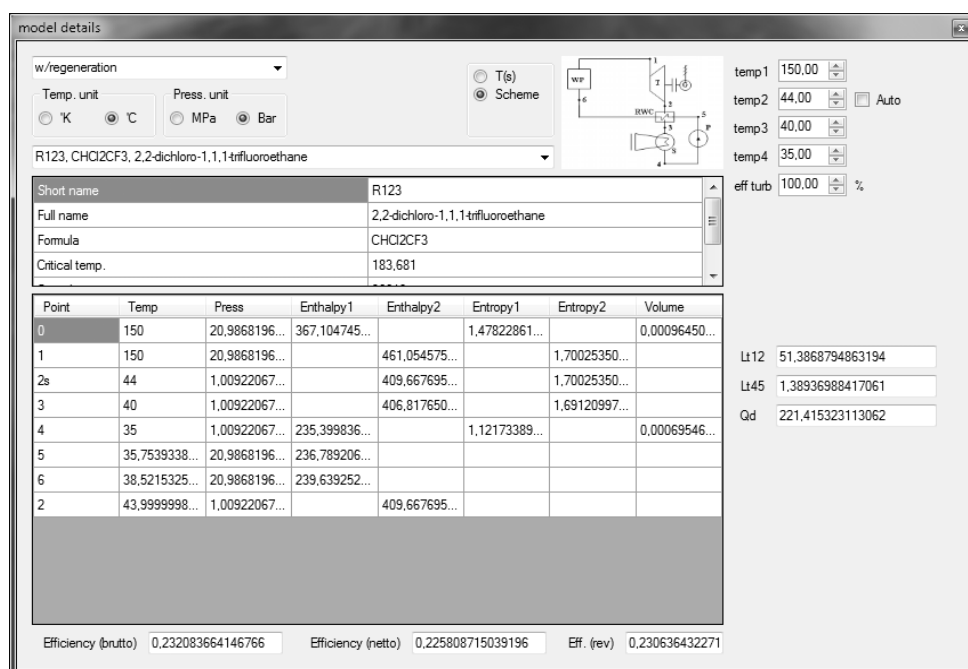
1pt time: 12.66 ms; time left: 00:00:01

Rys. 3. Tabelaryczne zestawienie parametrów termodynamicznych wybranych czynników
Fig. 3. A tabular summary of thermodynamic parameters of selected fluids

Obliczenia parametrów termodynamicznych analizowanego układu

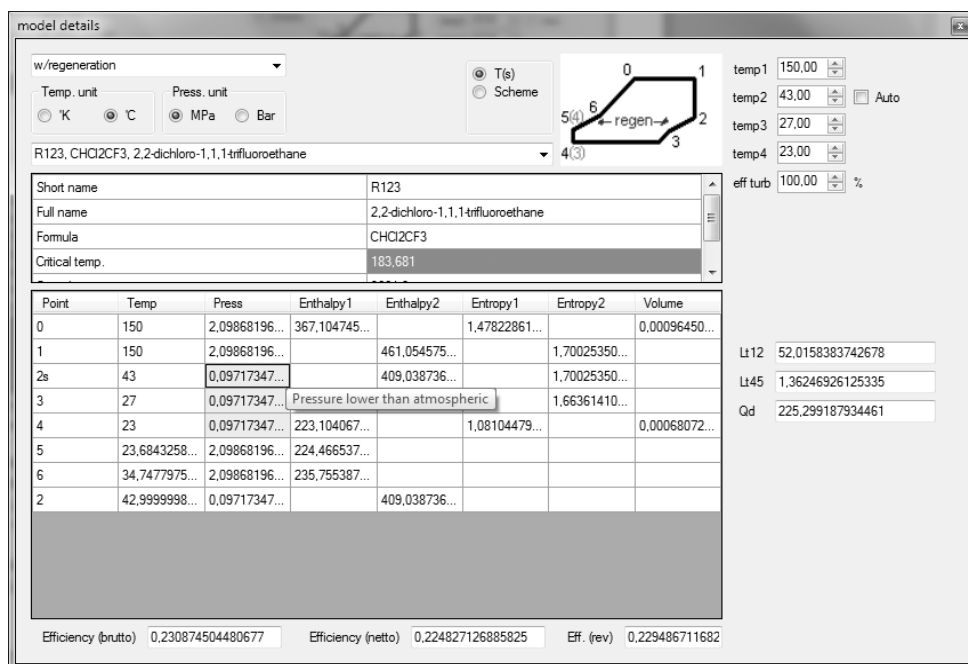
W oparciu o narzucone wartości temperatury pracy układu (np. na wylocie z wytwornicy pary, w punkcie końca ekspansji w turbinie oraz w skraplaczu), program pozwala obliczyć własności termodynamiczne czynnika roboczego w poszczególnych charakterystycznych punktach układu. Dodatkowo, prezentuje teoretyczną wypadkową sprawność netto/brutto wykorzystania energii źródłowej. Obliczenia stanów punktów przeprowadzane są w sposób automatyczny, co pozwala eksperymentować z parametrami wejściowymi modeli i obserwować na bieżąco zmiany poszczególnych parametrów układu (rys. 4).

Opracowany program ORCcalc zawiera w sobie pewne elementy weryfikacji parametrów termodynamicznych, otrzymanych z modelu numerycznego (rys. 5). Nie jest to jednak pełna inżynierska analiza wykonalności układu, jednak jak już wspomniano na wstępie, narzędzie to ma za zadanie umożliwić jedynie szybszą (niż analityczna) wstępną ocenę możliwości realizacji fizyczno-technicznej układu, w oparciu o zadany czynnik roboczy i odpowiedzieć na pytania, np.: czy w zadanych temperaturach i stanie skupienia czynnik nie będzie wymuszał zbyt wysokich/niskich ciśnień?, lub też, czy przewidywana maksymalna teoretyczna sprawność jest opłacalna z technicznego punktu widzenia i warta zainteresowania?



Rys. 4. Parametry termodynamiczne w punktach charakterystycznych układu

Fig. 4. Thermodynamic parameters of the system's characteristic points



Rys. 5. Weryfikacja wyników numerycznych
Rys. 5. Numerical data verification

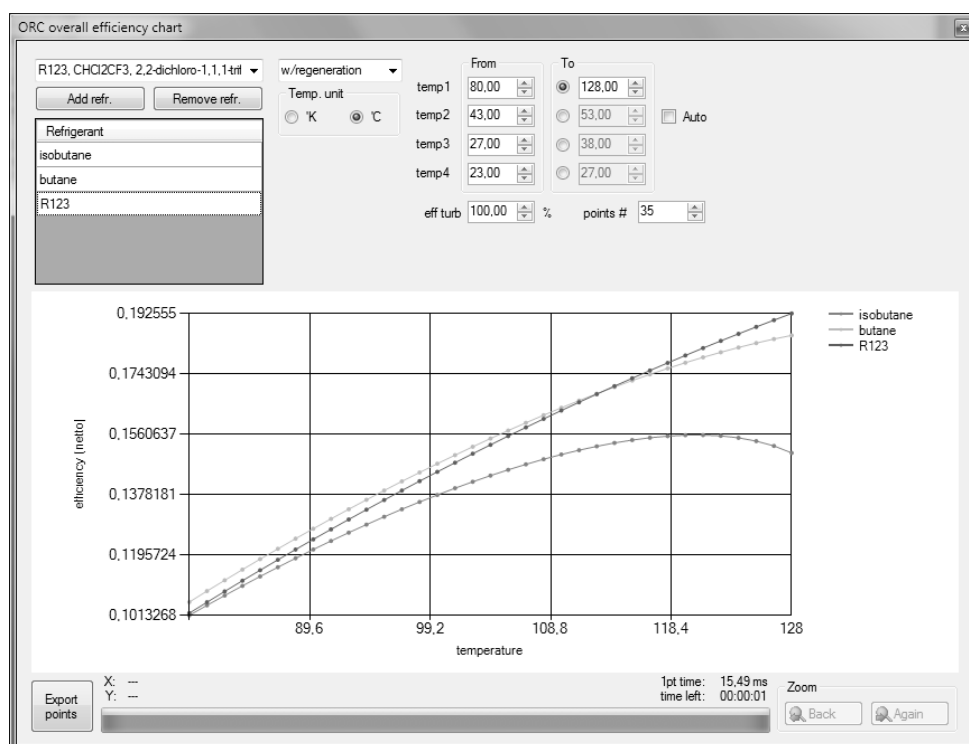
Dzięki automatyzacji obliczeń podstawowych cech układów klasy ORC, program umożliwia interaktywne sprawdzenie wielu czynników, zanim jeszcze projektant będzie musiał zagłębić się w techniczne szczegóły konstrukcji instalacji. Niemniej jednak uwzględniono możliwie dużo ostrzeżeń – komunikatów informujących użytkownika oprogramowania o nieprawidłowych lub szczególnych warunkach pracy – ułatwiających ocenę obliczeń pod kątem realizacji technicznej instalacji (rys. 5). Sygnalizowane są m.in. takie sytuacje jak: wejście w obszar podciśnienia atmosferycznego, przekroczenie parametrów krytycznych czynnika, czy też spadek temperatury w układzie ORC poniżej temperatury nasycenia.

W opracowanej wersji program umożliwia automatyczne obliczanie punktów charakterystycznych wszystkich trzech przeanalizowanych wcześniej modeli, w oparciu o podane temperatury pracy oraz wybrany czynnik roboczy. Są to: model klasyczny, model z wykorzystaniem regeneracji wewnętrznej w postaci regeneracyjnego wymiennika ciepła (RWC) oraz model wykorzystujący upust pary z turbiny i podgrzewacz mieszkankowy (PM). Schematy poszczególnych modeli oraz ich interpretacja na wykresie termodynamicznym w układzie Belpaire'a (wykres T-S) wyświetlana jest obok wyboru wartości temperatury (rys. 4 i 5).

Wykresy porównawcze sprawności różnych czynników roboczych

W celu lepszego zobrazowania zależności parametrycznych, program ORCcalc umożliwia również prezentację wyników otrzymanych z numerycznych modeli w postaci wykresu sprawności w funkcji temperatury. Obliczenia przeprowadzane są w sposób identyczny jak wyżej, jednak dzięki prezentowaniu jedynie sprawności, możliwe jest jednocześnie obliczenie jej wartości w zadanym zakresie temperatur i dla wielu czynników roboczych na raz, dla dowolnego z trzech zawartych obecnie w programie modeli układów ORC (klasyczny, RWC i PM).

Wykres ten pozwala szybko wytypować listę zamienników dla wybranego wcześniej czynnika roboczego, oraz oszacować jak bardzo będą one odbiegać od pierwotnie zamierzonego. Przykładowo, na załączonej ilustracji (rys. 6) zaprezentowana jest teoretyczna charakterystyka czynnika R123 (przy temperaturze źródła ciepła wahającej się między 80 °C a 120 °C, z założeniem temperatury za turbiną 43 °C, oraz 27 °C za RWC i 23 °C za skraplaczem) oraz jej porównanie z izobutanem (R600a) i butanem



Rys. 6. Zestawienie osiągniętej sprawności teoretycznej układu przy różnych czynnikach roboczych, w funkcji temperatury źródła ciepła

Rys. 6. Overview of theoretical system performance achieved with different fluids working in dependence of temperature of the heat source

(R600). Wyniki obliczeń na podstawie modeli numerycznych tych substancji (rys. 6) wskazują, że warto rozpatrywać możliwość zastosowania w tym zakresie czynnika R123 oraz R600. Izobutan najprawdopodobniej będzie osiągał kilkuprocentowo gorszą sprawność.

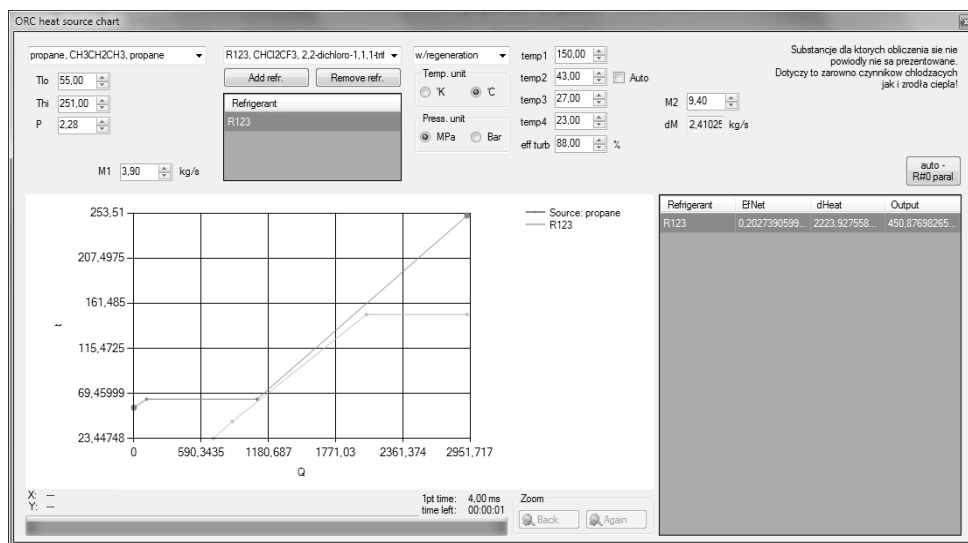
Na wykresie (rys. 6) żaden z 35-ciu punktów obliczeniowych nie został oznaczony przez program jako błędny lub wątpliwy, automatyczna weryfikacja wyników nie wykryła żadnych interesujących cech pracy modelowanego układu, jak np. praca w podciśnieniu (poniżej ciśnienia atmosferycznego). Jednak, jako że jest to jedynie wynik teoretycznej sprawności, oraz że automatyczna weryfikacja doboru pozostałych parametrów jest ograniczona do zestawu specyficznych warunków przewidzianych przez autorów, warto przed ostatecznym wyborem czynnika zrewidować wszystkie wartości fizykochemiczne punktów pracy.

Analiza możliwości odbioru strumienia ciepła

Kolejnym istotnym narzędziem oferowanym przez program ORCcalc jest dualny wykres dopasowania temperaturowo-ciepłnego, opisujący odbiór ciepła od źródłowego (dla układu ORC) wymiennika ciepła. Przedstawia on zarówno charakterystykę ochładzania czynnika w układzie pierwotnym (źródło ciepła), z którego ciepło (np. odpadowe) zostaje odprowadzone, jak i charakterystykę ogrzewania czynnika roboczego we wtórnym układzie ORC (który to ciepło odprowadza).

Automatyczne rysowanie dualnego wykresu wymaga, podobnie jak w pozostałych modułach programu, podania warunków pracy badanego układu ORC oraz wskazania czynników roboczych do przeanalizowania. Dla obiegu pierwotnego wymagane jest podanie rodzaju czynnika, ciśnienia pod jakim się znajduje, oraz temperatury początkowej, od której rozpoczyna się jego proces chłodzenia. Dodatkowo, program wymaga podania temperatury końcowej, pozwalającej zakończyć rysowanie wykresu obiegu pierwotnego na interesującej wartości. Na rysunku 7 przedstawiono odbiór ciepła od źródła w postaci strumienia propanu pod ciśnieniem 2,20 MPa. Jest to rzeczywisty przypadek na którym weryfikowano poprawność działania programu, podczas realizacji zlecenia w przemyśle rafineryjnym, gdzie sprawdzano możliwość odbioru i wykorzystania ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej [5]. Zakres jego schładzania przyjęto pomiędzy 251 °C a 55 °C, dzięki czemu na wykresie pojawił się obszar przemiany fazowej propanu ze stanu lotnego w stan ciekły (poziomy przeskok błękitnej linii w lewej dolnej części wykresu). W przykładzie tym zaprezentowano również teoretyczny odbiór ciepła poprzez układ ORC z regeneracją (linia pomarańczowa), oparty na czynniku roboczym R123. Jego widoczne na ilustracji warunki pracy ustalono tak, aby dość ściśle dopasować charakterystyki wymiany ciepła.

Dodatkową możliwością regulacji wykresu kontrolnego jest podanie wartości przepływów masy (na przykładzie wybrano stosunek 3.90 : 9.40). Z prawej strony okna (rys. 7) program prezentuje wynikową sprawność układu ORC pracującego w takich warunkach, oraz wartość mocy wynikającą z punktów pracy układu oraz podanych



Rys. 7. Wartość strumienia ciepła, transportowanego przez propan i możliwy do odebrania przez czynnik roboczy układu ORC strumień ciepła wraz z obliczeniem możliwej do wygenerowania mocy elektrycznej

Fig. 7. The value of heat flow transported by propane and possible to retrieve by the ORC working fluid, together with calculations of the possible electrical power generation

strumieni masowych. Możliwe jest jednocześnie śledzenie przebiegów odbioru ciepła dla wielu czynników roboczych w tych samych warunkach pracy (np. możliwe jest porównanie R123 z R600 wytypowanym w poprzednim przykładzie), jednak dla przejrzystości ilustracji wykreślono charakterystykę jedynie dla jednego czynnika.

PODSUMOWANIE I DALESZE KIERUNKI BADAŃ

Przeprowadzone rozważania dotyczą zagospodarowania dostępnego ciepła odpadowego, poprzez jego konwersję w energię elektryczną w układach ORC. Jak wykazano w niniejszej pracy są to zagadnienia istotne, zarówno z punktu widzenia oszczędności energii, jak też szeroko rozumianej i ochrony środowiska, często niesłusznie pomijane w dyskusji na temat poprawy efektywności energetycznej przedsiębiorstw.

Przedstawiony w paragrafie 4 sposób wstępnej analizy i optymalizacji wyboru czynnika roboczego i końcowego wariantu realizacji układu ORC, zautomatyzowany poprzez program ORCcalc, stanowi wygodne narzędzie pracy projektanta takich instalacji. Program pozwala na szybkie przeprowadzenie działań od doboru właściwych poziomów temperatury układu począwszy, poprzez oszacowanie końcowej sprawności i na przewidywanej mocy elektrycznej skończywszy. Zwłaszcza wykres dopasowania cieplnego

dwóch czynników roboczych może być pomocny w projektowaniu instalacji zagospodarowania ciepła odpadowego np. w przemyśle petrochemicznym, gdzie często ciepło o wysokich parametrach termodynamicznych może być lepiej wykorzystane.

Przeprowadzona weryfikacja działania programu. poprzez porównanie uzyskanych przy jego pomocy wyników z wcześniejszymi analitycznymi obliczeniami, przeprowadzonymi dla rzeczywistej instalacji, szczegółowo przedstawionymi w pracach [5, 7, 9, 13, 14] wykazała zgodność mieszczącą się w granicach 95%.

W przyszłości planowane jest dalsze wzbogacenie funkcjonalności programu zakładające jego rozwój w trzech głównych kierunkach:

- dodanie obsługi innych baz, dla zwiększenia ilości dostępnych czynników roboczych oraz umożliwienie wyboru alternatywnego modelu celem porównania charakterystyk tego samego czynnika generowanych z różnych modeli;
- dodanie możliwości rysowania wykresów trójwymiarowych lub warstwicznych, prezentujących zależności $Y = f(X, Z)$, ukazujących zmiany wartości cechy w obliczu zmieniających się dwóch innych cech;
- dodanie nowych modeli układów ORC, a także, być może, prosty graficzny edytor pozwalający definiować je dowolnie. Jeśli okaże się to pomocne, warto rozważyć rozbudowanie zestawu parametrów wejściowych modeli, jednak może to pociągnąć konieczność konfiguracji kolejności obliczania punktów charakterystycznych, zwłaszcza przy ewentualnym edytorze graficznym. Może to jednak spowodować znaczne skomplikowanie z punktu widzenia użytkownika, co stoi w sprzeczności z założeniami i filozofią tego programu.

BIBLIOGRAFIA

1. Bini R., Manciana E.: Organic Rankine Cycle turbogenerators for combined heat and power production from biomass. Proceedings of the 3rd Munich Discussion meeting 1996, ZAE Bayern (ed) Munich, Germany, 1996.
2. Drescher U., Bruggemann D.: Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. Applied Thermal Engineering, 27, 2007: 223–228.
3. Hettiarachchi H.D.M., Golubovic M., Worek W.M., Ikegami Y.: Optimum design criteria for an Organic Rankine cycle using lowtemperature geothermal heat sources. Energy, 32, 2007: 1698–1706.
4. Hung T.-C.: Waste heat recovery of organic Rankine cycle using dry fluids. Energy Conversion and Management. 42, 2001, 539–553.
5. Kubski P., Lewandowski W.M., Radziemska E., Ryms M.: Identyfikacja istniejących zasobów fizycznych energii odpadowej w procesach technologicznych Rafinerii Grupy LOTOS S.A. w Gdańsku. Gdańsk 2008, 129 s.
6. Kubski P., Lewandowski W.M., Ryms M.: Systematyka i kryteria doboru czynnika roboczego układu ORC. [W:] Gnutek Z., Gajewski W. (red.) Termodynamika w nauce i gospodarce. Tom 1. Wrocław 2008: 648–653.
7. Kubski P., Lewandowski W.M., Ryms M.: Zwiększenie sprawności procesów technologicznych poprzez zastosowanie układów ORC i systemów trigeneracyjnych. Nafta Gaz, 2010.

8. Lewandowski W.M., Kubski P., Ryms M.: Wstępna koncepcja doboru czynnika roboczego obiegu ORC dla określonych źródeł ciepła odpadowego. [W:] Gnutek Z., Gajewski W. (red.) *Termodynamika w nauce i gospodarce*. Tom 2. Wrocław 2008: 31–36.
9. Lewandowski W.M., Ryms M., Kołola R., Radziemska E., Ostrowski P.: Poprawa sprawności układów ORC i systemów trigeneracyjnych poprzez zastosowanie różnych termodynamicznych wariantów ich działania. *Nafta Gaz*, 2010.
10. Maizza V., Maizza A.: Unconventional working fluids in organic Rankine cycles for waste energy recovery systems. *Applied Thermal Engineering*, 21, 2001: 381–390.
11. Mikieliewicz J.: Odzysk ciepła odpadowego za pomocą obiegów freonowych. *Energetyka*, Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej, nr 106, 1989.
12. Paloso G. Jr, Mohanty B.: Cascading vapour absorption cycle with organic rankine cycle for enhancing geothermal term power generation. *Renewable Energy*, 3, 1993: 669–681.
13. Ryms M.: Theoretical Organic Rankine Cycle efficiency depending on different thermodynamic work variables. [W:] Fialo C. (ed.) *Advances in Chemical and Mechanical Engineering*, 13th International Symposium of Students and Young Mechanical Engineers, Gdańsk 2010: 325–331.
14. Ryms M., Lewandowski W.M., Radziemska E., Kubski P.: Systematic and selection criteria for ORC System Working Fluid used for a determined amount of excessive energy ORC. *Ecological Chemistry and Engineering*, 2010.
15. Wei D., Lu X., Lu Z., Gu J.: Dynamic modeling and simulation of an Organic Rankine Cycle (ORC) system for waste heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 28, 2008: 1216–1224.

AUTOMATION OF THE EFFICIENCY CALCULATION PROCESS FOR DIFFERENT THERMODYNAMIC VARIANTS OF THE ORC SYSTEMS

Summary

The article describes a potential possibility of automating the calculation process in ORC-based system design. At an early stage of the project it is necessary to correctly estimate the values associated with parameters of the available energy sources and the selection of appropriate options of the working system. Performing the schematic calculation process for every potential working fluid available on the market may not only be time-consuming but also may prove difficult because of a wide range of fluid databases, their performance benchmarking and a necessity of a wide-spread search. The software currently existing on the market is optimized for basic tasks implemented in the calculation of cooling processes. Therefore, there is need for an ORC-optimized software, allowing quick and easy evaluation of parameters such as efficiency of the proposed system, the parameters needed for the selection of heat exchangers, condensers, and turbines. The ORCcalc software presented in this manuscript is a response to this demand. The use of this software allows time-saving and an effective analysis of many configurations simultaneously, choosing different criteria i.e. efficiency of the proposed system.

Key words: ORC systems, energy saving, automation of the calculation process.

Renata Lis¹

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SYMULACJI KOMPUTEROWYCH I WIRTUALNYCH LABORATORIÓW W KSZTAŁCENIU INŻYNIERÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości zastosowań e-learningu w kształceniu inżynierów. Scharakteryzowano formy, modele i systemy kształcenia z zastosowaniem technologii teleinformatycznych. Przedstawiono przykłady wykorzystania wirtualnych laboratoriów i symulacji komputerowych w nauczaniu przedmiotów technicznych.

Słowa kluczowe: wirtualne laboratoria, symulacje komputerowe, e-learning, studia inżynierskie.

WPROWADZENIE

Stosowanie różnorodnych form i narzędzi technologii teleinformatycznych w kształceniu inżynierów ma szczególną wartość utylitarną. Pozwala bowiem na zdalne prowadzenie symulacji komputerowych różnych procesów technicznych bez konieczności zakupu drogich urządzeń. Umożliwia także korzystanie z wirtualnych przyrządów pomiarowych czy prowadzenie przez Internet badań w rozproszonych po całym świecie laboratoriach.

Zdalne nauczanie z wykorzystaniem technologii teleinformatycznych zdobywa systematycznie coraz większą popularność wśród różnych form kształcenia. Jest to spowodowane rozwojem multimediów, które sprzyjają wprowadzaniu nowych metod nauczania do istniejącego modelu kształcenia zawodowego. Wzrastające możliwości techniki cyfrowej w połączeniu ze stałym obniżaniem się cen sprzętu komputerowego są niewątpliwie głównym czynnikiem mającym wpływ na coraz częstsze stosowanie technologii teleinformatycznych w nauczaniu, pod postacią e-learningu.

