



Technologie informacyjne w technice i kształceniu

redakcja

Marian Marek Janczarek

Jerzy Lipski

MONOGRAFIE

Technologie informacyjne w technice i kształceniu

Monografie – Politechnika Lubelska



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

Technologie informacyjne w technice i kształceniu

redakcja

Marian Marek Janczarek

Jerzy Lipski



Politechnika Lubelska
Lublin 2013

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Wiktor Taranienko

dr hab. inż. Jerzy Stamirowski, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Redakcja i skład: Łukasz Wojciechowski

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2013

ISBN: 978-83-63569-40-2

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

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

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

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

Nakład: 80 egz.

SPIS TREŚCI

ŚLAWOMIR KOCIRA, EDMUND LORENCOWICZ WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII INFORMACYJNYCH PRZEZ STUDENTÓW WYBRANYCH UCZELNI.....	6
AGNIESZKA BOJANOWSKA ROLA WIRTUALNEGO ASYSTENTA W E-BIZNESIE.....	18
MAGDALENA JURCZYK-BUNKOWSKA, PIOTR CHWASTYK ROZPOZNANIE POTRZEB INFORMACYJNYCH DLA DECYZJI ZARZĄDCZYCH W PROCESACH INNOWACJI.....	28
DANIEL GAŚKA ANALIZA PRZEDWDROŻENIOWA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO DO STEROWANIA I ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ, JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI DECYDUJĄCE O SUKCESIE WDROŻENIA.....	41
ANDRZEJ ZBROWSKI, RYSZARD RUTA KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGANIA ZARZĄDZANIA PROCESAMI PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA PROTOTYPÓW.....	37
MAREK KĘSY PLANOWANIE PRACY SYSTEMÓW WYTWARZANIA TYPU GNIAZDOWEGO.....	68
MARIA ROSIENKIEWICZ KONCEPCJA PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CZĘŚCI ZAMIENNE Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH.....	78
ANTONI ŚWIĆ, WIKTOR TARANIENKO OPTIMALIZACJA PRZEBRAJANIA OBRABIAREK SYSTEMU PRODUKCYJNEGO.....	88
ŁUKASZ SOBASZEK, ARKADIUSZ GOŁA ZASTOSOWANIE MATLABA W SZEREGOWANIU ZADAŃ PRODUKCYJNYCH.....	101
JACEK DOMIŃCZUK ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM RECYKLINGU MECHANICZNEGO.....	114
MARIAN MAREK JANCZAREK ANALIZA MATEMATYCZNO-FIZYCZNA CIEPLNYCH KOMÓR TECHNICZNYCH.....	127

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII INFORMACYJNYCH PRZEZ STUDENTÓW WYBRANYCH UCZELNI

Wstęp

Postęp techniczny, w szczególności w sektorze informatycznym, spadek cen sprzętu i skokowy wzrost dostępności do internetu powoduje, że dla współczesnego społeczeństwa wykorzystanie technologii informacyjnych jest podstawą zarządzania procesami pracy i produkcji co ma także istotny wpływ na relacje międzyludzkie [2]. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego i Ministerstwa Administracji i Cyfryzacji w 2012 roku w Polsce 73% gospodarstw domowych z co najmniej jedną osobą w wieku 16-74 lata było wyposażonych w komputer, a dostęp do internetu miało 71% gospodarstw [20, 25]. Najczęściej z internetu korzystają osoby w wieku 16-24 lata i niewątpliwie w tej grupie studenci najczęściej sięgają do internetu [3]. Dla współczesnych studentów technologie informacyjne stanowią często podstawę organizacji ich procesu nauczania. Z drugiej strony coraz częściej wykorzystywana jest na uczelniach technologia nauczania na odległość – e-learning [5, 8, 10, 16, 17, 19]. Pomimo faktu, że w Polsce poziom dostępności do internetu i komputerów nie jest tak wysoki jak w rozwiniętych krajach Unii Europejskiej (UE) to jednak już w 2011 roku 64% mieszkańców z przedziału wiekowego 16-74 lata wykorzystywało komputery a 55% internet. Dla porównania średnie wartości UE wynosiły odpowiednio 73 i 71%. Najwyższe były w krajach skandynawskich – ponad 90% a najniższe w Bułgarii – niecałe 50% [9, 20]. W Unii Europejskiej występuje duże zróżnicowanie pomiędzy społeczeństwami poszczególnych krajów jeśli chodzi o poziom umiejętności komputerowych, także w grupie studentów [11]. Jednym z czynników ograniczających dostęp do technologii informacyjnych w Polsce jest stosunkowo niski poziom umiejętności w tej dziedzinie. Choć na tle ogółu społeczeństwa studenci wyróżniają się relatywnie wysokimi umiejętnościami i wiedzą z zakresu informatyki, to jednak w tej grupie też pojawiają się problemy prawidłowego wykorzystania dostępnych środków [12, 22, 28]. Nie każdy student dysponuje własnym sprzętem i dostępem do internetu, choć zmienia się to w ostatnich latach [13, 14, 15, 21]. Zauważalna jest dość powszechnie tendencja do uproszczonego i powie-

rzeczownego korzystania, w szczególności z zasobów internetu nie tylko w Polsce, ale także w innych krajach [6, 8, 23, 24, 26], choć wraz z rokiem studiów wzrasta świadomość konieczności opanowania specjalistycznych umiejętności informatycznych [27]. Również pracownicy uczelni nie wykorzystują optymalnie możliwości technologii informacyjnych w nauczaniu. Najczęściej służą one do prezentacji własnych wykładów [4, 7].

1. Cel, materiał i metody badań

Celem prowadzonych badań była ocena wykorzystania technologii informacyjnych oraz posiadanego sprzętu komputerowego przez studentów wybranych uczelni z województwa lubelskiego.

Badania ankietowe przeprowadzone były w latach 2009–2013 w dwóch uczelniach: Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie i Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, na pięciu kierunkach studiów [13, 14, 15].

Analizowany materiał pochodzi z lat 2009 i 2013. Zestawiono ankiety studentów z trzech kierunków kształcenia: techniki rolniczej i leśnej, zarządzania i inżynierii produkcji oraz rolnictwa. W 2009 roku ankiety wypełniło 334 a w 2013 r. 408 studentów.

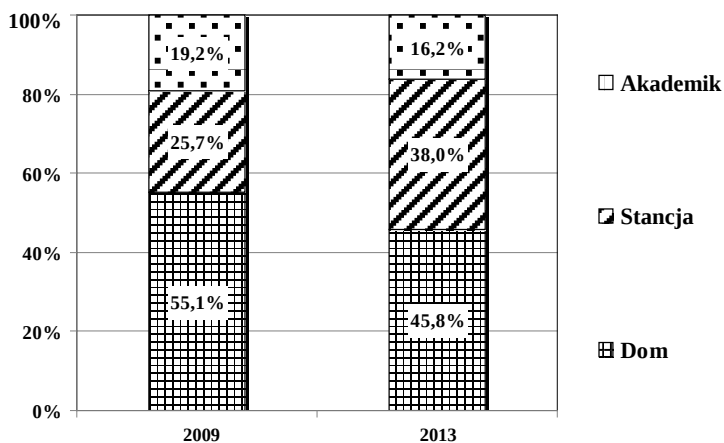
Pytania w ankiecie pogrupowane były na trzy sekcje dotyczące:

- posiadanego sprzętu informatycznego i poziomu jego wykorzystania,
- dostępu, rodzaju informacji i częstotliwości korzystania z zasobów internetowych;
- sposobu, zakresu i poziomu wykorzystania technologii informacyjnych.

Zebrane dane po weryfikacji i sprawdzeniu kompletności zestawiono w arkuszu kalkulacyjnym za pomocą, którego wykonano analizę.

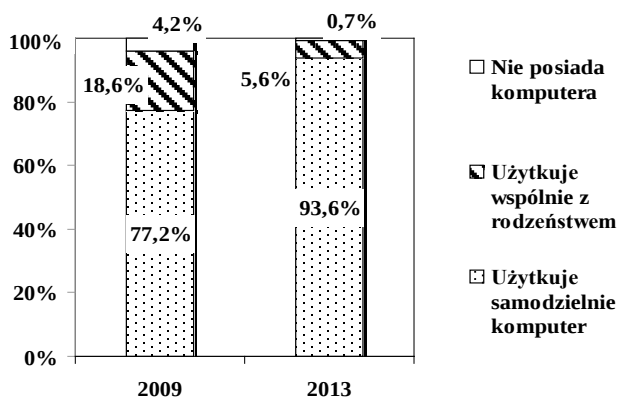
2. Charakterystyka ankietowanych studentów i wykorzystywanego sprzętu komputerowego

W 2009 roku z 334 studentów biorących udział w badaniu 56,3% pochodziło ze wsi, a 43,7% z miasta. W trakcie studiów 55,1% z nich mieszkało w domu, 25% na stancji, a 19,2% w domu akademickim (wykres 1). W 2013 roku proporcje te uległy odwróceniu i ze wsi pochodziło 62,5%, z miasta 37,5% ankietowanych. W domu zamieszkiwało 45,8% ankietowanych, na stancji 38,0%, a 16,2% w domu akademickim. Jest to o tyle istotne, że wpływa na dostępność do internetu i częstotliwość jego wykorzystania.



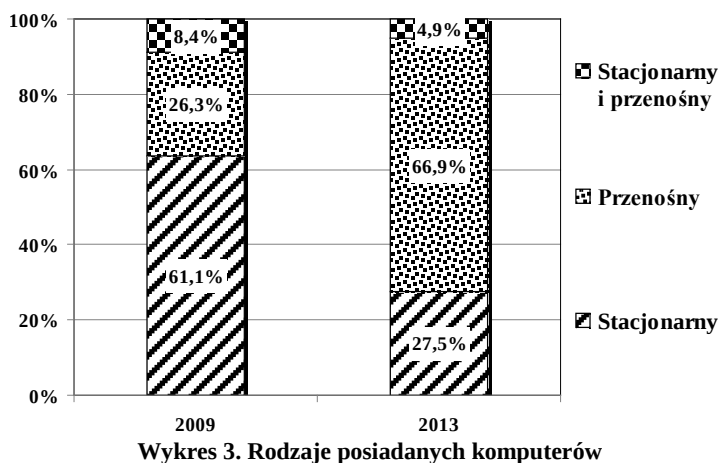
Wykres 1. Miejsce zamieszkania badanych studentów w trakcie studiów

W analizowanych latach nastąpiła zmiana w liczbie posiadanych komputerów. W 2009 roku własne komputery posiadało 77% studentów, a 19% wspólne z rodzeństwem (wykres 2). W 2013 roku własny komputer miało 93%, a wspólny z rodzeństwem 6%. Tylko 1% ankietowanych nie posiadał komputera.



Wykres 2. Posiadanie komputerów przez badanych studentów

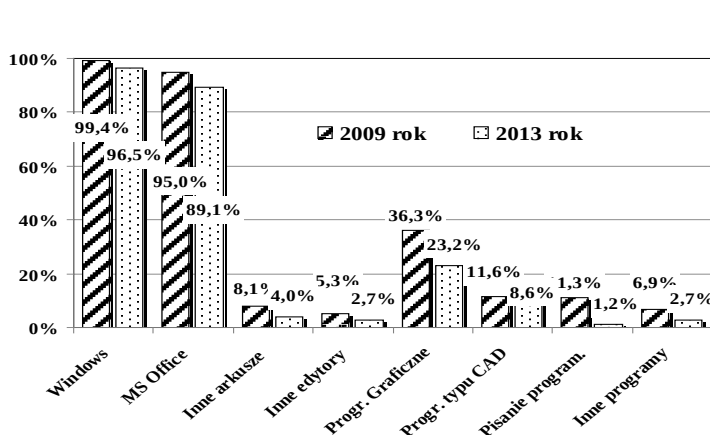
W badanych okresach nastąpiła zmiana w rodzaju posiadanych komputerów. W 2009 roku przeważały zdecydowanie komputery stacjonarne. Ich udział w badanej grupie wynosił 61,1%, a łącznie z studentami posiadającymi zarówno komputer stacjonarny jak i przenośny stanowił prawie 70% (wykres 3).



W 2013 roku zaobserwowano zmianę w udziale komputerów stacjonarnych, który zmalał do 27,5%. Komputery przenośne użytkowało 66,9% a razem z osobami posiadającymi zarówno przenośny jak i stacjonarny komputer ich udział wynosił ponad 70%. Taka zmiana nastąpiła prawdopodobnie w wyniku wyrównania się cen komputerów przenośnych z cenami komputerów stacjonarnych, a w wyniku naturalnego procesu wymiany komputerów studenci zakupywali w miejsce stacjonarnych komputery przenośne. Trzeba podkreślić, że w ankietach w 2009 roku nie zostały uwzględnione najnowsze, popularne już wśród studentów rozwiązania technologiczne takie jak tablet czy smartfon, które coraz częściej pełnią rolę podręcznych komputerów. Natomiast w 2013 roku 7,6% badanych deklarowało – poza własnością komputera posiadanie także tabletu, a 22,8% smartfona.

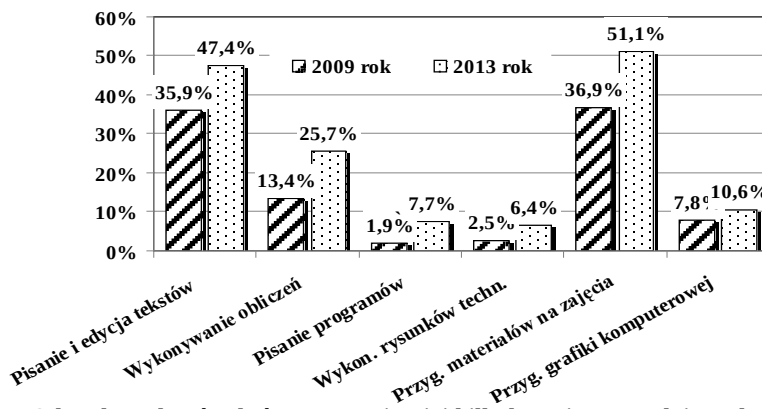
3. Analiza wykorzystania programów komputerowych

Przy ocenie użytkowania różnych programów komputerowych ankietowani mogli wybrać kilka odpowiedzi. W przypadku wykorzystywania pakietu MS Office część z ankietowanych użytkowało także inne programy służące do obliczeń i pracy biurowej (wykres 4). Zarówno w 2009 jak i 2013 roku prawie wszyscy studenci posiadający komputer użytkowali system operacyjny Windows.



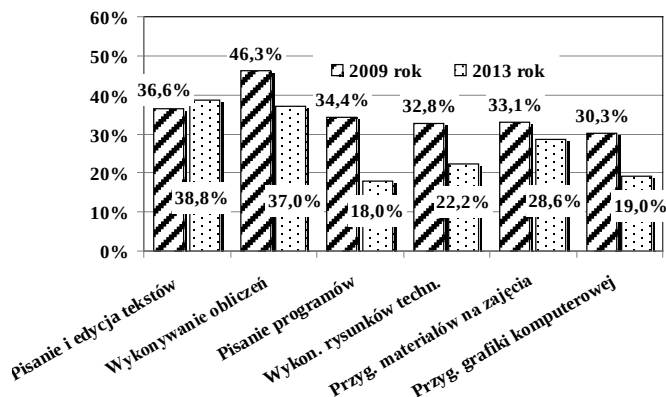
Wykres 4. Odsetek studentów używających wybrane programy komputerowe

Odsetek studentów korzystających z edytorów tekstów kilka razy w tygodniu jak i rzadziej zwiększył się w roku 2013 w porównaniu do roku 2009 (wykres 5). Odsetek studentów wykonujących obliczenia kilka razy w tygodniu podwoił się, a przygotowujących materiały na zajęcia zwiększyła prawie o 15%.



Wykres 5. Odsetek studentów, którzy przynajmniej kilkakrotnie w tygodniu wykorzystywali różne programy użytkowe

Analizując odsetek studentów, którzy raz w tygodniu lub rzadziej korzystali z programów użytkowych największy regres nastąpił w odpowiedzi „pisanie programów” (wykres 6). Jednak należy zwrócić uwagę, że przy tej samej odpowiedzi nastąpił ponad 2-krotny wzrost udziału studentów, którzy przynajmniej kilkakrotnie w ciągu tygodnia piszą programy (wykres 5).

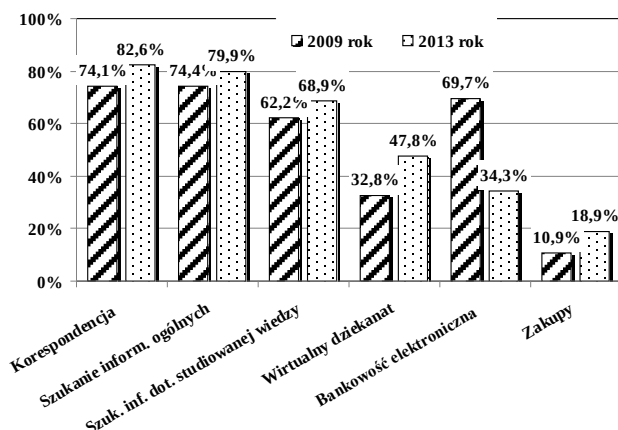


Wykres 6. Odsetek studentów, którzy raz w tygodniu lub rzadziej wykorzystywali różne programy użytkowe

W pozostałych przypadkach udział studentów wykorzystujących rzadko komputer zmniejszył się w okresie badanych pięciu lat.

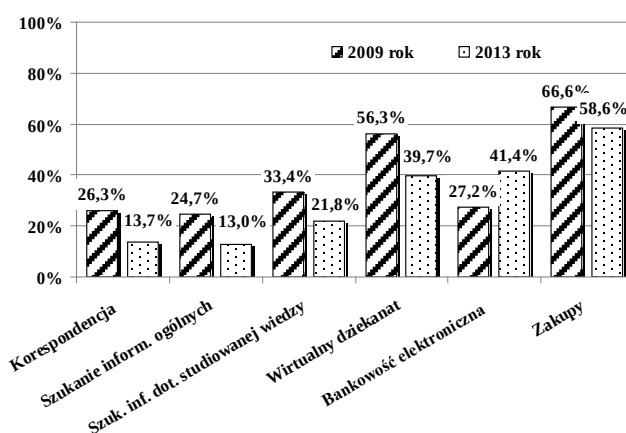
4. Analiza wykorzystania Internetu

W badanym 2013 roku nastąpił wzrost poziomu wykorzystania internetu zarówno w sensie użytkowym jak i rozrywkowym. Ocena użytkowego wykorzystania internetu dotyczyła częstotliwości wykorzystania sieci w takich czynnościach jak „korespondencja”, „ogólne szukanie informacji”, „szukanie informacji dotyczących studiowanej wiedzy”, „wirtualny dziekanat” (wykorzystanie elektronicznego dostępu do zarządzania informacją i danymi dotyczącymi realizacji studiów) i „zakupy” (wykres 7). Zastanawiające jest zmniejszenie z 69,7% ogółu ankietowanych w 2009 do 34,3% w 2013 roku kilkukrotnie w ciągu tygodnia korzystających z bankowości elektronicznej. Można jednak zaobserwować wzrost korzystania z tej usługi raz w tygodniu lub rzadziej (wykres 8). Z analizy danych wynika, że studenci coraz częściej korzystają z możliwości jakie dają im usługi świadczone przez internet.



Wykres 7. Odsetek studentów kilkakrotnie w tygodniu wykorzystywali użytkowo internet

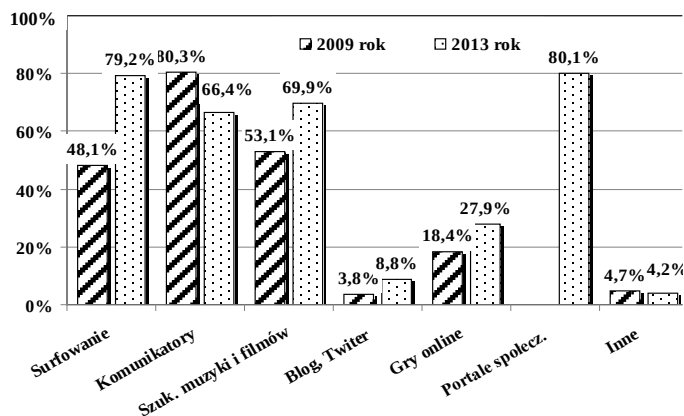
Zaobserwowane zmniejszenie się odsetka studentów korzystających raz w tygodniu lub rzadziej z informacji i usług świadczonych przez internet potwierdza tendencję do coraz częstszego korzystania z możliwości jakie stwarza ta technologia.



Wykres 8. Odsetek studentów raz w tygodniu lub rzadziej wykorzystywali użytkowo internet

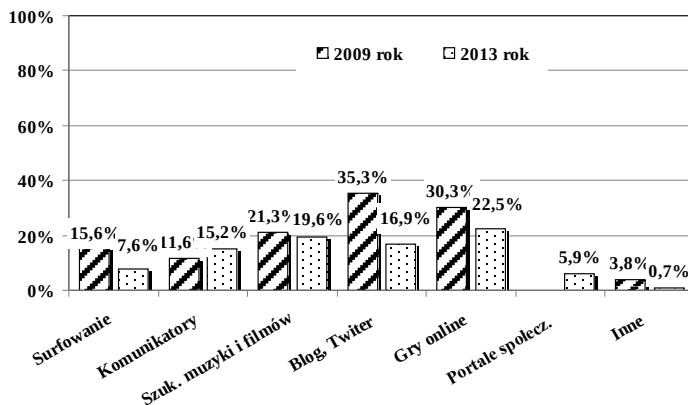
Analizując wyniki dotyczące wykorzystania internetu w celach rozrywkowych można zaobserwować wzrost częstotliwości surfowania po internecie (wykres 9). Prawdopodobnie w związku ze zwiększeniem się prędkości przesyłania danych oraz coraz większymi zasobami internetu w 2013 roku o ponad 15% wzrosła liczba studentów szukających filmów i muzyki. Także odsetek studentów grających w gry online kilka razy w tygodniu zwiększyła się. Bardzo dużą popularnością cieszą się portale społecznościowe.

Portale te oprócz informacji o osobach przejmują także częściowo rolę komunikacji między znajomymi co wpłynęło na zmniejszenie odsetka osób używających komunikatory internetowe.



Wykres 11. Odsetek studentów, którzy kilkakrotnie w tygodniu wykorzystywali internet do rozrywki

Analizując odsetek studentów, którzy raz w tygodniu lub rzadziej wykorzystywali internet do rozrywki można zaobserwować w każdej z rozpatrywanych opcji zmniejszenie odsetka osób (wykres 10). Taka zmiana wynika głównie z popularności internetu, co wpłynęło na zwiększenie częstotliwości korzystania z rozrywki w internecie.



Wykres 10. Odsetek studentów raz w tygodniu lub rzadziej wykorzystujących internet do rozrywki

Należy podkreślić, że odpowiedź „portale społecznościowe” wprowadzono do ankiet po 2009 roku i dlatego informacje przedstawione na rysunku 9 i 10 obejmują jedynie dane z roku 2013.

5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wyników badań wykazała, że w latach 2009-2013 nastąpiły zmiany w wykorzystaniu technologii informacyjnych przez studentów. Zwiększyła się dostępność do sprzętu komputerowego a udział studentów posiadających własne komputery wzrósł z 77% do 93% przy czym komputery przenośne użytkowało już ponad 70% badanych, a dodatkowo blisko 8% posiadało tablety i 23% smartfony. Praktycznie wszyscy studenci (98%) mają już bezpośredni dostęp do internetu w aktualnym miejscu zamieszkania i częstotliwość jego wykorzystania znacząco wzrosła. Zaobserwowano również zwiększenie liczby studentów, którzy wykorzystują technologie informacyjne do przygotowywania materiałów na zajęcia, pisania tekstów i wykonywania obliczeń oraz częstotliwości działania w tym zakresie. Można szacować, że w tym zakresie aktywności nastąpił wzrost nawet o około 50%. Stwierdzono także zwiększenie częstotliwości użytkowania internetu do poszukiwania informacji związanych z studiowaniem.

Przedstawione powyżej tendencje zmian są zgodne z rozwojem społeczeństw opartych na wiedzy. Należy podkreślić, że obecnie ocenia się, iż umiejętności komputerowe są podstawowymi umiejętnościami społeczeństwa i konieczne jest zapobieganie wykluczeniu cyfrowemu, a zróżnicowanie wśród poszczególnych krajów jest bardzo duże [1]. Jak stwierdza Oliver [18] „...wzrost poziomu i dostępności technologii informacyjnych jako jednego z podstawowych narzędzi w życiu społeczeństw generuje konieczność posiadania coraz nowych umiejętności i jest wysoce prawdopodobne, że przyszły rozwój i wdrażanie aplikacji innowacyjnych będzie jak nigdy uzależnione od wzrostu wiedzy i umiejętności komputerowych społeczeństwa”.

Literatura

1. Aristovnik A. The Impact of ICT Educational Performance and Its Efficiency in Selected EU and OECD Countries: Non-parametric Analysis. TOJET 11 (3), s. 144-152.
2. Basl J., Sasiadek M. Innowacyjna rola ICT w społeczeństwie i w gospodarce. [w:] Knosala R. (red.) Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. OW PTZP, Opole 2012, s.759-768.
3. Batorski D. Korzystanie z technologii informacyjno-komunikacyjnych.[w:] Czapiński J. (red.), Panek T. (red.). Diagnoza społeczna 2011. Warunki i jakość życia Polaków. Raport. 2011, s. 299-327 [http://www.diagnoza.com/pliki/raporty/Diagnoza_raport_2011.pdf] (22.05.2012).
4. Bustos H., Nussbaum M. An Experimental Study of the Inclusion of Technology in Higher Education. Computer Applications in Engineering Education, 17 (1), 2007, s.100-107.
5. Delgado-Almonte M., Bustos Andreau H., Pedraja-Rejas L. Information Technologies in Higher Education: Lessons Learned in Industrial Engineering. Educational Technology and Society, 13 (4), 2010, s. 140-154.
6. Dincer S., Sahinka Yasi Y. A Cross-cultural Study of ICT Competency, Attitude and Satisfaction of Turkish, Polish and Czech University Students. TOJET, 10 (4), 2011, s 31-38.
7. Feiner J. (2003). Metodyczne aspekty wykorzystania technologii informacyjnej i Internetu w procesie edukacyjnym AGH. [w:] Polskie doświadczenia w kształtowaniu społeczeństwa informacyjnego. 2003.[<http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty/0037/cz4-r39.pdf>] (15.09.2012)

8. Hong, K. S., Songan, P. ICT in the changing landscape of higher education in Southeast Asia. In Hong, K. S. & Lai, K. W. (red.), *ICT for accessible, effective and efficient higher education: Experiences of Southeast Asia*. Australasian Journal of Educational Technology, 27 (Special issue, 8), 2011, 1276-1290, [<http://www.ascilite.org.au/ajet/ajet27/hong.html>] (24.10.2012).
9. Information society statistic. 2012.[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Information_society_statistics] (24.12.2012).
10. Kirkup G., Kirkwood A. Information and Communications Technologies (ICT) in Higher Education Teaching - a Tale of Gradualism Rather than Revolution. *Learning, Media and Technology*, 30 (2), 2005, 185–199 [http://oro.open.ac.uk/6213/1/A_tale_of_gradualism__final_handover.pdf] (24.07.2012).
11. Kiss G. Measuring Computer Science Knowledge Level of Hungarian Students Specialized in Informatics with Romanian Students Attending a Science Course or a Mathematics-informatics Course. *TOJET* 11 (4),2012, s. 221-235.
12. Lis R. Problem nadmiernego zaangażowania studentów w aktywności internetowej. *Postępy Nauki i Techniki*, 4, 2010, s.12-22.
13. Lorencowicz E., Kocira S. Wykorzystanie komputerów i Internetu przez studentów studiów o profilu rolniczym. *Inżynieria Rolnicza*, 9 (118), 2009, s.121-129.
14. Lorencowicz E., Kocira S. Ocena wykorzystania technologii informacyjnych w procesie kształcenia studentów. *Inżynieria Rolnicza*, 7 (125), 2010, s. 119-124.
15. Lorencowicz E., Kocira S. Ocena wykorzystania internetu przez studentów studiów inżynierskich. *Postępy Nauki i Techniki*. 15, 2012, s.238-243.
16. Marçalo M., Fonseca M., Silva A. ICT in higher education in Portugal CALL-computer-assisted language learning, 2010 [<http://www.entreculturas.uma.es/n3pdf/articulo08.pdf>] (4.07.2012).
17. Nadira Banu Kamal A.R., Thahira Banu A. ICT in Higher Education – A Study. *Canadian Journal on Data, Information and Knowledge Engineering* Vol. 1, No. 1, 2010, [<http://www.ampublisher.com/April%202010/DIKE-1003-012-ICT-in-Higher-Education-A-Study.pdf>] (24.10.2012)
18. Oliver R. The Role of ICT in Higher Education for the 21st Century: ICT as a Change Agent for Education. *Proceedings of HE21 Conference*, 2002 [<http://bhs-ict.pbworks.com/f/role%20of%20ict.pdf>] (15.03.2013)
19. Patel C.J., Gali V.S., Patel D.V., Parmar R.D. The effect of information and communication technologies (ICTs) on higher education: From objectivism to social constructivism. *Int. Journal of Vocational and Technical Education*, 3 (5), 2011, s. 113-120.
20. Społeczeństwo informacyjne w Polsce. GUS Szczecin. 2012 [http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbr/gus/nts_spolecz_inform_w_polsce_10-2012.pdf] (27.03.2012).
21. Sprzęt IT wykorzystywany przez studentów w Polsce. 2009 [<http://www.pcformat.pl/News-Sprzet-IT-wykorzystywany-przez-studentow-w-Polsce,n,4693>] (8.03.2013).
22. Studenci godzinami przesiadują w Internecie. 2012 [<http://media2.pl/internet/87539-Studenci-godzinami-przesiaduja-w-Internecie.html>] (8.03.2013).
23. Studenci i Internet. 2012 [<http://www.edukatormedialny.pl/2012/02/studenci-i-internet.html>] (8.03.2012).
24. Szpunar M. Internet a zmiana stylu życia – perspektywa Polski i USA na przykładzie studentów. [w:] Haber L. (red.), *Akademicka społeczność informacyjna. Na przykładzie środowiska akademickiego Akademii Górniczo-Hutniczej, Uniwersytetu Jagiellońskiego i Akademii Ekonomicznej, Kraków, AGH*, 2005, s.297-310.
25. Szymanek V. (red.). *Społeczeństwo informacyjne w liczbach*. MAiC, Dep. Społ. Inf., Warszawa 2012 [<http://minus.com/mjUBgcl0B>] (28.03.2013).
26. Tutkun Ö.F. Internet Access, Use and Sharing Levels Among Students During the Teaching-learning Process. *TOJET*, 10 (3), 2011, s.152-160.

27. Walczyna A., Sawa M., Charłak M. Wpływ edukacji informatycznej na świadomość studentów kierunku zarządzanie i marketing w zakresie możliwości wspomagania komputerowego w zarządzaniu. *Postępy Nauki i Techniki* 1, 2007, s. 120-128.
28. Yau H.K., Cheng A.L.F. Students' Age Difference of Confidence in Using Technology for Learning in Higher Education. *TOJET*, 11 (3), 2012, s. 308-311.

USE OF INFORMATION TECHNOLOGY BY STUDENTS OF SELECTED UNIVERSITIES

Abstract

The goal of study was evaluation of ICT using by students of two higher schools from Lublin region. The investigation was conducted in the years from 2009 to 2013 in the University of Life Sciences in Lublin and the State School of Higher Education in Chełm. For analysis the data from the years 2009 and 2013 were selected. The conclusion is that the level of ICT using is in 2013 higher than in 2009. More than 93% of students have own computer and dominant is the laptop. Almost all students (98%) have internet connection in living places, and frequency of internet using is much higher. The share of students using computers and internet for study significantly increased and it is estimated that the level is about 50% higher than 5 years ago.

Keywords: engineering education, ICT, internet using

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII INFORMACYJNYCH PRZEZ STUDENTÓW WYBRANYCH UCZELNI

Streszczenie

Celem prowadzonych badań była ocena wykorzystania technologii informacyjnych oraz posiadanego sprzętu komputerowego przez studentów wybranych uczelni z województwa lubelskiego. Badania ankietowe przeprowadzono w latach 2009–2013 w dwóch uczelniach: Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie i Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, na pięciu kierunkach studiów. Analizie poddano materiał z lat 2009 i 2013. Przeprowadzona analiza wyników badań wykazała, że nastąpiły zmiany w wykorzystaniu technologii informacyjnych przez studentów. Zwiększyła się dostępność do sprzętu komputerowego a udział studentów posiadających własne komputery wzrósł z 77% do 93% przy czym komputery przenośne użytkowało już ponad 70% badanych, a dodatkowo blisko 8% posiadało tablety i 23% smartfony. Praktycznie wszyscy studenci (98%) mają już bezpośredni dostęp do internetu w aktualnym miejscu zamieszkania i częstotliwość jego wykorzystania znacząco wzrosła. Zaobserwowano również zwiększenie liczby studentów, którzy wykorzystują technologie informacyjne do przygotowywania materiałów na zajęcia, pisanie tekstów i wykonywania obliczeń oraz częstotliwości działania w tym zakresie.

Można szacować, że w tym zakresie aktywności nastąpił wzrost nawet o około 50%. Stwierdzono także zwiększenie częstotliwości użytkowania internetu do poszukiwania informacji związanych z studiowaniem.

Słowa kluczowe: edukacja inżynierska, technologie informacyjne, wykorzystanie internetu.

Dr inż. Sławomir KOCIRA
Prof. dr hab. inż. Edmund LORENCOWICZ
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
20-612 Lublin, ul. Głęboka 28
tel./fax.: 815 318 321
e-mail: slawomir.kocira@up.lublin.pl
edmund.lorencowicz@up.lublin.pl

ROLA WIRTUALNEGO ASYSTENTA W E-BIZNESIE

Wstęp

Współczesne przedsiębiorstwa, zwłaszcza te działające w sferze e-biznesu, co raz chętniej wykorzystują nowoczesne technologie informatyczne w swojej działalności. Jednym z aspektów ich aktywności na rynku jest utrzymywanie stałego, efektywnego kontaktu z klientami firmy. Firma może, a nawet powinna, otworzyć wiele kanałów kontaktu dla swoich klientów, są to m.in. telefon komórkowy, telefon stacjonarny, komunikatory internetowe (np. Skype, czy Gadu Gadu), portale społecznościowe (np. Facebook), czy też strona www. Właśnie witryna www w obecnych czasach staje się "oknem" na świat dla biznesu, przez które za pomocą różnych narzędzi zachęca się klienta do nawiązania kontaktu, a tym samym relacji z firmą. Jednym z najmówocześniejszych narzędzi, które można wykorzystać na witrynie internetowej firmy jest wirtualny asystent. Analitycy ze znanej amerykańskiej firmy konsultingowej Gartner twierdzą, że do końca 2013 r. przynajmniej 15 proc. przedsiębiorstw z listy Fortune 1000 sięgnie po wirtualnych doradców. Z kolei do 2020 r. aż 85 proc. komunikacji pomiędzy klientem a firmą będzie odbywało się bez pośrednictwa człowieka [1].

1. Charakterystyka wirtualnego asystenta

W 1966 roku Joseph Weizenbaum stworzył pierwowzór dzisiejszego wirtualnego asystenta [2]. Był to program komputerowy o nazwie Eliza, który służył do prowadzenia prostej konwersacji z komputerem. W tej konwersacji można było po raz pierwszy używać pytań zadawanych w języku naturalnym. Polskim odpowiednikiem Elizy była Teresa, stworzona w 1977 r. przez Ryszarda Tadeusiewicza i jego ówczesnego magistranta – Stanisława Mazona na Akademii Hutniczo-Górnictwej w Krakowie. W 2001 r. pojawił się pierwszy komercyjny polski bot – Fido, utrzymany na licencji niemieckiej firmy Kiwilogic [3]. Obecnie pojęcie wirtualnego asystenta bywa zamiennie używane z pojęciem wirtualnego doradcy. Czasami można spotkać się również z określeniami chatbot, chatterbot, bot lub linguabot, pochodzącymi z języka angielskiego. Najogólniej rzecz biorąc jest to program komputerowy, który symuluje rozmowę z człowiekiem przy użyciu sztucznej inteligencji [4]. Mówi

się o rozwoju nowej dziedziny w zakresie sztucznej inteligencji. Tą dziedziną jest botyka, która najogólniej mówiąc zajmuje się modelowaniem i symulowaniem ludzkich zachowań w ramach sztucznej inteligencji [5]. W oparciu o botykę tworzy się interfejsy do kontaktu z użytkownikiem, które możliwie najlepiej odwzorowują autentyczne ludzkie zachowania. Botyka korzysta z wielu dyscyplin, takich jak:

- socjologia,
- psychologia,
- lingwistyka,
- grafika,
- informatyka,
- architektura informacji,
- inżynieria wiedzy,
- logika,
- psychofizjologia.

Możliwości, jakie otwiera botyka przed projektantami rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji, pozwalają na powstanie postaci do złudzenia przypominających rzeczywiste. Ma to istotne znaczenie, gdy dla użytkownika ważny jest kontakt z "żywą" osobą, a zapewnienie takiego kontaktu wiąże się z dużymi kosztami lub jest wręcz niemożliwe. Botykę wykorzystuje się nie tylko do tworzenia wirtualnych asystentów w e-biznesie, ale także do:

- przeprowadzania automatycznej obsługi baz danych, przeszukiwania, indeksowania i gromadzenia informacji (searchboty);
- pomagania w robieniu zakupów przez Internet, przeszukiwania witryn w poszukiwaniu najkorzystniejszych cen (shoppingboty);
- automatycznego odpowiadania za pomocą poczty elektronicznej oraz do obsługi zamówień, pomocy technicznej i informacji marketingowej (infooboty).

Jednak najbardziej efektywnym rozwiązaniem z tej dziedziny są niewątpliwie pojawiający się na stronach internetowych wirtualni asystenci, którzy nie tylko działają imitując ludzkie zachowania, ale także wyglądają jak żywy człowiek. Mają oni sprawiać wrażenie, że klient rozmawia z realnym i kompetentnym przedstawicielem firmy. Nadają witrynie internetowej ludzką twarz. Rozwiązanie to już wcześniej było i nadal jest wykorzystywane w procesie budowania relacji z klientami różnych firm. Przykładem może tu być ukazanie znanej twarzy aktorki (Rys. 1) reklamującej bank na witrynie internetowej lub wprowadzenie ujednoliconego i budzącego zaufanie ludzkiego wizerunku w wizualizacji marketingowej innego banku (Rys. 2). Takie rozwiązania są wstępem do implementacji wirtualnego asystenta w działalności e-biznesowej.



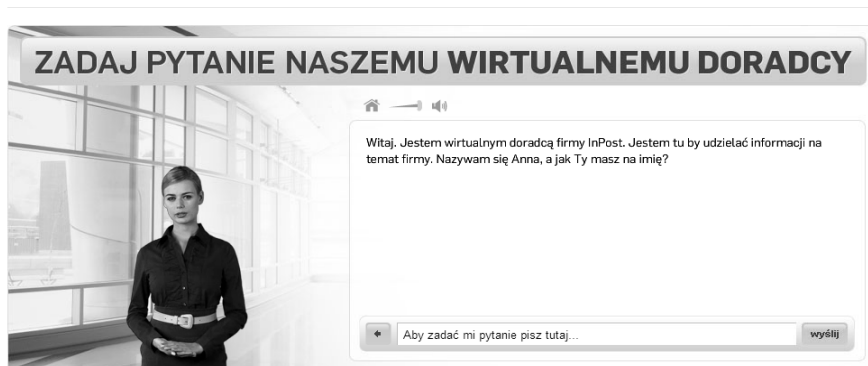
Rys. 1. Twarz kampanii reklamowej banku jako twarz strony internetowej [6]



Rys. 2. Ikony kampanii "bankowcy w melonikach" [7]

Wirtualni asystenci zawitali na stronach internetowych w Polsce stosunkowo niedawno. Często wywodzą się z wcześniejszych strategii marketingu wizualnego firm. Przykładami wirtualnych asystentów zaimplementowanych w witrynach internetowych mogą być wirtualny doradca ze strony InPost Sp. z o.o. (Rys. 3), czy też wirtualny sprzedawca ze strony firmy Archideko (Rys. 4).

Wirtualny asystent



Rys. 3. Wirtualny asystent z witryny <http://www.inpost.pl/wirtualny-asystent.html> [8]

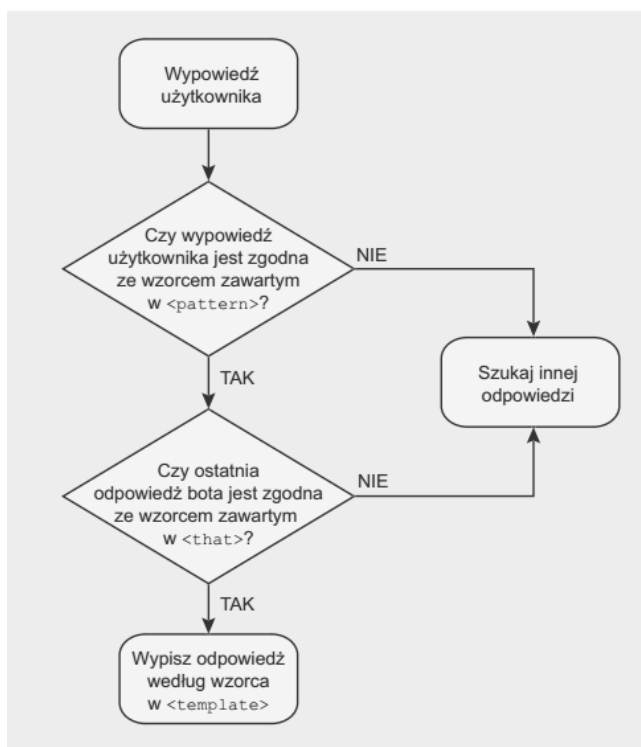


Rys. 4. Wirtualny doradca ze strony <http://archideko.pl/> [9]

Powyżej zaprezentowano wizualną część charakterystyki wirtualnego asystenta. Jest to aspekt niezwykle ważny dla klientów i budowania relacji z nimi przez firmę. Nie można jednak pominąć istotnej kwestii, jaką jest sposób działania i budowa chatbotów. Pod widzianymi przez klientów awatarami kryją się bowiem skomplikowane rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji i botyki. Każdy chatterbot składa się z dwóch podstawowych elementów: bazy wiedzy i silnika przetwarzającego tę wiedzę [10]. Pokróćce mówiąc wirtualny asystent podczas rozmowy z użytkownikiem wykonuje algorytm zaprezentowany na rysunku 5.