POJĘCIE I ASPEKTY E-LEARNINGU

Definicje e-learningu znacząco różnią się od siebie, nie ma jednej powszechnie uznanej. Jednak w większości powtarzają się trzy główne aspekty ujmowania tego pojęcia:

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

1. Edukacyjny, gdzie e-learning określany jest jako sposób nauczania w oparciu o media elektroniczne.
2. Techniczny, w którym e-learning definiowany jest jako zbiór aplikacji i procesów służących dostarczaniu materiału edukacyjnego w formie elektronicznego przekazu przez Internet, intranet, interaktywną telewizję i nośniki danych.
3. Biznesowy, gdzie e-learning to forma nauczania wykorzystująca technologię do tworzenia, dystrybucji i dostarczania danych, informacji, szkoleń oraz wiedzy w celu podniesienia efektywności pracy i działań organizacji [6].

Kształcenie z wykorzystaniem e-learningu jest jednym z najszybciej rozwijających się sposobów nauczania na świecie. W Polsce ta forma kształcenia nie jest jeszcze tak popularna jak w Stanach Zjednoczonych czy bardziej rozwiniętych państwach Europy, aczkolwiek jej popularność z roku na rok ciągle rośnie.

Jedną z pierwszych Polskich uczelni, która zaproponowała kształcenie na odległość w formie e-learningu, jest Politechnika Warszawska. Ośrodek Kształcenia na Odległość Politechniki Warszawskiej (OKNO PW) opracował i wprowadził do praktyki nowy model studiowania z wykorzystaniem Internetu. Oferta studiów przez Internet Politechniki Warszawskiej zawiera Niestacjonarne Studia Inżynierskie (I stopnia – czteroletnie), Niestacjonarne Studia Magisterskie (II stopnia – dwuletnie), Studia Podyplomowe (dwu- i trzy-semesterne). Również Polski Uniwersytet Wirtualny będący wspólnym przedsięwzięciem Wyższej Szkoły Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi i Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie prowadzi studia I i II stopnia w tej formie nauczania.

Obecnie coraz więcej polskich uczelni wyższych wprowadza kształcenie na odległość w formie e-learningu. Jednak w większości, są to kursy wspierające standardowy system nauczania. Przykładowe uczelnie wyższe wspierające się systemami e-learningowymi, to: Centrum e-learningu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Centrum Rozwoju Edukacji Niestacjonarnej w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie, Centrum E-learningu Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Ośrodek Kształcenia na Odległość - OKNO Politechniki Warszawskiej, Centrum Otwartej i Multimedialnej Edukacji Uniwersytetu Warszawskiego oraz Portal Zdalnej Edukacji Politechniki Wrocławskiej.

Formy e-learningu

E-learning obejmuje te formy kształcenia na odległość (distance learning), w których proces edukacji realizowany jest przy użyciu technologii teleinformatycznych. Wyróżnić można dwie główne formy e-learningu realizowane w oparciu o systemy komputerowe i multimedia (CBT) oraz Internet (WBT).

CBT (Computer Based Training), wykorzystuje jedynie systemy komputerowe w celu korzystania z materiałów dydaktycznych w postaci tekstowej, graficznej i dźwiękowej. Materiały te najczęściej występuje w formie różnych nośników elektronicz-

nych, bez konieczności posługiwania się Internetem jako medium komunikacji. Zaletą zajęć w formie CBT jest ich wysoki stopień multimedialności i interaktywności.

WBT (Web Based Training), wykorzystuje technologię WWW do dostarczania materiałów szkoleniowych. Materiały są dostępne poprzez przeglądarki internetowe, co pozwala na wzbogacenie edukacji o multimedialne środki przekazu oraz linki do innych materiałów szkoleniowych. Taka forma kształcenia wykorzystuje internetowe mechanizmy komunikacji, tj.: e-mail, czat, grupy dyskusyjne itp. WBT wykorzystuje dwa tryby nauczania: synchroniczny i asynchroniczny [1].

E-learning może być stosowany w różnych formach oraz w dowolnym dla użytkownika miejscu. Każda z form e-learningu bez względu na to, gdzie i jak jest realizowana, powinna posiadać podstawowe elementy:

- Treść – podstawowym elementem nauczania są treści samokształcenia, których student (uczeń) ma się nauczyć, mogą one być przekazywane na nośnikach takich jak CD, DVD, lokalną siecią komputerową lub za pośrednictwem sieci globalnej, jaką jest Internet. Nowe wiadomości przekazane przez nauczyciela, uczący się może przyswoić w dowolnym czasie, jednak z zachowaniem wyznaczonego terminu.
- Komunikacja – jedną z możliwości, jakie daje e-learning jest komunikacja między uczniem a nauczycielem w celu wyjaśnienia niejasności, objaśnienia tematu, zadawania pytań. Uczniowie (studenci) mogą komunikować się również między sobą. Taką możliwość daje między innymi poczta elektroniczna lub komunikatory.
- Współpraca – wirtualne biblioteki lub czytelnie, tablice ogłoszeń umieszczane na stronach internetowych, miejsca dyskusji lub systemy konferencyjne. Są to miejsca, gdzie uczniowie mogą swobodnie zaglądać w celu: uzyskania nowych wiadomości, prowadzenia swobodnej wypowiedzi, wymieniania się doświadczeniami, sugestiami, wspólnego rozwiązywanie problemów, wymiany spostrzeżeń. E-learning pozwala na prace w grupach, podział zadań na poszczególnych użytkowników, wspólną naukę. Takie możliwości dają między innymi fora dyskusyjne, komunikatory, czat, z których użytkownicy mogą korzystać podczas nauki.
- Narzędzia – nie wątpliwie do posługiwania się e-learningiem jest niezbędne odpowiednie oprogramowanie oraz sprzęt komputerowy, a ponadto prosty w obsłudze zestaw narzędzi tak do tworzenia treści szkoleniowych jak i do zarządzania procesami kształcenia. Umożliwi to uczniom nawet z niewielkim przygotowaniem informatycznym na współtworzenie materiałów szkoleniowych kursu i wzbogacanie go o własne doświadczenia.
- Systemy oceny – kursy prowadzone za pośrednictwem komputera oraz sieci mają możliwość oceny użytkowników, ich pracy oraz przyswojonych wiadomości.

Modele e-learningu

Można wyróżnić cztery modele kształcenia (nauczania i uczenia się) za pomocą technologii teleinformatycznych: samokształcenie, kształcenie synchroniczne, asynchroniczne i mieszane (blended-learning) [1].

Samokształcenie, charakteryzujące się całkowitym brakiem kontaktu studenta z prowadzącym. Kształcenie synchroniczne (jednoczesne) przypomina kształcenie tradycyjne, gdzie studenci mają kontakt z prowadzącym (widzą lub słyszą albo jedno i drugie). W tym przypadku najczęściej stosuje się wideokonferencje czyli przekazy audio-wizualne. Jednak forma ta nie daje możliwości dowolnego wyboru miejsca i czasu trwania takiego nauczania.

Kształcenie asynchroniczne (niejednoczesne) charakteryzuje się brakiem bezpośredniej komunikacji nauczyciela z uczniami, która jest zastąpiona przez pocztę elektroniczną, fora internetowe i inne podobne formy komunikacji. Nie występuje tu również ograniczenie związane z czasem dostępu do materiałów edukacyjnych. Jedyne ograniczenie czasowe może wiązać się z ewaluacją, na przykład w formie testu. Ważną zaletą asynchronicznego kształcenia na odległość jest elastyczność i indywidualizacja tempa nauczania. Uczeń może powtórzyć dany temat wielokrotnie, jak również dostosować ilość przyswajanego materiału do swojego tempa pracy.

Kształcenie mieszane (blended-learning) łączy w sobie, co najmniej dwie metody nauczania. Stosowane jest tu połączenie nauczania elektronicznego z tradycyjnymi metodami nauczania [2].

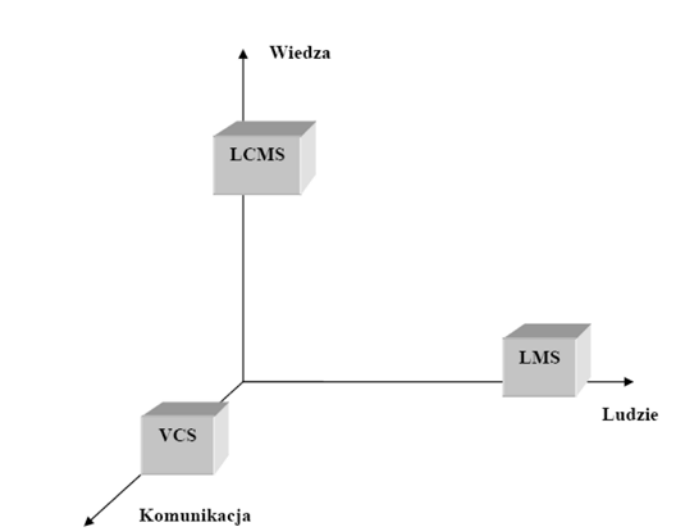
Systemy e-learningowe

Systemy e-learningowe można podzielić według dwóch podstawowych kryteriów, takich jak: rodzaj licencji i funkcjonalność systemu. Ze względu na sposób licencjonowania systemu, można wyodrębnić platformy open source, czyli bezpłatne oprogramowanie stworzone do procesu nauczania oraz platformy komercyjne, stworzone przez firmy komputerowe w celu informatyzacji procesu kształcenia.

- Biorąc pod uwagę funkcjonalność systemów można dokonać ich podziału na:
- zorientowane na komunikację **VCS** (Virtual Classroom System) – systemy do prowadzenia zdalnej komunikacji i współpracy;
 - zorientowane na wiedzę **LCMS** (Learning Content Management System) – systemy do zarządzania treścią szkoleniową i narzędzia autorskie;
 - zorientowane na ludzi **LMS** (Learning Management System) – systemy do zarządzania szkoleniami oraz ludźmi w procesie nauczania oraz systemy do zarządzania kompetencjami i umiejętnościami [5].

Systemy VCS wykorzystuje się do wspierania e-learningu synchronicznego poprzez zdalną komunikację i współpracę w formie zajęć na żywo. System ten może być wykorzystywany do prowadzenia wideokonferencji, podglądu wirtualnej tablicy czy do współdzielenia pulpitu komputera nauczyciela i kursantów.

System LCMS jest przeznaczony dla wielu użytkowników zarówno dla tworzących szkolenia jak i uczestniczących w nich. Jest on wirtualnym środowiskiem, którego podstawowym zadaniem jest obiektowe projektowanie, opracowanie, przechowywanie a także przekazywanie materiałów szkoleniowych poprzez różne kanały dystry-



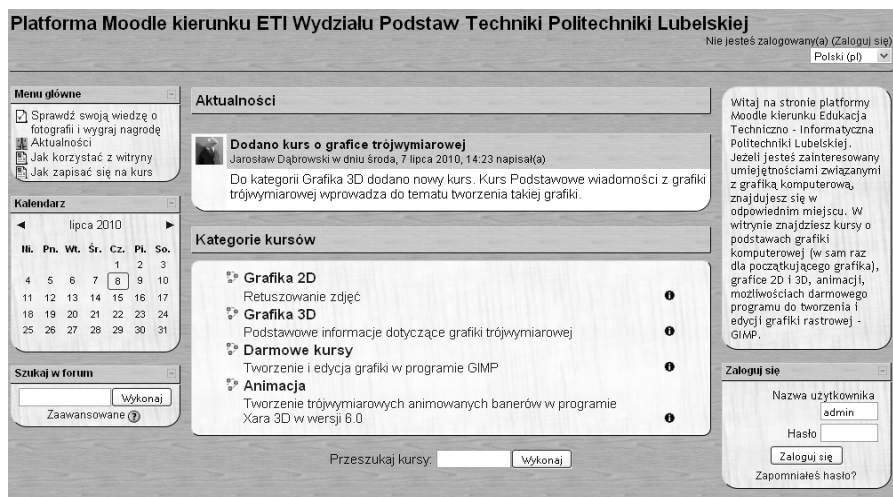
Rys. 1. Systemy e-learningowe [5]

bucji. Za pomocą tego systemu można wielokrotnie korzystać z już utworzonych i udostępnionych materiałów. Dzięki LCMS można także tworzyć, lokalizować, dostarczać, wykorzystywać oraz ulepszać materiały szkoleniowe. Przykładowe systemy typu LCMS funkcjonujące na polskim rynku to: Lotus Learning Space firmy IBM; iLearning firmy Oracle; SkillPort firmy SkillSoft; czy WBTEExpress firmy DigitalSpirit.

Systemy LMS to platformy informatyczne, które umożliwiają zarządzanie procesem nauczania przez Internet. Platformy te umożliwiają zarządzanie użytkownikami systemu, począwszy od rejestracji, zarządzania płatnościami, gromadzenia danych o postępach w nauce a kończąc na generowaniu raportów o stanie całego systemu, oraz na integracji z innymi systemami e-learningowymi. Oprócz tych funkcji systemy LMS pozwalają na zarządzanie kursami i lekcjami oraz importowanie i odtwarzanie lekcji w różnych formatach, często posiadają wbudowane narzędzia komunikacyjne (e-mail, forum dyskusyjne, chat). Najpopularniejsze platformy tego typu to: Moodle; aTutor; Caroline; Ilias; OpenLMS.

Przykładem najczęściej wdrażanego w szkolnictwie wyższym systemu LMS jest stworzona przez Martin'a Dougiamas'a – informatyka oraz pedagoga - platforma zdalnego nauczania **Moodle** (ang. Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment czyli modułowe dynamicznie zorientowane obiektowo środowisko nauczania). Jedną z zalet tej platformy jest jej dystrybucja na licencji Open Source (z ang. otwarte źródła, czyli kody źródłowe programów należących do tego ruchu są dostępne dla wszystkich) wraz z kodami źródłowymi na licencji GNU GPL (z ang. GNU General Public License – Powszechna Licencja Publiczna GNU).

Idea platformy Moodle oparta została na założeniach społecznego konstrukttywizmu w pedagogice (ang. social constructionist pedagogy), według którego najbardziej



Rys. 2. Przykład powitalnej strony platformy Moodle dla kierunku Edukacja Techniczno-Informatyczna w Politechnice Lubelskiej

stymulującymi do uczenia się są tak zwane zachowania wyrozumiałe, gdy uczestnik jakiejś formy e-learningu zadaje pytania aby zrozumieć punkt widzenia innych.

E-LEARNING W USPRAWNIANIU STUDIÓW INŻYNIERSKICH

Nauczanie przedmiotów technicznych na uczelni wyższej jest ściśle związane z zapewnieniem uczącym się właściwych warunków kształcenia w postaci laboratoriów i pracowni na odpowiednim poziomie. Podstawą kształcenia inżynierów jest łączenie wiedzy teoretycznej z praktyką, co wymaga respektowania w dydaktyce polimetydyczności. Stan taki można osiągnąć uwzględniając e-learning w stosowanych formach i metodach nauczania.

W praktyce dzięki wdrożeniu technologii i narzędzi e-learningowych, takich jak platformy zdalnego nauczania, systemy videokonferencji czy nośniki danych z treściami edukacyjnymi, możliwe staje się przekazywanie specjalistycznej wiedzy po znacznie mniejszych kosztach niż miałyby to miejsce z wykorzystaniem tradycyjnych metod nauczania. Przekazywanie treści teoretycznych poprzez platformę zdalnego nauczania umożliwia korzystanie z tych materiałów w dowolnej chwili i miejscu, a co najważniejsze wielokrotnie. Poziom przyswojenia dystrybuowanych w ten sposób wiadomości teoretycznych może być następnie sprawdzony poprzez testy i quizy. Taka forma przekazywania i oceniania wiedzy daje nauczycielom możliwość śledzenia postępów studentów i reagowania w odpowiedni sposób, np. materiał niezaliczony musi być ponownie przyswojony.

Wirtualne laboratoria

Jednym z zadań dydaktyki przedmiotów technicznych jest wykształcenie umiejętności wykonywania eksperymentów i posługiwania się przyrządami i urządzeniami pomiarowymi. Dlatego też podczas zajęć laboratoryjnych na wielu uczelniach studenci wykonują różnego rodzaju eksperymenty choć niekoniecznie w sposób tradycyjny. Wraz z rozwojem nowych technologii teleinformatycznych coraz częściej są to eksperymenty przeprowadzane w wirtualnych laboratoriach. Laboratoria takie pozwalają na zastosowanie zdalnego dostępu do różnego rodzaju inteligentnych urządzeń, które w wyniku sprzężenia tradycyjnego przyrządu pomiarowego z komputerem osobistym ogólnego przeznaczenia i odpowiednim oprogramowaniem umożliwiają symulację pewnych procesów technicznych i fizycznych [12].

Przykładami rozwiązań w zakresie wirtualnego laboratorium są: iLab w Massachusetts Institute of Technology (MIT) w Cambridge (USA) [14]; National Teleimmersion Initiative (wspólny projekt 12 uniwersytetów amerykańskich) [8]; Teleimmersion Data Exploration Environment (TIDE) [11]; projekt ICES/KIS dedykowany dla fizyki doświadczalnej, bioinformatyki i inżynierii systemowej w University of Amsterdam [9].

Na uniwersytecie Wisconsin-Milwaukee prof. Brain Tonner i jego zespół wspólnie z informatykami z LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) prowadzą prace mające na celu wybudowanie testowego laboratorium wirtualnego. Projekt nazwano Remote SpectroMicroscopy [10] i w jego ramach będzie udostępniony dostęp do urządzenia o nazwie Advanced Light Source (ALS). ALS to bardzo duży i drogi przyrząd naukowy dostępny tylko i wyłącznie dla sław naukowych w USA. Naukowcy ci są rozproszeni po całym świecie i zdalny dostęp do tak unikatowego przyrządu okazałby się bardzo pomocny w ich badaniach [7].

Oprócz projektu Remote SpectroMicroscopy w USA w ramach współpracy The Distributed Collaboratory Experimental Environments of Program Lawrence Berkley National Laboratory and DOE są realizowane jeszcze inne, takie jak:

- projekt Argonne National Laboratory, dotyczy: mikroskopu elektronowego, fizyki i obiektowo zorientowanej rzeczywistości wirtualnej;
- projekt Livermore, Princeton, Oak Ridge i General Atomics, dotyczy zdalnego kontrolowania eksperymentów ze zjawiskiem fuzji;
- projekt Pacific Northwest Laboratories, dotyczy zdalnej współpracy nad badaniem zjawisk molekularnych [7].

Warto również wspomnieć o projekcie Bugscope prowadzonym przez Beckman Institute's Imaging Technology Group z Uniwersytetu Illinois, w ramach którego uczniowie i studenci z całego świata poprzez łącza internetowe mają dostęp do FEIXL-30 ESEM FEG skaningowego mikroskopu elektronowego, gdzie mogą badać próbki owadów w dużym powiększeniu [13].

W Polsce istnieje kilka wirtualnych laboratoriów. Jednym z pierwszych i zaliczanym do czołówki tego typu systemów na świecie jest Laboratorium Wirtualne opracowane w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym [18]. Umożliwia ono

korzystanie poprzez Internet z bardzo drogich urządzeń pomiarowych takich jak: spektrometr NMR, radioteleskop (jeden 32-metrowy w Piwnicach pod Toruniem, drugi w Mexico City), mikroskop elektronowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu, naukowcy znajdujący się poza ośrodkiem badawczym oraz uczeni z mniejszych laboratoriów mogą z nich korzystać. Laboratorium Wirtualne pozwala również na połączenie urządzeń laboratoryjnych z serwerami obliczeniowymi i w ten sposób na stworzenie pełnego scenariusza pomiarowego umożliwiającego przeprowadzenie całego badania w optymalny pod względem czasu i wykorzystanych zasobów sposób [7]. W ramach projektu realizowanego przez Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe, Instytut Chemii Bioorganicznej oraz ACK Cyfronet AGH planowane jest wdrożenie koncepcji Wirtualnego Laboratorium Spektroskopii Magnetycznego Rezonansu.

Inne przykłady to wirtualne laboratorium z napędów i sterowania pneumatycznego – VirtualPneumoLab [4], czy prowadzone w Zakładzie Enorgoelektroniki i Sterowania Politechniki Poznańskiej, Wirtualne Internetowe Laboratorium Energoelektroniki [20].

Należy jednak podkreślić, iż wirtualne laboratoria nie powinny całkowicie zastępować fizycznie istniejących pracowni a jedynie stanowić dopełniającą formę kształcenia. Można tu zastosować koncepcję, która zakłada, że osoba ucząca się najpierw wykona doświadczenie w wirtualnym środowisku, a następnie powtórzy je w realnych warunkach laboratoryjnych.

Symulacje komputerowe i multimedialne materiały dydaktyczne

Wirtualne laboratoria ze względu na koszty są jednak rzadkością. O wiele częściej spotkać można wykorzystanie e-learningu w postaci symulacji procesów technicznych i fizycznych. Na stronach Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH zamieszczone zostały m.in. takie symulacje jak: zjawisko Dopplera, symulacja działania silnika spalinyowego z zapłonem iskrowym, symulator elektrowni jądrowej czy symulator relatywistyczny [19].

Serwis NobelPrize promuje, od dawna lansowaną przez niektórych i dyskutowaną, ideę nauczania i uczenia się przez zabawę (edutainment), udostępniając wirtualne pokoje badań [16]. The IrYdium Project to projekt sponsorowany przez National Science Foundation, a stworzony przez Uniwersytet Carnegie Mellon w 1997 roku. Jest to typowe laboratorium chemiczne, umożliwiające studentom zaobserwowanie zachowania się konkretnych substancji. Dostępnych jest ponad 100 odczynników [15].

Narzędzia e-learningu umożliwiają również wzbogacenie procesu nauczania o multimedialne materiały dydaktyczne w formie rozbudowanych portali internetowych, podręczników multimedialnych czy repozytoriów obiektów nauczania.

Zastosowanie technik multimedialnych do stworzenia materiałów dydaktycznych pozwala na nagranie filmu obrazującego przebieg eksperymentu. Taki materiał ma dużą wartość poznawczą, studenci mogą śledzić przebieg całego eksperymentu, czy nawet wchodzić w interakcje z programem poprzez wybieranie różnych kryteriów przebiegu eksperymentu (rys. 3).

Przykładem multimedialnych podręczników zawierających eksperymenty w formie filmów oraz część teoretyczną i testową są stworzone przez pracowników SGGW e-skrypty dostępne na stronie <http://wyrównajpoziom.sggw.pl>. W ramach projektu „Wyrównaj Poziom”, współfinansowanego przez UE, zostały przygotowane trzy multimedialne podręczniki z fizyki, matematyki i chemii.



Rys. 3. Film przedstawiający doświadczenie otrzymywania tlenku kwasowego [21]

Również Akademia Górniczo-Hutnicza udostępnia wiedzę w formie multimedialnych materiałów dydaktycznych. Materiały te dostępne są na portalu Open AGH, który realizuje koncepcję otwartych zasobów edukacyjnych (OZE) [17].

Otwarte zasoby edukacyjne, OZE (ang. open educational resources) to materiały, które są publicznie dostępne w Internecie, opublikowane wraz z prawem do dalszego wykorzystania (na podstawie tzw. wolnych licencji) i rozwijania w otwarty sposób. Treści udostępniane są zazwyczaj na zasadach licencji Creative Commons, co daje możliwość ich bezpłatnego wykorzystania w celach niekomercyjnych oraz edukacyjnych, a także adaptację gotowych już materiałów do indywidualnych wymagań. Otwarte zasoby edukacyjne występują w formie kursów online, multimediiów, plików źródłowych, zdigitalizowanych kolekcji bibliotecznych, zbiorów muzealnych, itp. OZE tworzą nie tylko materiały, ale także oprogramowanie i narzędzia, systemy licencjonowania, standardy, i najlepsze praktyki [3, 17].

PODSUMOWANIE

Unijny, ale także i światowy priorytet podnoszenia poziomu jakości kształcenia wymaga prawidłowej integracji kompetencji techniczno-informatycznych z pedago-

gicznymi. Wymóg ten dotyczy wszystkich szczebli i form kształcenia, a już szczególnie oczekiwania społeczne adresują go do szkolnictwa wyższego, skupiającego najwyższy potencjał intelektualny, zobowiązany tym samym do dynamicznych postępów w tym zakresie.

Pokolenie studentów urodzonych w dobie Internetu oczekuje od pracowników uczelni umiejętnego i powszechnego stosowania w dydaktyce najnowszych rozwiązań teleinformatycznych. Symulacje komputerowe czy wirtualne laboratoria zdają się te potrzeby zaspokajać. Zastosowanie tych form e-learningu w nauczaniu przedmiotów technicznych wnosi nowe możliwości dydaktyczne i pozwala na podnoszenie poziomu jakości kształcenia inżynierów.

Wirtualne laboratoria i komputerowe symulacje procesów technicznych pozwalają na uzupełnienie, a w niektórych przypadkach na zastąpienie, tradycyjnych laboratoriów dydaktycznych, umożliwiając prowadzenie eksperymentów i badań przy pomocy wirtualnych przyrządów pomiarowych. Dlatego też coraz częściej stanowią one istotny element uzupełniający wiedzę teoretyczną i wspomagający wiedzę praktyczną. Wprowadzenie ich stanowi warunek konieczny dla zapewniania i doskonalenia jakości kształcenia, a także dla obniżania kosztów tego drogiego kształcenia.

BIBLIOGRAFIA

1. Bednarek J., Lubina E.: Kształcenie na odległość. Podstawy dydaktyki. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008, s. 95.
2. Cieślak J.: E-learning, blended learning – wyzwania techniczne, organizacyjne, czy bardziej kulturowe? E-mentor, 4 (16), 2006: 20–24.
3. Grodecka K., Śliwowski L.: Przewodnik po Otwartych Zasobach Edukacyjnych, Koalicja Otwartej Edukacji, 2010. http://koed.org.pl/wp-content/uploads/2010/12/Przewodnik-po-OZE_upgrade.pdf
4. Huścio T., Kuźmierzowski T.: Wirtualne laboratorium z napędów i sterowania pneumatycznego. Heden Media, 2004.
5. Hyla M.: Przewodnik po e-learningu. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2009.
6. Kuciapski M.: E-learning w biznesie. [W:] Wrycza S. (red.) Informatyka ekonomiczna. Podręcznik akademicki, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010, s. 569.
7. Lawenda M.: Laboratorium wirtualne i teleimersja. Raport wewnętrzny PCSS nr RW-34/01, Poznań 2001.
8. National Tele-Immersion Initiative - <http://www.advanced.org/teleimmersion.html>
9. Nicholas P., Fushman D., Ruchinsky V., Cowburn D.: The virtual NMR Spectrometer: a computer program for efficient simulation of NMR experiments involving pulsed field gradients. Journal of Magnetic Resonance, vol. 145, 2, 2000: 262–275.
10. The virtual laboratory: using networks to enable widely distributed collaboratory science, <http://www-itg.lbl.gov/~johnston/Virtual.Labs.html>
11. TIDE: <http://www.evl.uic.edu/scharver/research.htm>
12. Winiecki W.: Wirtualne przyrządy pomiarowe. Prace Naukowe, Elektronika, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.

13. <http://bugscope.beckman.uiuc.edu/>
14. <http://ilab.mit.edu/iLabServiceBroker/>
15. <http://irydium.chem.cmu.edu/>
16. <http://nobelprize.org/educational/>
17. http://open.agh.edu.pl/file.php/1/OPEN_AGH_ulotka.pdf
18. <http://vlab.psnc.pl/vlworks.html>
19. <http://www.ftj.agh.edu.pl/wfitj/java/>
20. <http://www.zeis.edu.pl/wile1.html>
21. <http://wyrownajpoziom.sggw.pl/fizyka/>

THE POSSIBILITY OF USING COMPUTER SIMULATIONS AND VIRTUAL LABORATORIES IN EDUCATION OF ENGINEERS

Summary

The article presents the possibility of using e-learning in the education of engineers. Forms, models and systems of education with the use of ICT have been characterized. The examples of the use of virtual laboratories and computer simulations in teaching technical subjects have been described.

Key words: e-learning, virtual laboratories, computer simulations, engineering studies.

Jerzy Montusiewicz¹

PROJEKTOWANIE I WIZUALIZACJA 3D OGRODÓW PRZYDOMOWYCH W PROGRAMIE AUTOCAD

Streszczenie. W pracy przedstawiono etapy tworzenia fotorealistycznych wirtualnych projektów ogrodów przydomowych przy wykorzystaniu programu AutoCAD. Opisano podstawowe etapy procesu projektowego poczynając od tworzenia planu na płaszczyźnie, modelowania trójwymiarowych obiektów geometrycznych roślin, małej architektury ogrodowej i ciągów komunikacyjnych wraz z ogrodzeniem, mapowania teksturami, wstawiania różnego typu oświetlenia oraz renderowania. Całość rozważań została uzupełniona licznymi ilustracjami pokazującymi zastosowane procedury i narzędzia.

Słowa kluczowe: modelowanie 3D, wizualizacja fotorealistyczna, AutoCAD, ogrody.

WSTĘP

Współczesne programy i techniki komputerowe w obszarze grafiki komputerowej pozwalają efektywnie modelować wiele różnorodnych obiektów rzeczywistych. W pracy podjęto próbę opisanie i uporządkowanie wiedzy dotyczącej projektowania i wizualizacji małych ogrodów znajdujących się wokół jednorodzinnych domów stosując jeden z najpopularniejszych programów do projektowania i modelowania w 2D i 3D – program AutoCAD firmy Autodesk.

Komputerowa wizualizacja trójwymiarowa jest techniką, która łączy w sobie wiele elementów składowych. Po pierwsze – modelowanie trójwymiarowej geometrii obiektów, po drugie – projektowanie materiałów do mapowania powierzchni obiektów, po trzecie – wprowadzanie oświetlenia do trójwymiarowych scen, po czwarte – ustawianie kamer, przez które obserwujemy wirtualną rzeczywistość, oraz po piątą – generowanie dwuwymiarowych obrazów bitmapowych lub filmów prezentujących spacer po scenie. Wykonanie wszystkich etapów prowadzi do uzyskania wizualizacji fotorealistycznej. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik grafiki komputerowej możemy oglądać w realistycznej jakości obiekty, które jeszcze w rzeczywistym świecie nie istnieją.

Na rynku polskim dostępne są programy specjalistyczne do projektowania ogrodów. Wśród programów komercyjnych należy wymienić: Garden Composer 3D [21],

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.
Katedra Informatyki, Wyższa Szkoła Umiejętności w Kielcach.

Wymarzony Ogród [24], SAM ZAPROJEKTUJ Dom, Wnętrze i Ogród [22]. Programy te pozwalają zazwyczaj na projektowanie terenów zielonych wykorzystując własną bazę roślin. Ponadto umożliwia modelowanie topografii terenu oraz wstawianie i edytowanie budynków. Projekt można wyrenderować i obejrzeć jego fotorealistyczną wersję. Wśród programów niekomercyjnych należy wymienić anglojęzyczny program Virtual Garden produkcji BBC [23]. Analizując jednak zdjęcia prezentowane na stronach internetowych wydaje się, że uzyskany stopień wizualizacji nie jest dobrej jakości. Na rynku istnieje również specjalistyczny program Xfrog [25] służący do tworzenia trójwymiarowych modeli różnych typów roślin bardzo wierne odwzorowując ich budowę.

Historia projektowania ogrodów i ich realizacji jest bardzo długa i towarzyszyła ludziom od najdawniejszych czasów. W zasadzie każda kultura i epoka wypracowała swój niepowtarzalny styl. Na polskim rynku dostępnych jest wiele pozycji literatury [5, 16] opisujących różne style architektoniczne i ich odmiany. Na marginesie można wspomnieć o najbardziej znanych typach ogrodów: ogród w stylu wiejskim, angielskim, francuskim, chińskim, czy japońskim.

W czasach współczesnych, dzięki nowoczesnym środkom wymiany informacji, komunikacji i zaawansowanym technologiom stosowanym w ogrodnictwie, nastąpiła era przenikania się różnych stylów i trendów w projektowaniu ogrodów wokół naszych domów. Dotyczy to zarówno formy, jak i ich funkcji. Współczesny mały prywatny ogród znajdujący się wokół jednorodzinnej domu jest jednocześnie miejscem wypoczynku dla jej mieszkańców, pełni funkcję placu zabaw dla dzieci, czy wnuków, umożliwia zorganizowanie przyjęcia okolicznościowego dla większej liczby osób, jest ogrodem zapewniającym jej właścicielom trochę sezonowych owoców oraz kwiaty, zapewnia miłe otoczenie domu izolując go od ulicy i innych domów stojących w sąsiedztwie.

Te rozliczne funkcje, jakie pełni współczesny ogród przydomowy powoduje nagromadzenie w nim wielu różnych obiektów małej architektury. Tak więc w ogrodzie takim możemy wyróżnić takie elementy, jak: ogrodzenie wraz z bramą wjazdową i furtką, ciągi komunikacyjne (dojazd do domu i garażu oraz ścieżki dla pieszych), oczko wodne z wbudowaną fontanną lub ciekim wodnym, skalniak z roślinnością górską, altanę, pergole, miejsce na ognisko lub do grillowania (często ze stacjonarnym wymurowanym grillem), piaskownicę, huśtawki do zabawy, ławeczki i miejsca do siedzenia lub leżakowania, stół ogrodowy, a także liczne elementy oświetleniowe. Oprócz tego w ogrodzie znajdziemy to, co najważniejsze: drzewa, krzewy, krzewinki, rośliny, rabaty oraz trawniki. Z tego krótkiego opisu widać, że przy projektowaniu ogrodów mamy do czynienia z wielką różnorodnością form i kształtów obiektów nieożywionych oraz ożywionych.

W pracy zostaną przedstawione główne etapy procesu projektowania i jego wizualizacji przy użyciu programu AutoCAD. Należy jednak dodać, że sformułowane uwagi metodologiczne mają charakter ogólny i nie są ograniczone tylko do zastosowanego programu.

KOMPUTEROWE PROJEKTOWANIE OGRODÓW – METODOLOGIA

Projektowanie ogrodu jest etapem wielofazowym, dlatego rozpoczęcie prac, które ma doprowadzić do uzyskania trójwymiarowej wizualizacji powinno zostać poprzedzone staranną analizą jego funkcji, zastosowanego stylu (pasującego do charakteru domu) oraz ukształtowania terenu wraz z umiejscowieniem domu oraz garażu. W procesie wykonywania komputerowego projektu ogrodu oraz jego wizualizacji można wyodrębnić następujące etapy działania:

- wykonanie szkicu ogrodu w wersji 2D;
- modelowanie trójwymiarowej topografii terenu działki wraz z bryłami domu i garażu;
- wykonanie ogrodzenia działki wraz z bramą i furtką;
- wykonanie trójwymiarowych modeli geometrycznych obiektów małej architektury ogrodowej;
- przygotowanie modeli roślin i drzew;
- mapowanie obiektów geometrycznych przygotowanymi teksturami i bitmapami;
- wprowadzenie oświetlenia do trójwymiarowych scen;
- wykonanie zestawu renderingu zaprojektowanego ogrodu.

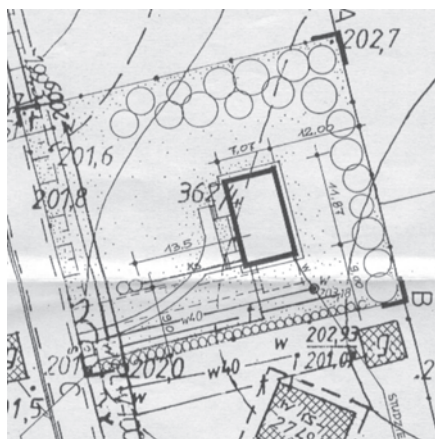
Aby efektywnie wykorzystać komputerowe wspomaganie w projektowaniu należy na początku dobrze zrozumieć specyfikę programu oraz działanie dostępnych w nim narzędzi. To zagadnienie przedstawiałem szerzej w pracach [1, 9, 12, 13, 14]. Podstawą racjonalnego działania jest przygotowanie elektronicznego arkusza z predefiniowanymi warstwami, na których będą tworzone obiekty o tym samym charakterze lub właściwościach. W programie AutoCAD warstwy są szczególnie przydatne na etapie przyłączania tekstur w celu uzyskania fotorealistycznego wyglądu ogrodu. Na rysunku 2.1. pokazano zdefiniowane warstwy, które posłużą do wykonania projektu. Gdy kompletujemy na jednym rysunku wszystkie elementy składowe ogrodu i działki, zdefiniowane warstwy są również przenoszone. Obiekty projektu można przenosić między warstwami, a warstwy nie zawierające żadnych obiektów usunąć.

Stan	Nazwa	Widoczność	Blokada	Zamknięcie	Kolor	Rodzaj linii	Szerokość linii
	0				biały	CON...OUS	0,40 mm
	Alejki				8	CON...OUS	0,30 mm
	Budynek				bl...ny	CON...OUS	0,60 mm
	DEF...NTS				biały	CON...OUS	Standard
	Ogr...slup				ni...ki	CON...OUS	0,30 mm
	Ogr...odul				ni...ki	CON...OUS	0,30 mm
	Podjazdy				fio...y	CON...OUS	0,30 mm
	Rośliny-g.				36	CON...OUS	0,30 mm
	Rośliny-k.				cz...ny	CON...OUS	0,30 mm
	Rośliny-l.				zi...ny	CON...OUS	0,30 mm

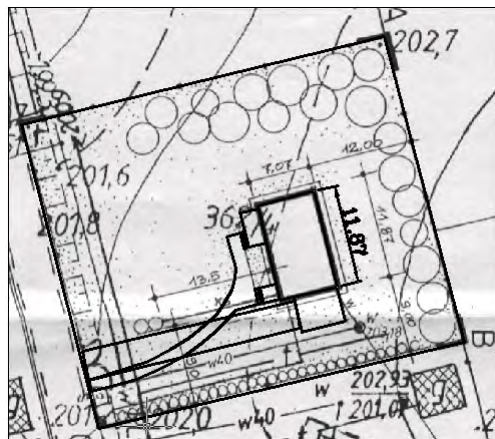
Rys. 2.1. Zdefiniowane warstwy w arkuszu do projektowania ogrodu 3D

Dwuwymiarowy szkic ogrodu

Do szybkiego wykonania dwuwymiarowego szkicu ogrodu najlepiej wykorzystać posiadaną mapę terenu do celów budowlanych przygotowaną przez geodetę. Taką mapę należy oczywiście zeskanować aby uzyskać jej obraz cyfrowy, a następnie wprowadzić do programu AutoCAD jako obraz rastrowy (rys. 2.2). To zagadnienie było szerzej opisywane w pracach [3, 15]. Tak wprowadzony obraz bitmapowy będzie pełnił funkcję podkładu (tła), nad którym będziemy mogli, stosując już narzędzia grafiki wektorowej, tworzyć swoje obiekty (rys. 2.3). Widząc na podkładzie to, co na nim jest, znacznie szybciej można przenieść na arkusz komputerowy interesujące nas obiekty (pamiętać przy tym musimy aby wprowadzony podkład odpowiednio przeskalować, co zapewni nam projektowanie we właściwej skali).



Rys. 2.2. Przykładowy bitmapowy podkład mapy działki



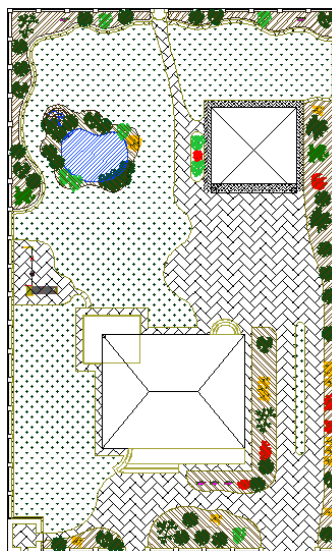
Rys. 2.3. Wrysowane obiekty wektorowe 2D zgodnie z tym co widać na mapie

Obecnie opracowuje się mapy do celów projektowych w wersji elektronicznej. Przykład fragmentu takiej mapy pokazano na rysunku 2.4. Nie jest to jednak mapa bitmapowa powstająca w procesie skanowania tradycyjnej mapy, lecz mapa wykonana w technologii grafiki wektorowej w programie AutoCAD, co umożliwia projektantowi bezpośredni dostęp do wszystkich obiektów znajdujących się na niej.

Na rysunku 2.5 przedstawiono przykładowy plan zagospodarowania działki, który zawiera między innymi takie obiekty, jak: dom, garaż, ogrodzenie, oczko wodne, ciągi komunikacyjne, skalniaki, rośliny umieszczone wzdłuż ogrodzenia. Zastosowanie różnych wzorów kreskowania pozwala rozróżnić przeznaczenie poszczególnych obszarów działki.



Rys. 2.4. Przykład fragmentu cyfrowej mapy projektowej w programie AutoCAD



Rys. 2.5. Przykładowy plan zagospodarowania działki [8]

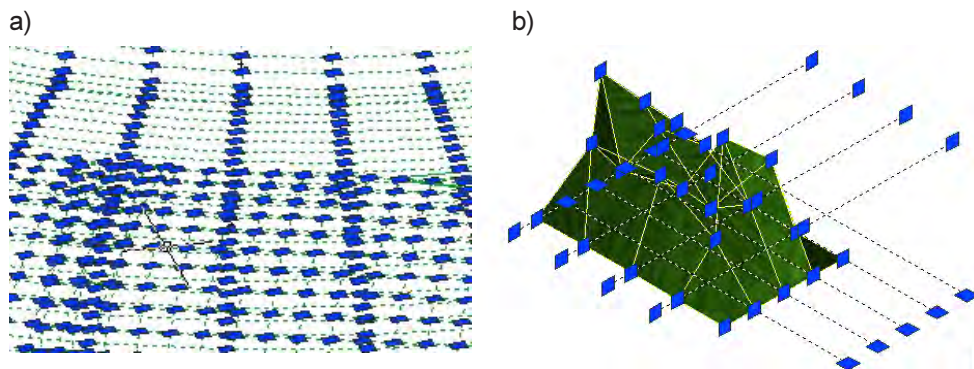
TRÓJWYMIAROWE MODELOWANIE OBIEKTÓW OGRODOWYCH I ROŚLIN

Przystępując do modelowania obiektów trójwymiarowych znajdujących się na działce należy przyjąć zasadę, że na głównym arkuszu rysunkowym będziemy tworzyli jego topografię, ogrodzenie wraz z bramą wjazdową oraz furtką, a także umieścimy miejsce posadowienia głównych budynków (domu i garażu) oraz ciągi komunikacyjne. Elementy drobnej architektury ogrodowej należy modelować na osobnych arkuszach. Takie rozwiązanie spowoduje, że nasza praca będzie bardziej efektywna i nie będzie ponad miarę obciążać komputera.

Modelowanie trójwymiarowej topografii terenu działki

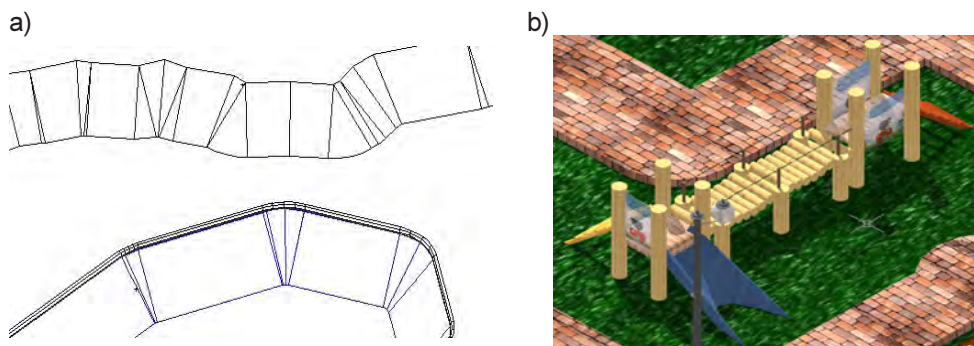
Tworzenie topografii terenu jest czynnością dość żmudną i wymaga precyzyjnego działania projektanta. Podstawy teoretyczne dotyczące modelowania powierzchni można znaleźć w pozycji [10]. Program AutoCAD posiada rozbudowane narzędzia do tworzenia różnych typów powierzchni trójwymiarowych (prostokreślne, obrotowe, walcowe, krawędziowe lub siatki), ponadto proces modelowania można rozpocząć od wybrania jednego z *prymitywu* powierzchniowego (np. kopuła). Przyjęta do modelowania powierzchnia wyjściowa podlega oczywiście procesowi edycji, dzięki czemu poprzez przemieszczanie węzłów modelerów opisujących analizowaną powierzchnię możemy uzyskać pożądany kształt [2, 17]. Na rysunku 3.1a pokazano powierzchnie z ujawnio-

nymi uchwytami, które można przemieszczać. Widoczne siatki nachodzą na siebie, ale po wykonaniu oglądu z liniami ukrytymi uzyskana powierzchnia jest gładka. Na rysunku 3.1b pokazano przemieszczenia węzłów siatki pierwotnej. Gęstość generowanej siatki definiowana jest przez podanie parametrów *Surftab1* oraz *Surftab2*.



Rys. 3.1. Przykład modelowania powierzchni: a) poprzez edycję powierzchni obrotowej, ogląd krawędziowy; b) poprzez edycję wygenerowanych siatek, ogląd cieniowany z ujawnionymi liniami siatki

Wybrane obiekty topografii działki można również tworzyć używając modeli bryłowych. Modelowanie brył opiera się na wykorzystaniu istniejących *prymitywów* bryłowych (np. klin, kula), a przede wszystkim brył powstających poprzez wyciągnięcie lub przekroczenie zamkniętego konturu płaskiego zamienionego na obiekt typu *region*. Metoda wyciągania jest bardzo praktyczna przy modelowaniu ciągów komunikacyjnych, pozwala bowiem na nadanie pewnej grubości takiemu obiektowi i umieszczenie go powyżej terenu odzwierciedlającego np. trawnik (tak jak jest to w rzeczywistości), (rys. 3.2). Istniejące w programie AutoCAD narzędzia do edytowania brył (np. fazowa-

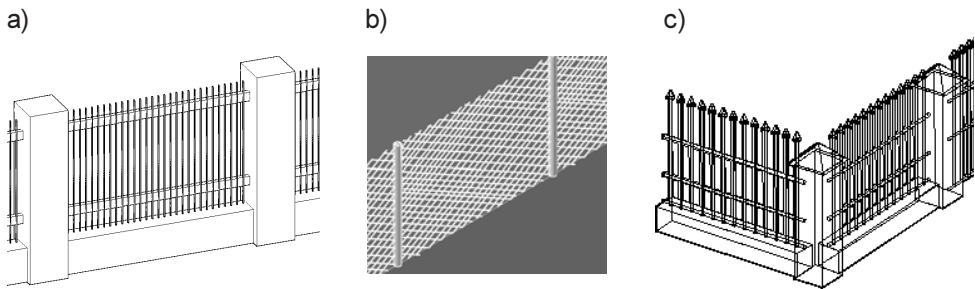


Rys. 3.2. Przykłady modelowania poprzez procedurę wyciągania: a) skarpa i dół na staw – wyciągnięcie ze zdefiniowaną zbieżnością [11], ogląd krawędziowy; b) ciąg komunikacyjny, ogląd po renderingu [7]

nie, zaokrąglanie, przesuwanie i obrót powierzchni ograniczających bryły, czy metauchwyty) pozwalają na skuteczne przekształcanie ich i nadanie im odpowiedniego kształtu.

Wykonanie ogrodzenia działki

Ogrodzenie jest elementem budowlanym o modułowej konstrukcji. Dotyczy to zarówno skali makro, gdzie wyodrębniamy słupki o różnej konstrukcji i przęsła mocowane między nimi, a także w skali mikro, ponieważ przęsła mają wiele elementów identycznych (różniących się czasami długością), a słupki często składają się z powtarzających się bloków. Jedynie brama i furtka wyraźnie odznaczają się wizualnie od reszty ogrodzenia. Ale i w nich można znaleźć powtarzalność w skali mikro. Dzięki modułowej konstrukcji ogrodzenia jego modelowanie trójwymiarowe nie jest zbyt pracochłonne. Należy starannie wymodelować jeden słupek oraz jedno przęsło, a następnie korzystając już z gotowych obiektów wykonać model skrzydeł bramy i furtki. Sytuacja modelowania ogrodzenia zmienia się nieznacznie gdy teren nie jest płaski, lecz pochyły. Wtedy w niektórych przypadkach przęsła ogrodzenia należy indywidualnie dopasować do pochylenia terenu. Program AutoCAD ma odpowiednie narzędzia, które pomogą przekształcić istniejące przęsło (np. szyk prostokątny z definicją kąta pochylenia linii kopiowania).



Rys. 3.3. Przykładowe modele 3D elementów ogrodzenia: a) murki i przęsła, ogląd z liniami ukrytymi [8], b) słupki i siatka, ogląd cieniowany [6], c) murki i przęsła, ogląd krawędziowy [18]

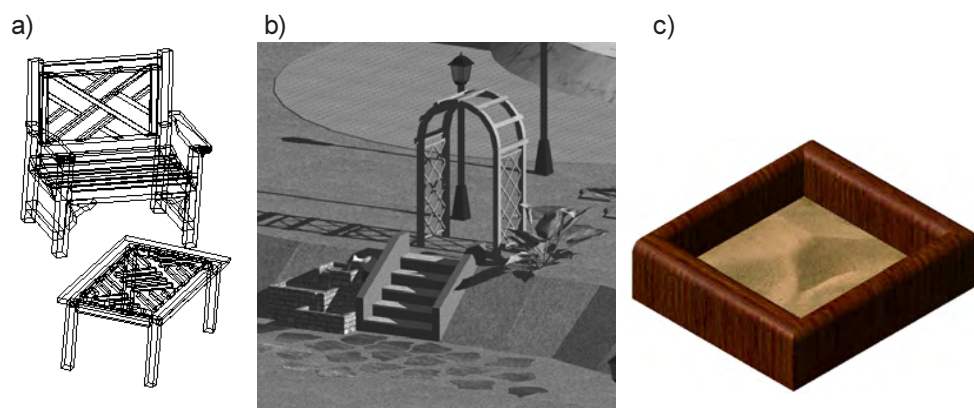
W procesie projektowania ogrodzenia należy sobie zdawać sprawę z faktu, że wstawienie wszystkich przęseł do tworzonego rysunku może spowodować skokowy wzrost objętości pliku co w znaczący sposób spowolni pracę projektanta. Wynika to z faktu, że pełne ogrodzenie zawiera bardzo dużą liczbę geometrycznych obiektów i przeliczanie ich bazy wektorowej wymaga szybkich procesorów i dużych pamięci operacyjnych. Dobrym praktycznym rozwiązaniem w tej sytuacji jest utworzenie dwóch warstw do przechowywania ogrodzenia działki, pierwszej do umieszczenia bramy, furtki i jednego przęsła ze słupkiem, zaś drugiej do przechowywania wszystkich pozostałych elementów ogrodzenia. Narzędzia służące do zarządzania warstwami arkusza rysunkowego pozwala na wygaszenie niepotrzebnej warstwy oraz do jej zamrożenia. Zamrożenie

warstwy powoduje, że baza wektorowa obiektów znajdujących się na tej warstwie nie jest przeliczana przez procesor komputera, co znacząco odciąża jego obciążenie.