Wypowiedzi botów opierają się na wzorcach, które poprzez użycie znacznika <random> czasami generowane są w sposób losowy z ograniczonej puli. Powoduje to większe "uczłowieczenie" bota w oczach użytkownika. Przykładowo, na powitanie klienta może zostać użyty zwrot "Witaj!", "Cześć!" lub "Dzień dobry!". Dzięki użytym zmiennym bot może zapamiętywać informacje o użytkownikach i przez to dopasowywać kolejną rozmowę do oczekiwań i typu klienta. Język naturalny, którym posługują się klienci, daje nieskończenie wiele możliwości. Tworząc boty nikt nie jest w stanie wszystkich przewidzieć i zaprogramować wszystkich odpowiedzi. Często zdarza się, że wirtualni asystenci pytani są np. o pogodę lub ocenę aktualnej sytuacji politycznej. Użytkownicy często dla zabawy zadają botom również prywatne pytania. Niestety chatboty są ograniczone pod względem ilości wariantów odpowiedzi na wszystkie możliwe tematy. Pomocny staje się tu znacznik tematu rozmowy, który pomaga nakierować wirtualnego asystenta na udzielenie prawidłowej odpowiedzi. Znacznik systemowy pomaga wybrać zmienną systemową, która zyskując

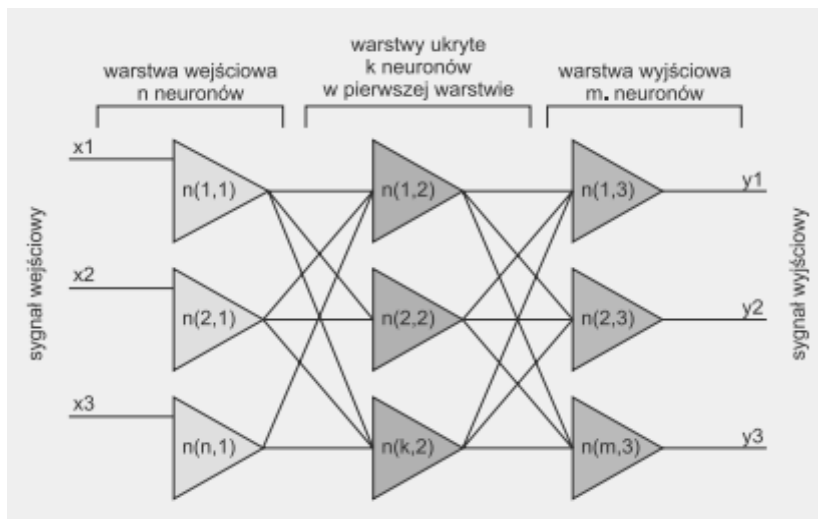
odpowiednią wartość inicjuje wybranie właściwej odpowiedzi. Niektórych odpowiedzi na pytania nie można wyłowić z bazy wiedzy przy użyciu słów kluczowych. Dlatego w budowie chatbotów coraz częściej wykorzystuje się sieci neuronowe. Działający w ten sposób bot sprawdzi poszczególne wyrazy z pytania użytkownika (w tym poprawi literówki), kolejność i częstość ich występowania, formę gramatyczną, funkcję pełnioną w zdaniu, tak samo jak funkcje znaków przestankowych. Wreszcie porówna pytanie z tematem poprzednich swoich wypowiedzi, a także przy formułowaniu odpowiedzi odniesienie się do zgromadzonych o użytkowniku danych (np. imienia). Z tych informacji postara się odczytać nie tylko sens pytania, ale również jego kontekst i zawarte w nim emocje [1].



Rys. 5. Zasada działania znacznika <that> w działaniu bota [10]

Oparcie botów o systemy sieci neuronowych pozwala im uczyć się na kolejnych zdarzeniach i ciągle doskonalić język i bazę wiedzy. Chatterboty, nad którymi pracuje się obecnie, wykorzystują mieszane metody – obok językowych stosuje się np. logikę rozmytą, algorytmy gramatyki bezkontekstowej, procesy Markowa, sieci semantyczne, uczenie nadzorowane czy rozpoznawanie wzorców [3]. Często sieć neuronowa dedykowana do rozpoznawania znaków to sieć wielowarstwowa, której przykład zaprezentowano na rysunku 6.

Tak zbudowana sieć jest wykorzystywana przez oprogramowanie rozpoznające znaki dla potrzeb chatbotów umieszczonych na witrynach internetowych.



Rys. 6. Schemat wielowarstwowej sieci neuronowej do rozpoznawania znaków [11]

Wirtualni doradcy są z różnym skutkiem wdrażani na polskich witrynach internetowych wielu banków, firm ubezpieczeniowych oraz instytucji publicznych takich jak PKP, NFZ czy też ZUS, a także innych firm działających w ramach e-biznesu. Jak każde rozwiązanie wdrażane w biznesie, wdrożenie wirtualnego asystenta wymaga dokonania pewnych inwestycji. Na początku należy się więc zastanowić, jakie możliwości i korzyści to rozwiązanie przynosi dla e-biznesu.

2. Możliwości wykorzystania wirtualnego asystenta w e-biznesie oraz wady i zalety tego typu rozwiązań

W e-biznesie wirtualni asystenci są wykorzystywani m.in. do obsługi klienta na stronie www (np. do zgłaszania pytań, skarg, reklamacji i wspomagania decyzji zakupowych) oraz jako przewodnicy po witrynach internetowych. Możliwości ich działania są dość szerokie, a specyfika rozwiązania pozwala na zastosowanie w wielu dziedzinach. Wirtualny asystent staje się wizerunkiem firmy – jej twarzą. Często zastępuje rzecznika prasowego firmy. Zwiększa odwiedzalność witryn internetowych średnio o 20% [12].

Wirtualny doradca może mieć dowolny wygląd, dopasowany do potrzeb i wymagań firmy. Jest to rozwiązanie coraz częściej wykorzystywane w e-biznesie, gdyż boty mogą szybko i efektywnie rozwiązywać proste problemy zgłaszane przez klientów oraz odpowiadać na ich pytania i wątpli-

wości. Firmy oferujące rozwiązania typu chatbot podkreślają ich aspekt ekonomiczny. Rozmowa z klientem przez call center to koszt ok. 3zł za połączenie telefoniczne. Natomiast jedna rozmowa z wirtualnym doradcą może kosztować maksymalnie 1zł już od 20 gr. Nawet przy średniej skali działania daje to duże oszczędności. Poziom wykorzystywania wirtualnych doradców ukazuje wypowiedź prezesa Grupy Integer.pl, do której należy wspomniany powyżej InPost Sp. z o.o.: "Miesięcznie do naszych wirtualnych konsultantów kierowanych jest średnio ponad 85 tys. zapytań. Klienci co miesiąc spędzają około 630 godz. na rozmowach z nimi"[1].

Podstawowe założenie, towarzyszące rozwiązaniom typu wirtualny asystent od ich początków w 1966 roku, jest stwarzanie pozorów rozmowy z rzeczywistym człowiekiem, a nie z maszyną. Do weryfikacji skuteczności zastosowanych rozwiązań na tym polu może posłużyć test Turinga (ang. Turing test) – eksperyment definiujący "maszynę myślącą", zaproponowany przez A. Turinga. W myśl testu Turinga maszynę można uznać za naśladowującą dostatecznie dobrze procesy myślowe, jeśli człowiek prowadzący z nią dialog (nie poinformowany o tym, że rozmawia z maszyną), nie będzie w stanie odróżnić rozmowy z maszyną od rozmowy z drugim człowiekiem [13]. Jako pierwszy test Turinga przeszedł program komputerowy o nazwie Cleverbot, który został stworzony w 1988 roku przez zajmującego się zagadnieniami sztucznej inteligencji Rollo Carpentera [14]. 59,3% uczestników testu uważało, że prowadzili konwersację z żywym człowiekiem a nie z maszyną. Był to niewątpliwie sukces botyki, który otworzył świat nowych możliwości i zdecydowanie zwiększył zaufanie e-biznesu do tego typu rozwiązań.

Jak już wcześniej wspomniano, zastosowanie wirtualnych asystentów sprzyja budowaniu relacji z klientami. Tym samym ułatwia działania z zakresu CRM (zarządzania relacjami z klientami). Rozmowa z botem może pozwolić na zebranie informacji, które są podstawą działania systemu CRM i mogą być podstawą do zbudowania zyskownych relacji. Badania Katedry Informatyki Gospodarczej i Analiz Ekonomicznych Wydziału Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego przeprowadzone przez K. Kuligowską wykazują, że umieszczenie wirtualnego asystenta na witrynach internetowych przedsiębiorstw znacząco wpływa na poprawę komunikacji z użytkownikami oraz na wizerunek firmy. U 62 % badanych przedsiębiorstw bezpośrednia komunikacja z klientami została znacznie ułatwiona. Z kolei wizerunek, czy też marki firmy poprawiła się u 87% badanych [15]. Klienci są zazwyczaj mile zaskoczeni przy pierwszym kontakcie z wirtualnym asystentem i doceniają innowacyjność firm, które wdrożyły to rozwiązanie.

Niestety niekiedy rozwiązania typu wirtualny asystent mogą nie tylko nie pomagać, ale wręcz szkodzić w budowaniu pozytywnego wizerunku firmy wśród klientów. Przykładowo nieprawidłowo zbudowany słownik wirtualnego asystenta może prowadzić do ośmieszania go przez użytkowników. W dobie globalnego przepływu informacji negatywny wizerunek firmy rozprzestrzenia

się błyskawicznie. Należy pamiętać, że wirtualny doradca staje się twarzą firmy, więc nie można pozwolić, aby ta twarz stawała się niewiarygodna lub wręcz śmieszna. Oczywiście pewna doza poczucia humoru pozwala na większe "uczłowieczenie" chatbota, ale przy budowaniu tego typu mechanizmów należy zachować szczególną ostrożność, wyczucie i umiar. Można powiedzieć, że chatbot w pewnym stopniu przejmuje osobowość lub części osobowości osób odpowiedzialnych za jego programowanie, w tym także ich poczucie humoru. Od doboru odpowiednich słów, zwrotów i mechanizmów ich zastosowania zależy, jak będzie on odbierany przez klientów. Inwestując w wirtualnego asystenta trzeba także pamiętać o analizie ruchu generowanego przez klientów. Może się okazać, że rozwiązanie to nie będzie przez nich używane tak często, jak się wydawało.

3. Wnioski

Wirtualny asystent jest rozwiązaniem coraz bardziej popularnym w e-biznesie. Coraz częściej można spotkać się z chatbotami na polskich witrynach internetowych. Rozwiązanie to niewątpliwie posiada wiele zalet, ale należy pamiętać, że musi być ono zawsze perfekcyjnie dopracowane, a inwestycja, jaką stanowi, musi być poprzedzona skrupulatnymi analizami ekonomicznymi. Zawsze należy zadać sobie pytanie, czy klienci będą chętnie korzystać z możliwości konwersacji z botem i czy taka inwestycja przyniesie wymierne korzyści w konkretnym przypadku.

Tematyka wirtualnych asystentów jest zagadnieniem bardzo szerokim i złożonym. W ramach rozważań na ten temat można skupić się na aspekcie marketingowym lub PR-owym, na aspektach związanych z botyką (od lingwistyki poczynszu aż do inżynierii wiedzy i architektury informacji) a także na aspektach związanych z budowaniem relacji z klientami (CRM). Z uwagi na ograniczenia jakie narzuca forma artykułu nie jest możliwe omówienie wszystkich aspektów tego zagadnienia w stopniu wyczerpującym tematykę. W niniejszym artykule zasygnalizowano jedynie niektóre problemy i tematy, a skupiono się w szczególności na zastosowaniu wirtualnych asystentów w e-biznesie ze szczególnym uwzględnieniem polskiego rynku.

LITERATURA

1. Marczuk J., Moda na wirtualnych doradców i recepcjonistów. Rozmowy z duchami., Polityka Cyfrowa, <http://www.polityka.pl/nauka/komputeryiinternet/1534507,3,moda-na-wirtualnych-doradcow-i-recepcjonistow.read>, 11.01.2013r.
2. Krieg P.: The human face of cybernetics: Heinz von Foerster and the history of a movement that failed, *Kybernetes*, Vol. 34 Iss: 3/4, 2005, pp.551 - 557.
3. Botyka, <http://maws.ctgt.pl/funio/index.html>, pobrano 18.02.2013r.
4. Webopedia, http://www.webopedia.com/TERM/C/chat_bot.html, pobrano 11.02.2013r.
5. http://maws.ctgt.pl/frame.php?id_article=7, pobrano 12.02.2013r.

6. Witryna internetowa Credit Agricole, <http://www.credit-agricole.pl/klienci-indywidualni>, pobrano 18.02.2013r.
7. Witryna internetowa banku Alior Bank, http://www.aliorbank.pl/pl/o_banku/centrum_informacyjne/aktualnosci/wiadomosc?newsId=36, Ruszyła-pierwsza-odslona kampanii-reklamowej-Alior-Banku-pod-haslem-Wyzsza-kultura-bankowosci, pobrano 18.02.2013r.
8. Witryna InPost, <http://www.inpost.pl/wirtualny-asystent.html>, pobrano 18.02.2013r.
9. Witryna internetowa firmy Archideko, <http://archideko.pl/>, pobrano 18.02.2013r.
10. Banach Z.: Tworzymy własnego bota, Software 2.0 — Extra, 2004, nr 2, ss. 10-15.
11. Sadło J.: Budujemy sieć neuronową do rozpoznawania znaków, Software 2.0 — Extra, 2004, nr 2, ss. 40-43.
12. Baranowska-Skimina A.: Polski biznes a wirtualny doradca, eGospodarka.pl, opracowanie z dnia 26.05.2011r. na podstawie www.stanusch.com, <http://www.egospodarka.pl/66183,Polski-biznes-a-wirtualny-doradca,1,39,1.html>, pobrano 19.02.2013r.
13. Płoski Z.: Słownik Encyklopedyczny - Informatyka, Wydawnictwo Europa 1999.
14. Lech K.: Stało się! Test Turinga "zaliczony" przez program komputerowy Cleverbot, PC World, artykuł z dnia 15.09.2011r., <http://www.pcworld.pl/news/375039/Stalo.sie.Test.Turinga.zaliczony.przez.program.komputerowy.Cleverbot.html>, pobrano 19.02.2013r.
15. Wyniki badań wykorzystania wirtualnych doradców w biznesie, PRportal.pl, artykuł z dnia 25.05.2011r., <http://prportal.pl/2011/05/25/wyniki-badan-wykorzystania-wirtualnych-doradcow-w-biznesie/>, pobrano 18.02.2013r.

VIRTUAL ASSISTANT ROLE IN E-BUSINESS

Abstract

Virtual helper more often become a part of communication between firm and customer. However, it is still perceived as a new and not fully understood tool. Virtual helper plays a huge role in process of building relations between customer and e-business. It can even replace customer service stuff. Virtual helper's services are valued and welcome by customers. An implementation of such solution in e-business is connected with changes and costs. So it brings also some risk. In this paper will be shown influence of such solution on e-business activity and pros and cons will be shown.

Keywords: e-business, chatbot, chatterbot, linguabot, e-consultation, network advisor, artificial intelligence, avatar

ROLA WIRTUALNEGO ASYSTENTA W E-BIZNESIE

Streszczenie

Wirtualny asystent coraz częściej staje się częścią komunikacji pomiędzy firmą i jej klientem. Jednakże jest on nadal postrzegany jako nowe i nie do końca rozumiane rozwiązanie. Odgrywa on ogromną rolę przy budowaniu relacji z klientami w e-biznesie. Wielokrotnie wirtualny doradca zastępuje pracowników obsługi klienta. Jego usługi są cenione i mile widziane przez klientów.

Wdrożenie takiego rozwiązania w e-biznesie wiąże się jednakże z pewnymi zmianami oraz pewnymi kosztami, a tym samym z ryzykiem. W niniejszym artykule został omówiony wpływ tego rozwiązania na prowadzenie działalności e-biznesowej. Ukazane zarówno jego wady jak i zalety.

Słowa Kluczowe: e-biznes, wirtualny asystent, e-konsultacje, wirtualny doradca, sieciowy doradca, botyka, sztuczna inteligencja, awatar

Dr inż. Agnieszka BOJANOWSKA
Katedra Marketingu
Wydział Zarządzania
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38d
tel./fax.: (81) 538 44 84
e-mail: a.bojanowska@pollub.pl

ROZPOZNANIE POTRZEB INFORMACYJNYCH DLA DECYZJI ZARZĄDCZYCH W PROCESACH INNOWACJI

Wstęp

Analizowanie informacji i podejmowanie na ich podstawie racjonalnych decyzji jest kluczem skutecznego zarządzania. Procesy innowacji, do których odnosi się niniejszy artykuł, są realizowane w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu. Odbieranie sygnałów jego zmian i umiejętne dostosowanie do ich kierunków rozwoju jest podstawą sukcesu. Wymaga to jednak podejmowania decyzji w trudnej sytuacji niepewności. Informacje, z których korzysta menadżer, odnoszą się do przyszłych stanów otoczenia, a co za tym idzie są obarczone błędem prognozy. Co więcej, pozyskanie takich informacji samo w sobie jest problematyczne i kosztowne. Brak informacji, wykluczałby jednak zarządzanie procesem innowacji. Decyzja, wymaga rozpoznania wariantów i świadomego wyboru spośród nich tego, które według określonych kryteriów uznane jest za najkorzystniejsze. Podstawą tworzenia wariantów, jak i doboru kryteriów oraz samego wyboru jest przez przetwarzanie przez menadżera informacji. Przeprowadzono wiele badań dotyczących podejmowania decyzji przez pryzmat przetwarzania informacji. Jedno z najbardziej wpływowych badań procesy decyzyjne pod kątem ograniczonych możliwości ludzkiego przetwarzania informacji [1]. Opisano w nim relacje pomiędzy złożonością otoczenia i przetwarzaniem informacji. Możliwość przetwarzania informacji przez człowieka zdefiniowano jako funkcję dwóch czynników: złożoności treści i liczby wymiarów, które muszą być powiązane. Stwierdzono, że możliwości przetwarzania informacji przez ludzi są różne. Niektóre osoby są bardziej zdolne do przetwarzania informacji od innych. Jednak, gdy złożoność otoczenia jest bardzo duża, bądź bardzo niska różnice pomiędzy naturalną umiejętnością przetwarzania informacji stają się nieistotne. Można zatem zadać pytanie o dobór właściwego zbioru informacji na potrzeby określonej decyzji w zarządzaniu procesami innowacji. Charakteryzując ten zbiór należałoby opisać go zarówno ilościowo, jak i jakościowo.

Niniejszy artykuł odnosi się do tych dwóch aspektów charakterystyki potrzeb informacyjnych. Opracowano koncepcję takiej oceny oraz wskazano narzędzia umożliwiające jej przeprowadzenie.

1. Informacja w kontekście decyzji w zarządzaniu procesami innowacji

Pozyskiwanie i kierowanie się właściwymi informacjami w procesach decyzyjnych jest integralną częścią pracy każdego menadżera. Wbrew pozorom jednak, wraz ze wzrostem dostępu do informacji nie ułatwił tego zadania. Wynika to z coraz większej złożoności otoczenia, w jakiej przedsiębiorstwa działają i coraz większej masy informacji, którą ta złożoność rodzi [2]. Informacje są nieodłącznie związane z decyzjami. Wynika, to już samej funkcji decyzji, która jest nielosowym wyborem pomiędzy alternatywami. Oznacza to dostarczenie informacji o alternatywach oraz o kryteriach ich oceny. Aby informacja spełniała swoje zadanie, a więc była przydatna menadżerowi w podejmowaniu trafnych decyzji musi spełniać kilka warunków, tzn. być: *dokładna, aktualna, pełna i odpowiednia*. Informacja dokładna, to taka informacja, która „dostarcza wiarygodnego odzwierciedlenia rzeczywistości”. Z kolei informacja aktualna jest „dostępna w czasie umożliwiającym właściwe działanie menadżera”. Natomiast informacja kompletna „dostarcza menadżerowi wszelkich potrzebnych mu faktów i szczegółów”. Odpowiedniość informacji oznacza natomiast, że informacja jest „przydatna dla menadżerów w szczególnych warunkach i w odniesieniu do szczególnych potrzeb” [2]. Rozważaną kwestią jest zatem nie pozyskanie jak największej ilości informacji, a dobór odpowiedniego zbioru informacji.

1.1. Racjonalność decyzji a zbiór informacji

Peter Drucker [3] podkreśla, że menadżerowi nigdy nie uda się ustalić wszystkich faktów, które powinien znać. Większość decyzji musi zatem opierać się na wiedzy niepełnej albo z powodu niedostępności informacji, albo dlatego, że jej zdobycie wymagałoby za dużo czasu i pieniędzy. Do podjęcia trafnej decyzji nie potrzeba jednak wszystkich faktów, natomiast trzeba wiedzieć, jakich informacji brakuje, aby ocenić ryzyko podejmowanej decyzji i możliwy do przyjęcia stopień precyzji proponowanego toku działań. Jest to zgodne z teorią racjonalnych decyzji H. Simona [4], która mówi o dążeniu raczej do satysfakcji, niż optymalizacji. "Satysfakcja" oznacza zaakceptowanie przez decydenta zadowalającego go minimum, osiągnięcia rozwiązania "satysfakcjonującego" kończy proces zbierania informacji i generowania rozwiązań [5]. Podejmowanie racjonalnych decyzji również wymaga właściwie dobranego zbioru informacji. Trzeba przy tym zaznaczyć, że zarówno ich nadmiar, jak i niedobór będzie wpływał negatywnie na jakość decyzji. Jak wspomniano, procesy innowacji charakteryzują się wyższym, niż inne procesy biznesowe,

poziomem niepewności. Zarządzający mają różną tolerancję niepewności. Jednak, jak wskazują badania, wszystkie osoby mają tendencję do wymagania większej ilości informacji w sytuacjach, które postrzegają jako niejednoznaczne [6]. W takich przypadkach ważne staje się również źródło pochodzenia informacji, jego wiarygodność. Informacje wykorzystywane w procesach planowania innowacji dotyczą tylko w małej części obecnego stanu systemu. Najistotniejsze są prognozy, których wiarygodność jest zawsze ograniczona.