Wykonanie modeli 3D obiektów małej architektury ogrodowej

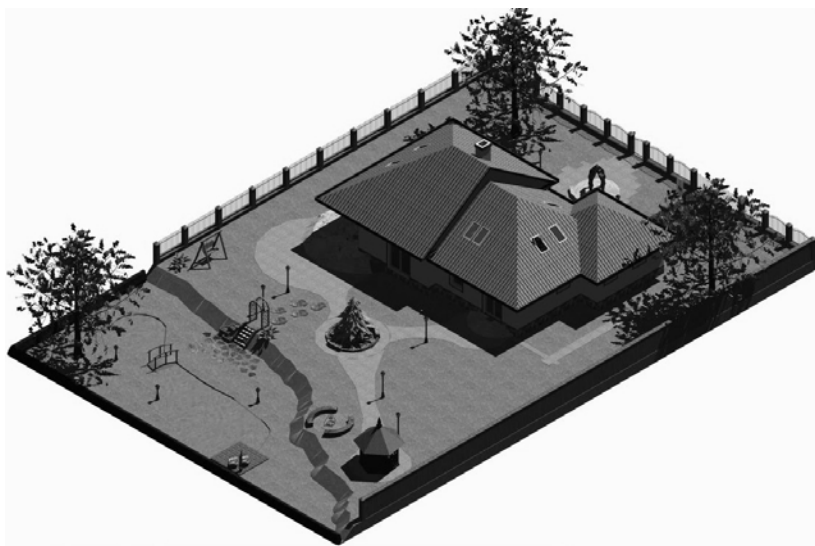
W procesie projektowania poszczególnych obiektów małej architektury ogrodowej należy uwzględnić ich specyfikę geometryczną. Staranna analiza ich kształtu pozwala odkryć elementy powtarzające, występujące osie symetrii, a na koniec optymalnie dobrać narzędzia do ich modelowania.

Z praktycznego punktu widzenia wygodnie jest utworzyć nowe arkusze rysunkowe do projektowania poszczególnych obiektów definiując jednak odpowiednie warstwy, na których będą one przechowywane. Dzięki temu praca będzie szybsza i łatwiejsza.



Rys. 3.4. Przykładowe modele 3D obiektów małej architektury ogrodowej, a) zestaw wypoczynkowy *CUBA* [20], ogląd krawędziowy; b) pergola, schody i ciek wodny [11], c) piaskownica [7]; oglądy po renderingu

Gotowe wymodelowane obiekty będą następnie przeniesione na rysunek główny projektowanego ogrodu. Można to uczynić na dwa sposoby. Pierwszy polega na definiowaniu z obiektu tzw. bloku zewnętrznego i umieszczaniu go w odpowiednim miejscu ogrodu wykorzystując zdefiniowany punkt bazowy oraz punkty wskazujące przez lokalizację precyzyjną. Polecenie wstaw blok pozwala przy umieszczaniu obiektów dokonywać jego skalowania oraz obrotu. Takie działania znacznie upraszczają proces tworzenia kompletnego projektu. Drugi sposób polega na przeniesieniu zaznaczonych obiektów przez schowek. Obie metody powodują, że w głównym rysunku oprócz wstawiania obiektów przenoszone są również zdefiniowane w nich warstwy. Jeśli istnieje taka potrzeba, na koniec montażu ogrodu, można poprzemścić obiekty na wybrane warstwy, a warstwy puste usunąć z rysunku.



Rys. 3.5. Przykład trójwymiarowego zmontowanego zagospodarowania działki [11],
ogląd po renderingu

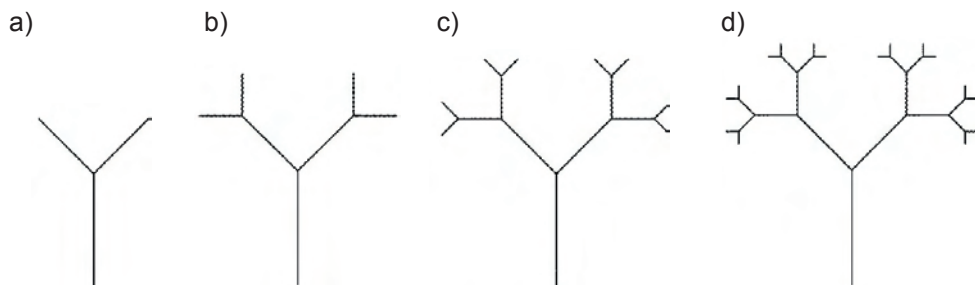
Przygotowanie modeli roślin i drzew

Rośliny są obiektami, które najbardziej wpływają na końcowy charakter projektowanego ogrodu. W ich budowie można wyodrębnić wiele powtarzających się elementów, występują grupy elementów o przybliżonym samopodobieństwie. Te cechy ich budowy spowodowały, że do ich tworzenia zastosowano obiekty grafiki fraktalnej. Obiekty fraktalne w pamięci komputera zapisane są w postaci procedury rekurencyjnej. Procesor przelicza procedurę wielokrotnie generując nowe elementy tworzonego obiektu.

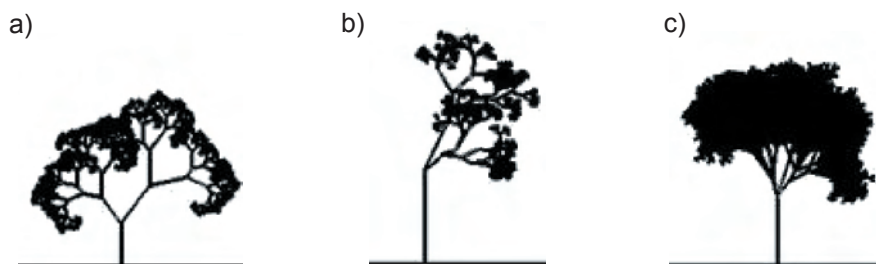
Poniżej pokazano ideę generowania fraktalnych drzew poprzez wykorzystanie tzw. system Lindemayera polegającego na zastosowaniu zestawu reguł produkcji gramatyki formalnej służący do tworzenia graficznych tworów o fraktalnej budowie [15]. Początkiem tworzenia fraktalnego drzewa jest następujący *przepis*:

- weź „igrekę”,
- zastąp jego górne kreski trochę mniejszymi „igrekami”,
- w otrzymanym rysunku zrób to samo, zastąp każdą górną kreskę proporcjonalnie pomniejszonym „igrekami”.

Efekt tych działań można obejrzeć na rysunku 3.6. Drzewo tak wygenerowane wygląda bardzo prymitywnie i przypomina bardziej rysunki wykonane przez przedszkolaków niż obrazy wygenerowane przez zaawansowany technologicznie system komputerowy. Jeżeli jednak wprowadzimy zdefiniowaną losowość na długość kreślonej gałęzi, kąt rozwarcia gałęzi (rozłożystość gałęzi), liczbę rozgałęzień to uzyskujemy wręcz zaskakujący rezultat (rys. 3.7).

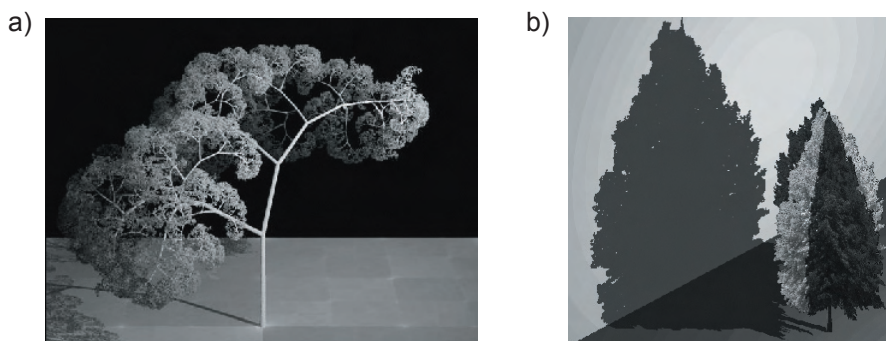


Rys. 3.6. Etapy tworzenia drzewa przy zastosowaniu systemu Lindemayera



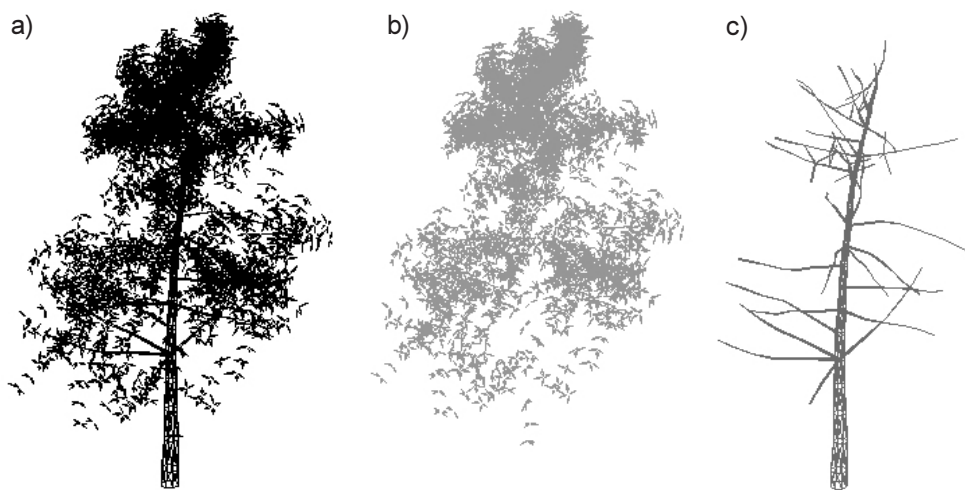
Rys. 3.7. Drzewa wygenerowane przy wprowadzeniu losowości do systemu Lindemayera: a) zmienna długość kreślonej krawędzi, b) dodatkowo zmienny kąt rozwarcia, c) dodatkowo zmienna liczba rozgałęzień

Programy komputerowe potrafią również sprawnie generować przestrzenne rośliny będące obiektami grafiki fraktalnej (rys. 3.8a), lub rośliny płaskie, które można wstawiać w dwu przecinających się prostopadłe płaszczyznach (rys. 3.8b). Drzewa i rośliny fraktalne w procesie renderowania sceny rzucają cień oraz odbijają się w powierzchniach lustrzanych.



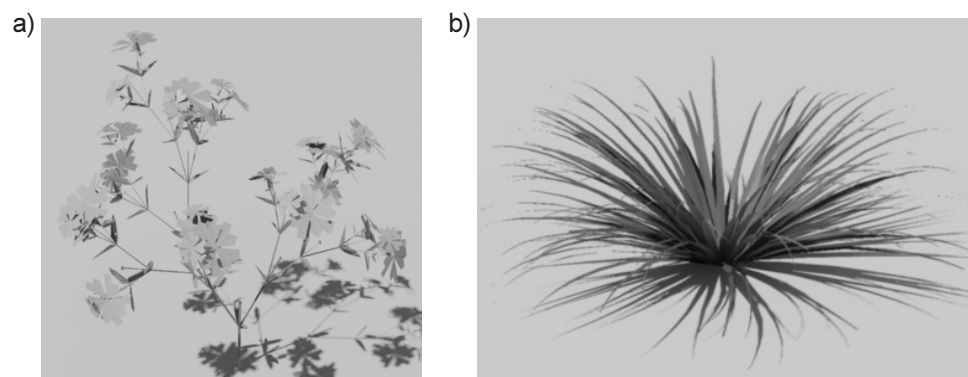
Rys. 3.8. Wygenerowane komputerowo obiekty fraktalne: a) drzewo przestrzenne [20], b) drzewo wstawione w dwu przecinających się płaszczyznach w programie AutoCAD

Inny sposób tworzenia roślin to modelowanie ich jako obiekty wektorowe poprzez zastosowania modelowania bryłowego, bądź powierzchniowego. Można także wykorzystać istniejące modele roślin znajdujące się w zasobach internetowych [20]. Znajdujące się tam obiekty często występują jako bloki zewnętrzne (pliki z rozszerzeniem .dwg), które należy rozbić aby można było je przekształcać, a przede wszystkim przenieść ich elementy na stosowne warstwy, np. łodygi, liście, kwiaty (rys. 3.9).



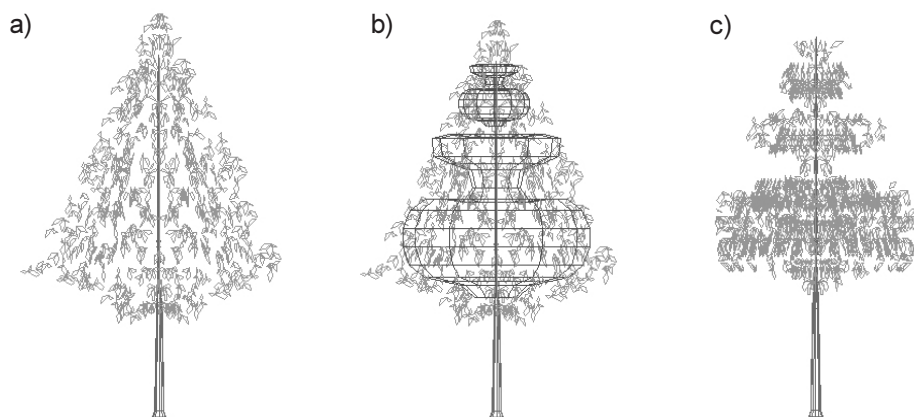
Rys. 3.9. Drzewo [20]: a) jako blok, b) i c) po rozbiciu i przeniesieniu na warstwy *Rośliny-l* oraz *Rośliny-g*

Dzięki temu będzie można poprzez dołączenie materiałów uzyskiwać fotorealistyczny wygląd roślin – stosownie do ich charakteru i pory roku (np. zielone lub żółte liście, czerwone lub żółte kwiaty).



Rys. 3.10. Przykładowe rośliny 3D po renderingu a) azalia, b) trawa ozdobna [8]

Projektowanie ogrodów w technice komputerowej pozwala również na wirtualne przycinanie drzew i roślin, aby uzyskać pożądany kształt. Na rysunku 3.11 pokazano przykład kształtowania drzewa w stylu japońskim. W przypadku modelowania drzew jako obiekty bryłowe można procedurę przycinania roślin zautomatyzować poprzez zastosowanie działań na zbiorach wykorzystując arytmetykę Boole'a.



Rys. 3.11. Przykład wirtualnego przycinania drzewa a) drzewo podstawowe, b) drzewo i forma przycinania, c) końcowy rezultat

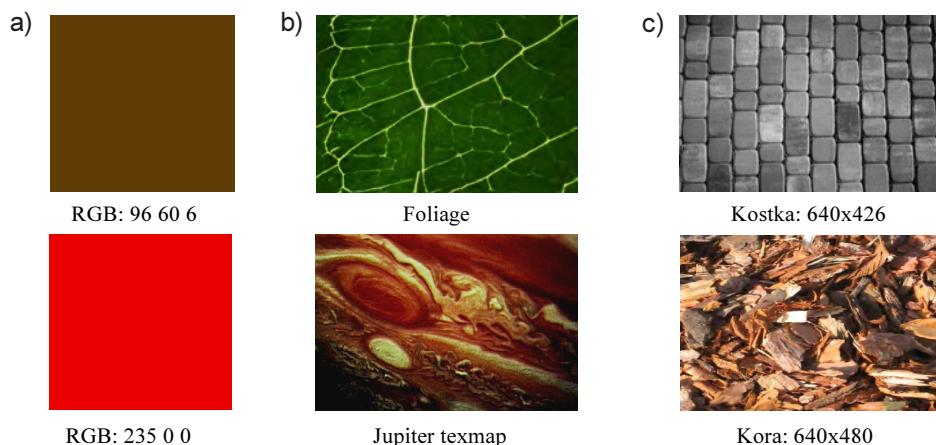
WIZUALIZACJA OGRODÓW

Uzyskanie fotorealistycznej wizualizacji trójwymiarowej wymaga dołączenia do powierzchni obiektów geometrycznych tekstur oraz materiałów imitujących rzeczywiste pokrycia, a także wprowadzenia do sceny oświetlenia, które pozwoli na wyeksponowanie szczegółów architektonicznych oraz roślin. Końcowym etapem jest wykonanie renderingu opracowanych scen, w wyniku którego otrzymamy obrazy dwuwymiarowe będące odpowiednikiem cyfrowych zdjęć.

Opracowanie tekstur i bitmap

Program AutoCAD posiada bogatą własną bibliotekę materiałów do pokrywania obiektów 3D. Materiały z biblioteki należy przyłączyć do tworzonego projektu, a następnie można je edytować nadając odpowiednie wartości ich atrybutom, np. można zmieniać ich przezroczystość, gładkość i chropowatość (co decyduje o sposobie odbijania i rozpraszania padających promieni oświetlenia). Oprócz tego program pozwala na wykorzystywanie innych materiałów: projektowanych indywidualnie w środowisku programu AutoCAD, tworzonych w programach do obróbki obiektów grafiki bitmapowej oraz pozyskiwanych ze zdjęć cyfrowych. Ta różnorodność przyłączanych mate-

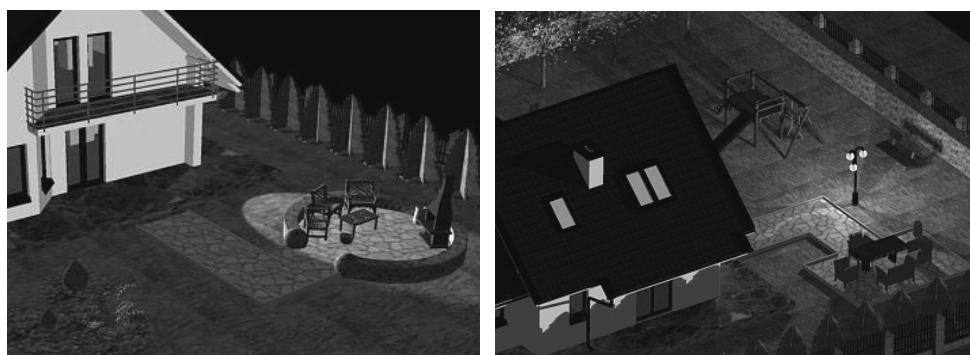
riałów do wirtualnych obiektów znajdujących się na scenie programu zapewnia wierność w odzwierciedleniu ich rzeczywistego charakteru. Na rysunku 4.1 pokazano przykłady materiałów pochodzących z różnych źródeł.



Rys. 4.1. Przykładowe materiały, a) kolory, parametry kanału czerwonego, zielonego oraz niebieskiego; b) materiały z biblioteki AutoCAD; c) zdjęcia w formacie *.jpg*, rozmiary plików w pikselach

Wprowadzenie oświetlenia do wirtualnej sceny

Uzyskanie właściwego poziomu fotorealistyczności renderowanej sceny możemy osiągnąć dopiero po wprowadzeniu odpowiedniego oświetlenia[4, 19]. Najczęściej w scenie umieszczamy światło odległe, które wysyłając równoległą wiązkę promieni imituje oświetlenie pochodzące od słońca. Ponadto wprowadzamy światło punktowe – w tym przypadku promienie rozchodzą się we wszystkich kierunkach (podobnie jak w przypadku klasycznej żarówki) oraz światło typu reflektor emitujące stożek świetlny.

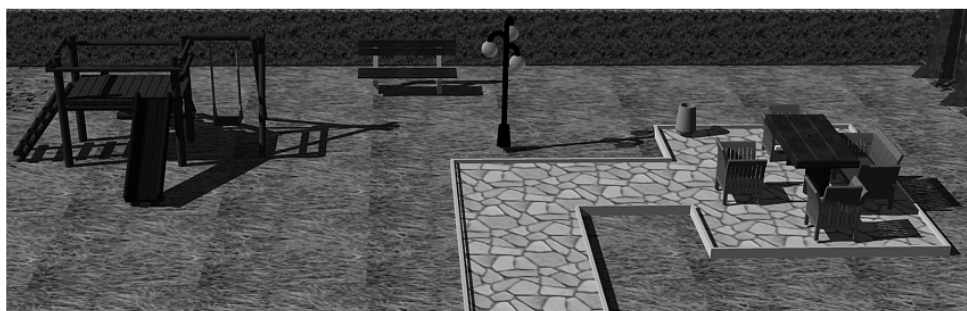


Rys. 4.2. Przykłady wyglądu ogrodów w porze nocnej [18], ogląd po renderingu

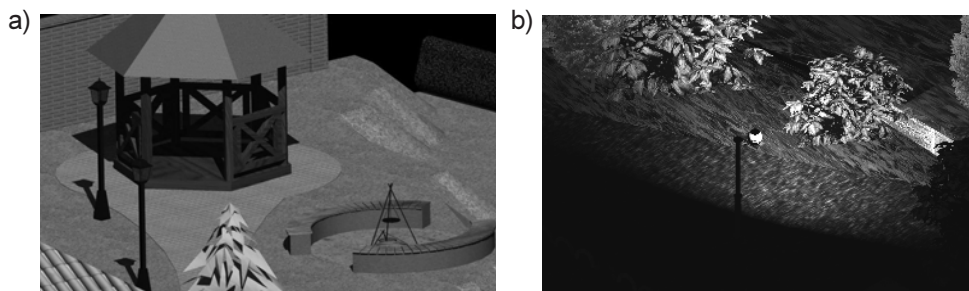
Wprowadzonym źródłom światła możemy nadać indywidualne wartości ich atrybutom, np. kolor, natężenie, tłumienie, generowanie cienia. Te wszystkie działania umożliwiają uzyskanie niepowtarzalnego charakteru wygenerowanego obrazu ze sceny. Na rysunku 4.2 pokazano wygląd domu i ogrodu w porze nocnej przy włączeniu zaprojektowanego oświetlenia.

Wykonanie renderingów ogrodu

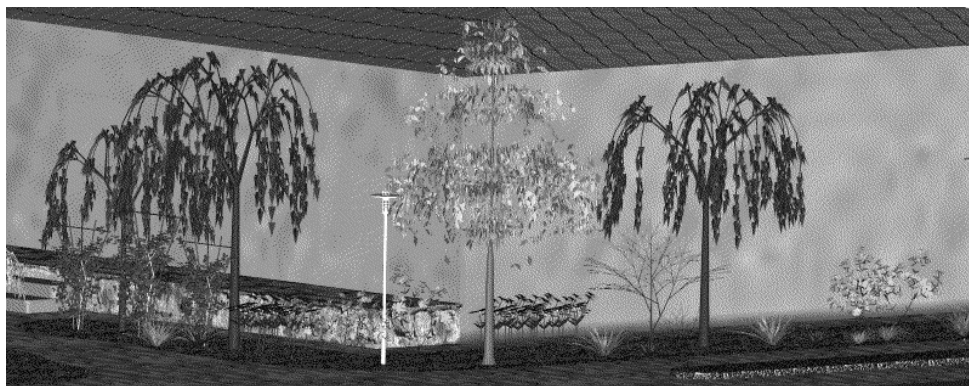
Proces renderowania ogrodu jest ostatnim etapem tworzenia fotorealistycznych wizualizacji. Renderowanie jest czasochłonnym procesem obliczeniowym, dzięki któremu uzyskujemy cyfrową fotografię z zaprojektowanej sceny trójwymiarowej. W procesie renderowania uwzględniane są wszystkie typy obiektów umieszczone na scenie: obiekty geometryczne, tekstury, bitmapy, obiekty fraktalne, tło oraz światła. Ponadto uwzględniane są takie zjawiska, jak: tłumienie światła, przezroczystość, efekty wolumetryczne (np. mgła), rzucanie cieni. Na uzyskaną jakość obrazu końcowego mają wpływ liczne czynniki, między innymi: metoda renderowania, sposób generowania cienia, metoda próbkowania, metoda antyaliasingu, sposób wygładzania obiektów, parametry tekstur oraz rozmiar generowanej bitmapy. Na rysunku 4.3 i 4.4 przedstawiono wirtualne przykładowe fragmenty projektów ogrodów wokół domu.



Rys. 4.3. Projekt części rekreacyjnej ogrodu [18], ogląd po renderingu



Rys. 4.4. Projekty ogrodów: a) część rekreacyjna [11], ogląd po renderingu; b) część roślinna przy oświetleniu lampą [7]



Rys. 4.5. Projekt części roślinnej ogrodu, ogląd po renderingu

PODSUMOWANIE

Projektowanie trójwymiarowych ogrodów przydomowych jest poważnym wyzwaniem dla grafika komputerowego ze względu na złożoność procesu modelowania, różnorodność obiektów oraz dużą liczbę szczegółów. To wszystko wymaga od projektanta gruntownego poznania zarówno poleceń do modelowania obiektów 3D, jak i sprawnego operowania narzędziami do tworzenia tekstur, mapowania, projektowania oświetlenia i renderowania.