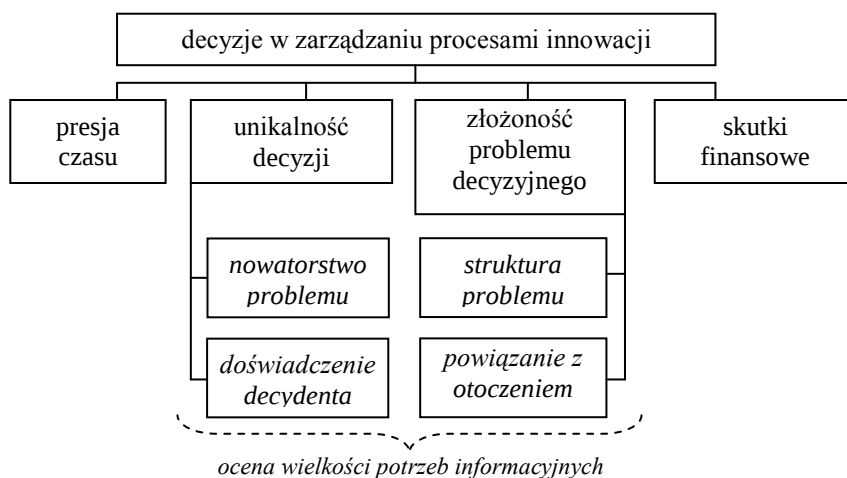
Jak zaobserwowano w wyniku badań związanych z realizacją projektu "Opracowanie modelu planowania i szacowania kosztów procesów innowacji", znaczny udział kosztów w realizacji procesów innowacji związany jest właśnie z pozyskiwaniem informacji na potrzeby różnego rodzaju decyzji. Informacja kosztuje, przy czym niezbędne nakłady są zależne od szczegółowości i unikalności informacji. Ponadto, w wyniku obserwacji praktyk zarządzania innowacjami zauważono, że podjęcie decyzji w przypadku procesów innowacji jest często opóźniane. Zarządzający nieraz nadmiernie czekają na "rozjaśnienie" sytuacji, obawiając się podjęcia złej decyzji. Odwlekanie decyzji nie tylko przedłuża proces innowacji, ale także może doprowadzić do tego, że decyzja staje się bezcelowa. Innego rodzaju niebezpieczeństwem jest stosowanie przez zarządzających nadmiernych uproszczeń budowanych na analogiach zarządzania innymi procesami. Trzeba też dodać, że określenie właściwego zbioru informacji będzie też wzmacniało procesy uczenia się organizacji, związane z realizacją procesów innowacji [6]. Bazą dla koncepcji scharakteryzowania zbioru informacji pod kątem ilościowym i jakościowym jest zatem balansowanie pomiędzy jego użytecznością, a kosztem uzupełnienia luki informacyjnej rozumianej jako rozbieżność między zgłaszanym przy podejmowaniu decyzji zapotrzebowaniem na informacje, a dostępnym ich zasobem.

1.2. Charakterystyka decyzji w zarządzaniu procesami innowacji

Specyfiką zarządzania innowacjami jest znaczna niepewność wynikająca z nowatorstwa problemów oraz odnoszenia się do przyszłych stanów otoczenia. Wiedza potrzebna do przetwarzania danych jest często tworzona w trakcie realizacji procesu innowacji. Z tego względu podejmując decyzje menadżerowie mogą najczęściej dysponować jedynie częścią oczekiwanych informacji. Z drugiej strony mnogość dostępnych informacji tworzy szumy i stawać się może przyczyną dezinformacji. Efektywność decyzji zależy więc ściśle nie tylko od ilości, ale również jakości przetwarzanych informacji. W prowadzonych rozważaniach istotną rolę pełni również kontekst, związany z osobą podejmującą decyzje, jej doświadczeniem, umiejętnością posługiwania się intuicją oraz tolerancją dla sytuacji niepewności. Załoženiami koncepcji podejścia do identyfikacji potrzeb informacyjnych jest zatem nie tylko odniesienie do różnych kategorii decyzji, ale także do indywidualnej oceny decydena.

Decyzje w zarządzaniu procesami innowacji można opisać następującymi wielkościami (rys. 1):

- unikalność decyzji, rozumiana jako stopień nowatorstwa problemu dla decydenta, opisuje ona także częstotliwość podejmowania określonej decyzji;
- złożoność decyzji, opisaną przez strukturę problemu oraz charakterystykę liczby i siły powiązań z otoczeniem w tym wpływ na inne decyzje;
- presja czasu towarzysząca decyzji,
- skutki finansowe związane z daną decyzją.



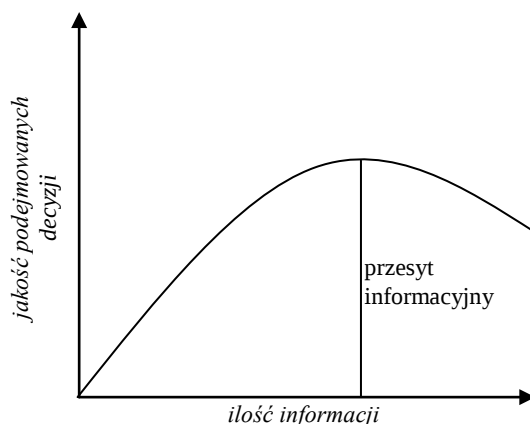
Rys. 1. Czynniki opisujące decyzje w zarządzaniu procesami innowacji

Od dwóch pierwszych czynników zależeć będzie potrzeba informacyjna w sensie ilościowym. Natomiast od presji czasu oraz skutków finansowych będą zależały cechy jakościowe poszukiwanego zbioru informacji.

W dalszej części artykułu zaproponowano ocenę ilości informacji w zbiorze na podstawie logiki rozmytej. Natomiast dla charakterystyki jakościowej proponuje się utworzenie mapy wyznaczającej wymagania, dla poszczególnych rodzajów decyzji scharakteryzowanych presją czasu i ich skutkami finansowymi. Mapy te pozwalają na klasyfikację decyzji i dobór odpowiedniego podejścia do niwelowania luki informacyjnej.

2. Ocena wielkości potrzeb informacyjnych

W omawianym problemie musi być brana także pod uwagę kwestia na ile zwiększenie ilości informacji powoduje zwiększenie jakości decyzji. Zależność ta nazwana jest krzywą przesyty informacyjnego (wykres 1).



Wykres 1. Krzywa przesytu informacyjnego [11]

Wynika z niej, że wraz ze wzrostem ilości informacji w pewnym momencie zaczyna spadać skuteczność decyzji podejmowanych na jej podstawie. Tworząc system pozyskiwania informacji na potrzeby zarządzania procesami innowacji trzeba mieć powyższe na uwadze. System taki powinien umożliwiać właściwą selekcję informacji odnoszącą się do potrzeb wynikających z danej decyzji. Informacja jest wielkością niematerialną. Sam jednak fakt, że informacja daje się zapisać oznacza, że ma ona określone cechy ilościowe [8]. Traktuje o tym teoria Shannona, stanowiąca fundament obliczeń ilości informacji i jej przesyłania [9]. Przy ocenie potrzeb informacyjnych brane są pod uwagę unikalność decyzji oraz złożoność problemu. Obie te wielkości opisywane są zmiennymi lingwistycznymi. Dlatego proponuje się, by wielkość potrzeby informacyjnej oceniać przy pomocy modelu wnioskowania rozmytego [10]. Opracowano w tym celu model typu 2WE/1WY.

Dla oceny potrzeby informacyjnej w sensie ilościowym przyjęto następujące zmienne lingwistyczne:

- u – ocena unikalności decyzji z punktu widzenia decydenta,
- z – ocena złożoności decyzji zarządczej w kontekście zarządzania danym procesem innowacji,
- p – ocena potrzeby informacyjnej (ilość).

Poszczególnym zmiennym przyporządkowano następujące zbiory wartości lingwistycznych L stosowane do oceny zmiennej lingwistycznej:

$L(u) = \{U_1, U_2, U_3\} = \{\text{niska, przeciętna, wysoka}\},$

$L(z) = \{Z_1, Z_2, Z_3\} = \{\text{wąski, średni, szeroki}\}$

$L(p) = \{P_1, P_2, P_3\} = \{\text{mała, średnia, duża}\}$

Ocena unikalności decyzji oraz złożoności jest przeprowadzana przez samego decydenta. Proponuje się, by przestrzeń tych zmiennych stanowiły wartości zakresu 1-10. Przykład ocen został pokazany w tab. 1 i tab. 2.

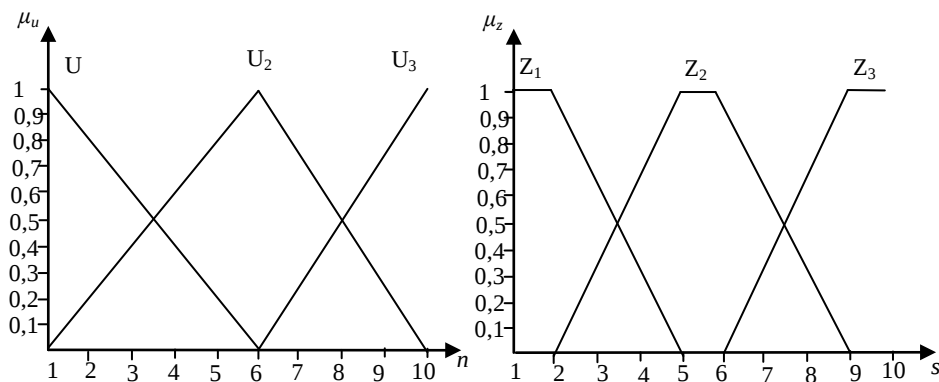
Tab. 1. Ocena unikalności decyzji (u)

Ocena punktowa (u)	Charakterystyka decyzji
1	typowa
2	typowa w pewnym zakresie
3	
4	nietyпова w kontekście zarządzania procesem
5	
6	nietyпова, w kontekście problemu decyzyjnego
7	
8	unikalna w zakresie problemu
9	
10	wyjątkowa

Tab. 2. Ocena złożoności decyzji

Ocena punktowa (z)	Charakterystyka decyzji
1	prosty problem
2	mało złożony problem
3	mało złożony problem o kilku powiązaniach
4	
5	złożony problem decyzyjny o wielu powiązaniach
6	
7	
8	mocno złożona decyzja
9	
10	skomplikowana decyzja

Ocena dokonana w postaci liczby punktów stanowi ostrą wartość wejściową i jest przekształcana następnie na stopień przynależności wartości zmiennych lingwistycznych u i z do zbiorów rozmytych. Bazę danych systemu zawierającą definicję zbiorów rozmytych pokazano na wykresie 2. Funkcje $\mu(u)$ oraz $\mu(z)$ zostały opracowane w wyniku konsultacji z decydem w małym innowacyjnym przedsiębiorstwie – LumiTechnology z Nysy. Jednak ostateczna weryfikacja zaproponowanych zbiorów powinna być poddana większej próbie.



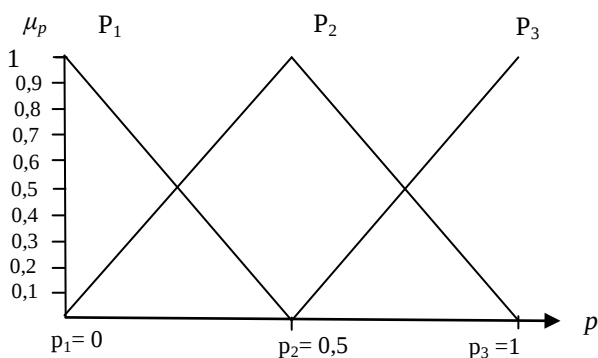
Wykres 2. Zbiory rozmyte zmiennych lingwistycznych u i z

Elementami modułu wnioskowania są reguły, funkcja przynależności zmiennej lingwistycznej oraz mechanizm wnioskowania. W module wnioskowania oceny potrzeby informacyjnej wykorzystano następujące reguły:

R1: if ($u = U_1$) and ($z = Z_1$) then ($p = P_1$),

R2: if ($u = U_1$) and ($z = Z_2$) then ($p = P_1$),
R3: if ($u = U_2$) and ($z = Z_1$) then ($p = P_1$),
R4: if ($u = U_2$) and ($z = Z_2$) then ($p = P_2$),
R5: if ($u = U_3$) and ($z = Z_1$) then ($p = P_2$),
R6: if ($u = U_1$) and ($z = Z_3$) then ($p = P_2$),
R7: if ($u = U_2$) and ($z = Z_3$) then ($p = P_3$),
R8: if ($u = U_3$) and ($z = Z_2$) then ($p = P_3$),
R9: if ($u = U_3$) and ($z = Z_3$) then ($p = P_3$).

Funkcje przynależności zbiorów rozmytych zmiennej wynikowej p utworzono poprzez podział przestrzeni numerycznej zmiennej g na trzy odcinki. Pozwoliło to na sformułowanie trójkątnych zbiorów rozmytych (wykres 3).



Wykres 3. Zbiory rozmyte zmiennej lingwistycznej p

Mechanizm wnioskowania opracowanego modelu rozmytego sprowadza się do wykonania trzech kroków opisanych poniżej.

1. Obliczanie mocy reguł (R1,...,R9). Dla każdej zmiennej w przesłankach reguły wyznaczany jest stopień przynależności do odpowiedniego zbioru rozmytego zawiera się on w przedziale $[0,1]$. Jeśli moc reguły jest zerowa, wówczas uznaje się, że nie nastąpiła aktywacja reguły. Do ustalenia stopnia mocy reguł zastosowano operator PROD, ponieważ bardzo dobrze reaguje na zmiany wejść modelu.

Ustalenie stopnia spełnienia przesłanek h_r ($r=1,...,9$):

$$h_1 = \text{PROD} [\mu_{U1}(u^*), \mu_{Z1}(z^*)] = \mu_{U1}(u^*) * \mu_{Z1}(z^*),$$

$$h_2 = \text{PROD} [\mu_{U1}(u^*), \mu_{Z2}(z^*)] = \mu_{U1}(u^*) * \mu_{Z2}(z^*),$$

⋮

$$h_8 = \text{PROD} [\mu_{U3}(u^*), \mu_{Z2}(z^*)] = \mu_{U3}(u^*) * \mu_{Z2}(z^*),$$

$$h_9 = \text{PROD} [\mu_{U3}(u^*), \mu_{Z3}(z^*)] = \mu_{U3}(u^*) * \mu_{Z3}(z^*),$$

gdzie u^* , z^* stanowią wartości wielkości wejściowych modelu.

2. Stopień spełnienia przesłanek (h) jest podstawą wyznaczenia zbioru rozmytego $\mu_{Px}(p)$, będącego rezultatem uaktywnienia reguły. Operacji tej dokonuje się dla tych reguł, które zostały uaktywnione. Tworzenie zmo-

dyfikowanych funkcji przynależności $\mu_{Gx}^*(g)$ jest realizowane z wykorzystaniem operatora MIN.

$$\mu_{P1}^*(p) = \text{MIN}(h_1, \mu_{P1}(p)), \quad h_1 > 0,$$

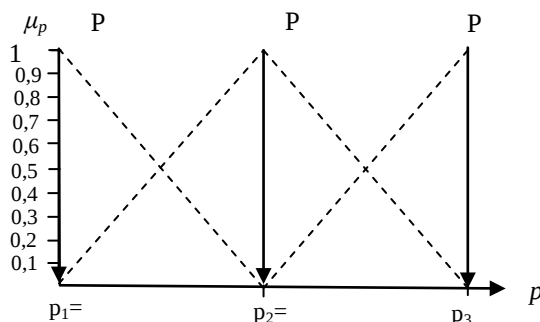
⋮

$$\mu_{P3}^*(p) = \text{MIN}(h_9, \mu_{P3}(p)), \quad h_9 > 0.$$

3. Agregacja aktywnych reguł i tworzenie wynikowej funkcji przynależności $\mu_{\text{wyn}}(p)$. Polega na sumowaniu rozmytych zbiorów wynikowych ze wszystkich reguł, $\mu_{P_x}^*(p)$.

$$\mu_{\text{wyn}}(p) = \sum_{x=1}^9 \mu_{P_x}^*(p), x \in \{1, 2, 3\} \quad (1)$$

Wynikowa funkcja staje się podstawą do obliczenia wartości wyjściowego wskaźnika modelu p . W ten sposób dla ostrych wartości wejść, na wyjściu uzyskiwana jest również ostra wartość wynikowa. W celu wyostrzenia zastosowano metodę wysokości, która polega na zastępowaniu zbioru rozmytego zmiennej wynikowej singletonem umiejscowionym w wartości modalnej tego zbioru (wykres 4).



Wykres 4. Zastępowanie zbiorów rozmytych zmiennej p zbiorami

Wynik końcowy procedury jest ustalany z wykorzystaniem zmodyfikowanej zależności środka ciężkości (2):

$$p = \frac{\sum_{x=1}^9 p_x \mu_{P_x}^*(p)}{\sum_{x=1}^9 \mu_{P_x}^*(p)}, x \in \{1, 2, 3\} \quad (2)$$

gdzie: oznaczenia, jak poprzednio.

Wyznaczona wartość ostra daje możliwość odniesienia się do decyzji podejmowanych w przeszłości i na tej podstawie dokonania ilościowej oceny potrzebnego zbioru informacji. Otrzymany wskaźnik może być również zastosowany przy szacowaniu czasu i kosztu procesu decyzyjnego, będącego elementem procesu innowacji.

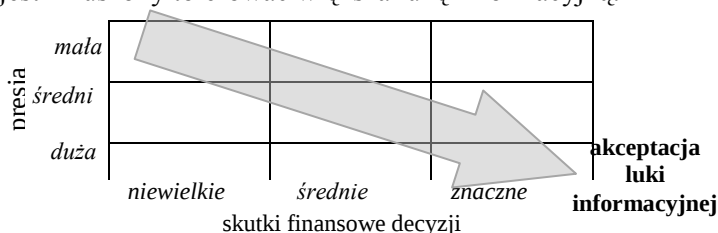
3. Określenie potrzeby informacyjnej w kontekście charakterystyki decyzji

Efektywne zarządzanie jest tylko wtedy możliwe, kiedy posiadamy informacje. Można wówczas podejmować decyzje, czyli dokonywać nielosowego wyboru. Kryterium wyodrębniającym podzbiór informacji dla zarządzania ze zbioru informacji jest fakt, że zmniejsza się nieokreśloność wyboru, na skutek otrzymanych wiadomości. Informacja dla zarządzania pośrednio i bezpośrednio wpływ na proces decyzyjny [12]. Identyfikując potrzeby informacyjne związane z określoną decyzją należy wziąć pod uwagę ilościowe zapotrzebowanie na informację np. wskaźniki, wartości względne i bezwzględne. Należy też uwzględnić żądane cechy informacji tj.: szczegółowość, kompletność opisu, źródło i formę przekazania, sposób przetwarzania. Dobór tych cech wynika z dwóch pozostałych parametrów opisujących decyzję (rys. 1), czyli presji czasu i skutków finansowych. Także cechy jakościowe zbioru informacji łączyć się będą z kosztem.

Przy ocenie atrybutów "jakościowych" zbioru informacji takich jak: kompletność, dokładność, jasność, użyteczność, aktualność, wiarygodność także trzeba kierować się przytoczoną już zasadą satysfakcji decydenta, a nie optymalizacją tych parametrów.

3.1. Akceptacja luki informacyjnej

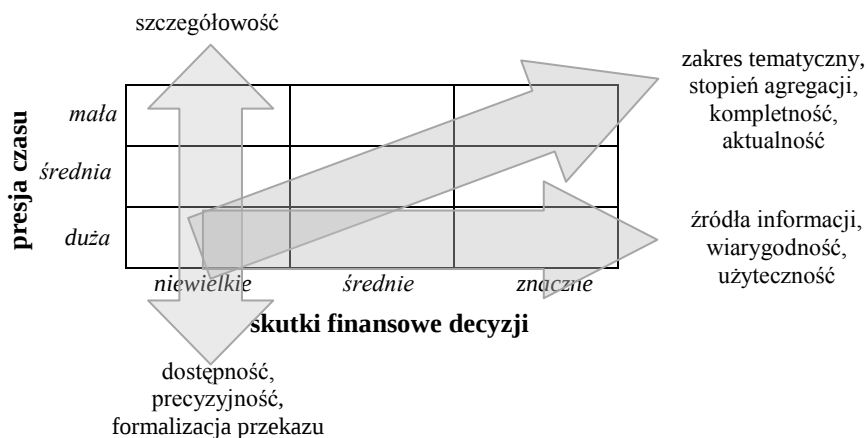
W procesach podejmowania decyzji menedżerowie zgłaszają zapotrzebowanie na informację. Jest ono weryfikowane ze względu zasoby informacji będące aktualnie w dyspozycji przedsiębiorstwa np. wykorzystywane w innych procesach decyzyjnych. Rozbieżność między zidentyfikowaną potrzebą informacji, a dostępnym ich zasobem, czyli tzw. luka informacyjna, wyzwała potrzebę podjęcia działań mających na celu pozyskanie odpowiednich danych [13]. Wielkość nakładów (czasu i innych środków), jaką menadżer przeznaczy na uzupełnienie tej luki będzie wynikała z poziomu jego akceptacji niepewności. Jest to nie tylko związane z cechami osobowości ale także z charakterystyką decyzji. Skłonność do ponoszenia wydatków na uzupełnienie luki informacyjnej będzie się zmieniać ze względu na skutki finansowe oraz presję czasu związaną z decyzją (rys. 2). Im większe skutki finansowe niesie za sobą decyzja, tym mniejsza jest chęć akceptacji luki informacyjnej. Im większa presja decyzji, tym decydent jest zmuszony tolerować większą lukę informacyjną.



Rys. 2. Akceptacja luki informacyjnej w procesach decyzyjnych

3.2. Charakterystyka jakościowa potrzeby informacyjnej

Cechy, które opisują informacje dostarczane na potrzeby podejmowania decyzji to np.: zakres tematyczny, stopień agregacji, horyzont czasu, dokładność, źródła, sposób prezentacji. Określając zbiór informacji potrzebnych dla przeprowadzenia danego procesu decyzyjnego trzeba zastanowić się, jakich informacji w ujęciu jakościowym będzie oczekiwał menadżer w przypadku danej decyzji. Identyfikację tych cech można przeprowadzić posilkując się mapą pokazaną na rys. 3. Uzależnia ona cechy jakościowe informacji od skutków finansowych decyzji i presji czasu. Wskazana jakość zbioru informacji będzie skutkiem kompromisu pomiędzy wymaganiami wynikającymi ze skutków finansowych, a zdeterminowanymi presją czasu. Dodatkowo opisując wymagania jakościowe, co do zbioru informacji trzeba mieć na uwadze koszt uzupełnienia ewentualnej luki informacyjnej. Wzrasta on, przy wyższych wymaganiach dotyczących jakości informacji.



Rys. 3. Formułowanie cech jakościowych zbioru informacji

Na rysunku 3 kierunek strzałki pokazuje wzrost wymagań jakościowych, co do poszczególnych cech zbioru informacji. Niektóre cechy są zdeterminowane wyłącznie skutkami finansowymi (strzałka pozioma), inne możliwościami wynikającymi z presji czasu (strzałka pionowa). Są też takie cechy, co do których wymagania determinują jednocześnie oba parametry decyzji (strzałka ukośna). Jako narzędzie wspomagające dobór cech jakościowych zbioru informacji zaproponowano opracowanie mapy jakości zbioru informacji. Pola tej mapy zawierałyby wytyczne co do cech i atrybutów, jakie oczekiwane są przez menadżera wobec informacji przy danym rodzaju decyzji.

4. Podsumowanie i wniosek

Poszukiwanie metod i narzędzi automatyzacji, a co za tym idzie obiektywizacji decyzji na trwałe wpisuje się w nauki o zarządzaniu. Niniejszy artykuł opisuje oryginalne podejście opracowane dla zarządzania procesami innowacji. Identyfikacja potrzeb informacyjnych na potrzeby decyzji jest zagadnieniem poruszonym od połowy XX w. Temat ten jest jednak ciągle aktualny za sprawą pojawiających się możliwości związanych z rozwojem technik informatycznych. Zaproponowane podejście zostało opracowane na potrzeby decyzji związanych z zarządzaniem procesami innowacji. Od innych decyzji biznesowych wyróżnia je ich nowatorstwo. Menadżer, który zarządza innymi procesami biznesowymi bazując na doświadczeniu potrafi bardzo precyzyjnie scharakteryzować zbiór informacji, który umożliwi mu podjęcie racjonalnej decyzji. W przypadku zarządzania procesami innowacji staje się to problemem. W tym przypadku można mówić jedynie o decyzjach porównywalnych w mniejszym lub większym stopniu podobnych. Dlatego proste zastosowanie analogii, nie daje odpowiednich rezultatów.

Pokazane podejście wykorzystuje możliwość oceny czynników charakteryzujących decyzje i na tej podstawie wnioskowania o charakterystyce potrzeb informacyjnych. Ocena ta ma służyć szeroko rozumianej koordynacji oraz gospodarowaniu zasobami na potrzeby procesów decyzyjnych. Kwestia ta jest coraz istotniejsza przede wszystkim ze względu na elastyczność granic realizacji procesów innowacji. Są one prowadzone nie w ramach jednego przedsiębiorstwa, ale przez kilku partnerów lub też w jeszcze większym rozproszeniu, zgodnie ze strategią innowacji otwartej. Do rozproszenia geograficznego realizatorów procesów innowacji dochodzi wielość potencjalnych źródeł informacji. Uzupełniając obie powyższe przesłanki potrzebą skracania czasu procesów innowacji, spowodowaną ciągłym przyspieszaniem tempa rozwoju, widać konieczność tworzenia rozwiązań wspomagających zarządzanie wiedzą w tym obszarze. Powiązanie potrzeb informacyjnych z określoną decyzją służy tej idei. Pozwala planować metody i narzędzia gromadzenia informacji. Umożliwia również koordynację momentu pozyskania informacji z aktem wyboru będącym istotą procesu decyzyjnego. Ponadto, co podkreślono w artykule, zaproponowane podejście ukierunkowane jest na uzyskanie kompromisu pomiędzy dążeniem do całkowitej niwelacji luki informacyjnej, a poziomem informacji gwarantującą satysfakcjonującą decyzję. Przedstawiona w niniejszym artykule koncepcja oceny potrzeb informacyjnych w dłuższej perspektywie ma służyć idei budowy systemów wspomagających zarządzanie procesami innowacji. Pozwala klasyfikować decyzje i dla poszczególnych ich kategorii charakteryzować potrzeby informacyjne.

Projekt sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego Nr 4025/B/H03/2011/40 pt.: "Opracowanie modelu planowania i szacowania kosztów innowacji".

LITERATURA

1. Schroder H.M., Driver M.J., i in.: Human Information Processing, Holt, Rinehart and Winston Inc., 1967.
2. Griffin R. W.: Podstawy zarządzania organizacjami, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.
3. Drucker P.F.: Praktyka zarządzania Wydawnictwo MT Biznes, 2003.
4. Simon H.A.: Theories of decision-making in economics and behavioural science, American Economic Review, 49 (3), str. 253-283.
5. Bolesta-Kukulka K.: Decyzje menedżerskie, PWE, Warszawa 2003.
6. Dermer, J.D.: Cognitive characteristics and the perceived importance of information, The Accounting Review, 48(3), 1973, str. 511-519.
7. Tidd J., Bessant J.: Zarządzanie innowacjami. Integracja zmian technologicznych, rynkowych i organizacyjnych, Wolters Kluwer, Warszawa 2011.
8. Gospodarek T.: Elastyczność zasobu informacyjnego. [w:] R. Krupski [red.], „Elastyczność organizacji”, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu: Wrocław, 2008, str. 127-148.
9. Shannon C.E., A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948.
10. Breiing A., Knosala R.: Bewerten technischer Systeme, Springer Verlag, Berlin, 1997.
11. Abramowicz W.: Filtrowanie informacji. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2008.
12. Kisielnicki J., Sroka H.: Systemy informacyjne biznesu, Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa 1999.
13. Kłak M.: Zarządzanie wiedzą we współczesnym przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Prawa im. prof. Edwarda Lipińskiego w Kielcach, 2010.

IDENTIFICATION OF INFORMATION NEEDS FOR THE DECISION-MAKING IN INNOVATION PROCESS MANAGEMENT

Abstract

The article concerns the issue of assessment the needs of information for decision-making in the innovation processes management. These decisions have been characterized due to the uniqueness, complexity of the problem, financial effect and at last time pressure. The first two factors was proposed as a base for quantitative evaluation of the information set. It was made using fuzzy comprehensive evaluation model. Qualitative characteristics is provided due to the map taking into account the last two factors: the financial effect of the decision and the time pressure. It was indicated how the selected as an example features depend on the location of the decision on the map. The aim of the approach described in the article is to to create decision support systems for innovation process management.

Keywords: innovation process, decision, information, information gap, fuzzy logic.

ROZPOZNANIE POTRZEB INFORMACYJNYCH DLA DECYZJI ZARZĄDCZYCH W PROCESACH INNOWACJI

Streszczenie

Artykuł dotyczy problemu rozpoznawania potrzeb informacyjnych związanych z podejmowaniem decyzji w zarządzaniu procesami innowacji. Decyzje te scharakteryzowano ze względu na unikalność, złożoność problemu, skutki finansowe i presję czasu. Zaproponowano wyznaczenie wskaźnika ilości informacji opisującego zbiór informacji na podstawie oceny dwóch pierwszych czynników. Dokonano jej stosując model oceny rozmytej. Charakterystykę jakościową wyznacza mapa uwzględniająca czynniki presji czasu oraz skutków finansowych decyzji. Wskazano, w jaki sposób wybrane cechy zbioru informacji zależą od umiejscowienia decyzji na tej mapie. Celem opracowanego podejścia ma być tworzenie systemów wspomagających zarządzanie procesami innowacji.

Słowa kluczowe: proces innowacji, decyzja, informacja, luka informacyjna, logika rozmyta.

Dr inż. Magdalena JURCZYK-BUNKOWSKA
Dr inż. Piotr CHWASTYK
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
tel./fax.: (0-77) 423 40 44
e-mail: m.jurczyk-bunkowska@po.opole.pl
p.chwastyk@po.opole.pl

ANALIZA PRZEDWDROŻENIOWA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO DO STEROWANIA I ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ, JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI DECYDUJĄCE O SUKCESIE WDROŻENIA

Wstęp

Zakłady produkcyjne coraz częściej poszukują rozwiązań informatycznych dzięki, którym możliwe będzie efektywne sterowanie i zarządzaniem produkcją. Wdrażany system musi umożliwiać obecnie między innymi monitorować na bieżąco postępy w realizacji zleceń produkcyjnych i dawać odpowiedź na szereg pytań, które będą decydowały o konkurencyjności zakładu na globalnym rynku.

Wdrażane rozwiązania umożliwią wprowadzanie do systemu takich informacji jak: stopień realizacji zlecenia, ewentualne opóźnienia, pojawiające się braki (wraz z opisem przyczyny ich powstawania), system umożliwia również dogłębną analizę produktywności poszczególnych pracowników oraz możliwość oceny poszczególnych produktów pod kątem wpływu na przychody i zyski przedsiębiorstwa. Wpływ takiego systemu na działanie całego przedsiębiorstwa jest znaczący dlatego tak ważne staje się właściwe przeprowadzenie analizy przedwdrożeniowej, która określi szereg parametrów oraz przygotuje przedsiębiorstwo do współpracy z systemem informatycznym.

1. Systemy do sterowania i zarządzania produkcją

System planowania potrzeb materiałowych (PPM) jest to zbiór powiązanych logicznie procedur, zasad podejmowania decyzji oraz dokumentów, mających na celu przetłumaczenie 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 ich pokrycie wtedy, gdy zmienia się plan operatywny produkcji, stan zapasu lub konstrukcja wyrobu [1].

System PPM w procesie planowania przydziela istniejące zapasy pozycji materiałowych według potrzeb brutto, potem weryfikuje zasadność przebiegu

czasowego każdego niezrealizowanego zamówienia po to by określić potrzeby netto. System taki zapewnia pokrycie potrzeb netto poprzez ustalenie rozkładu planowanych zamówień dla każdej pozycji.

Zapotrzebowanie na daną pozycję zapasu określa się jako niezależną wtedy, gdy nie stanowi ona funkcji zapotrzebowania na jakąś inną pozycję. Kształtowanie się przyszłego zapotrzebowania niezależnego wymaga prognozowania. W przeważającej ilości przedsiębiorstw produkcyjnych przeważającą część zapasów stanowią surowce, elementy składowe i podzespoły, które są przedmiotem potrzeb zależnych. Wielkość takiego zapotrzebowania da się obliczyć, ale natomiast nie oblicza się kształtowania potrzeb zależnych, dlatego można je ściśle ustalić na podstawie zapotrzebowania na te pozycje, które są wyłączną przyczyną ich powstania. W produkcji dana pozycja zapasu może być przedmiotem wyłącznie zapotrzebowania zależnego lub zależnego i niezależnego. Zależne i niezależne zapotrzebowanie występuje w przypadku części używanych jednocześnie w produkcji bieżącej i w serwisie.

Biorąc pod uwagę wytyczne system ten 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.

Właśnie dla takich zadań zaprojektowany został system MRP, który jednocześnie należy do „średnich” pod względem cenowym. Koszty wdrażania systemy choć mogą się wydawać duże, zwracają się już po trzech do pięciu lat po wdrożeniu [9]. Najnowsze systemy MRP zajmują się nie tylko sterowaniem zapasami materiałów i części składowych, ale zostały rozbudowane na inne obszary działalności produkcyjnej przedsiębiorstwa [4].

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

W większości MPS (Production Scheduling MPS Harmonogramowanie spływu) zarządzanie zasobami i planowanie produkcji odbywa się w sposób ręczny i na papierze. Takie zarządzanie prowadzi do ograniczonego zarządzania kosztami dla danego produktu przy występującej dużej liczbie asortymentów. To właśnie dla tych zadań zostały opracowane kompleksowe systemy wspomagające zarządzanie [9].

Nieustanny wzrost postępu technicznego, a wraz z nim seryjności produkcji stwarza dogodne warunki do wprowadzenia w zakładzie produkcyjnym nowych rozwiązań związanych z planowaniem produkcji i potrzeb materiałowych.

Można to dokonać w sposób automatyczny lub ułatwiający takie działania poprzez wprowadzenie danych i kontrolowanie ich przez system komputerowy [8]

Podejście systemowe prezentowane w wielu publikacjach na całym świecie zakłada, że przedsiębiorstwo jest traktowane jako pewna całość, która sprawnie działa za sprawą czynników technicznych, ekonomicznych, socjalnych i psychologicznych. Przedsiębiorstwo jako system posiada cechy determinujące jego kontakt z otoczeniem, do którego zaliczamy:

- Otwartość
- Postać społeczno-techniczną
- Złożoność
- Zdolność do usprawniania [2].

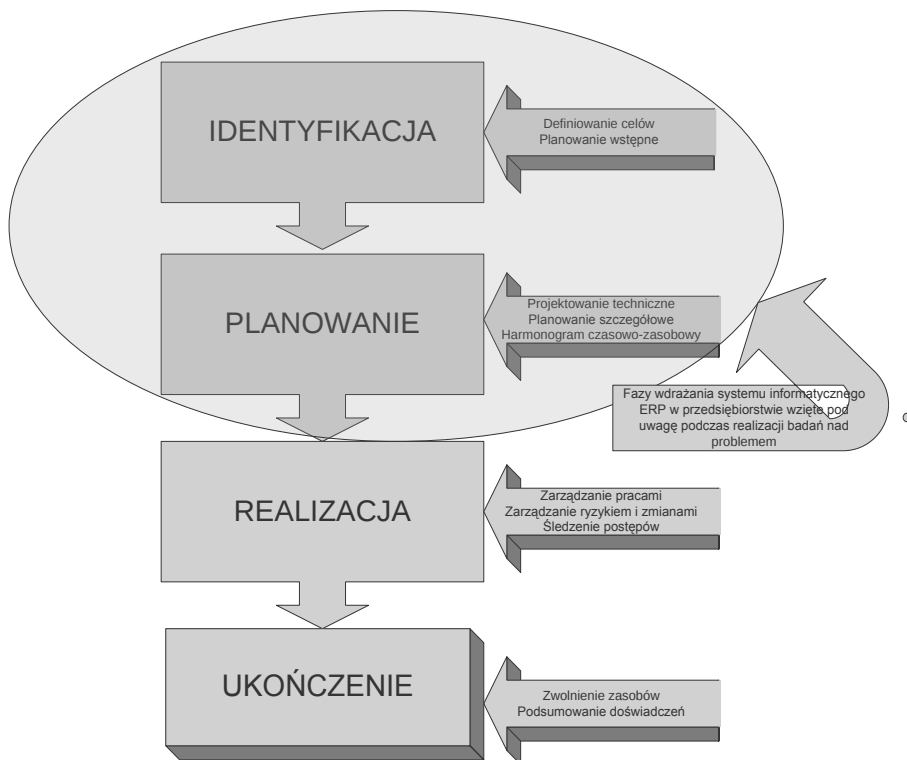
W ostatnich latach widoczny jest ogromny wzrost zastosowania komputerów w produkcji przemysłowej. Przyczynia się on również do zwiększenia integracji realizowanych procesów w przedsiębiorstwie. Zjawisko to dotyczy planowania technicznego przygotowania produkcji, sterowania wytwarzaniem, jakością oraz sprzedażą [2].

Należą do nich:

- Komputerowo sterowane stanowiska obróbkowe i montażowe CM (Computer Modul),
- Elastyczne systemy wytwarzania FMS (Flexible Manufacturing Systems),
- Komputerowo wspomagane systemy wytwarzania CAM (Computer Aide Manufacturing),
- Komputerowo zintegrowane systemy wytwarzania CIM (Computer Integrated Manufacturing).

2. Przyjęta metodyka prowadzenia analizy przedwdrożeniowej. Opis zastosowanych narzędzi wykorzystanych podczas realizacji analizy

Realizacja analizy przedwdrożeniowej skupia się na pierwszych dwóch etapach realizacji wdrożenia w przedsiębiorstwie systemu informatycznego rysunek 1.

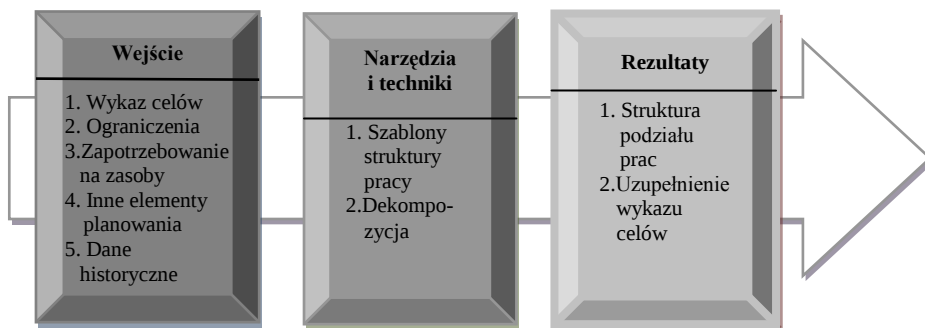


Rys. 1. Struktura i zakres realizacji prac związanych z analizą przedwdrożeniową.

Istnieje dużo różnych sposobów na realizację wdrożenia systemu informatycznego klasy ERP w przedsiębiorstwie. Ze względu na produkcyjny charakter badań na przedsiębiorstwach produkcyjnych wybrano metodykę **PMI** do realizacji wdrożenia systemu informatycznego.

Metodyka PMI (Project Management Institute) traktuje projekt jako układ faz o identycznej procesowej strukturze. Układ faz – cykl życia projektu – metodyka PMI zaleca dobrać indywidualnie do konkretnego projektu, tutaj cykl życia projektu jest zgodny z cyklem życia wdrożenia. Podczas realizacji wdrożenia zgodnie z przyjętą metodyką wyznacza się kilka faz funkcjonalnych (grup procesów):

- Inicjalizacji;
- Planowania;
- Wykonania;
- Nadzoru;
- Ukończenia.



Rys. 2. Model procesu zarządzania projektem. Definiowanie zakresu prac w przedsiębiorstwie produkcyjnym realizującym analizę przedwdrożeniową wg metodyki PMI

W każdym z obszarów PMI definiuje procesy zarządzania projektami (PMP – Project Management Processes), które dokładnie wskazują na grupy procesów realizowanych w projekcie. Przy pomocy prostego modelu:

Wejście → Narzędzia i techniki → Rezultaty

zdefiniowane są elementy potrzebne dla każdego PMP, określają również jakie techniki są w nim stosowane i co jest rezultatem procesu. (rysunek 2).

Oprócz metodologii PMI zaimplementowanej podczas realizacji procesu badawczego i wyznaczania rozwiązania problemu wykorzystano inne narzędzia, ułatwiające pracę nad projektem i umożliwiające kontrolę nad całością projektu. Był to przede wszystkim program MS Project.

Program Microsoft Office Project Standard udostępnia narzędzia do zarządzania projektami, łączące użyteczność, zaawansowanie i elastyczność, dzięki którym można wydajniej i efektywniej zarządzać projektami. Użytkownik może uzyskiwać bieżące informacje, kontrolować pracę, harmonogramy i finanse projektów oraz harmonizować zespoły projektów, zwiększając swoją produktywność dzięki integracji ze znanymi programami pakietu Microsoft Office System, zaawansowanym opcjom raportowania, a także kierowanemu planowaniu i elastycznym narzędziom.

3. Przykład realizacji analizy przedwdrożeniowej w przedsiębiorstwie produkcyjnym

Dokonano analizy zakładu produkcyjnego 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.

Tabela poniżej stanowi pierwszy krok we wdrożeniu systemu ERP i będzie wyznacznikiem przy wyszukiwaniu potencjalnych dostawców pożądanego oprogramowania. W tabeli znajdują się również pytania ogólne, dzięki którym potencjalni dostawcy poznają charakter i skalę działalności przedsiębiorstwa produkcyjnego. Tabela została przygotowana w współpracy pracowników i właściciela badanej firmy. W dalszej części procesu wyboru systemu tabela służyć będzie przybliżeniu potencjalnym firmom wdrożeniowym.

Tab. 1. Zestawienie podstawowych pytań i odpowiedzi odnośnie przedsiębiorstwa realizującego analizę przedwdrożeńową.