Zastosowany program AutoCAD jest programem uniwersalnym i doskonale nadaje się do tworzenia fotorealistycznych projektów trójwymiarowych. Od kiedy firma Autodesk wykupiła takie programy jak Softimage oraz 3ds max narzędzia oraz zastosowany interface są coraz bardziej przychylne użytkownikowi. Należy jednak dodać, że ze względu na dużą liczbę obliczeń obiektów opisanych w grafice wektorowej sprawność procesu projektowania jest w dużej mierze uzależniona od posiadanego zestawu komputerowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Allen L., Onstott S.: AutoCAD: Professional Tips and Technique. Wiley Publishing Inc., Canada 2007.
2. Aubin P.: Mastering AutoCAD Architecture 2010. Concept Publishing Co. 2009.
3. AutoCAD w architekturze krajobrazu – wprowadzenie. Praca zbiorowa. Wyd. SGGW, Warszawa 2006.
4. Bim J.: Cyfrowe oświetlenie i rendering. Wyd. Helion, Gliwice 2007.
5. Brookes J.: Projektowanie ogrodów. Wyd. Wiedza i Życie, Warszawa 2009.
6. Durlik M.: Wizualizacja trójwymiarowa rzeczywistego drewnianego domku jednorodzinnego i jego otoczenia. Praca inż., promotor J. Montusiewicz, WSU, Kielce 2010.

7. Jamorska-Tuśnio E.: Komputerowe projektowanie dziecięcych placów zabaw. Praca inż., promotor J. Montusiewicz, WSU, Kielce 2010.
8. Jaszczuk M.: Trójwymiarowe modelowanie przydomowych ogrodów z wykorzystaniem programu AutoCAD. Praca inż., promotor J. Montusiewicz, PL, Lublin 2011.
9. Kania L.: Podstawy programu AutoCAD – modelowanie 3D. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
10. Kiciak P.: Podstawy modelowania krzywych i powierzchni, zastosowania w grafice komputerowej. Wyd. WNT, Warszawa 2005.
11. Koźbial M.: Trójwymiarowa wizualizacja domku jednorodzinnego. Praca inż., promotor J. Montusiewicz, WSU, Kielce 2009.
12. Matthews B.: AutoCAD 2000 3D f/x. Wyd. The Coriolis Group 2000.
13. Montusiewicz J.: Metodologia nauczania komputerowego modelowania trójwymiarowego. [W:] Świć A. (red.): Systemy informatyczne w kształceniu technicznym, Monografia, Societas Scientiarum Lublinensis, Lublin 2005: 78–83.
14. Montusiewicz J., Drapała R.: Uwagi metodologiczne do trójwymiarowego modelowania stolarki budowlanej. *Postępy Nauki i Techniki*, 1, 2007: 92–100.
15. Montusiewicz J.: Rozważania o grafice komputerowej. [W:] Skuza K. (red) Dwie dekady polskiej transformacji, wyd. WSU im. S. Staszica w Kielcach, Kielce 2011 (w druku).
16. Newbury T.: Sztuka projektowania ogrodów. Wyd. Elipsa, Warszawa 2008.
17. Pikoń A.: AutoCAD 2010. Wyd. Helion, Gliwice 2010.
18. Pliżga K.: Projekt wizualizacji nowo budowanego domu dwurodzinnego i jego otoczenia w programie AutoCAD. Praca inż., promotor J. Montusiewicz, PL, Lublin 2011.
19. Rydlewicz M., Babicki M.: Architektura 2000: Wizualizacja fotorealistyczna w środowisku AutoCAD R14/2000, HELION, Gliwice 2000.
20. www.cben.net: modele roslin
21. www.dobreprogramy.pl/Garden-Composer
22. www.dobreprogramy.pl/SAM-ZAPROJEKTUJ-Dom-Wnetrze-i-Ogrod,Program,Windows,12466.html
23. www.dobreprogramy.pl/Virtual-Garden,Program,Windows,11707.html
24. www.dobreprogramy.pl/Wymarzony-Ogrod,Program,Windows,11858.html
25. www.designer-info.com/3D/xfrog.htm

DESIGN AND 3D VISUALISATION OF HOME GARDEN USING THE AUTOCAD PROGRAM

Summary

The study shows the stages of creating photorealistic virtual projects of home gardens by means of the AutoCAD program. The basic stages of the design process are shown, beginning with the creation of a layout on a plain, modelling 3D geometrical objects of plants, small-scale garden architecture and communicational routes together with fencing, as well as mapping with texture, including various types of lighting and rendering. The discussion is accompanied by numerous illustrations showing the applied procedures and tools.

Keywords: 3D modeling, photo-realistic visualisation, AutoCAD, garden.

Marcin Barszcz¹, Mykhaylo Pashechko¹

WYKORZYSTANIE PROGRAMU MATHCAD DO ROZWIĄZYWANIA ZAGADNIĘĆ INŻYNIERSKICH NA PRZYKŁADZIE KONSTRUKCJI KRATOWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania programu Mathcad do rozwiązywania wybranych zagadnień ze zbioru zadań z mechaniki technicznej lub wytrzymałości materiałów. Pokazano przykład wyznaczania sił w prętach oraz reakcje podpór konstrukcji kratowej (kratownicy płaskiej) metodą Rittera i metodą równoważenia węzłów. Zauważono, że narzędzie to znacznie ułatwia proces rozwiązywania zagadnień oraz umożliwia szybkie przeanalizowanie zachowania się danej konstrukcji przy różnych obciążeniach.

Słowa kluczowe: Mathcad, mechanika techniczna, kratownice, obliczenia inżynierskie.

WPROWADZENIE

Ciągły rozwój nauk technicznych, a w szczególności branży mechanicznej, budowlanej i elektronicznej spowodował znaczący rozwój techniki komputerowej. Co z pewnością pozytywnie wpływa na pracę inżynierów, konstruktorów i projektantów.

Obecnie głównym wymogiem pracy jest czas wykonania zleconego zadania, a dokładniej minimalny czas jego wykonania przy maksymalnej dokładności i precyzji. Niezbędne stało się więc opracowanie nowoczesnych narzędzi usprawniających pracę. Niezastąpionym narzędziem okazało się oprogramowanie typu CAD. Praca na tego typu programach w szczególności polega na opracowaniu dokumentacji konstrukcyjnej, analizy kinematycznej, wytrzymałościowej oraz wielu innych zagadnień związanych z powstawaniem projektu gotowego wyrobu. Dla inżynierów praca na tego typu programach ma niezwykle istotne znaczenie, gdyż umożliwia „dialog” między twórcą konstrukcji technicznych, a jej wykonawcą.

Spśród wielu programów komputerowych wspomagających rozwiązywanie różnego rodzaju zagadnień Mathcad wyróżnia się względną prostotą, wykazując przy tym pewną ogólność. Oczywiście program ten nie zawsze jest doskonały i czasami sprawia trudności przy rozwiązywaniu niektórych zagadnień. Jednak w procesie kształcenia jest wyśmienitym narzędziem, które może nam posłużyć między innymi do rozwiązywania zadań prezentowanych w zbiorach z mechaniki ogólnej.

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

MOŻLIWOŚCI PROGRAMU MATHCAD

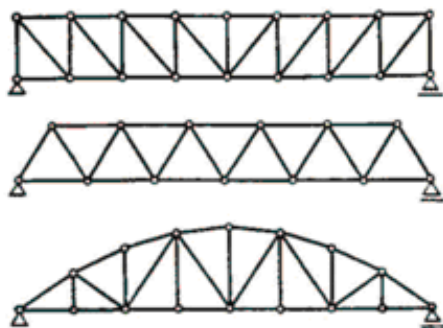
Mathcad jest programem komputerowym umożliwiającym wykonywanie prostych oraz bardzo skomplikowanych obliczeń inżynierskich. Daje również możliwość tworzenia dokumentacji technicznej w postaci dokumentu tekstowego wzbogaconego o wykresy i rysunki. Korzystają z niego miliony użytkowników w ponad 50 krajach. Środowisko programu umożliwia inżynierom efektywne wykorzystanie jego możliwości, na każdym etapie projektowania. Do jego zalet możemy zaliczyć: łatwość obsługi, naturalny zapis wszystkich wzorów, możliwość tworzenia wykresów 2D i 3D oraz przejrzyste przedstawienie danych (w postaci wzorów i tekstu). Poniżej podano wybrane możliwości programu:

- rozwiązywanie równań i nierówności liniowych i nieliniowych,
- rozwiązywanie układów równań,
- operacje na wektorach i macierzach,
- obliczenia pochodnych i granic,
- rachunek całkowy i różniczkowy,
- wykonywanie obliczeń numerycznych,
- wykonywanie obliczeń symbolicznych,
- obliczenia rozkładu prawdopodobieństwa i funkcji statystycznych,
- tworzenie wykresów funkcji jednej i dwu zmiennych,
- programowanie obliczeń,
- korzystanie z jednostek i miar,
- tworzenie animacji,
- wymiana danych z innymi programami.

PODSTAWOWE WIADOMOŚCI DOTYCZĄCE KONSTRUKCJI PRĘTOWEJ – KRATOWNICY

Kratownicą nazywamy układ złożony z prętów prostych połączonych ze sobą w węzłach (pozbawionych tarcia) przegubami, na które działają wyłącznie siły skupione. Z definicji tej wynika, że końce prętów mogą się względem siebie przemieszczać. Jednak w rzeczywistych konstrukcjach budowlanych połączenia prętów kratownic są realizowane w sposób odbiegający od tego założenia (kratownice stanowią dźwigary kratowe o sztywnych węzłach). Założenie to jednak znacznie upraszcza teorie kratownic i sposoby ich rozwiązywania, nie wprowadzając większych błędów.

Kratownice mogą być płaskie (wszystkie pręty i obciążenia leżą na jednej płaszczyźnie – rys. 1) lub przestrzenne.



Rys. 1. Przykład kratownicy płaskiej

Geometryczna niezmienność i statyczna wyznaczalność kratownic

Rozwiązanie kratownicy sprowadza się do wyznaczenia reakcji powstających w punktach podparcia oraz sił rozciągających i ściskających poszczególne pręty. Przystępując do rozwiązania kratownicy na początku należy sprawdzić warunek konieczny statycznej (wewnętrznej) wyznaczalności, który ma postać:

$$p = 2w - 3$$

Stopień statycznej niewyznaczalności kratownicy można wyznaczyć ze wzoru:

$$p = 2w - r$$

gdzie: w – liczba węzłów kratownicy,
 p – liczba prętów kratownicy,
 r – liczba reakcji podporowych.

Jeżeli $p > 2w - r$ kratownica ma większą liczbę prętów niż to jest konieczne dla jej geometrycznej niezmienności i liczba niewiadomych jest większa niż liczba równań równowagi. Kratownica taka jest przesztynioną i statycznie niewyznaczalna. Jeżeli zaś $p < 2w - r$, to układ jest geometrycznie zmienny i nie może być stosowany w konstrukcjach budowlanych.

Analityczne metody wyznaczania sił w prętach kratownicy

W celu wyznaczenia sił w prętach kratownicy najczęściej wykorzystuje się dwie metody:

- metoda równoważenia węzłów,
- metoda przekrojów (Rittera).

Metoda równoważenia węzłów polega na znalezieniu równań równowagi, dla każdego myślowo wyciętego węzła kratownicy. Przystępując do rozwiązania:

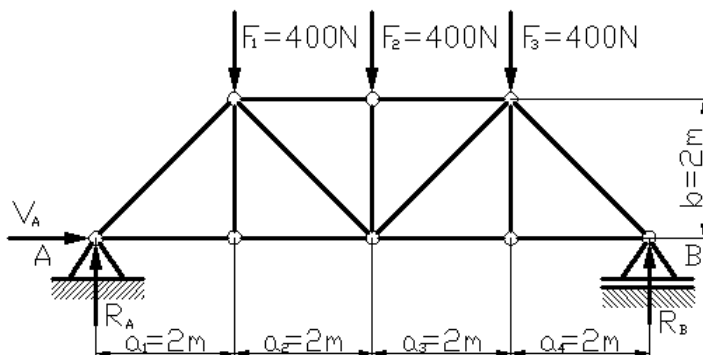
- z równań równowagi wyznaczamy składowe reakcji podpór $\Sigma M_A=0$, $\Sigma P_{ix}=0$, $\Sigma P_{iy}=0$;
- w poszczególnych wyciętych węzłach kratownicy zapisujemy dwa równania równowagi $\Sigma P_{ix}=0$, $\Sigma P_{iy}=0$;
- z zapisanych równań równowagi wyznaczamy siły we wszystkich prętach kratownicy (rozwiązanie zaczynamy od węzła, w którym zbiegają się dwa pręty o nieznanych siłach).

Metoda przekrojów polega na myślowym przecięciu kratownicy odpowiednim przekrojem na dwie części i wykorzystaniu warunków równowagi wszystkich sił działających na jedną z nich. Przystępując do wyznaczania sił w prętach kratownicy metodą przekrojów:

- z równań równowagi wyznaczamy składowe reakcji podpór $\Sigma M_A=0$, $\Sigma P_{ix}=0$, $\Sigma P_{iy}=0$;
- przecinamy kratownicę przez trzy pręty, w których chcemy określić siły wewnętrzne (pręty kratownicy nie mogą zbiegać się w jednym punkcie);
- jedną część kratownicy odrzucamy (najczęściej tą, na którą działa więcej sił zewnętrznych);
- dla odciętej części kratownicy zapisujemy równania sumy momentów wszystkich sił względem trzech punktów, w których przecinają się parami kierunki poszukiwanych sił w prętach.

PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA PROGRAMU MATHCAD

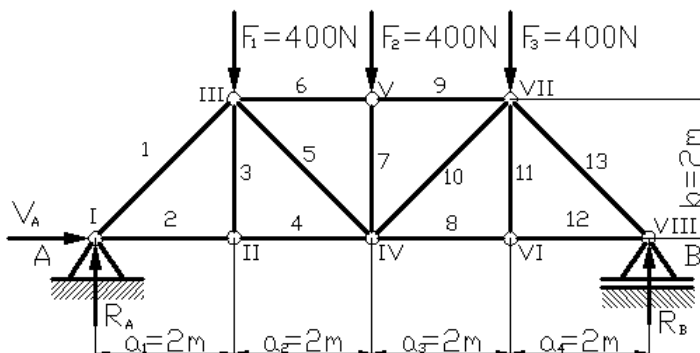
Poniżej przedstawiono przykładowe rozwiązanie zadania wykonanego w programie Mathcad. Przykład przedstawia obciążoną kratownicę płaską (rys. 2), dla której należy obliczyć składowe reakcji podpór (przegubowej stałej A i przesuwnej B) oraz siły wewnętrzne rozciągające i ściskające poszczególne pręty.



Rys. 2. Kratownica z zaznaczonymi obciążeniami

Poniżej podano kolejne fazy wykonywania działań przy rozwiązywaniu:

1. Numerowanie węzłów i prętów kratownicy (najczęściej węzły numerujemy liczbami rzymskimi a pręty arabskimi – rys. 3).



Rys. 3. Kratownica z zaznaczonymi obciążeniami i ponumerowanymi węzłami i prętami

2. Definiowanie zmiennych w programie Mathcad

- siły działające na poszczególne węzły kratownicy:

$$F_1 = 400 \text{ N} \quad F_2 = 400 \text{ N} \quad F_3 = 400 \text{ N}$$

- odległości przyłożenia tych sił od punktu A:

$$l_{F_1} = 2 \text{ m} \quad l_{F_2} = 4 \text{ m} \quad l_{F_3} = 4 \text{ m}$$

- odległości pomiędzy węzłami w poziomie (a) i w pionie (b):

$$a_1 = 2 \text{ m} \quad a_2 = 2 \text{ m} \quad a_3 = 2 \text{ m} \quad a_4 = 2 \text{ m} \quad b = 2 \text{ m}$$

- liczba prętów (p) oraz liczba węzłów (w) w kratownicy

$$p = 13 \quad w = 8$$

3. Sprawdzenie warunku koniecznego statycznej (wewnętrznej) wyznaczalności kratownicy płaskiej:

$$p = 2w - 3$$

$$p = 13$$

warunek jest spełniony.

Przystępując do rozwiązania przedstawionej na rysunku 2 i 3 kratownicy metodą równoważenia węzłów należy wyznaczyć reakcje podpór. W tym celu budujemy w programie Mathcad trzy układy równań z trzema niewiadomymi poprzedzając je napisem Given.

Given

$$\sum F_{ix} = 0 \quad V_A = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0 \quad R_A - F_1 - F_2 - F_3 + R_B = 0$$

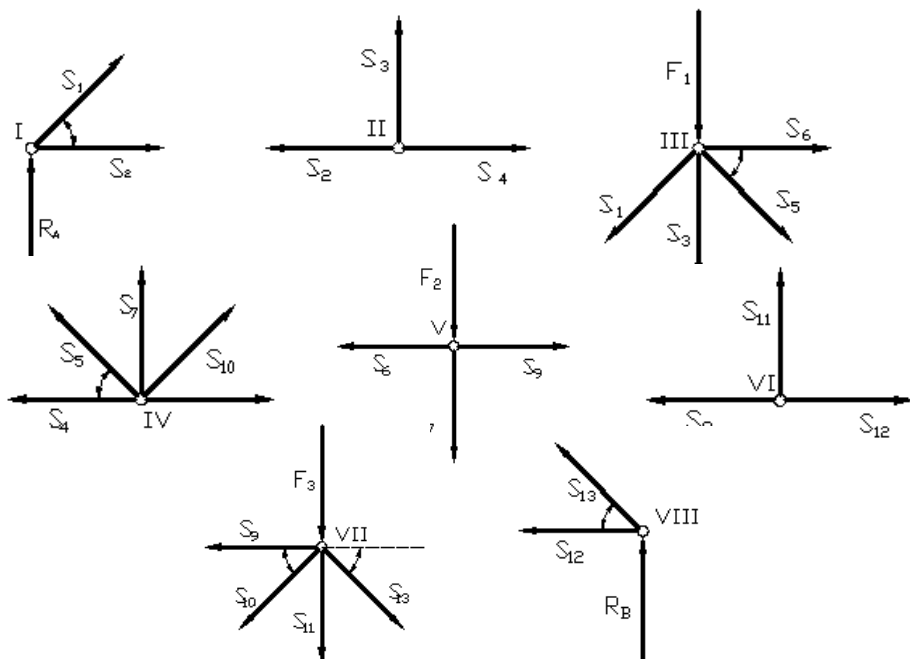
$$\sum M_{iA} = 0 \quad a_1 \cdot F_1 + \sum_{i=1}^2 [a_i(F_2)] + \sum_{i=1}^3 [a_i(F_3)] - \sum_{i=1}^4 (a_i \cdot R_B) = 0$$

Kolejnym etapem jest wyznaczenie sił w prętach kratownicy więc przechodzimy do myślowego wycinania poszczególnych węzłów (rys. 4). Dla każdego węzła definiujemy dwa równania w rozpoczętej powyżej procedurze Given. Zaczynamy od węzła I ponieważ w nim zbiegają się dwa pręty.

Przyjmując:

$$\sin \alpha := \frac{2}{\sqrt{8}} = 0.707$$

$$\cos \alpha := \frac{2}{\sqrt{8}} = 0.707$$



Rys. 4. Rozkład sił w poszczególnych węzłach kratownicy

Węzeł I	Węzeł II	Węzeł III
$V_A + S_2 + 0.707 \cdot S_1 = 0$	$-S_2 + S_4 = 0$	$S_6 + 0.707 \cdot S_5 - 0.707 \cdot S_1 = 0$
$R_A + 0.707 \cdot S_1 = 0$	$S_3 = 0$	$-F_1 - S_3 - 0.707 \cdot S_5 - 0.707 \cdot S_1 = 0$
Węzeł IV	Węzeł V	Węzeł VI
$S_8 - S_4 + 0.707 \cdot S_{10} - 0.707 \cdot S_5 = 0$	$S_9 - S_6 = 0$	$S_{12} - S_8 = 0$
$S_7 + 0.707 \cdot S_{10} + 0.707 \cdot S_5 = 0$	$-F_2 - S_7 = 0$	$S_{11} = 0$
Węzeł VII		
$-S_9 - 0.707 \cdot S_{10} + 0.707 \cdot S_{13} = 0$		

Po rozpatrzeniu wszystkich węzłów można wyznaczyć niewiadome z tych równań.

$$\text{Find}(V_A, R_A, R_B, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}) \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 600N \\ 600N \\ -848.656N \\ 600N \\ 0 \\ 600N \\ 282.885N \\ -800N \\ -400N \\ 600N \\ -800N \\ 282.885N \\ 0 \\ 600N \\ -848.656N \end{pmatrix}$$

Pozostałe trzy równania zostały niewykorzystane ale mogą posłużyć jako sprawdzenie. Jedno równanie z węzła VII

$$-F_3 - S_{11} - 0.707 \cdot S_{13} - 0.707 \cdot S_{10} = 0$$

i dwa równania z węzła VIII

$$-S_{12} - 0.707 S_{13} = 0$$

$$R_B + 0.707 \cdot S_{13} = 0$$

Sprawdzenie:

$$-F_3 - S_{11} - 0.707 \cdot S_{13} - 0.707 \cdot S_{10} = 0$$

$$F_3 := -S_{11} - 0.707 \cdot S_{13} - 0.707 \cdot S_{10}$$

$$F_3 = 400$$

$$-S_{12} - 0.707 \cdot S_{13} = 0$$

$$S_{12} = 600$$

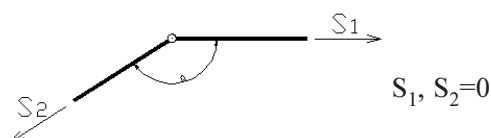
$$R_B + 0.707 \cdot S_{13} = 0$$

$$R_B = 600$$

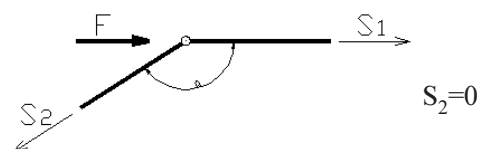
Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że część prętów jest rozciąganych a część ściskanych. Pręty, które są rozciągane ($S_2, S_4, S_5, S_8, S_{10}, S_{12}$) mają wartości dodatnie natomiast ściskane ($S_1, S_6, S_7, S_9, S_{13}$) wartości ujemne. Można również zauważyć, że niektóre pręty nie pracują czyli ich siły są równe zero, np. pręt S_3 i S_{11} .

Przykłady prętów zerowych:

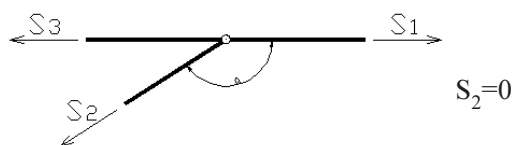
- 1) Jeżeli w nieobciążonym węźle kratownicy schodzą się 2 pręty pod pewnym kątem, to siły wewnętrzne w obu prętach są równe zero



- 2) Jeżeli w węźle kratownicy schodzą się 2 pręty i węzeł jest obciążony siłą zewnętrzną równoległą do jednego z nich, to siła wewnętrzna w drugim pręcie jest równa zero



- 3) Jeżeli w węźle kratownicy schodzą się 3 pręty, z których dwa są równoległe i węzeł jest nieobciążony, to siła w trzecim pręcie jest równa zero



Dla potwierdzenia otrzymanych wyników rozwiążemy powyższe zadanie metodą Rittera. Ponieważ powyżej zostały zdefiniowane poszczególne wielkości (tj. siły działające na węzły kratownicy, odległości przyłożenia tych sił od punktu A, odległości pomiędzy węzłami w poziomie i w pionie oraz liczba prętów i liczba węzłów) można przystąpić do wyznaczenia reakcji podpar. W celu wyznaczenia sił reakcji w podporach należy ułożyć cztery równania równowagi:

$$\Sigma P_{ix} = 0$$

$$\Sigma P_{iy} = 0$$

$$\Sigma M_{iA} = 0$$

$$\Sigma M_{iB} = 0$$

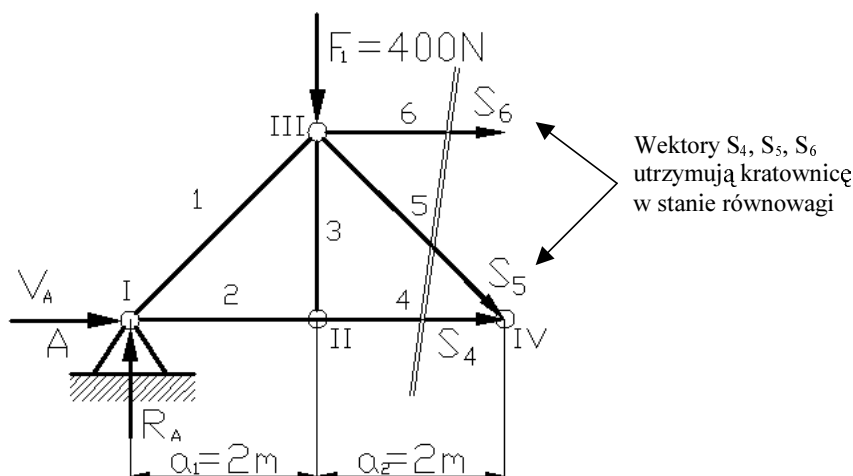
Dla podanego przykładu wystarczy dwa równania równowagi: suma rzutów wszystkich sił na oś x i suma momentów względem punktu A. Poprzedzamy je napisem Given.

Given

$$R_A - F_1 - F_2 - F_3 + R_B = 0$$

$$a_1 \cdot F_1 + \sum_{i=1}^2 [a_i(F_2)] + \sum_{i=1}^3 [a_i(F_3)] - \sum_{i=1}^4 (a_i \cdot R_B) = 0$$

Ponieważ metoda Rittera pozwala na wyznaczenie sił w trzech prętach kratownicy to wyznaczmy je w prętach 4, 5 i 6. W tym celu przecinamy kratownicę wyobrażalną płaszczyzną przechodzącą przez pręty 4, 5, 6 i odrzucamy jej prawą część (rys. 5).