Lp	Pytanie	Odpowiedź
1	Rodzaj działalności, szczególne formy organizacyjne (np. zakład pracy chronionej),	Zakład produkcyjny – 40 osób produkcja części metalowych
2	Specyfika prowadzonego biznesu, co decyduje o powodzeniu.	Ilość zamówień wpływających do firmy – oferty zapytania – kalkulacje cenowe
3	Kryteria oceny wybieranego systemu informatycznego (co jest najważniejsze).	Możliwość dopasowania do potrzeb zakładu, czas wdrożenia, koszt
5	Jaki obecnie system jest używany?	Oprogramowanie CAD-CAM na komputerach konstruktorów – brak systemów zintegrowanych
7	Czy wymagane będą zestawienia korporacyjne (konsolidacja bilansu)?	Nie
9	Czy są prowadzone operacje walutowe (jeżeli TAK to w jakich obszarach)?	PLN Euro (Europa)
10	Jakie inne systemy informatyczne występują, gdzie są wykorzystywane, jaki będzie zakres integracji z nimi.	Brak
11	W jakim zakresie użytkownicy znają obsługę komputera?	Kadra zarządzająca bdb Pracownicy bezpośrednio produkcyjny – niezadowolającym
12	Ile osób pracuje w poszczególnych działach które mają być wdrażane (Finanse-księgowość, Kadry-Płace, Środki trwałe, itp.)	System fakturowania – 1 osoba
13	Jakim sprzętem komputerowym dysponuje klient?	Brak rozwiniętej struktury informatycznej (do dyspozycji są 3 jednostki)
14	Jakie dane będą przenoszone ze starego systemu?	Brak

Tab. 2. Zestawienie pytań i odpowiedzi dla sfery działalności „Obrót Towarowy”

Lp	Pytanie	Odpowiedź
1	Jakie metody wyceny zapasów w magazynach i metody rozliczania korekt przychodów są stosowane?	Prowadzi się ewidencje zapasów natomiast nie wycenia się ich (produkcja pod klienta – na zamówienie)
2	Struktura organizacyjna magazynów, miejsca składowania,	Magazyn surowców Magazyn wyrobów gotowych
3	Jak wygląda proces obsługi sprzedaży?	Dostawy zgodnie z zamówieniami na kartę WZ + faktura
4	Jak wygląda proces obsługi zaopatrzenia, a. Planowanie zakupów, b. Realizacja zakupów, (zakupy na magazyn, zakupy kosztowe),	Realizuje się zakupy bezpośrednio pod zamówienie klienta (część klientów stałych, dla których znany jest plan produkcji z kilkutygodniowym). Nie ma zapasów w magazynie na inne potrzeby. W magazynie wyrobów gotowych przechowywane są jedynie wyroby zamówione przez klientów (nie ma produkcji na sprzedaż)
5	Jakie klient ma dodatkowe wymagania?	Określić możliwość bilansowania zapotrzebowania surowców z kilku tygodniowym wyprzedzeniem (zgodnym z zapotrzebowaniami klientów). Możliwość przyjęcia zamówienia – określenie przez system na kiedy dane zlecenie mogłoby być zrealizowane ze względu na dostępność surowców oraz zajętość maszyn i ludzi.

Tab. 3. Zestawienie pytań i odpowiedzi dla sfery działalności „Proces Produkcji”

Lp	Pytanie	Odpowiedź
1	Jaki jest profil produkcji – ustalić dla wyrobu gotowego, (jeśli firma wytwarza wyroby kilku różnych branż to dla typowych reprezentantów): – złożoność struktury wyrobu, – cykl wytworzenia, – skala produkcji w okresie roku, sposób identyfikacji wytwarzanych wyrobów (symbol podstawowy i symbol handlowy – formaty)	Branża metalowo-produkcyjna
2	Jaka jest struktura produkcji (konfiguracja organizacyjna oraz rozmieszczenie terenowe oddziałów, wydziałów, komórek produkcyjnych),	Jedna jednostka organizacyjna
3	Jak wygląda technologia procesów produkcji w aspekcie jej rzeczywistego zapisu, w odniesieniu do marszruty technologicznej oraz normatywów zużycia zasobów (czasy robocizny i maszyny, zasoby materiałowe, półfabrykaty, produkt(y) wytwarzany, narzędzia i pomoce warsztatowe, materiały technologiczne)	Typowe procesy technologiczne części metalowych poddawanych obróbce mechanicznej (obróbka skrawaniem, obróbka cieplna itp.) W kartach widnieją takie informacje jak nr operacji czas wykonania, t_{pz} , surowiec (półfabrykat) maszyny, narzędzia, (w systemie powinna być możliwość przypisania pracownika do operacji – 1 lub z grupy)
4	Jak realizowany jest proces produkcji: – planowanie procesu produkcji, jak się odbywa, co jest podstawą do planowania, – sposób ewidencji produkcji (zlecenie, szarża, plan-raport) i sposób uruchamiania (np. z zamówienia klienta lub planu sprzedaży lub planu produkcji towarowej lub z normatywu magazynowego) – transakcje kontroli jakości, – przekazanie, przyjęcie do i z przerobu zewnętrznego (kooperacja technologiczna)	Podstawą do planowania procesu produkcyjnego jest harmonogram dostaw zgłaszany przez klientów co 14 dni plus nowe oraz indywidualne zamówienia. Ewidencja – zlecenie produkcyjne na hale – nazwa wyrobu – operacja technologiczna - liczba szt. – maszyna – operator. Uruchamianie na zlecenie – zmieniane z 14 dniowym wyprzedzeniem plus zlecenia bieżące realizowane możliwie jak najszybciej (od systemu oczekujemy odpowiedzi czy i na kiedy możemy przyjąć nowe zlecenie ze względu na zajętość maszyn i ludzi oraz dostępność surowców)
5	Jak wygląda rozliczanie kosztów produkcji	Kalkulacje na indywidualny detal Ewidencja wyrobów gotowych

	– koszty materiałów (transakcje obrotu wewnętrznego na rzecz produkcji (pobrania i zwroty materiałów lub półfabrykatów, zdania półfabrykatów, zdania wyrobów gotowych, przyjęcia wyrobów ze zwrotu reklamacyjnego), rozliczenia na podstawie zakładanych norm zużycia (backflushing) – koszty robocizny (karty pracy, systemy rozliczania (dniówka, akord, inne)), – koszty maszyn, ewidencja czasu pracy maszyn, – inne koszty produkcji	i półfabrykatów Przyjęcie wyrobów z reklamacji Karty pracy - przewodnik, akord, koszty maszyn ewidencja czasu pracy maszyn i pracowników, inne koszty produkcyjne
6	Produkty (sposób wytwarzania – operacje, struktura produktu, czas wytwarzania, czas przygotowania poszczególnych operacji)	Przedsiębiorstwo realizuje produkcję na maszynach obróbczych (w większości obróbka skrawaniem), brak montażu, produkt jest w całości wykonywany na maszynach obróbczych ewentualnie jest spawany, na czas wytwarzania wyrobu składają się czasy wykonania poszczególnych operacji, przy czym czasy są typowe dla operacji na obrabiarkach skrawaniem, czas przygotowawczy również nie odbiega od typowych czasów przygotowawczych dla maszyn obróbki skrawaniem
7	Grupy maszyn	Podzielone ze względu na typy (szlifierki, tokarki itd.)
8	Ograniczenia procesu produkcyjnego	Dostępność maszyn w czasie (moce przerobowe)
9	Kalendarze określające dostępność maszyn/linii produkcyjnych	Typowy zmianowy. Standardowo 1 zmiana jednak w razie konieczności wydłuża się czas pracy maszyny lub dodaje się kolejną zmianę – okresowo
10	Czy produkcja pod zamówienie klienta czy na magazyn?	Pod zamówienie klienta
11	Określenie czy istnieje preferowana kolejność wykonywania	Priorytetem jest długość realizacji zamówienia z uwzględnieniem

	produktów/grup produktów na poszczególnych maszynach/liniach produkcyjnych, Czy priorytetem jest minimalizacja przebrojeń?	priorytetu dla określonego zamówienia
12	Aktualny sposób przygotowania harmonogramu produkcji (źródła danych, narzędzia, procedury, liczba planistów),	Plan zgodny z realizowanymi zamówieniami (weryfikacja po realizacji zamówienia) – Zlecenie od głównych klientów przychodzi faksem (załącznik – niestety niezbyt wyraźny)
13	Aktualny sposób dystrybucji harmonogramu produkcji (przykładowe raporty, karty obiegowe),	Karty obiegowe (ustnie)
14	Określenie reguł aktualnie służących do harmonogramowania produkcji	Zgodnie z zamówieniem
15	Określenie jak wykorzystywane są priorytety do ustalenia „ważności” poszczególnych zleceń produkcyjnych	Techniki heurystyczne (w pierwszej kolejności wykonywane są zamówienia klientów głównych)

4. Określenie procesów produkcyjnych realizowanych w przedsiębiorstwie w kontekście wdrożenia systemu ERP oraz określenie ram działania wdrażanego systemu

Obszar produkcyjny w przedsiębiorstwie, w którym realizowano analizę przedwdrożeńową jest typowym procesem realizacji produkcji powtarzalnej o określonej w czasie partii produkcyjnej. W przedsiębiorstwie w sposób precyzyjny zdefiniowano procesy technologiczne, określa się również zlecenia produkcyjne, które realizowane są 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 procesu zarządzania produkcją:

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

Technologia jest zapisem technologii wykonania określonego wyrobu. Dany wyrób może mieć różne wersje technologii zarówno na obrabiarki tradycyjne jak również na nowoczesne obrabiarki sterowane numerycznie.

Technologia ma określoną wielkość 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 określone powinny zostać w systemie 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.

Technologia

W technologii produkcji 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 zasobów 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 firmie określone koszty jednostkowe, które definiuje się dla konkretnego zasobu na podstawie danych historycznych.

Zlecenia produkcyjne

W przedsiębiorstwie prowadzi się obsługę 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.

Zadaniem systemu komputerowego będzie zainicjowanie zlecenia w sposób automatyczny lub definiowanie samodzielnie przez Użytkownika, zlecenie powinno być 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) generowane powinny generować się w systemie automatycznie.

W dowolnym stanie i statusie zlecenia 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.

Raporty z produkcji w przyszłym systemie ERP

W zestawie standardowych raportów powinny znajdować się m.in.: „KA-RTA TECHNOLOGICZNA”, „KARTA KALKULACJI KOSZTU PROCESU TECHNOLOGICZNEGO” (specyfikująca koszty normatywne wyniki z technologii w dowolnym stanie jej przygotowania), „PRZEWODNIK WARSZTATOWY ZLECENIA” oraz „KARTA KALKULACJI ZLECENIA PRODUKCYJNEGO” (specyfikująca koszty zarówno normatywne, jak i rzeczywiste).

Zadaniem przyszłego systemu będzie możliwość wczytywania wszystkich niezbędnych informacji o zleceniu i procesie jego realizacji bezpośrednio przez pracownika produkcyjnego bezpośrednio na hali produkcyjnej. Powinno się to

odbywać poprzez terminale przystanowiskowe oraz ogólnowydziałowe. Przy czym terminale trzystanowiskowe będą obsługiwały stanowiska najistotniejsze z punktu widzenia realizacji całych zleceń produkcyjnych, są to przede wszystkim maszyny CNC oraz wycinarki laserowe oraz plazmowe. Współpraca z modułem sterującym realizacją produkcji na hali produkcyjnej zapewnia rozliczanie prac realizowanych w ramach uruchamianych zleceń.

PROCES PRODUKCJI po wdrożeniu systemu informatycznego powinien pozwolić na skuteczną standaryzację zadań produkcyjnych (obsługa obowiązującej technologii) oraz kontrolę i ewidencję rzeczywistego przebiegu procesów produkcji w przedsiębiorstwie (obsługa zleceń). Zasadniczym zadaniem systemu będzie możliwość określenia kosztów wytwarzania w układzie jednostek kalkulacyjnych (produkty) i ewidencyjnych (zlecenia).

5. Określenie ról i obowiązków zespołu projektowego, określenie sposobu realizacji i implementacji wymagań funkcjonalnych, podział na podprojekty w ramach całego projektu

Wdrożenie systemu informatycznego w zakładzie produkcyjnym będzie opierał się na realizacji całokształtu prac zmierzających do uruchomienia i pełnego wykorzystania systemu w firmie. Celem wdrożenia jest między innymi podniesienie poziomu organizacji pracy oraz wzrostu efektywności działania przedsiębiorstwa.

Możemy wyróżnić następujące etapy wdrażania systemu informatycznego:

- techniczny,
- konfiguracyjny,
- szkoleniowy.

Poziom techniczny polega na odpowiednim doborze sprzętu komputerowego, stworzeniu sieci komputerowej, instalacji serwera, bazy danych oraz właściwego oprogramowania. Celem etapu konfiguracji jest właściwa parametryzacja i dopasowanie systemu do pożądanego przez firmę modelu działania oraz indywidualnych potrzeb klienta. Etap szkoleniowy polega na zaznajomieniu użytkowników z zasadami obsługi oraz poprawności technicznego działania programu.

Zespół wdrożeniowy

Koordynator

Po stronie firmy, w której wdrażany jest system zostaje wskazana osoba koordynująca projekt wdrożenia tzw. Koordynator. Osoba Koordynatora musi bardzo dobrze orientować się w sprawach dotyczących firmy oraz procesów w niej zachodzących, co więcej posiadać odpowiedni autorytet oraz cieszyć się uznaniem w przedsiębiorstwie. Koordynator uczestniczy w części konfiguracyjnej oraz w niewielkim stopniu w części technicznej i szkoleniowej wdrożenia

np. przy instalacji. Do jego zadań należy również kontrola, monitoring oraz koordynację prac od strony klienta. Czuwa nad prawidłowym przebiegiem wdrożenia i działaniem programu. Jest osobą pierwszego kontaktu z przedstawicielem firmy wybranego systemu informatycznego, jeśli jego kompetencje nie dotyczą wybranego obszaru może wyznaczyć inną kompetentną osobą.

Kierownik wdrożenia

Wybrana firma wdrożeniowa ze swojej strony wyznacza kierownika wdrożenia. Jest on odpowiedzialny za właściwe wdrożenie i uruchomienie systemu informatycznego w danej firmie. Kierownikiem ds. wdrożenia może zostać tylko osoba posiadająca odpowiednie kompetencje i doświadczenie, tj. taka, która wykonała co najmniej 10 pełnych wdrożeń w innych

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 chodzi o fazę sprzeciwu, fazę mechanicznej pracy oraz fazę pełnego zrozumienia.

Pierwsza faza jest w rzeczywistości najtrudniejsza do przezwyciężenia. Już na początku XX wieku amerykański przedstawiciel nurtu inżynierskiego w nauce organizacji i zarządzania Frederick Winslow Taylor zauważył, że ludzie bardzo niechętnie podchodzą do wszelkich zmian przyzwyczajęń, obowiązków i dotychczasowej filozofii pracy. 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 to sposobu działania programu.

Pokonanie wyżej wymienionych przeciwności, przebycie cyklu szkoleń, pozwala wykonać kolejny krok i przejść do fazy pełnego zrozumienia. Jest to okres gdy pracownicy zaznajamiają się z programem, zdobędą odpowiednią wiedzę jak z niego korzystać oraz w jaki sposób w pełni wykorzystywać dostępne opcje i funkcje. Przekonują się do programu i chętnie na nim pracują.

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.

LITERATURA

1. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją: projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją; metody i narzędzia organizowania i sterowania produkcją w przedsiębiorstwach obecnych i przyszłych” / pod red. Marka Brzezińskiego, Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa 2002 r.
2. Brzeziński M.: Sterowanie produkcją: materiały do ćwiczeń i projektowania” opracowanie zbiorowe / pod red. Marka Brzezińskiego, Wydawnictwo Uczelniane PL, Lublin 2001r.
3. Durlik I.: „Strategie organizacji produkcji. Nowe koncepcje zarządzania”, T1, Wydawnictwo PLACET, Warszawa 2004r.
4. Fertsch M.: „Podstawy zarządzania przepływem materiałów w przykładach”, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2007 r.
5. Gąska D.: Zakłócenia w pracy systemów sterowania produkcją spowodowane wpływem otoczenia zewnętrznego oraz metody ich redukcji, Informacyjne aspekty zarządzania i sterowania produkcją; Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2005, red. Świć A. s. 161-167;
6. Gąska D.; Opracowanie modelu informatycznego układu sterowania procesem wytwórczym z wykorzystaniem systemu informatycznego Microsoft Business Solutions-Axapta; Przegląd Mechaniczny; 2006, 12, Suplement 06, s. 59-60;
7. Świć A., Gąska D.: Applied Computer Science, Enterprise Application integration; Dependability study of the system ERP; 2007, 1, s. 23-37; PL;
8. Gąska D., Świć A.: The standardized audit of security and the reliability of ERP systems; Modelling and Designing in Production Engineering; s. 7-18; Lubelskie Towarzystwo naukowe; Lublin 2009
9. <http://www.bpsc.com.pl>

PRE-IMPLEMENTATION ANALYSIS IT SYSTEM FOR PRODUCTION CONTROL AND MANAGEMENT, AS A SOURCE OF INFORMATION ABOUT SUCCESS IMPLEMENTATION

Abstract

This paper presents aspects of the analysis of the pre-implementation computer system to control and production management. An example of such an pre-implementation analysis out at the factory. The examples of the pre- implementation analysis questionnaires support with particular emphasis on the specific production companies.

Keywords: ERP, analysis of pre-implementation, implementation.

ANALIZA PRZEDWDROŻENIOWA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO DO STEROWANIA I ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ, JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI DECYDUJĄCE O SUKCESIE WDROŻENIA.

Streszczenie.

W artykule przedstawiono aspekty analizy przedwdrożeniowej systemu informatycznego do sterowania i zarządzania produkcją. Przedstawiono przykład takiej analizy przeprowadzonej w zakładzie produkcyjnym. Przedstawiono przykłady ankiet wspomagających analizę przedwdrożeniową ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki przedsiębiorstw produkcyjnych.

Słowa kluczowe: Systemy ERP, analiza przedwdrożeniowa, wdrożenie.

Mgr inż. Daniel GĄSKA
Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin
ul. Nadbystrzycka 36
tel./fax.: (81) 538 12 76 / (81) 538 14 96,
e-mail: d.gaska@pollub.pl

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGANIA ZARZĄDZANIA PROCESAMI PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA PROTOTYPÓW

Wstęp

Organizacja produkcji prototypów realizowanej w ramach dużego zakładu doświadczalnego funkcjonującego w instytucie badawczym lub prototypowni zakładu przemysłowego jest zagadnieniem skomplikowanym zarówno ze względów technologicznych jak i organizacyjnych związanych z dostępnością określonych zasobów. Opracowanie prototypu angażuje wielokrotnie większe środki niż produkcja seryjna [1, 2]. Jednocześnie czas realizacji pojedynczego urządzenia łącznie z etapem badań i weryfikacji musi być o wiele krótszy niż uruchomienie produkcji seryjnej co w znacznym stopniu podnosi poziom trudności związany realizacją takiego przedsięwzięcia [3]. Ze względu na duże ryzyko nieprzewidzianych trudności [4, 5, 6] proces organizacyjny związany z zaprojektowaniem, wytworzeniem i zbadaniem prototypowego urządzenia o wysokim stopniu innowacyjności powinien charakteryzować się dużą elastycznością i podatnością na zmiany organizacyjne. Z drugiej strony w przypadku realizacji wielu projektów urządzeń prototypowych zarządzanie elastycznymi procesami o zmiennych i trudnych do przewidzenia żądaniach jest zadaniem trudnym. Trudności wiążą się z koniecznością dynamicznej alokacji przypisanych zasobów ludzkich, sprzętowych i materiałowych po to aby w uzasadnionych przypadkach dokonać niezbędnej koncentracji sił i środków w celu przezwyciężenia trudności uniemożliwiających dotrzymania zaplanowanego terminu ukończenia prac. Dokonywane przesunięcia nie mogą jednak zakłócać prac innych realizowanych jednocześnie projektów.

Wspomaganie procesu wytwarzania prototypów wymaga opracowania systemu zarządzania uwzględniającego dynamikę i zmienność parametrów produkcji jednostkowej, zachowującego cechy rozwiązania o prostej strukturze i dużym potencjale aplikacyjnym w małych i średnich przedsiębiorstwach proinnowacyjnych [7]. Podjęta próba budowy systemu wspomagającego proces wytwarzania prototypów wykorzystuje badania autorów przeprowadzone w zakładzie doświadczalnym Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu.

1. Założenia systemu

Przedmiotem działania zintegrowanego systemu wspomagania są kompleksowe procesy projektowania, wytwarzania i weryfikacji rozwiązań prototypowych urządzeń technicznych opracowywanych w instytucie badawczym. Platformą informatyczną budowanego systemu wspomagania jest pakiet MS Project 2010. Przyjęcie założeń o budowie systemu w oparciu o w/w pakiet wymagało odwzorowania istotnych elementów zarządzanych procesów w struktury danych programu MS Project.

Identyfikację istotnych elementów zarządzanych procesów przeprowadzono na podstawie analizy systemowej instytutu jako systemu, w którym procesy te są realizowane. Badane procesy zostały zidentyfikowane jako uporządkowane w czasie zbiory zadań, operacji i procedur. W zależności od etapu zarządzanego procesu wyróżniono działania: projektowe, technologiczne i badawcze wykonywane, przez zadany okres czasu, przez pracowników posiadających wymagane kwalifikacje, na określonych stanowiskach z wykorzystaniem niezbędnego sprzętu. Zgodnie z zasadami teorii zarządzania projektami [8, 9] stanowiącymi podstawę teoretyczną budowanego systemu wspomagania, podstawowymi elementami wspomaganych procesów są projekty rozumiane, jako trwające w czasie przedsięwzięcia mające na celu wytworzenie niepowtarzalnego produktu lub usługi, które z kolei mogą składać się z podzbiorów zadań, które również mogą być zdekomponowane jako podzbiory podzadań, itd. Przy czym w praktyce proces dekompozycji projektu na podzadania jest prowadzony aż do poziomu tzw. zadań elementarnych charakteryzujących się stałymi wymaganiami zasobowymi w trakcie ich wykonywania. Zatem dla potrzeb wspomagania zarządzania zintegrowanymi procesami projektowania, wytwarzania i badania urządzeń opracowywanych w instytucie cały proces podzielono na trzy rodzaje projektów kończących się odpowiednio: opracowaniem dokumentacji, wytworzeniem urządzenia i weryfikacją jego własności. Dla każdego z tego typu projektów opracowano moduł wspomagania zarządzania realizacją tego typu projektu. Dla potrzeb budowy zintegrowanego systemu wspomagania na bazie opracowanych modułów wspomagania projektów (opracowania, wytwarzania i weryfikacji) przyjęto następujące jednolite zasady odwzorowania zarządzanych procesów w struktury danych pakietu MS Project 2010:

- procesy projektowania, wytworzenia i zbadania urządzenia są odwzorowane jako projekty wzajemnie powiązane zależnościami przyczynowo-skutkowymi,
- każdy projekt, zwany dalej zadaniem, jest traktowany jako zadanie sumaryczne obejmujące całość działań związanych z realizowanym procesem,
- projekty jako zadania sumaryczne są dekomponowane na zbiory podzadań,

- podzadania są dekomponowane na podzbiory procedur, mających charakter zadań elementarnych,
- przedmiotem zadania może być; urządzenie, zespół bądź pojedynczy detal,
- zakres podzadania i procedury związany jest z rodzajem projektu, w ramach którego został wyodrębniony oraz z przedmiotem, którego dotyczy,
- ostatnim szczeblem dekompozycji projektu są procedury (projektowe, technologiczne, badawcze) traktowane w systemie jako zadania elementarne.
- zadania elementarne charakteryzują się stałymi (przez cały czas realizacji) żądaniami zasobowymi, których dostarczenie jest warunkiem koniecznym wykonania danego zadania elementarnego.

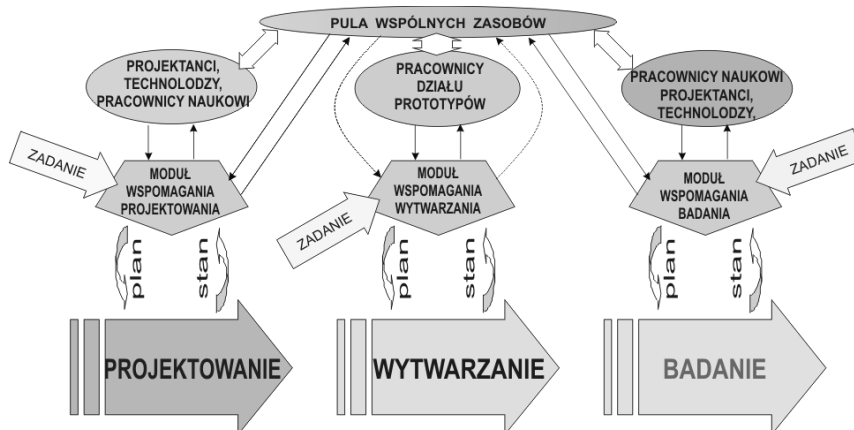
Rodzaje podzadań oraz rodzaje procedur operacyjnych z nimi związanymi zależą od rodzaju realizowanego projektu. I tak w przypadku projektów mających na celu opracowanie nowego urządzenia są to zadania: sporządzenie (rozpatrzenie) oferty, opracowanie założeń (koncepcji) urządzenia, projektowanie konstrukcji, technologii, przygotowanie planu badań (testowych, weryfikacyjnych) oraz opracowanie dokumentacji (sprawozdania). Zaś w przypadku wytwarzania urządzeń, jako podzadania przyjęto wykonanie określonego detalu, zaś jako procedury (zadania elementarne) przyjęto operacje technologiczne, które jednoznacznie wyznaczają gniazdo obróbcze określone przez urządzenie. W tym przypadku dodatkowo wyodrębniono podzadania zlecane wykonawcom zewnętrznym. Natomiast w przypadku badania i weryfikacji urządzenia prototypowego lub jego zespołu, a nawet pojedynczego detalu wytworzonego w systemie wytwórczym, jako podzadania przyjęto działania polegające na: zbadaniu jego niezawodności, weryfikację wymaganych funkcji, określeniu efektywności, oceny właściwości itp. Każde z tych podzadań jest rozkładane na ciąg procedur; testowych, badawczych i weryfikacyjnych.

W zintegrowanym systemie wspomagania procesów projektowania, wytwarzania i badania prototypowych urządzeń technicznych wyróżniono następujące rodzaje zasobów: pracownicy, stanowiska, urządzenia i materiały.

Pracownicy jako zasób scharakteryzowani są przez rodzaje zadań (procedur), które mogą wykonywać bądź poprzez urządzenia lub stanowiska, które mogą obsługiwać. Zależą one od typu projektu. W przypadku projektów mających na celu opracowanie nowego urządzenia są to pracownicy działu projektowania, którym w ramach przeprowadzonej identyfikacji, na podstawie wykształcenia, kwalifikacji, nabytego doświadczenia oraz opinii przełożonego, przypisano zbiory zadań, które mogą skutecznie realizować. W przypadku wytwarzania pracownicy działu prototypów jako zasób są określani poprzez urządzenie gniazda obróbczego, które mogą obsługiwać. Natomiast w przypadku badania i weryfikacji urządzenia prototypowego dla każdej procedury testowej przypisano pracowników (jako zasób) działu projektowania oraz pracowników

pionu badawczego instytutu wykonujący konkretne procedury.

Integracja podsystemów wspomagania projektowania, wytwarzania i badania w zintegrowany system wspomagania dokonywana jest poprzez wspólną pulę zasobów. Schemat integracji modułów w zintegrowany system wspomagania poprzez wspólną pulę zasobów pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat integracji modułów w zintegrowany system wspomagania

System wspomagania zarządzania procesami projektowania, wytwarzania i weryfikacji rozwiązań prototypowych przeznaczony jest do obsługi trzech typów projektów, z których tylko dwa wykorzystują te same zasoby. W budowanym systemie przedmiotem wspomagania będzie kilkadziesiąt równocześnie realizowanych projektów zawierających od kilkunastu do kilkudziesięciu zadań elementarnych. Przy czym zasadniczym aspektem procesu wspomagania jest terminowość realizacji projektów. Istotą systemu jest jego rozproszony charakter przejawiający się na indywidualnej obsłudze każdego procesu. Integracja realizowana jest poprzez pulę wspólnych zasobów oraz identyfikację i obsługę zdarzeń w danym module mających wpływ na przebieg procesu w innym module.

2. Zasady działania zintegrowanego systemu wspomagania

W działaniu zintegrowanego systemu wspomagania wyróżniono następujące obszary aktywności: zasilanie informacyjne, generowanie harmonogramu realizacji zadań oraz śledzenie, kontrola i modyfikacja procesu realizacji. Obszary te wyróżniono w każdym z modułów zintegrowanego systemu wspomagania.

2.1. Zasilanie informacyjne

Działanie każdego modułu systemu wspomagania wymaga zasilania dwoma rodzajami informacji; o wpływających zadaniach oraz o stanie zarządzanego podsystemu.

W zintegrowanym systemie wspomagania wyróżniono następujące źródła zadań dla zarządzanych procesów:

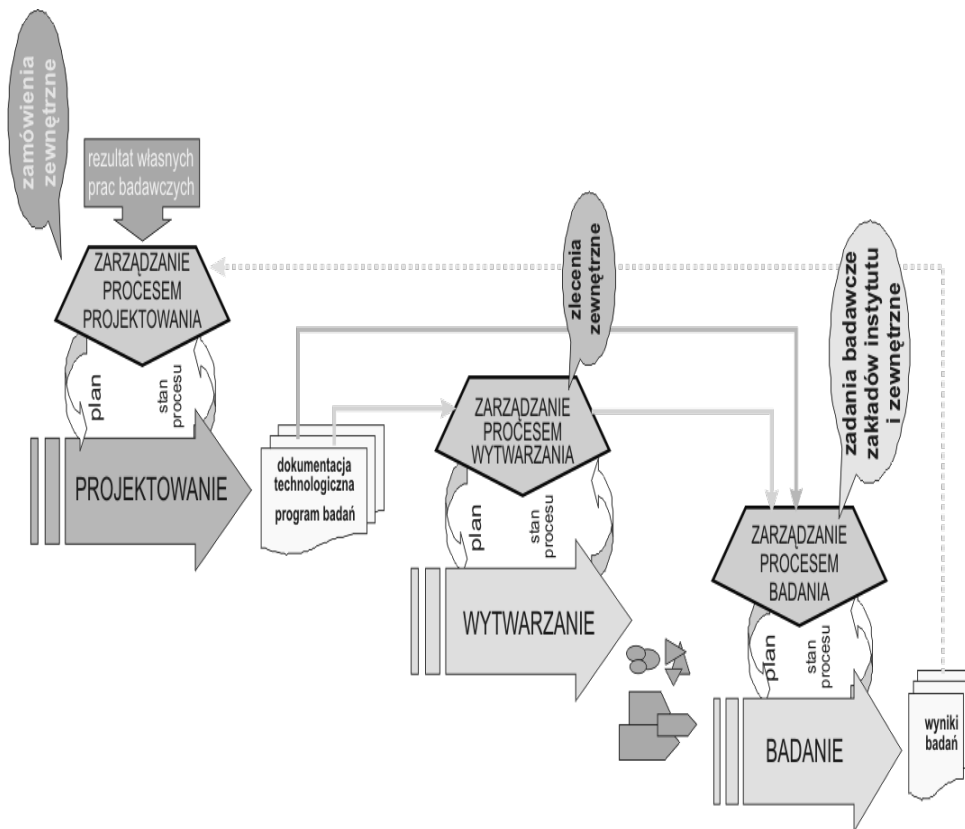
- zewnętrzne, spoza instytutu,
- wewnętrzne, z zakładów instytutu,
- wewnętrzne z zarządzanych podsystemów.

Zadania spoza instytutu są głównym źródłem zadań projektowania urządzeń dla konkretnych odbiorców, w dalszej kolejności zadania projektowania mogą być rezultatem prac badawczych prowadzonych w zakładach instytutu lub mogą być zadaniami modyfikacji projektów urządzeń wcześniej opracowanych w przypadku gdy zostaje sformułowany taki wniosek w rezultacie przeprowadzonych badań weryfikacyjnych zaprojektowanych wcześniej urządzeń.

Zasadniczym źródłem zadań wytwarzania są projekty opracowane w wewnętrznym podsystemie projektowania, w mniejszym stopniu mogą to być zlecenia zewnętrzne według dostarczonych technologii. Natomiast w przypadku procesów badawczych prowadzonych w Instytucie są to zadania badawcze realizowane w zakładach instytutu oraz zadania weryfikacyjne prototypowych urządzeń opracowywanych (projektowanych i wytwarzanych) w instytucie formułowane w dziale projektowania.

W ramach zasilania informacji dla każdego modułu opracowano: procedury wprowadzania informacji dotyczących zadań elementarnych (moment rozpoczęcia, czas trwania, wymagane zasoby oraz zbiór zadań poprzedzających wykonywane zadanie). W przypadku modułów projektowania i weryfikacji informacje te są wprowadzane z klawiatury natomiast w przypadku modułu wytwarzania większość informacji dotyczących zadań elementarnych jest importowana z programu komputerowego "Technologie" generującego dokumentację technologiczną: "Przewodnik warsztatowy przebiegu technologicznego" i "Przewodnik warsztatowy". Zawarte w nich informacje opisują zbiór detali wraz z zestawem operacji technologicznych, czasem ich realizacji, kolejnością ich przebiegu oraz wymaganym gniazdem obróbczym. Dla potrzeb wprowadzania informacji w tym module opracowano program wybierający odpowiednie informacje i zapisujące je w formacie CSV, który z kolei jest akceptowalny

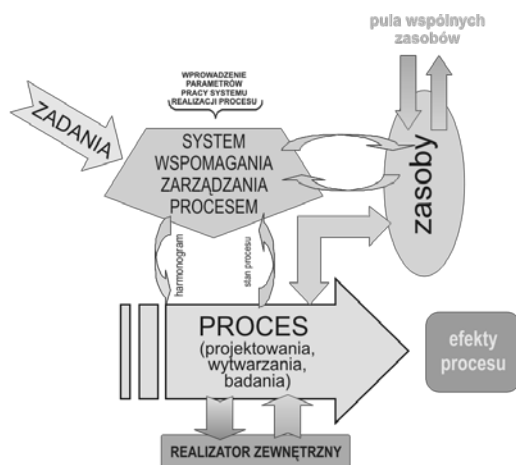
przez MS Project 2010. Strukturę przepływu informacji o zadaniach pomiędzy procesami i modułami oraz ich otoczeniem pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura przepływu informacji pomiędzy procesami i modułami oraz ich otoczeniem

Natomiast informacje o stanie zarządzanego podsystemu dotyczą parametrów pracy podsystemu, zawartości i dostępności zasobów oraz o stanie realizowanych procesów.

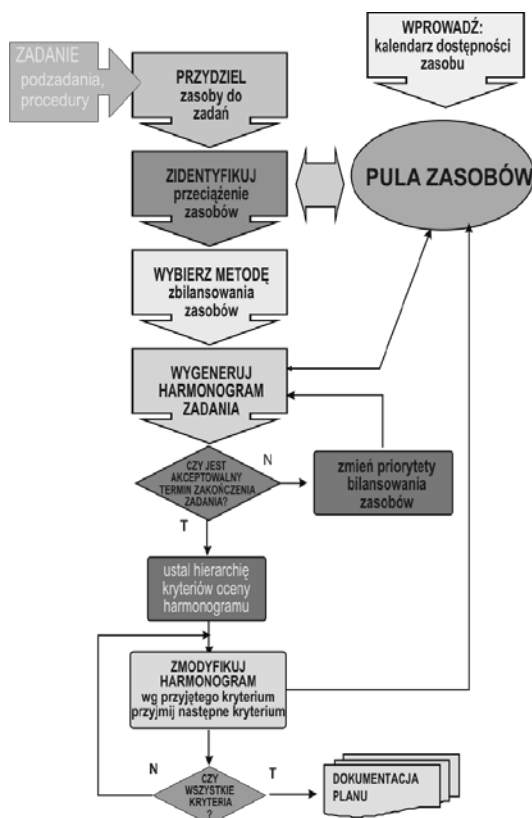
W przypadku zasobów informacje o dostępnych w systemie zasobach (nazwa, typ zasobu /praca, materiał, koszt/, grupa klasyfikacyjna, maksymalna liczba jednostek zasobu, koszt zastosowania zasobu w godzinach pracy /w nadgodzinach/, koszt każdego wykorzystania zasobu, sposób naliczania /na początku, na końcu, proporcjonalnie/ oraz kalendarz bazowy dostępności zasobu) wprowadzane są ręcznie z klawiatury. Strukturę zasilania informacyjnego modułu systemu zintegrowanego pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Struktura zasilania informacyjnego modułami zintegrowanego systemu wspomagania

2.2. Generowanie harmonogramu realizacji

Wprowadzenie wszystkich informacji o nowym zadaniu przy dostępie do informacji o stanie zarządzanego podsystemu umożliwia wygenerowanie planu realizacji zadania. Istnieją dwa warianty planowania realizacji zadania: od danego momentu lub na wyznaczony termin. Po wyborze wariantu i przydzieleniu wymaganych zasobów należy zidentyfikować ich przeciążenie, tzn. sytuacje kiedy danego zasobu żąda więcej zadań elementarnych (procedur) niż w danym momencie jest dostępnych jednostek danego zasobu. Dalej wykorzystując mechanizmy pakietu MS Project 2010 należy dokonać zbilansowania zasobów poprzez: zmianę terminu wykonania zadania z przeciążonym zasobem do momentu zwolnienia zasobu, dopuszczenie wykorzystania zasobu w dodatkowym czasie pracy lub zastosowanie zasobu substytutynowego. Bilansowanie zasobów wykonywane jest, aż do uzyskania w pełni zbilansowanego planu. Dalej następuje ocena wygenerowanego harmonogramu według przyjętych kryteriów i ewentualna jego modyfikacja. Zaakceptowany harmonogram wspomaganego procesu zapisywany jest w postaci tak zwanego harmonogramu bazowego, względem którego rejestrowany jest faktyczny przebieg procesu. Etap opracowania harmonogramu realizacji procesu kończy się udokumentowaniem przygotowanego planu. Jest on zapisywany zarówno w formie elektronicznej (wykresy Gantta, kalendarza realizacji planu oraz harmonogramów wykorzystania zasobów, obciążenia zadań zasobami, itp.) oraz w postaci odpowiednio przygotowanych wydruków. Schemat algorytmu budowy harmonogramu realizacji wspomaganych procesów w systemie zintegrowanym pokazano na rysunku 4.

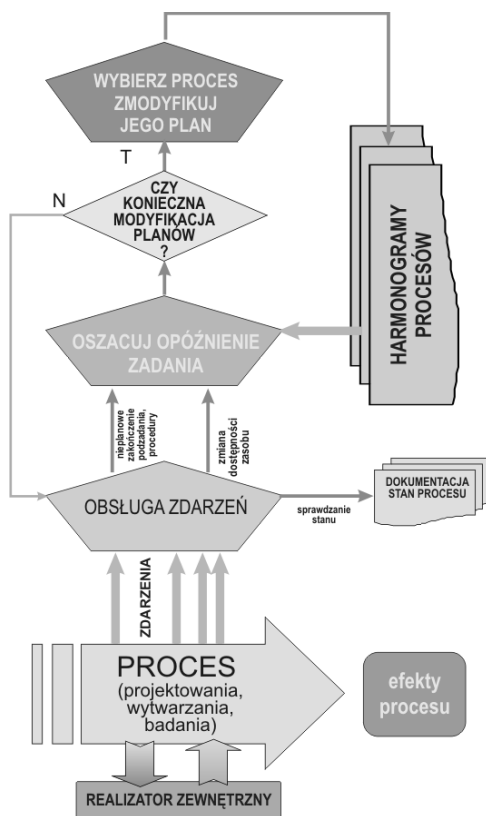


Rys. 4. Ogólny algorytm budowy harmonogramu realizacji wspomaganych procesów

2.3. Śledzenie, kontrola i modyfikacja procesu realizacji

Udokumentowanie planu kończy proces planowania i stanowi punkt wyjścia do śledzenia realizacji planu. Schemat monitorowania wspomaganych procesów w zintegrowanym systemie wspomagania zarządzania procesami projektowania, wytwarzania i badania urządzeń prototypowych pokazano na rysunku 5. Monitorowanie realizacji procesu polega na rejestracji nie tylko stanu procesu w zadanych momentach czasu np. na koniec miesiąca (kwartału, roku, itp.) ale także wszelkich zdarzeń powodujących stan niezgodny z planowanym przebiegiem wspomagane go procesu. Drugą ważną funkcją monitoringu jest przygotowanie informacji umożliwiających zarządzającemu procesem podjęcie decyzji o momencie i zakresie modyfikacji opracowanych wcześniej planów realizacji procesów we wspomagającym systemie.

W przypadku rejestracji stanu procesu jest on zapisywany w formie raportów elektronicznych lub papierowych. Wśród zdarzeń spowodowanych nieplanową realizacją procesu wyróżniono wcześniejsze lub późniejsze rozpoczęcie (zakończenie) procedury lub podzadania oraz zmianę dostępności wykorzystywanych zasobów. Ponieważ nie każda odchyłka od planu wymaga korekty i przebudowy opracowanego harmonogramu, decyzję o modyfikacji harmonogramu pozostawiono operatorowi systemu wspomagania, który podejmuje ją w uzgodnieniu z zarządzającym systemem realizacyjnym wspomaganych procesów.



Rys. 5. Schemat monitorowania procesu wspomaganych procesów

4. Wnioski

Opracowany system komputerowy jest przeznaczony do wspomagania zarządzania procesami projektowania i wytwarzania prototypowych aplikacji obiektów technicznych i procesów technologicznych. System wykorzystuje oryginalne oprogramowanie typu CAPP (*Computer Aided Process Planing*) oraz

MS Project do komputerowego planowania procesu projektowania, wytwarzania i badań prototypu. Podstawowe funkcje systemu to:

- wspomaganie zarządzania procesami projektowania i wytwarzania prototypowych rozwiązań obiektów technicznych,
- planowanie realizacji wspomaganych procesów,
- modyfikacja i aktualizacja harmonogramów,
- śledzenie realizacji procesów,
- raportowanie stanu procesu.

Struktura systemu uwzględnia specyfikę produkcji jednostkowej i prototypowej zarówno w obszarze projektowania konstrukcji i technologii, planowania i organizacji procesu wytwarzania oraz organizacji badań prototypu. Zastosowanie systemu umożliwi wyznaczenie terminu zakończenia przedsięwzięcia, bieżący monitoring realizacji zadań oraz weryfikację planu w warunkach funkcjonowania przedsiębiorstwa zajmującego się realizacją prac badawczo rozwojowych związaną z doświadczalną produkcją prototypów.