Rys. 5. Przecięta kratownica i odrzucona prawa strona

Dla odciętej części kratownicy należy zapisać równania sumy momentów wszystkich sił względem dwóch punktów (węzeł III i IV), w których przecinają się parami kierunki poszukiwanych sił w prętach oraz sumę sił na oś y. Równania należy zdefiniować w rozpoczętej procedurze Given:

$$\begin{aligned}\sum F_{iy} &= 0 & -F_1 - S_5 \cdot 0.707 + R_A &= 0 \\ \sum M_{III} &= 0 & R_A \cdot a_1 - S_4 \cdot b &= 0 \\ \sum M_{IV} &= 0 & S_6 \cdot b + \sum_{i=1}^2 [a_i(R_A)] - F_1 \cdot a_1 &= 0\end{aligned}$$

Po rozpatrzeniu wszystkich równań można wyznaczyć niewiadome:

$$\text{Find}(R_A, R_B, S_4, S_5, S_6) \rightarrow \begin{pmatrix} 600\text{ N} \\ 600\text{ N} \\ 600\text{ N} \\ 282.885\text{ N} \\ -800\text{ N} \end{pmatrix}$$

Jak widać w pierwszym i drugim przypadku otrzymano te same wartości szukanych zmiennych. Świadczy to o poprawności rozwiązania zadania.

PODSUMOWANIE

Możliwości obliczeniowe programu Mathcad możemy wykorzystać w codziennej pracy, która wymaga częstego i powtarzalnego stosowania mniej lub bardziej zaawansowanych obliczeń matematycznych.

Omówione w pracy możliwości wykorzystania programu Mathcad mogą w znacznym stopniu ułatwić, usprawnić i przyspieszyć rozwiązywanie zagadnień inżynierskich nie tylko z mechaniki technicznej i wytrzymałości materiałów ale również z innych dziedzin tj. matematyki, fizyki, elektroniki, elektrotechniki czy też mechatroniki. Automatyzacja skomplikowanych obliczeń, z jakimi spotykają się inżynierowie, pomaga uniknąć błędów przy jednoczesnym zmniejszeniu czasu obliczeń, co z kolei przekłada się na jakość i rentowność projektu.

LITERATURA

1. Bodnar A.: Wytrzymałość Materiałów. Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych. Kraków 2004.
2. Jakubowski K.: Mathcad 2000 Profesional. Wydawnictwo Exit.
3. Kucharski T.: Mechanika ogólna. Rozwiązywanie zagadnień z MATHCAD-em. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2002.
4. Leyko J., Szmelter J.: Zbiór zadań z mechaniki ogólnej. Tom 1. Statyka. Państwowe wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1983.
5. Misiak J.: Mechanika ogólna. Zadania z mechaniki ogólnej. Cz. 1. Statyka. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 1992.
6. Niezgodziński M., Niezgodziński T.: Zadania z wytrzymałości materiałów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa.
7. Pietraszek J.: Mathcad. Ćwiczenia. Wydawnictwo Helion. Gliwice 2002.
8. Siuta W.: Mechanika techniczna. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa 1993.
9. Wolny S., Siemienieć A.: Wytrzymałość materiałów. Teoria. Zastosowanie. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków 2002.

USING PROGRAM MATHCAD FOR SOLVING PROBLEMS OF ENGINEERING FOR THE EXAMPLE CONSTRUCTION TRUSS

Summary

The article presents the possibility of using program Mathcad to solve selected problems from the set of tasks with the mechanics of technical and material strength. An example of determining the forces in the bars and the reactions of the supports in truss structures (plane truss) method Ritter and method of balancing nodes. It was noted that this tool greatly simplifies the process of solving problems and can quickly analyze the behavior of a structure with different loads.

Keywords: Mathcad, technical mechanics, trusses, engineering calculations.

Artur Popko¹

PROGRAMOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI MATLAB MATHWORKS

Streszczenie. Opracowano mechanizm współoddziaływania podstawowych parametrów procesu ciśnieniowego emulgowania, ciśnienia i temperatury, fizycznych właściwości emulsji, ilościowego udziału fazy rozproszonej emulsji. Sformułowano matematyczny model procesu uwzględniający wpływ tych parametrów na wartość wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej emulsji. Umożliwia on ustalania racjonalnych parametrów procesu, a w szczególności ciśnienia, niezbędnego do uzyskania wymaganego rozproszenia emulsji.

Słowa kluczowe: emulsja wodno-olejowa, emulgacja ciśnieniowa, wymiar charakterystyczny cząstki, faza rozproszona.

WPROWADZENIE

Emulgacja jest procesem wytwarzania emulsji, tzn. ciekłego układu dwufazowego niemieszących się cieczy. Polega na dyspergowaniu, rozdrabnianiu cząstek cieczy, fazy rozproszonej w cieczy stanowiącej fazę ciągłą emulsji. W wyniku emulgacji następuje rozdrobnienie i ujednorodnienie cząstek fazy rozproszonej emulsji, których ilość wzrasta najczęściej około 200–500 razy, a ich sumaryczna powierzchnia zwiększa się około 6–8 razy [1, 2, 5, 8, 10].

W procesie emulgacji ciśnieniowej podstawowymi parametrami warunkującymi wartość wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej są: ciśnienie emulgacji, temperatura oraz fizyczne właściwości emulsji: napięcie międzyfazowe, współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy rozproszonej emulsji, gęstość fazy ciągłej emulsji, procentowy udział fazy rozproszonej emulsji [3, 6, 8, 9]. Dyspergowanie cząstek fazy rozproszonej emulsji jest wynikiem działania sił tnących i sił tarcia, wywołanych znacznymi gradientami prędkości [7, 8, 9]. Należy jednak podkreślić, że proces emulgacji ciśnieniowej jest jeszcze mało poznany. Wyniki badań są fragmentaryczne, dotyczą w zasadzie określonych zakresów zastosowania, szczególnie w przemyśle spożywczym. Brakuje wyczerpujących badań obejmujących całokształt problematyki umożliwiających utworzenie algorytmów postępowania mających na celu otrzymanie emulsji o założonych wymiarach cząstek fazy rozproszonej [3, 4, 6, 8].

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

MODEL MATEMATYCZNY EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ

Przeprowadzono badania i analizy wpływu ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej na wartość ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cze} dyspergowanych cząstek fazy rozproszonej emulsji [6–9]. Uzyskane wyniki umożliwiają sformułowanie stwierdzenia, że w procesie emulgacji ciśnieniowej podstawowymi parametrami warunkującymi wartość wymiaru charakterystycznego cząstki fazy rozproszonej są:

- parametry procesu:
 - ciśnienie emulgacji,
 - temperatura emulgacji.
- fizyczne właściwości emulsji:
 - napięcie międzyfazowe,
 - współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji,
 - gęstość fazy rozproszonej emulsji,
 - gęstość fazy ciągłej emulsji,
 - współczynnik wydatku,
 - współczynnik oporu aerodynamicznego cząstki fazy rozproszonej emulsji.
- zawartość (%) fazy rozproszonej emulsji.

Uwzględniając opracowane zależności [6, 7, 9] uogólnioną postać matematycznego modelu mechanizmu emulgacji ciśnieniowej można przedstawić w postaci wzoru:

$$d_{cze} = \frac{2\rho_{cz} \left(4\sigma + \frac{1}{k} \mu \varphi \sqrt{\frac{2p}{\rho_{cz}}} \right)}{C_x \rho_s p \varphi^2} \quad (1)$$

gdzie:

- d_{cze} – ekwiwalentny wymiar charakterystyczny cząstki fazy rozproszonej,
- σ – napięcie międzyfazowe,
- μ – współczynnik lepkości dynamicznej fazy rozproszonej emulsji,
- φ – współczynnik efektywności wydatku,
- k_t – współczynnik korekcyjny rodzaju emulsji,
- ρ_{cz}, ρ_s – gęstości odpowiednio fazy rozproszonej i fazy ciągłej,
- p – ciśnienie emulgacji,
- S_v – procentowy udział fazy rozproszonej emulsji,
- C_x – współczynnik oporu aerodynamicznego.

oraz współczynniki zawartości fazy rozproszonej emulsji i wpływu temperatury [7, 9] w postaci zależności:

$$k_{S_v} = 0,9529 + 0,0594 S_v - 0,0013 S_v^2 \quad (2)$$

gdzie:

$$k_{S_v} = f(S_v)$$

$$k_t = 6,3775 - 0,046 t + 8,748 E - 5 t^2 \quad (3)$$

Skąd ciśnienie emulgacji niezbędne do uzyskania emulsji o wymaganej wartości wymiaru charakterystycznego cząstek fazy rozproszonej można przedstawić za pomocą zależności:

$$p = \frac{4\rho_{cz}k_{S_v}\left(\frac{\mu^2}{k_t^2} + \frac{2}{k_{S_v}}\sigma d_{cze}C_x\rho_s + \frac{\mu}{k_t}\sqrt{\frac{\mu^2}{k_t^2} + \frac{4}{k_{S_v}}\sigma d_{cze}C_x\rho_s}\right)}{d_{cze}^2 C_x^2 \rho_s^2 \varphi^2} \quad (4)$$

Opracowana formuła współoddziaływania podstawowych parametrów procesu emulgacji ciśnieniowej, ciśnienia i temperatury, fizycznych właściwości emulsji, oraz zawartości fazy rozproszonej emulsji daje możliwość określenia wymaganej wartości ciśnienia niezbędnego do uzyskania założonego stopnia zdyspersgowania cząstek fazy rozproszonej emulsji przy ustalonych parametrach procesu.

PROGRAMOWANIE PROCESU EMULGACJI CIŚNIENIOWEJ

Pierwszym etapem obliczeń jest wyznaczenie wymaganej wartości ciśnienia niezbędnego do uzyskania założonego stopnia zdyspersgowania cząstek fazy rozproszonej emulsji. Dla uzyskania pożądanej wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cze} wymaganą wartość ciśnienia p należy obliczyć stosując wzór 4. Przykładowo, dla emulsji o ustalonych parametrach:

$$\begin{aligned} \rho_{cz} \text{ [kg/m}^3\text{]} &= 921.4945 - 0.6054*t; \\ \rho_s \text{ [kg/m}^3\text{]} &= 1000.8871 - 0.0598*t - 0.0039*t^2; \\ \mu \text{ [Pa*s]} &= 0.158 - 0.0043*t + 3.375E - 5*t^2; \\ \phi &= 0.9753 - 4.6604*10^{-9}*p + 8.5897*10^{-18}*p^2; \\ \sigma \text{ [N/m}^3\text{]} &= 0.0239321 - 0.0000905*t + 0.0000002*t^2; \end{aligned}$$

oraz przy założonej wartości np. $d_{cze} = 2 \mu\text{m}$, wartość wymaganego ciśnienia emulgowania, obliczona za pomocą skryptu 1, utworzonego w środowisku MATLAB Math-Works wynosi $p = 1,895 \text{ MPa}$.

Wykorzystując opracowane współzależności, dla emulsji o danych parametrach tj.: napięciu międzyfazowym – σ , lepkości dynamicznej fazy rozproszonej – μ , gęstości fazy rozproszonej – ρ_{cz} , gęstości fazy ciągłej – ρ_s oraz procentowej zawartości fazy rozproszonej – S_v , przy ustalonej temperaturze emulgacji – t , można za pomocą skryptu 2,

```
% skrypt: oblicz_ciśnienie
% autor: Artur Popko

format long
Cx=0.44;

t=40;
s_v=2;

rho_cz=921.4945-0.6054*t;
rho_s=1000.8871-0.0598*t-0.0039*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;

d_cze=2,e-6

p=4.*rho_cz.*k_s_v.*d_cze.^-2.*Cx.^-2.*rho_s.^-2.*phi.^-
  2.*(mu.^2*k_t.^-2+2.*sigma.*d_cz.*Cx.*rho_s.*k_s_v.^-
  1+mu.*k_t.^-1.*(mu.^2.*k_t.^-2+4.*sigma.*
  ma.*d_cze.*Cx.*rho_s.*k_s_v.^-1).^0.5);

p
p = 1.894965176730880e+006
```

Skrypt 1. Obliczenia wartości ciśnienia emulgacji

```
% skrypt: emulgacja
% autor: Artur Popko

format long
Cx=0.44;
p=0:500000:16000000;
t=60;
s_v=2;

rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
  2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);
```

```

SUBPLOT(3,1,1), plot(p/1000000,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «p [MPa]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

p=16000000;
t=20:60;
s_v=2;
rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
    2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);
SUBPLOT(3,1,2), plot(t,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «t [°C]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

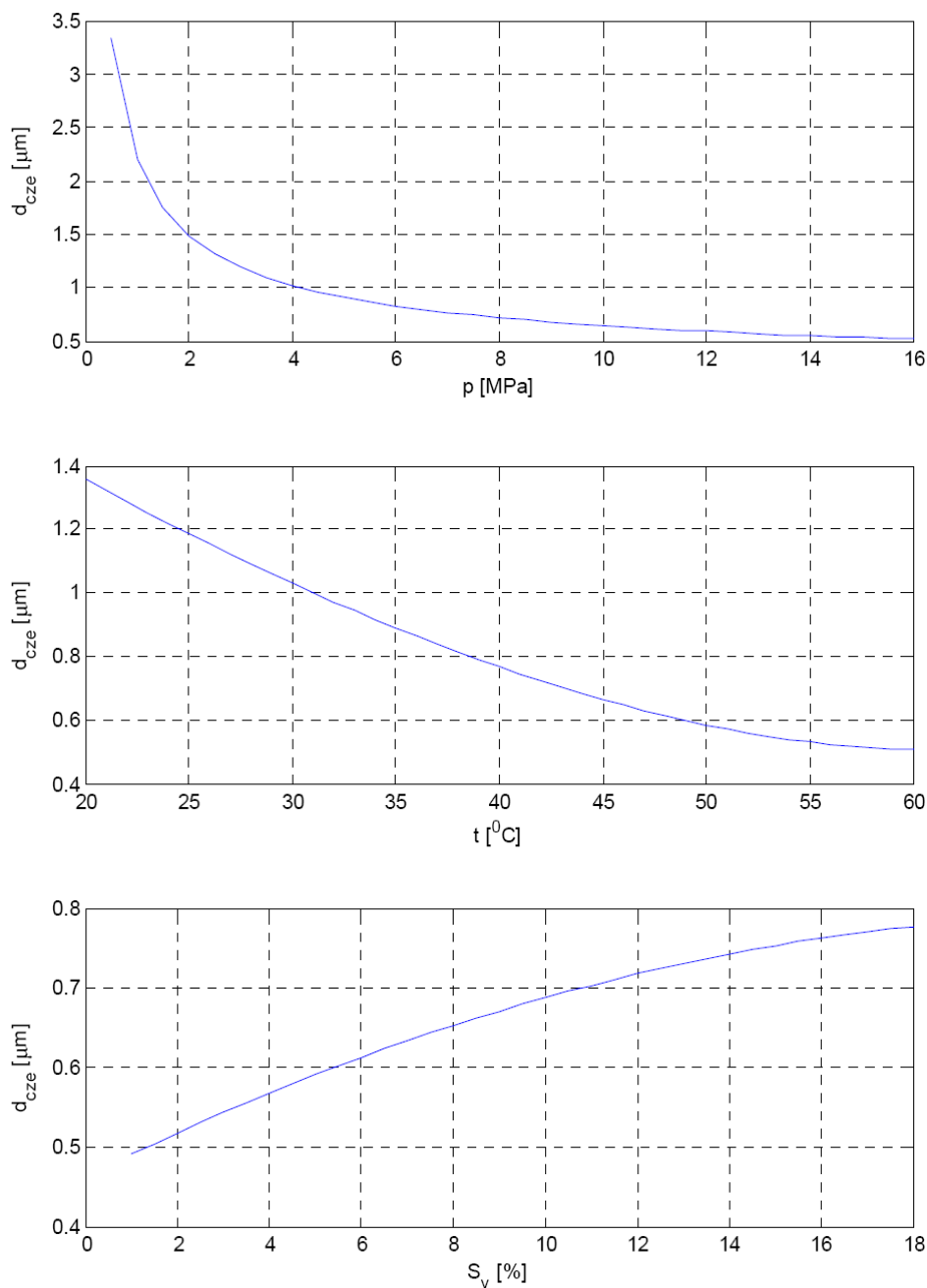
p=16000000;
t=60;
s_v=1:0.5:18;

rho_cz=921.4945-0.6054.*t;
rho_s=1000.8871-0.0598.*t-0.0039.*t.^2;
mu=0.158-0.0043.*t+3.375E-5.*t.^2;
phi=0.9753-4.6604.*10.^-9.*p+8.5897.*10.^-18.*p.^2;
sigma=0.0239321-0.0000905.*t+0.0000002.*t.^2;
k_s_v=0.9529+0.0594.*s_v-0.0013.*s_v.^2;
k_t=6.3775-0.046.*t+0.00008748.*t.^2;
d_cze=2.*rho_cz.*k_s_v.*Cx.^-1.*rho_s.^-1.*p.^-1.*phi.^-
    2.*(4.*sigma+mu.*phi.*k_t.^-1.*(2.*p./rho_cz).^0.5);

SUBPLOT(3,1,3), plot(s_v,d_cze*1000000)
grid on
xlabel «S_v [%]»
ylabel «d_c_z_e [\mum]»

```

Skrypt 2. Wyznaczanie charakterystyk wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego zdyspergowanych cząstek fazy rozproszonej emulsji



Rys. 1. Wykreślone za pomocą skryptu 2 charakterystyki zmiany wartości wymiaru charakterystycznego d_{cze} w funkcjach ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej przykładowej emulsji

utworzonego w środowisku MATLAB MathWorks wyznaczyć charakterystyki ciśnieniowej emulgacji tej emulsji. Dla parametrów procesu zawartych w skrypcie 1 charakterystyki ciśnieniowej emulgacji tj. zmiany wartości ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cz} w funkcjach ciśnienia, temperatury i zawartości fazy rozproszonej przedstawiono na rysunku 1.

PODSUMOWANIE

Opracowane współzależności między parametrami emulgacji ciśnieniowej, właściwościami fizycznymi i zawartością fazy rozproszonej emulsji umożliwiają określanie optymalnych wartości ciśnienia p oraz temperatury procesu. Uzyskano wymagane fazy rozproszonej dyspergowanej emulsji dla założonego ekwiwalentnego wymiaru charakterystycznego d_{cz} cząstek. Przedstawione podstawy wspomagania sterowania procesem emulgacji ciśnieniowej umożliwiają ustalenie wartości parametrów wejścia emulgacji w celu uzyskania założonych wartości wyjściowych procesu. Opracowane z użyciem aplikacji Matlab MathWoks programy stanowią algorytm postępowania mający na celu otrzymanie emulsji o założonym wymiarze cząstek fazy rozproszonej. Programy komputerowe umożliwiają ponadto wizualizacje obliczanych wielkości.

PIŚMIENNICTWO

1. Denkova P.S., Tcholakova S., Denkov N.D., Dano K.D., Campbell B., Shaw C., Kim D. Evaluation of the precision of drop-size determination in oil/water emulsions by low resolution NMR Spectroscopy. *Langmuir*, 20, 2004: 11402 – 11413.
2. Dickinson E., Whyman R.H. Colloidal properties of model oil-in-water food emulsion stabilized separately by as1-casein and j-casein. In.: E. Dickinson (Ed.) *Food Emulsions and Foams* 1996: 40–229.
3. Dumay E., Lambert C., Funtenberger S., Cheftel J.C. Effects of high pressure on the physico-chemical characteristics of dairy creams and model oil/water emulsions. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29(7), 1996: 606–625.
4. Lenik K., Korga S.: Modeling of friction reluctance to certain conditions redrawing, clinching and extrude processes. *Advances in Science and Technology*, 4, 2010: 85–90.
5. Marie P., Perrier-Cornet J.M., Gervais P. Influence of major parameters in emulsification mechanisms using a high pressure jet. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 2002:43–51.
6. Popko A.: Alternative oil-water emulsion fuel. *Rynek Energii*, 1, 2010: 37–41.
7. Popko A.: Applications of pressure emulsification model. *The Archive of Mechanical Engineering*, 4, 2009: 101–113.
8. Popko A.: New interpretation of emulsifying mechanism. *International Agrophysics. Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin* 2000.
9. Popko A.: Pressure emulsification process modeling. *Maintenance and Reliability*, vol. 43, 3, 2009: 14–19.

10. Tcholakova S., Denkov N.D., Sidzhakova D. Ivanov I.B., Campbell B.: Interrelation between drop size and protein adsorption at various emulsification conditions. *Langmuir*, vol. 19, 14, 2003: 5640–5649.

PROGRAMMING OF PRESSURE EMULSIFICATION PROCESS BASED ON MATLAB MATHWORKS APPLICATIONS

Summary

A mathematical model, created for description of the mechanism of interaction between basic parameters of emulsions high pressure dispersion, is presented in this paper. The model is applied for the analysis of the influence of emulsions physical properties, quantitative content of dispersed emulsion phase and parameters of emulsification, pressure and temperature, on the characteristic dimension of particles of the dispersed phase. The model makes it possible to determine appropriate process parameters, especially the pressure necessary to obtain the required dispersion of the emulsion.

Keywords: water-in-oil emulsion, pressure emulsification, characteristic dimension of particle, dispersed phase.

Gabriel Borowski¹

EFFECT OF FRICTION FOR DENSITY DISTRIBUTION IN DIE COMPACTION OF POWDERS

Summary. The results of simulation of density distribution in die compaction were described in this paper. There were compared two different types of powder compacts formed under two lubrication conditions. Analysis of powders compaction were implemented for Drucker-Prager Cap model into finite element program ABAQUS. This model was calibrated from experimental work by using simple test, such as cylindrical die compaction of the sample of steel powder material. It was shown, that modifying the lubrication conditions between powder and die wall results in opposing relative density distribution trends in the compact. The predictions of the model in terms of relative density distribution show good agreement of used model and matching with experimental results of research work in die compaction.

Key words: simulation, forming, compact, density, friction.

INTRODUCTION

Powder compaction is an attractive process technology for conventional and waste materials as well. In a forming operation powder is consolidated into a desired shape, normally by applying pressure. The forming process can either be performed in a cold or heated state. Excellent mechanical, physical and chemical properties are important for the quality of the final component.

The mechanical properties of the compacts depends on the powder mix, tool kinematics, material response, the friction effects in the contact between the powder and the tool walls, etc. Mechanical properties of the compacts are also important after performed. This requires a no defect and high strength [1].

The designing of powder parts is develop with a numerical simulation. Numerical analysis of tool kinematics, tool force, tool stresses, tool design, density distribution, residual stresses and crack initiation etc., might reduce time consuming trial and error methods. In many cases numerical methods could improve the product properties, reduce cost and increase implementation of powder components. Finite Element Method (FEM) for simulations can establish theoretical and practical knowledge of stress, fracture and mechanical properties of powder compacts.

¹ Department of Fundamentals of Technology, Lublin University of Technology.

CONSTITUTIVE MODELS FOR POWDER PRESSING

The pressing process is highly nonlinear due to the material response, large deformations and strains, contact boundary conditions and friction behaviour. To capture the event of pressing it is important to use appropriate models. The numerical solution of the highly nonlinear problem often demands small time steps, giving explicit methods a computational time advantage compared to implicit methods [5].

An ideal mathematical model for powder pressing should be based on elements of individual particles including different sizes, shapes and their interaction. Discrete element modelling (DEM) takes into account the individual particles and has been used to model powder compaction [3]. The motion of each particle and its interaction with neighbouring particles is taken into account using DEM. Often large spherical particles or clusters of spherical particles are used. A short-coming with DEM is that the method is time consuming for realistic simulations [6].

Another model is the combined FKM-Gurson model [4]. This model consists of macroscopic constitutive law for the plastic yielding of a random aggregate of perfectly plastic spherical metal particles. The Gurson model is based on the assumption that a porous material contains separated spherical voids. The micromechanical basis is appropriate for high porosity, but at lower porosity the Gurson model is more applicable. A combination of the two models can cover the whole porosity range during powder compaction.

The most common models used today are based on the Drucker-Prager Cap (DPC) model. The DPC model is an extended and modified version of the Mohr-Coulomb model. It is a multi-surface elastic-plasticity model permitting the representation of densification hardening as well as interparticle friction and was first developed in soil mechanics. It was then adopted and used to simulate the cold die compaction of tungsten carbide powder and other metallic and pharmaceutical powders [9]. In this model,

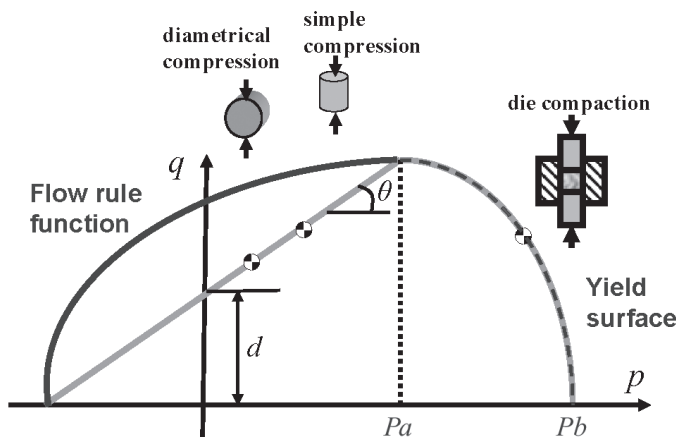


Fig. 1. Schematic representation of Drucker-Prager Cap model [9]

the yield locus is the function of relative density. Its shape will shrink or expand as the relative density decreases or increases. Therefore, a complete yield criterion can be represented as a series of yield loci space. Figure 1 shows the schematic diagram of DPC model.

The DPC model consists of two parts: one associated and one non-associated as discussed below. The yield locus is described using two parts: a cap surface F_C and a shear failure line F_S . The cap yield surface has an elliptical shape. It addresses the plastic deformation of powders under highly confined stress conditions (high hydrostatic pressure):

$$F_C = \sqrt{(p - P_a)^2 + (Rq)^2} - R(d + P_a \tan(\theta)) = 0 \quad (1)$$

where: p – hydrostatic pressure,
 q – Mises equivalent stress,
 P_a – material compression parameter,
 R – cap eccentricity parameter ($0.0 < R < 1.0$),
 d – pure shear (cohesion) yield stress,
 θ – friction angle of the materials.

The parameter P_a can be calculated based on the following equations:

$$P_a = \frac{P_b - Rd}{1 + R \tan(\theta)} \quad (2)$$

where: P_b – hydrostatic compression yield stress.

In the shear region (at low hydrostatic pressure), the yield surface can be represented by a straight line, which is also known as the Mohr-Coulomb shear failure line F_S :

$$F_S = q - p \tan(\theta) - d \quad (3)$$

There are four independent parameters in the DPC model. Normally, these four independent parameters are calibrated from experiments [7, 8].

Galen and Zavaliangos have shown that the mechanical strength of powder compacts produced by closed die compaction is anisotropic [4]. The cylindrical samples were prepared by means of closed die compaction for both ductile and brittle powders. Diametrical compression tests were conducted to obtain the compact strength in two orientations: perpendicular to and parallel to the direction of compaction. Information regarding strength anisotropy was collected. It was shown that in ductile powders the tensile strength in the prior-compaction direction is lower than in the transverse direction. In brittle powders, the opposite behaviour was observed. In both cases, strength anisotropy is a function of density and the trends are opposite, with the ductile materials becoming increasingly anisotropic and the brittle material becoming increasingly isotropic as density increases.

Based on these understanding, anisotropy and path dependence of compacts are essentially different manifestations of the directionality of microstructure. Figure 2 schematically shows these two concepts – loading path dependence and strength anisotropy. Path dependence reflects the fact that the processing history can affect significantly the resulting microstructure and in turn the properties.

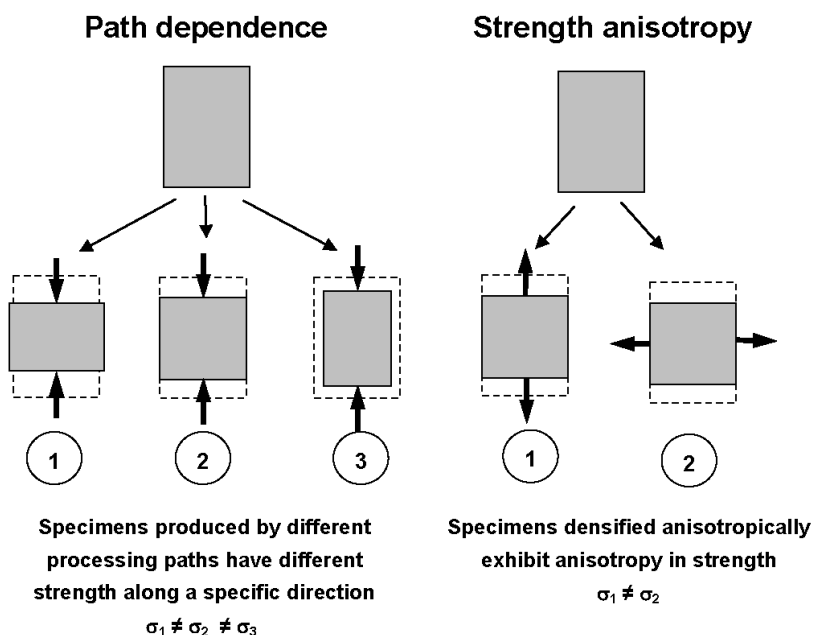


Fig. 2. Schematic illustration of loading path dependence and strength anisotropy [7]

The recently developed Multi-Particle Finite Element Method (MPFEM) relaxes the assumptions in other computational models discussed above [9]. The only assumed constitutive behaviours are the material properties of the particle and the interparticle friction interaction. In this model, the individual particles were discretized by using finite elements. This model offers great flexibility in terms of the shape, mechanical behaviour of particles and interaction at the contact, and has the ability to have large contact deformation and to simulate compaction to high relative densities.

MATCHING A MODEL PARAMETERS

The simulations were conducted by using finite element software – ABAQUS ver. 6.6. The library of ABAQUS contains several constitutive models including a version of Drucker Prager Cap model.

The finite element analysis of many compaction problems faces often difficulties due to the strongly non-linear material behaviour including friction which makes convergence difficult in implicit finite element schemes. Such problems can be better addressed within the framework of explicit schemes (such as ABAQUS/Explicit) especially when coupled with a remeshing strategy.

The initial relative density was set as 0.3 (porosity = 0.7). On the Table 1 parameters used in Drucker-Prager Cap model for the powder of 100Cr6 (AISI 52100) bearing steel were shown.

Table 1. Parameters used in Drucker-Prager Cap model

Relative Density	Young's Modulus E (Pa)	Poisson ratio ν	d (Pa)	θ (degree)	R	P_b (Pa)
0.30	4.50E+07	0.016	2.68E+04	54.4	0.270	6.09E+05
0.40	1.77E+08	0.035	7.23E+05	68.8	0.312	4.03E+06
0.50	4.82E+08	0.061	1.16E+06	68.3	0.586	1.07E+07
0.60	1.05E+09	0.094	3.12E+06	68.0	0.640	2.05E+07
0.70	2.06E+09	0.136	5.85E+06	68.1	0.690	3.58E+07
0.80	3.71E+09	0.187	1.05E+07	67.4	0.789	6.47E+07
0.90	6.32E+09	0.250	1.86E+07	66.5	0.907	1.28E+08

The die compaction analysis was performed in 3D test. The geometry of the model was set up for a 30-mm-diameter tablet. The punches and die were implemented as rigid surfaces. The bottom punch was stationary. The initial punch separation was 40 mm and the simulation was considered to terminate after the top punch moved down by a 20 mm distance that corresponded to a predetermined average relative density, as listed in Table 2.

The friction interaction between powder and die wall and punches is described using Coulomb's law of friction. The two friction conditions were considered in the simulations. High friction in a die cleaned by acetone before the experiment and a low friction in a die in which a powder was compressed to apply lubrication at all tool surfaces. In each case, the coefficient of friction varies with the contact pressure. As shown in Figure 3, as the contact pressure increases, the friction coefficient decreases.

Compaction test simulation was modelled using element mesh type of C3D8R (8-node linear brick, reduced integration 3D continuum elements). Due to symmetry, only 1/2 of the geometry was modelled. The platen that compresses the tablet on its side was implemented as a flat rigid surface. The interface between platen and tablet was assumed to be frictionless.

Table 2. Displacement boundary conditions of samples used in compaction simulation

Item No.	Top punch displacement (mm)	Final relative density	Die condition
1.	20.4	0.59	no lubrication
2.	19.7	0.56	no lubrication
3.	18.9	0.51	no lubrication
4.	18.1	0.46	no lubrication
5.	17.6	0.42	no lubrication
6.	20.6	0.61	lubricated
7.	19.7	0.56	lubricated
8.	18.9	0.51	lubricated
9.	18.2	0.47	lubricated
10.	17.6	0.42	lubricated

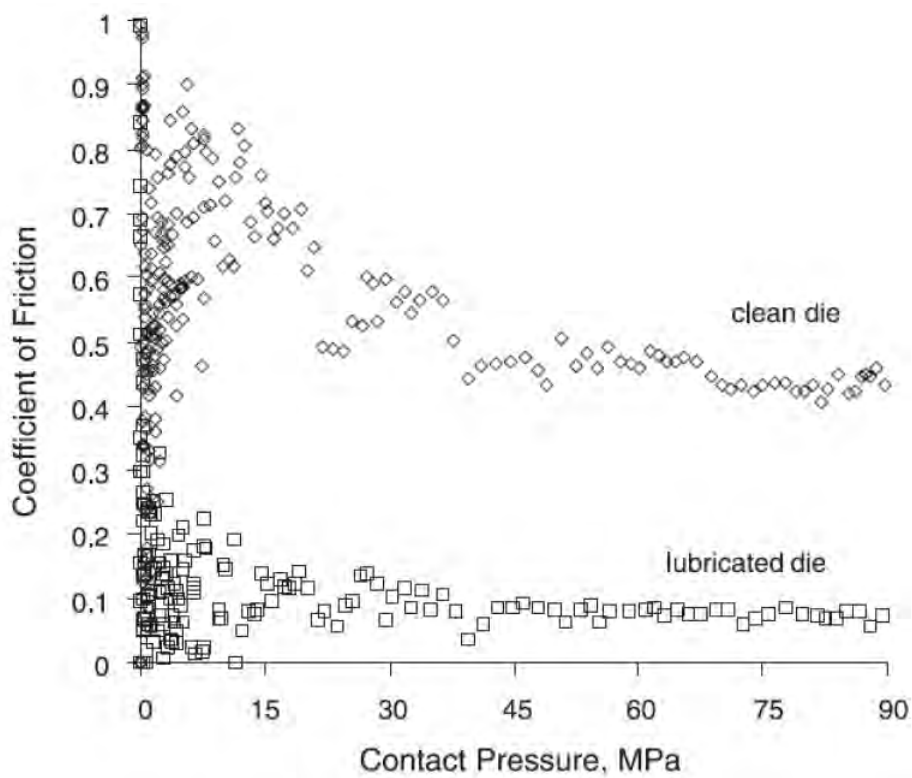


Fig. 3. Variation of the coefficient of friction with applied forces

A vertical displacement was prescribed on the top punch. The compaction behaviour of material was modelled using of the DPC model described before. During the calculation, a constant velocity boundary condition is applied at the top rigid punch with a value of $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Mass scaled density of $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ is employed in ABAQUS calculation to improve computational efficiency. Since the application of mass scaling technique will artificially magnify the effect of inertia effect. It was monitored and the value of mass scaling factor is limited so that the ratio of kinetic to internal energy is less than 1.5% for the steady state conditions.

RESULTS AND DISCUSSION

Two types of compacts (unlubricated vs. lubricated) showed significant different results during die compaction test simulation. Figure 4 shows a different levels of the average relative density.

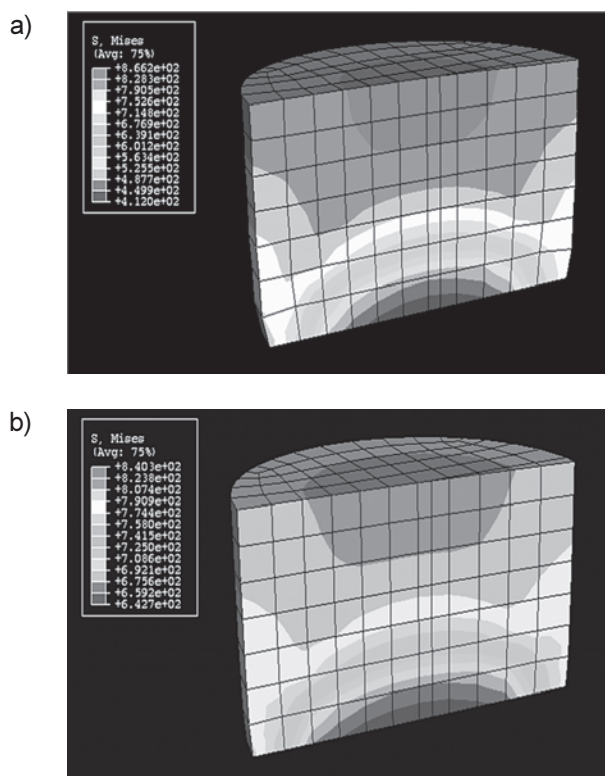


Fig. 4. Density distributions in compaction simulation: a) high friction condition (unlubricated die and punch), b) low friction condition (lubricated die and punch)

The results showed that the lubrication conditions induced strong gradients in density inside the compact. Briquettes compacted under high friction (unlubricated) have a higher density in the centre, while the others compacted under low friction (lubricated) have a lower density. In the unlubricated body density highly decrease from the centre of the material to the periphery. The lubricated samples exhibit an more uniform pattern. The material in the centre as well as in the periphery of the sample show good densification.

The relative density predictions were validated with experimental density maps obtained from surface hardness tests carried out on cross sections of the compacts [1]. The agreement between the experimental and numerical results gives confidence in the predictive capabilities of the model. Figures 5a and 5b show the comparison of simulation and experimental results of the density distribution, where it can be seen that numerical predictions and experimental data match very well.

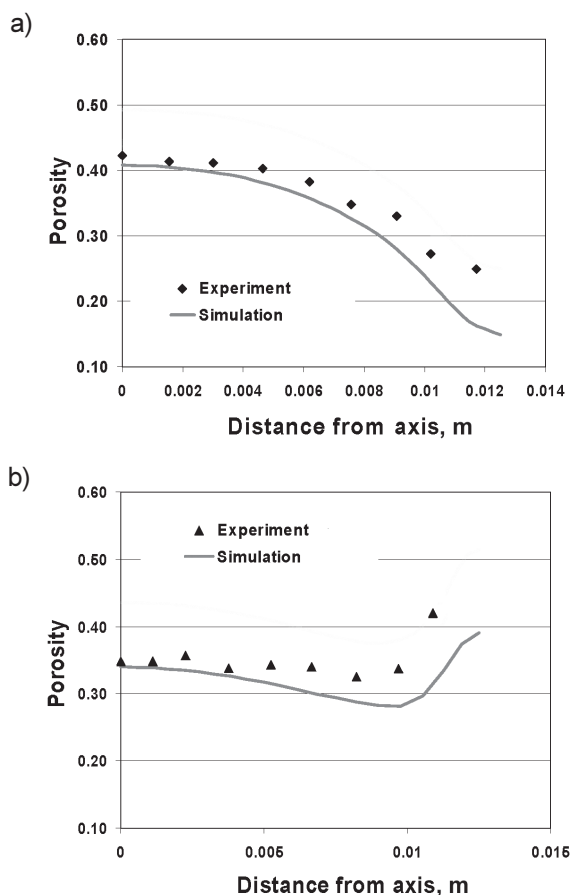


Fig. 5. Density distribution along centre line of the body: a) under high friction condition, b) under low friction condition

There were confirmed that the unlubricated body required a larger load to achieve the same overall density as lubricated, but were a not so big difference of force-displacement during compaction between the two lubrication conditions.

As a result, the material in the periphery densities more. On the other hand, under lubricated conditions, the tendency of the material flowing was observed – from the periphery to move toward to the centre. Due to the material flow, the final density at the edge of compact is lower than in the centre.

CONCLUSIONS

FEM simulation of powder compaction involves many challenges. During pressing large deformations are induced into the material and the increase in density effects mechanical properties significantly. The major concern in the development of numerical modelling of powder pressing is to understand the different phenomena that occur during shaping to different geometries and reproduce them numerically as close as possible.

The difficulty of the DPC model to predict body strength is due to its isotropic nature. In the other hand DPC model has some limitations. There were used 200 particles model, witch may not well represent the actual microstructure of waste powders. Therefore, the parameters used in the degrading material model need experimental calibration.

There were compared two compacts formed under two different lubrication conditions. The friction between material and die or punch has a major effect during compaction and reverses the radial density distribution were confirmed. The results obtained in the simulations agree well with the experimental measurements.

Further systematically analyses of powder compaction and prediction of strength and anisotropy are possible. Studies can be taken into account in the framework of FEM simulation, such as the compaction of porous particles, effect of material hardening, effect of particle fragmentation and other important factors. These studies would help to build a more comprehensive picture of the strength of cold compacted powders.

REFERENCES

1. Borowski G, Kuczmazewski J. Investigation on briquetting of metal waste from bearing industry. *Waste Management & Research* 2005; 23: 473–478.
2. Coube O, Brewin P. Modelling and numerical simulation of powder compaction. *Powder Metallurgy* 2002; 45: 18–19.
3. Cunningham JC, Sinka IC, Zavaliangos A. Analysis of tablet compaction. Part I. Characterization of mechanical behaviour of powder and powder/tooling friction. *Journal of Pharmaceutical Science* 2004; 93: 2022–2039.

4. Galen S, Zavaliangos A. Strength anisotropy in cold compacted ductile and brittle powders. *Acta Materialia* 2005; 53: 4801–4815.
5. Redanz P. Numerical modelling of cold compaction of metal powder. *International Journal of Mechanical Science* 1998; 40: 1175–1189.
6. Schneider LCR, Cocks ACF. Experimental investigation of yield behaviour of metal powder compact. *Powder Metallurgy* 2002; 45: 237–245.
7. Sinka IC, Cocks ACF, Tweed JH. Constitutive data for powder compaction modelling. *Journal of Engineering Materials and Technology* 2001; 123: 176–183.
8. Sinka IC, Cunningham JC, Zavaliangos A. The effect of wall friction in the compaction of pharmaceutical tablets with curved faces: a validation study of the Drucker-Prager Cap model. *Powder Technology* 2003; 133: 33–43.
9. Zavaliangos A. A numerical study of the development of tensile principal stresses during die compaction. *Particulate Science and Technology* 2003; 21: 105–115.

WPŁYW TARCIA NA ROZKŁAD GĘSTOŚCI MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH W PROCESIE FORMOWANIA

Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki symulacji komputerowej rozkładu gęstości podczas scalania materiałów drobnoziarnistych w matrycy zamkniętej. Porównano dwa typy wyprasek z drobnoziarnistych frakcji formowane w różnych warunkach tarcia zewnętrznego. Do symulacji metodą elementów skończonych wykorzystano model Drucker-Prager Cap zaimplementowany w programie obliczeniowym ABAQUS. Model ten skalibrowano wykorzystując wyniki badań doświadczalnych uzyskane przy scalaniu w walcowej matrycy zamkniętej próbek materiałów poszlifierskich z obróbki stali. Stwierdzono, że modyfikacja warunków smarowania powierzchni wewnętrznej matrycy oddziałuje na rozkład gęstości materiału w wypraskach. Wyniki analizy numerycznej rozkładu gęstości wykazały dobre dopasowanie zastosowanego modelu oraz dużą zgodność z wynikami wcześniejszych badań doświadczalnych scalania materiałów drobnoziarnistych.

Słowa kluczowe: symulacja, formowanie, wypraska, gęstość, tarcie.

Mirosław Malec¹, Renata Lis¹, Marcin Barszcz¹

ŹRÓDŁA INFORMACJI O STUDIACH NA WYDZIALE PODSTAW TECHNIKI POLITECHNIKI LUBELSKIEJ I MOTYWY ICH PODJĘCIA W PERCEPCJI STUDENTÓW

Streszczenie. Badania wykazały, że najważniejszymi źródłami informacji o studiach na Wydziale Podstaw Techniki w Politechnice Lubelskiej dla kandydatów są: Internet, koledzy i znajomi ze studiów oraz materiały reklamowe Politechniki Lubelskiej. Najważniejsze motywy studiowania stanowią: zgodność kierunku studiów z zainteresowaniami studentów, duże perspektywy po ukończeniu studiów, możliwość uzyskania tytułu inżyniera.

Słowa kluczowe: promocja studiów, źródła informacji o studiach, motywy podejmowania studiów

WSTĘP

W czasach niżu demograficznego i wzrastającej liczby prywatnych szkół wyższych, jednym z ważniejszych zadań państwowej uczelni staje się jej promocja w celu utrzymania i zwiększenia poziomu rekrutacji studentów. Z roku na rok działania uczelni w tym kierunku podlegają intensyfikacji. Przeglądając prasę czy Internet można zauważyć zwiększenie ilości komunikatów reklamowych zapraszających do wstąpienia w szeregi konkretnych Alma Mater. Szkoły wyższe prześcigają się w kreowaniu oryginalnych pomysłów, zakładając profile na portalach społecznościowych czy umieszczając filmy promocyjne w serwisie YouTube. Od niedawna również Wydział Podstaw Techniki, Politechniki Lubelskiej przyłączył się do tego „wyścigu”, podejmując aktywne działania na rzecz pozyskiwania kandydatów na studia.

Wydział Podstaw Techniki rozpoczął swoją działalność od stycznia 2008 roku. Na wydziale prowadzone są dwa kierunki studiów: edukacja techniczno-informatyczna i matematyka a do października 2010 roku funkcjonował również kierunek fizyka techniczna. Ze względu na specyfikę tych kierunków studiów oraz fakt, iż jest to najmłodszy wydział uczelni jego sytuacja na rynku „graczy” o potencjalnych kandydatów na studia jest trudniejsza niż innych jednostek. Do tych czynników należy jeszcze dodać zjawiska, które nie są statyczne i mogą być istotne w nadchodzących latach, a mianowicie wkraczający do szkolnictwa wyższego niż demograficzny [1], przemiany strukturalne szkół średnich – w tym zmniejszanie się liczby techników będących naturalnym źródłem

¹ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

kandydatów o wyraźnym profilu zainteresowań technicznych, słabsze przygotowanie młodzieży w zakresie matematyki i fizyki, powstanie szeregu szkół prywatnych i wprowadzenie w przyszłości odpłatności za studia.

Pomimo tych trudności, wydział od początku istnienia prowadzi aktywną akcję promocyjną przy pomocy Internetu, materiałów reklamowych, plakatów rozwieszanych w szkołach średnich oraz spotkań pracowników z kandydatami na studia. Raz w roku organizowane są dni otwarte Politechniki Lubelskiej oraz wykłady i pokazy dla uczniów w ramach Festiwalu Nauki. Dzięki tym działaniom liczba studentów wydziału zwiększa się z roku na rok. Jednak wprowadzenie systemu studiów dwustopniowych, a zwłaszcza naboru na studia II stopnia w lutym, spowodowało rozpoczęcie poszukiwania tych działań promocyjnych, które są najbardziej skuteczne i trafiają do największej rzeszy studentów. Identyfikacja tych działań pozwoliłaby na skuteczne dotarcie do potencjalnych kandydatów, oraz produktywnie zagospodarowanie pieniędzy przeznaczonych na działania promocyjne. Efekty tych promocyjnych działań bez wątpienia wpłynęły na zdecydowanie zwiększoną liczbę przyjętych studentów na studia w ostatnich dwu latach. Zachęcają one do ich rozwijania i doskonalenia. Założono, iż do dalszego usprawniania działalności promocyjnej potrzebne są badania sondażowe studentów o ich źródłach informacji o studiach oraz o ich motywach podejmowania studiów. Badania te stały się przedmiotem niniejszego artykułu.

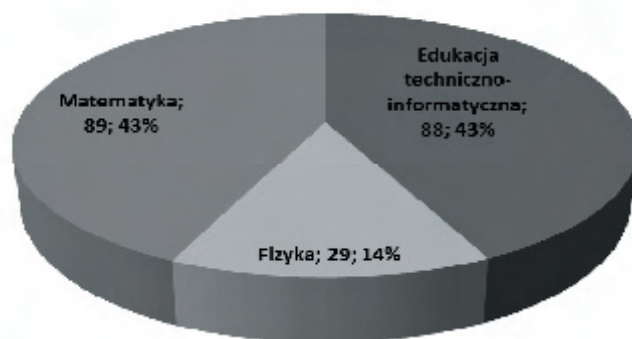
INFORMACJA O BADANIACH I BADANYCH STUDENTACH

Badania zostały przeprowadzone podczas procesu rekrutacyjnego w 2010 roku. Jednym z etapów tego procesu było wypełnienie ankiety dotyczącej źródeł informacji o wydziale i wybranych kierunkach studiów, a także motywów tego wyboru.

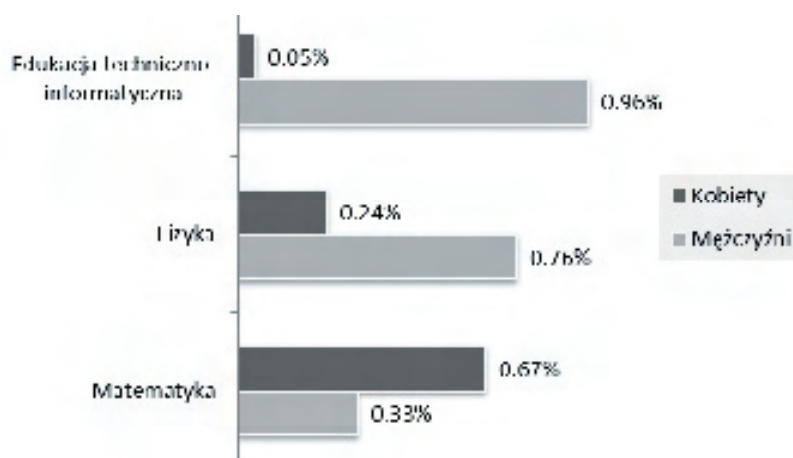
Ten założony moment badań to czas w którym potencjalny kandydat staje się pełnoprawnym kandydatem na studenta przez co zgromadzone dane dotyczą w zdecydowanej większości, tych spośród zapisanych kandydatów (studentów), którzy realnie rozpoczęli studia na Wydziale Podstaw Techniki.

W badaniu wzięło udział 206 przyjętych studentów z czego 29 studentów fizyki technicznej, 88 studentów edukacji techniczno-informatycznej i 89 matematyki (rys. 1).

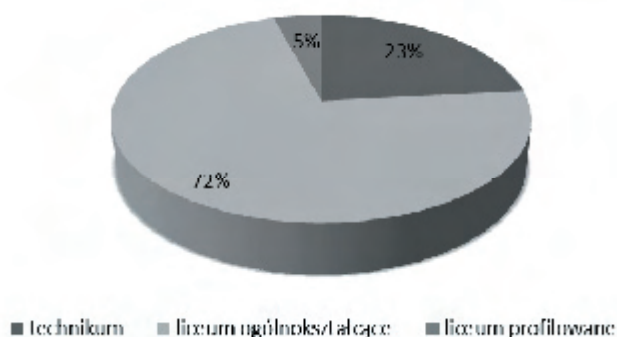
Wśród przebadanych studentów przeważają mężczyźni. Sytuacja ta zmienia się gdy przyjrzymy się wynikom w podziale na kierunki studiów. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład procentowy ilości kobiet i mężczyzn biorących udział w badaniu w zależności od wybranego kierunku studiów. Z przedstawionego zestawienia wynika, że na kierunek edukacja techniczno-informatyczna zostało przyjętych 95,5% mężczyzn i 4,5% kobiet, a na kierunek fizyka 75,9% mężczyzn i 24,1% kobiet. Natomiast na kierunku matematyka 32,6% mężczyzn i 67,4% kobiet. Z danych tych wynika, iż to mężczyźni stanowią najliczniejszą grupę studentów zarówno w skali całego Wydziału Podstaw Techniki jak i kierunku: edukacja techniczno informatyczna oraz dotychczasowego kierunku fizyka techniczna.



Rys. 1. Badani studenci według kierunku studiów (liczba, %)



Rys. 2. Badani studenci według płci i kierunku studiów

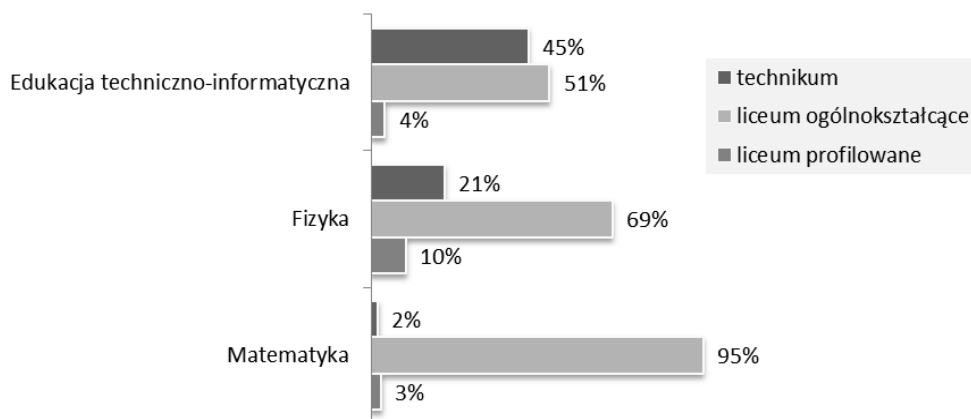


Rys. 3. Badani studenci według ukończonej szkoły średniej

Na pytanie o rodzaj ukończonej szkoły średniej ankietowani odpowiedzieli następująco: aż 72% studentów to absolwenci liceum ogólnokształcącego, 23% to studenci po technikach i 5% to absolwenci po liceach profilowanych (rys. 3).

Zatem, jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 3, studenci podejmują studia na Wydziale Podstaw Techniki w zdecydowanej większości mają ukończone liceum ogólnokształcące, w dalszej kolejności technikum, a najmniej osób ma ukończone liceum profilowane.

Natomiast analiza rodzaju ukończonej szkoły średniej studentów w podziale na kierunki studiów wskazuje, iż kierunki matematyka i fizyka techniczna cieszą się największym zainteresowaniem wśród absolwentów liceów ogólnokształcących, natomiast kierunek edukacja techniczno-informatyczna jest wybierany przez podobną ilość absolwentów techników (45%) i liceów ogólnokształcących (51%). Na rysunku 4 ukazano zestawienie rodzaju ukończonej szkoły średniej w zależności od wybranego kierunku studiów.



Rys. 4. Badani studenci według ukończonej szkoły średniej i wybranego kierunku studiów

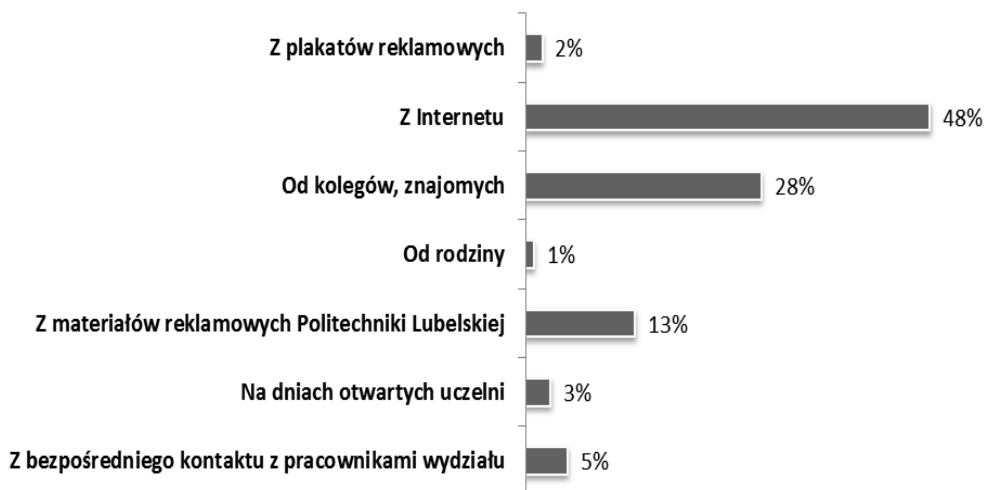
WYNIKI BADAŃ

Dużą wartość poznawczą dla działań promocyjnych wydziału niesie pytanie ankietowe: „Skąd Pan(i) dowiedział(a) się o wybranym kierunku studiów prowadzonym w Wydziale Podstaw Techniki”. Badani mieli możliwość wyboru odpowiedzi spośród następujących kategorii:

- Z plakatów reklamowych;
- Z Internetu;
- Od kolegów, znajomych;

- d. Od rodziny;
- e. Z materia³ów reklamowych Politechniki Lubelskiej;
- f. Na dniach otwartych uczelni;
- g. Z bezpo³redniego kontaktu z pracownikami wydzia³u.

Wyniki dotycz¹ce uzyskanych odpowiedzi w sposób graficzny przedstawia rys. 5. Z analizy uzyskanych odpowiedzi (rys. 5) wynika, i² większość badanych (48%) o wybranym kierunku studiów dowiedzia³a się z Internetu, 28% od kolegów i znajomych a 13% czerpa³o informacj³e z materia³ów reklamowych Politechniki Lubelskiej. Tutaj trzeba zaznaczyć, i² materia³y te s¹ dost³ępne równie² w wersji elektronicznej na stronie internetowej Politechniki Lubelskiej, zatem przypuszczaa³ można, i² pewien procent osób zaznacza¹cy kategori³e odpowiedzi „Z Internetu” zapewne czerpa³ wied³ę o wybranym kierunku studiów z materia³ów reklamowych w tej wersji.



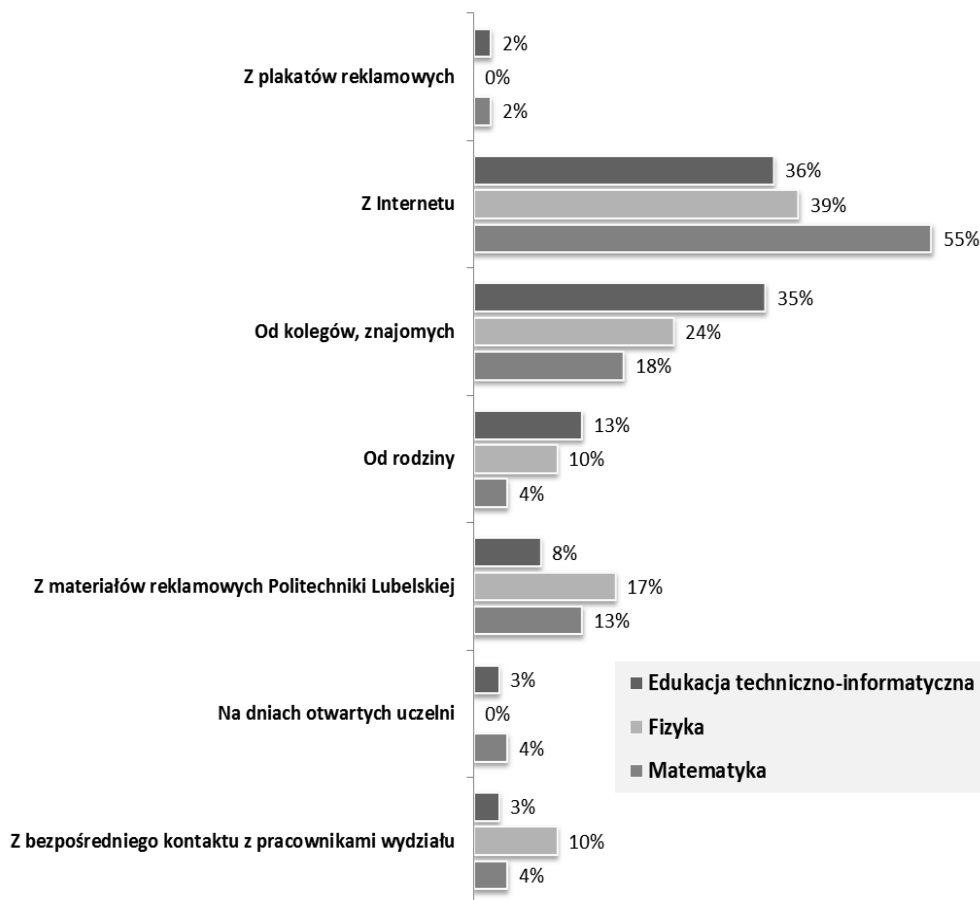
Rys. 5. • ród³a informacji o wybranym kierunku studiów wg wszystkich badanych

Najmniej osób o wybranym kierunku dowiedzia³o się z bezpo³redniego kontaktu z pracownikami wydzia³u (5%), na dniach otwartych uczelni (3%), z plakatów reklamowych (2%) i od rodziny (1%).

Analiza przedstawionych danych wskazuje, i² najskuteczniejsz¹ form¹ dotarcia do potencjalnych kandydatów jest Internet i zamieszczane w nim materia³y reklamowe.

Uwzgl³ędniaj¹c podzia³ na kierunek studiów badanych odpowiedzi na pytanie o Źród³o informacji o wybranym kierunku studiów zosta³y przedstawione na rys. 6.

Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 6, wed³ug studentów wszystkich kierunków najlepszym Źród³em informacji o wybranych przez nich studiach jest Internet. Kolejnym - koledzy i znajomi, którzy mieli styczno³ść z prowadzonymi



Rys. 6. Źródła informacji o studiach wg studentów poszczególnych kierunków studiów

w wydziale kierunkami studiów, b¹dŷ jako studenci tych kierunków lub posiadaj¹cy na nich swoich znajomych. Najmniej efektywnym Źród³em okazuj¹ się plakaty, co moŷe byæ spowodowane ich stosunkowo ma³1 iloœci¹, niew³aæciwym miejscem i czasem ich eksponowania jak teŷ i tym, ŷe obecnie Źród³a pisane coraz mniej docieraj¹ do m³odzieŷy.

Niewielka czêœæ przebadanych dowiedzia³a się teŷ o poszczególnych kierunkach studiów i wydziale podczas corocznych dni otwartych organizowanych przez uczelnie.

Z uzyskanych wyników badañ moŷna sformu³owaæ równieŷ wniosek o skutecznoœci w pozyskiwaniu kandydatów poprzez odbierany czasami jako tradycyjny i tym samym przestarza³y, bezpoœredni kontakt uczniów (kandydatów) z nauczycielami akademickimi.

Kolejne pytanie ankietowe dotyczy³o przes³anek, które sk³oniŷy kandydata do podjêcia studiów w Wydziale Podstaw Techniki („Co wp³ynê³o na Pan/Pani decyzjê o pod-

jêciu studiów w Wydziale Podstaw Techniki”). Ankietowani mieli możliwość dokonania wyboru odpowiedzi spośród następujących kategorii:

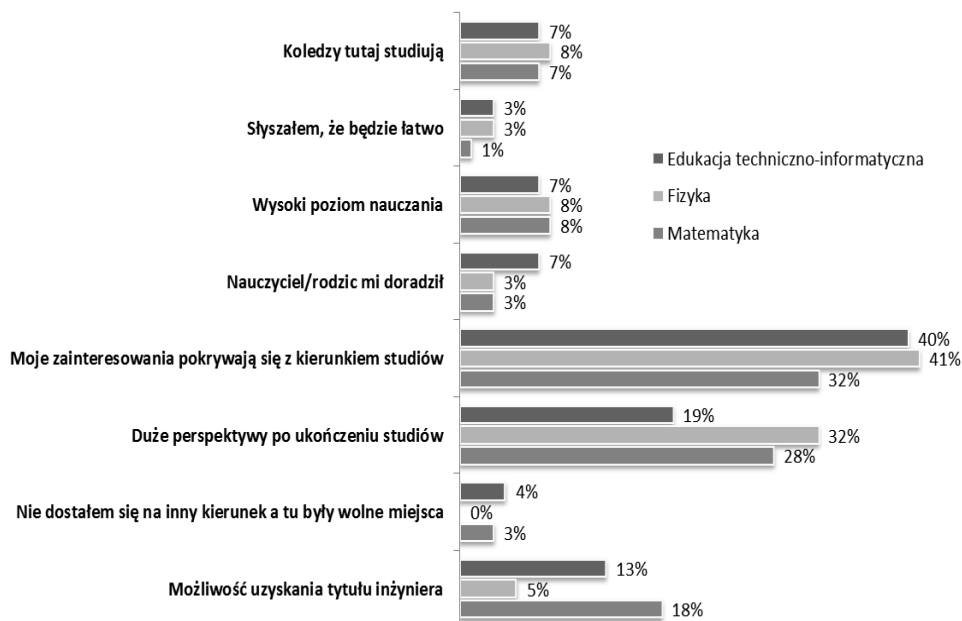
- Koledzy tutaj studiują;
- Słyszałem, że będzie łatwo;
- Wysoki poziom nauczania;
- Nauczyciel/rodzic mi doradził;
- Moje zainteresowania pokrywają się z kierunkiem studiów;
- Duże perspektywy po ukończeniu studiów;
- Nie dostałem się na inny kierunek a tu były wolne miejsca;
- Możliwość uzyskania tytułu inżyniera.

Procentowe zestawienie uzyskanych odpowiedzi zostało przedstawione na rysunku 7. Z analizy danych przedstawionych na rys. 7 wynika, iż głównym motywem podjęcia studiów na Wydziale Podstaw Techniki była zgodność zainteresowań badanych z treściami kształcenia na wybranym kierunku studiów (38%). Natomiast dla 25% studentów spore znaczenie przy wyborze kierunku miały duże perspektywy po ukończeniu studiów, a dla 15% możliwość uzyskania tytułu inżyniera. Jedynie dla 8% badanych znaczenie miał wysoki poziom nauczania. Najmniej studentów wybrało studia na WPT pod wpływem znajomych/rodziców (5%) czy żeby dołączyć do swoich kolegów studiujących już na tym wydziale (4%). Tylko 3% badanych wybrało WPT, z powodu nie przyjęcia na inny kierunek studiów, a 2% z nadzieją, że będzie łatwo.



Rys. 7. Motywy podejmowania studiów wg wszystkich badanych

Odpowiedzi badanych na pytanie o motywy wyboru studiów na WPT z podziałem na kierunek studiów zostały przedstawione na rysunku 8. Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 8 można stwierdzić, iż prowadzone w Wydziale Podstaw Techniki kierunki studiów są powiązane z zainteresowaniami przyszłych studentów i ten fakt



Rys. 8. Motywy podejmowania studiów wg studentów poszczególnych kierunków studiów

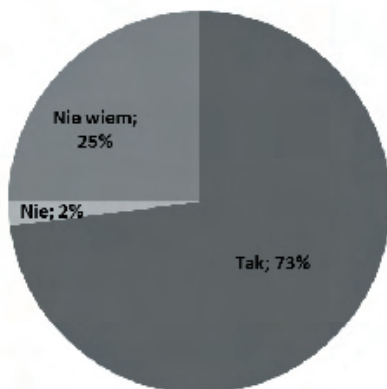
badani wskazuj¹ jako przesłankę maj¹c¹ decyduj¹cy wp³yw na dokonany wybór kierunku studiów. Uważa tak po 40% studentów edukacji techniczno-informatycznej, 41% studentów fizyki i 32% matematyki.

Jako kolejny, ważny argument brany pod uwagę przy wyborze to fakt, iż prowadzone w wydziale kierunki studiów zapewniaj¹ również zdaniem przyszłych studentów duże perspektywy zarówno w uzyskaniu pracy jak i własnego rozwoju. Odpowied¹ t¹ zaznaczył³o 19% studentów edukacji techniczno-informatycznej, 28% studentów matematyki oraz 32% studentów fizyki.

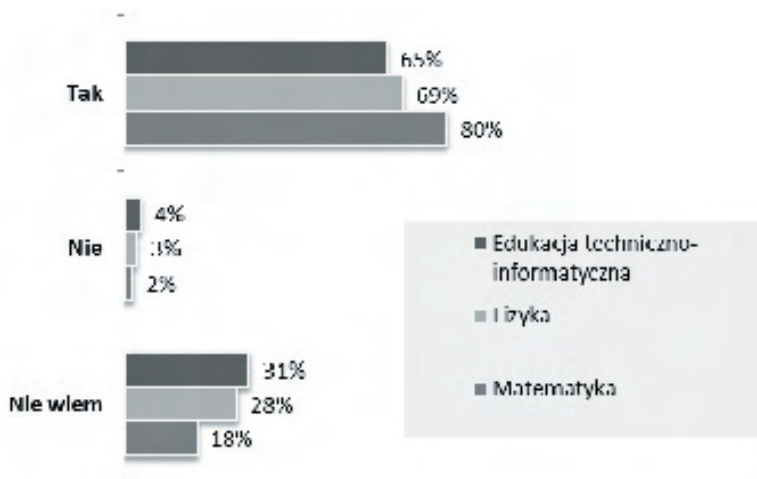
Bardzo ważnym atutem w doborze kierunku studiów ma według respondentów również to, że podjęte tu studia daj¹ możliwość otrzymania tytułu zawodowego inżyniera.

Kolejne pytanie ankiety dotyczyło perspektywy kontynuacji studiów drugiego stopnia magisterskich w dotychczasowym wydziale po ukończeniu na nim studiów pierwszego stopnia. Pytanie to choć z punktu widzenia naszych kandydatów jest być może przedwczesne, to z punktu widzenia perspektywy funkcjonowania wydziału jest jak najbardziej zasadne. Uzyskane odpowiedzi przedstawione zostały na rys. 9. i rys. 10 z uwzględnieniem wybranego przez badanych kierunku studiów.

Jak wynika z zaprezentowanych danych (rys. 9), aż 73% studentów zamierza kontynuować studia magisterskie na obranym kierunku, 25% jest jeszcze niezdecy-



Rys. 9. Odpowiedzi respondentów na pytanie: „Czy zamierza Pan(i) kontynuować studia magisterskie na obranym kierunku?”



Rys. 10. Odpowiedzi respondentów z poszczególnych kierunków studiów na pytanie: „Czy zamierza Pan(i) kontynuować studia magisterskie na obranym kierunku?”

dowanych, a 2% nie ma takiego zamiaru. Jeżeli chodzi o poszczególne kierunki studiów (rys. 10) to na kierunku edukacja techniczno informatyczna zamierza kontynuować studia magisterskie na II stopniu studiów 65% badanych studentów, na kierunku matematyka – 80% i na kierunku fizyka – 69%. Jest to bardzo duży kapitał zaufania jakim obdarzają Wydział Podstaw Techniki studenci rozpoczynający studia, pozwala to również właściwie planować zarówno jego rozwój jak i rozwój kadry naukowej, która go tworzy.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

System promocji uczelni tworzą następujące instrumenty: reklama, promocja osobista, marketing bezpośredni, public relations. Uszczegóławiając działalność ta powinna polegać na:

- dostarczaniu informacji, argumentacji, obietnic i zachęt skłaniających do skorzystania z oferty edukacyjnej;
- tworzeniu i utrzymywaniu przychylnej opinii o uczelni i jej ofercie;
- przewyższaniu oporów, uprzedzeń i przyzwyczaję hamujących popyt na określone kierunki kształcenia (z reguły mniejsze zainteresowanie studiami technicznymi niż uniwersyteckimi);
- kreowaniu popytu na nową ofertę edukacyjną;
- zmniejszaniu elastyczności cenowej popytu na ofertę edukacyjną uczelni, tzn. minimalizowaniu wrażliwości potencjalnych nabywców na cenę usług edukacyjnych (studia zaoczne, wieczorowe, uzupełniające, podyplomowe) [2].

Wydaje się, iż działania prowadzone przez Wydział Podstaw Techniki spełniają te wymogi. Potwierdzają to również wyniki zaprezentowanych badań. Analiza tych wyników wykazała, iż najbardziej efektywnym kanałem informacji o wydziale okazał się Internet. Na kolejnym miejscu znalazły się bezpośrednie kontakty z kolegami i znajomymi ze studiów co uznać można za duży sukces organizowanych spotkań z młodzieżą w szkołach średnich władz, pracowników i studentów wydziału.

Ostatecznym kryterium oceny skuteczności podjętych działań w opisywanym zakresie są wyniki rekrutacji. I choć perspektywa dwóch lat realizacji projektów mających na celu poprawienie wyjściowej pozycji wydziału i jego zaistnienie w powszechnej świadomości społecznej stanowi zbyt krótki okres na pełną ocenę to jednak już teraz można stwierdzić, że założony na początku cel został osiągnięty. Zwiększyła się bowiem znacząco liczba kandydatów przyjętych na studia.

Przyjęta metoda poprawy atrakcyjności wydziału poprzez wykorzystanie promocji internetowej i zastosowanie nowych form przekazu: filmy o kierunkach edukacja techniczno-informatyczna i fizyka techniczna, nowa strona internetowa, korzystanie z ulotek i różnorodnych plakatów informacyjnych, zamieszczanie aktualnych i wyczerpujących informacji dla kandydatów nie tylko w okresie rekrutacji, kompetentna i życzliwa opieka nad kandydatem komisji rekrutacyjnej podczas postępowania kwalifikacyjnego, aktywna promocja naszych kierunków podczas dni otwartych a także na terenie szkół średnich województwa okazała się metodą skuteczną i efektywną. Rezultaty tych działań stanowią również znaczący dorobek wydziału w jego historii.

W konkluzji przedstawionych wniosków można ponadto pokusić się o zaproponowanie nowych działań promocyjnych zgodnych z uzyskanymi wynikami przeprowadzonych badań, takich na przykład jak:

- Reklama i założenie profili na popularnych portalach internetowych np. facebook, nasza-klasa.

- Kreowanie pozytywnego wizerunku o wydziale i kierunkach studiów w Internecie poprzez stworzenie i utrzymywanie portalu dla obecnych i przyszłych studentów WPT.
- Materiały reklamowe powinny zawierać informacje i hasła reklamowe odwołujące się do zainteresowań potencjalnych studentów np. „Interesujesz się Internetem i chcesz wiedzieć jak działa silnia przyjdź na WPT” czy „Interesujesz się informatyką? Masz zainteresowania techniczne? A może przydadzą ci się uprawnienia pedagogiczne? Wybierz ETI”.
- Uczelnia, przyjmując w swoje mury nowych studentów, powinna od samego początku dążyć do pobudzenia wśród studentów poczucia przynależności do społeczności danego wydziału i kierunku studiów. Stan taki można uzyskać poprzez wspólne atrybuty materialne typu koszulki, plakietki, notesy z godłem wydziału i hasłem konkretnego kierunku oraz atrybuty niematerialne takie jak wspólna organizacja działań wydziału: seminaria naukowe, kluby dyskusyjne, koła naukowe, konferencje czy wycieczki. Działanie długofalowe spowoduje, iż studenci będą mieli poczucie współtworzenia wydziału i będą działali na jego korzyść w swoim życiu prywatnym i zawodowym. Poczucie społeczności (sense of community) niesie również szereg korzyści dla uczelni i studentów także po ukończeniu przez nich studiów.

BIBLIOGRAFIA

1. Antonowicz D., Gorlewski B. Demograficzne tsunami. Raport Instytutu Sokratesa na temat wpływu zmian demograficznych na szkolnictwo wyższe do 2020 roku, Instytut Rozwoju Kapitału Intelktualnego im. Sokratesa, Warszawa 2011.
2. Szymoniuk B., Rzemieniak M., Jachim A., Skowron S. Promocja przedsiębiorstwa i produktu, Wydawnictwo Uczelniane PL, 1998, str.10.

SOURCE OF INFORMATION ABOUT STUDYING AT THE FACULTY OF FUNDAMENTALS OF TECHNOLOGY IN LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOG AND THEIR MOTIVES IN PERCEPTION OF STUDENTS

Summary

Studies have shown that the most important sources of information on studying at the Faculty of Fundamentals of Technology in Lublin University of Technolog for candidates are: internet, colleagues and friends from college and advertising materials of the Lublin University of Technolog. The main themes of study are: compliance with the faculty students' interests, big prospects after graduation, to obtain the title of engineer.

Keywords: promotion of studies, sources of information about studies, motives of study.