LITERATURA

1. Waters D.: Zarządzanie operacyjne. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007.
2. Tryliński W.: Metodyka konstruowania urządzeń precyzyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
3. Karpiński T.: Inżynieria produkcji, WNT 2004.
4. Dobrodziej J., Mazurkiewicz A., Zbrowski A.: Quality testing model for unit prototype technological devices. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. 1(165), Vol. 46, 2011, s. 29-44.
5. Mazurkiewicz A., Ruta R., Trzos M.: "Badania prototypu, metodyka wspomagania procesu weryfikacji własności eksploatacyjnych", Biblioteka Problemów Eksploatacji, wyd. ITeE-PIB, Radom 2004.
6. Ruta R., Trzos M., Mazurkiewicz A.: Problematyka projektowania i weryfikacji własności eksploatacyjnych rozwiązań prototypowych. Problemy Eksploatacji nr 3/2003, s. 23÷32.
7. Ruta R., Zbrowski A.: Koncepcja systemu wspomagania zarządzania procesem wytwórczym jednostkowych obiektów technicznych w zakładzie doświadczalnym instytutu badawczego. - Problemy Eksploatacji 2011 nr 3, s. 205-216.
8. Kerzner, H., Advanced Project Management. Wiley; 2nd edition, USA 2004
9. Wysocki R.K., McGary R.: Efektywne zarządzanie projektami. Wyd. Helion. Gliwice 2005.

COMPUTER SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF PROTOTYPE DESIGN AND PRODUCTION PROCESSES

Abstract

The article presents the system and the methodology for the management of prototype design, manufacture and verification processes in an industrial research laboratory, which are presented in form of a model of a process and a manufacturing system. In the model, the system elements and their attributes are presented, as well as the structure describing the interrelations taking place between them. The authors show how system elements are projected into the MS Project software and how information concerning the execution of individual tasks is supplied. The general algorithm for the planning of the

design, manufacture and verification processes is presented in form of an organised set of procedures. To meet the particular needs of individual tasks, the following procedures were developed: the planning procedure, the procedure for the determination of temporal and cause-effect relations, the allocation of resources, the identification and the elimination of the conflicts between resources, the evaluation of the timetable, and the monitoring of the planned processes.

Keywords: single unit production, support system, process management

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGANIA ZARZĄDZANIA PROCESAMI PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA PROTOTYPÓW

Streszczenie

W artykule przedstawiono opracowany system i metodykę zarządzania przedsiębiorstwami, przeznaczone do wspomagania procesów projektowania, wytwarzania i weryfikacji rozwiązań prototypowych realizowanych w przedsiębiorstwie zajmującym się działalnością badawczo rozwojową związaną z doświadczalną produkcją prototypów. Zidentyfikowany proces oraz system wytwarzania rozwiązań prototypowych przedstawiono w postaci modelu procesu i systemu wytwórczego. W modelu przedstawiono elementy systemu, ich atrybuty oraz strukturę opisującą wzajemne oddziaływanie i relacje pomiędzy nimi. Przedstawiono zasady odwzorowania elementów systemu w struktury danych pakietu MS Projekt. Określono schemat wprowadzania informacji dotyczących realizowanych zadań. Przedstawiono sposób odwzorowania elementów systemu oraz procedury: wprowadzania zadań oraz wykorzystywanych zasobów. Zaprezentowano ogólny algorytm planowania procesów projektowania wytwarzania i badań prototypów jako uporządkowany zbiór procedur. Dla potrzeb realizacji poszczególnych zadań opracowano procedury: planowania, wprowadzenia relacji czasowych i przyczynowo-skutkowych, przypisania zasobów do zadań, identyfikacji i usuwania konfliktów zasobowych, oceny harmonogramu oraz monitorowania realizacji zaplanowanych procesów.

Słowa Kluczowe: produkcja jednostkowa, system wspomagania, zarządzanie procesami

dr inż. Andrzej ZBROWSKI

dr inż. Ryszard RUTA

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy

26-600 Radom, ul. Pułaskiego 6/10

tel./fax.: (0-48) 36-442-41

e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

ryszard.ruta@itee.radom.pl

PLANOWANIE PRACY SYSTEMÓW WYTWARZANIA TYPU GNIAZDOWEGO

Wstęp

Rozwój technologii i jej technicznego zaplecza (maszyny i urządzenia) oraz metod i technik wspomagających produkcję wywołuje ciągle zmiany w systemach wytwarzania. Przyczyn zaistniałej sytuacji upatrywać należy w dynamicznym rozwoju cywilizacyjnym, wolnorynkowej konkurencji oraz globalizacji życia gospodarczego. Efektem przemian cywilizacyjnych są m.in. zjawiska skracania cykli życia wytwarzanych wyrobów, eliminowanie ludzi z procesów bezpośredniej pracy wytwórczej (automatyzacja i robotyzacja procesów produkcji) lub tzw. procesów regulacyjnych (planowanie i sterowanie produkcją). Ponadto współczesne trendy cywilizacyjne „wymuszają” produkcję w warunkach stałego zmniejszania się wielkości i powtarzalności serii produkowanych wyrobów, przy jednoczesnym zwiększeniu zróżnicowania asortymentowego.

1. Charakterystyka systemów produkcji

W przedsiębiorstwach produkcyjnych wyodrębnić można struktury produkcyjne o specjalizacji technologicznej oraz przedmiotowej. Wariant specjalizacji technologicznej występuje wówczas, gdy zamienne użytkowo maszyny lub urządzenia są grupowane w wyodrębnionych organizacyjnych systemach produkcyjnych. Z kolei specjalizacja przedmiotowa występuje w przypadku, gdy systemy produkcyjne tworzone są pod kątem określonej grupy technologicznie podobnych wyrobów. W strukturach produkcyjnych o specjalizacji przedmiotowej, częściej spotykanych w rozwiązaniach praktycznych, stosuje się zazwyczaj gniazdowe lub liniowe rozmieszczenie stanowisk [na podst. 1].

Istotnym kryterium podziału procesów produkcji jest jego złożoność, określająca liczbę etapów produkcyjnych związanych z wytworzeniem określonego wyrobu. Uwzględniając przedstawione kryterium wyróżnić można procesy jednostadialne (jednomaszynowe lub z maszynami równoległymi) oraz wielostadialne typu przepływowego lub typu gniazdowego [2,3,4].

Dla potrzeb harmonogramowania procesów produkcji, najczęściej przyjmowanym kryterium podziału jest organizacja przepływu wyrobu przez system, co powoduje wyszczególnienie dwóch podstawowych wariantów, tzn.:

- przepływowego (flow shop), w którym kolejność przepływu produkcji przez poszczególne stanowiska jest taka sama dla wszystkich zadań;
- gniazdowego (job shop), w którym kolejność przepływu produkcji przez poszczególne stanowiska jest różna dla różnych zadań, ale z góry określona.

2. Metody harmonogramowania produkcji

Harmonogramowanie produkcji można zdefiniować jako problem takiego rozdziału w czasie i przestrzeni dostępnych zasobów, który zapewni wykonanie zadań produkcyjnych przy najlepszym wykorzystaniu tych zasobów [4]. Duża różnorodność problemów harmonogramowania (zagadnienia z zakresu logistyki, organizacji produkcji, obliczeń, zarządzania zasobami ludzkimi lub zarządzania projektem) oraz szybko rosnące ich znaczenie praktyczne wymagało zastosowania specyficznych metod i algorytmów. Spowodowało to intensywny rozwój teorii szeregowania zadań jako samodzielnej, interdyscyplinarnej dziedziny badań operacyjnych, silnie powiązanej z optymalizacją ciągłą i dyskretną, teorią grafów i algorytmów oraz problematyką złożoności obliczeniowej [5].

Złożoność i różnorodność problemów harmonogramowania powodowały, że problem ten nie znalazł uniwersalnego rozwiązania. Efektywność znanych i stosowanych w praktyce metod i algorytmów rozwiązujących problemy logicznego przepływu zadań oceniana jest z punktu widzenia jakości uzyskiwanych wyników oraz złożoności obliczeniowej. Istotniejsze praktycznie kryterium jakości uzyskiwanych rezultatów wskazuje na metody dokładne oraz metody przybliżone. Do grupy dokładnych zaliczyć można m.in. metody: teoretycznego przeglądu zupełnego, podziału i ograniczeń, programowania liniowego, nieliniowego, dynamicznego i sieciowego. Z kolei do przybliżonych, dostarczających rozwiązań dopuszczalnych, zaliczyć można metody: heurystyczne, meta-heurystyczne oraz algorytmy aproksymacyjne [na podst. 6].

Jednym z istotniejszych zagadnień w teorii harmonogramowania zadań produkcyjnych jest problem gniazdowy, z przyjmowanym kryterium weryfikującym, będącym terminem zakończenia wykonania wszystkich zadań. Znaczenie tego zagadnienia wynika z faktu, że już jego „klasyczne” sformułowanie modeluje szereg rzeczywistych procesów produkcyjnych. Dodatkowo różnorodne uogólnienia tj. wprowadzanie czasów przebrożeń, ograniczona pojemność buforów, uwzględnienie transportu itp., powodują, że obszar jego zastosowania staje się jeszcze większy. Klasyczny problem gniazdowy modeluje szeroką klasę problemów produkcyjnych oraz stanowi bazę do opisu działania bardziej skomplikowanych systemów wytwarzania opartych na przepływie zadań [7].

3. Harmonogramowanie pracy systemu gniazdowego

W systemie produkcyjnym typu gniazdowego najczęściej analizowanym problemem jest ustalenie optymalnej kolejności wykonania zadań ze zbioru oczekujących. W systemie tym wyprodukowanie każdego wyrobu J_j ($j=1,..n$) wymaga wykonania ciągu n_j różnych operacji technologicznych na różnych maszynach. Dla każdego wytwarzanego wyrobu rodzaje, liczba wymaganych operacji oraz odpowiadające im maszyny mogą być inne. Proces typu gniazdowego stanowi najogólniejszy typ procesu produkcyjnego, w którym maszyny tworzą sieć maszyn współpracując w sieci powiązań, zaś poszczególne wyroby przechodzą w różnej kolejności przez różne ich podzbiory. Sposób przepływu wytwarzanego wyrobu przez zbiór maszyn systemu gniazdowego powoduje, że do modelowania i opisu zachodzących tam procesów z powodzeniem (w pewnym stopniu w sposób naturalny) wykorzystać można metody oparte o teorię grafów [4,8,9].

W artykule analizie poddano zagadnienie dotyczące optymalizacji pracy dwumaszynowego systemu gniazdowego, do którego skierowano cztery zadania produkcyjne o charakterystyce obróbkowej i sekwencji powiązań procesowych przedstawionych w tab.1.

Tab. 1. Powiązania procesowe oraz czasy obciążenia stanowisk wytwórczych pracujących w dwumaszynowym gnieździe produkcyjnym

Zadanie produkcyjne Ji	Operacja (czas wykonania)		
	1	2	3
J1	1 (2)	2 (8)	1 (5)
J2	1 (10)	2 (4)	
J3	1 (6)		
J4	2 (10)		

W zakresie planowania pracy analizowanego systemu gniazdowego wykorzystano następujące metody harmonogramowania:

- system dyspozytorski (metody tworzące harmonogram: „bez opóźnień” oraz „aktywny”),
- algorytm Jacksona (zmodyfikowany w zakresie zadania J1),
- metodykę grafu dysjunktywnego z programowaniem całkowitoliczbowym.

Przyjętym kryterium podstawowym, weryfikującym efektywność zastosowanych metod, jest termin wykonania wszystkich zadań produkcyjnych:

$$C_{\max} = tz_n - tr_1, \quad (1)$$

gdzie: tz_n – czas zakończenia ostatniego zadania przyjętego do wykonania,
 tr_1 – czas rozpoczęcia pierwszego zadania.

Wartości liczbowe kryterium $C_{\max}$ wyznaczone zostały na podstawie zbudowanych harmonogramów produkcji, zaś w przypadku metody grafu dysjunktywnego (sieć deterministyczna) przez wyznaczenie długości tzw. ścieżki krytycznej CPM. Kryterium podstawowe uzupełnione zostało o analizę wartości średniego cyklu produkcyjnego zbioru zadań $C_{\text{śr}}$ oraz poziom obciążenia pracujących w systemie maszyn η_{Mi} .

3.1. Systemy dyspozytorskie

Systemy dyspozytorskie zaliczane są do jednokrotnych algorytmów harmonogramowania. Ich cechą charakterystyczną jest to, że w porządku ściśle rosnącym określone są kolejno momenty rozpoczęcia operacji dla każdej maszyny. Uwzględniając sposób wyboru operacji ze zbioru przyjętych do kolejki oczekujących, wyodrębnić można dwie podstawowe metody, tj. tworzące tzw. harmonogramy „bez opóźnień” oraz „aktywne”. W przypadku pierwszym operacja wstawiana jest do tworzonego harmonogramu według kryterium minimalnego czasu rozpoczęcia (σ^*). Z kolei w drugiej metodzie operacje wstawiane są do harmonogramu w kolejności minimalnego czasu ich zakończenia (ϕ^*). Wartości liczbowe parametrów porządkujących wyznaczają poniższe zależności [4]:

$$\sigma^* = \min_k \min_{j \in \{S_s^k\}} (\max(C_k, s_{jk})) \quad (2)$$

$$\phi^* = \min_k \min_{j \in \{S_s^k\}} (\max(C_k, s_{jk}) + p_{jk}) \quad (3)$$

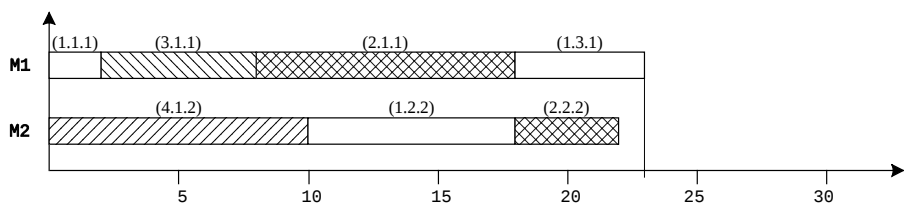
gdzie: C_k – moment zakończenia wykonania operacji należącej do zbioru wykonywanych, s_{jk} – najwcześniejszy możliwy moment rozpoczęcia operacji j ze zbioru oczekujących w kolejce $\{S_s^k\}$, p_{jk} – czas trwania operacji j będących w zbiorze oczekujących.

Istotnym zagadnieniem w systemach dyspozytorskich staje się rozstrzygnięcie potencjalnych konfliktów, których nie rozstrzyga kryterium podstawowe. Najprostszym rozwiązaniem problemu jest zastosowanie dodatkowego kryterium, którym zazwyczaj jest reguła priorytetu. W prowadzonej analizie przyjęto jedną z najczęściej stosowanych, tzn. regułę najkrótszego czasu operacji SPT (priorytet nadano operacji o krótszym czasie wykonania).

Poniżej przedstawiono sposób budowy harmonogramu z wykorzystaniem metody „bez opóźnień” (tab. 2), oraz metody „aktywnej” (tab. 3). Wyznaczone kolejności wykonania operacji produkcyjnych stanowią podstawę budowy harmonogramu pracy gniazda, (wykres 1 i 2).

Tab. 2. Algorytm dyspozytorski – metoda „bez opóźnień”

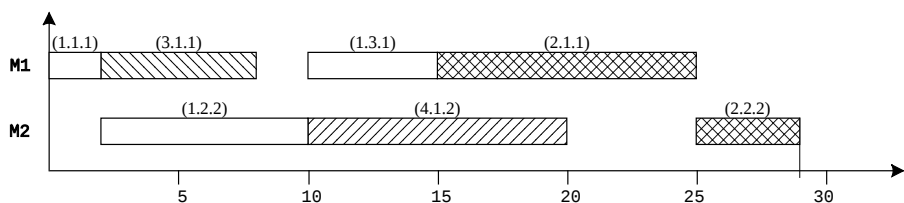
Nr kroku	Kolejka operacji { S_s }	Kryterium σ^*	Operacja wstawiona
1	(1.1.1), (2.1.1), (3.1.1), (4.1.2)	0	(1.1.1)
2	(1.2.2), (2.1.1), (3.1.1), (4.1.2)	0	(4.1.2)
3	(1.2.2), (2.1.1), (3.1.1)	2	(3.1.1)
4	(1.2.2), (2.1.1)	8	(2.1.1)
5	(1.2.2), (2.2.2)	10	(1.2.2)
6	(1.3.1), (2.2.2)	18	(2.2.2)
7	(2.2.2)	18	(1.2.1)



Wykres 1. Harmonogram produkcji wyznaczony algorytmem dyspozytorskim – metoda „bez opóźnień”

Tab. 3. Algorytm dyspozytorski – metoda „aktywna”

Nr kroku	Kolejka operacji { $S_{s()}$ }	Kryterium ϕ^*	Operacja wstawiona
1	(1.1.1), (2.1.1), (3.1.1), (4.1.2)	2	(1.1.1)
2	(1.2.2), (2.1.1), (3.1.1), (4.1.2)	8	(3.1.1)
3	(1.2.2), (2.1.1), (4.1.2)	10	(1.2.2)
4	(1.3.1), (2.1.1), (4.1.2)	15	(1.3.1)
5	(2.1.1), (4.1.2)	20	(4.1.2)
6	(2.1.1)	25	(2.1.1)
7	(2.2.2)	29	(2.2.2)



Wykres 2. Harmonogram produkcji wyznaczony algorytmem dyspozytorskim – metoda „aktywna”

3.2. Algorytm Jacksona

Przyjęty do analizy system produkcyjny jest układem dwumaszynowym, stąd też istnieje możliwość wykorzystania algorytmu Jacksona, który stanowi szczególny przypadek ogólnego zadania kolejnościowego typu $J2|m_j \leq 2|C_{\max}$,

który może być rozwiązywany algorytmem wielomianowym. Założenie $m_j \leq 2$ oznacza, że każde zadanie składa się z co najwyżej dwóch operacji, które wobec faktu, iż jest to zagadnienie ogólne, mogą być przydzielone dowolnej lub obu dostępnym maszynom (w dowolnej kolejności). Można przyjąć, że jeżeli zadanie składa się z dwóch operacji, to muszą być one wykonywane na różnych maszynach. Uwzględniając sekwencje procesowe, zadania produkcyjne mogą być podzielone na następujące cztery grupy [9]:

$$J_{12} = \{J_j: m_j = 2, m_{j1}=1, m_{j2} = 2\} \quad J_{21} = \{J_j: m_j = 2, m_{j1}=2, m_{j2} = 1\}, \quad (4)$$

$$J_1 = \{J_j: m_j = 1, m_{j1}=1\} \quad J_2 = \{J_j: m_j = 1, m_{j1}=2\}, \quad (5)$$

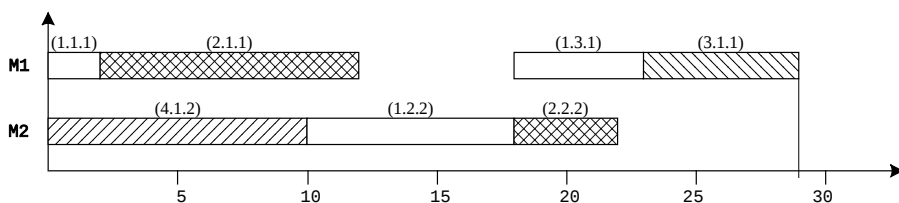
Rozwiązanie problemu $J2 | m_j \leq 2 | C_{\max}$ oparte o twierdzenie (algorytm) Jacksona wskazuje ustalenie kolejności wykonywanych operacji na poszczególnych maszynach systemu w następujący sposób:

$$M_1: J_{12} - J_1 - J_{21}, M_2: J_{21} - J_2 - J_{12}, \quad (6)$$

gdzie: zadania w zbiorach J_{12} i J_{21} są porządkowane algorytmem Johnsona, a zadania w zbiorach J_1 i J_2 – w dowolnie przyjętym porządku (np. wg reguły priorytetu).

Analiza struktury powiązań procesowych wskazuje, w przypadku zadania J1 występowanie tzw. nawrotu. Problem ten rozwiązano przez myślowy podział zadania J1 na dwa odrębne procesy, tzn. J1* typu J_{12} oraz J1** typu J_1 . Zasady algorytmu Jacksona oraz przedstawione powyżej założenie pozwoliły określić kolejność wykonania zadań w postaci, (wykres 3):

$$M1: J1^* - J2 - J1^{**} - J3, M2: J4 - J1^* - J2, \quad (7)$$



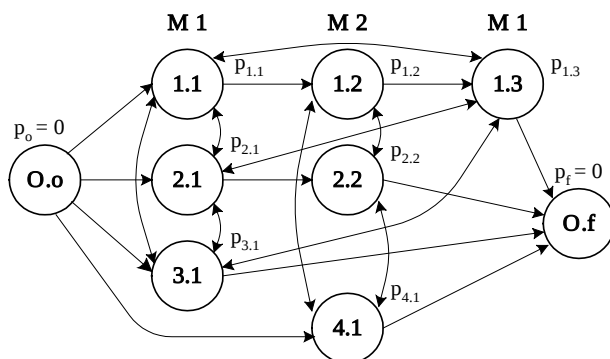
Wykres 3. Harmonogram produkcji wyznaczony algorytmem Jacksona

3.3. Graf dysjunktywny

Problem wyznaczenia harmonogramu o najmniejszej długości dla systemu produkcji typu gniazdowego przedstawić można wykorzystując model grafu dysjunktywnego. Graf dysjunktywny dla dowolnego problemu typu $J | C_{\max}$

konstruuje się w następujący sposób [4,9], (rys.1):

- każdej operacji O_{ij} odpowiada wierzchołek z wagą p_{ij} równą czasowi wykonania wyrobu J_j na maszynie M_i ,
- każde dwie operacje dla tego samego wyrobu połączone są łukiem (łuki reprezentują ograniczenia kolejnościowe pomiędzy operacjami danego wyrobu), a każde dwie operacje wykonywane na tej samej maszynie łączą nieskierowana krawędź (krawędzie reprezentują ograniczenia rzepustowości maszyn),
- w grafie dodaje się dwie operacje fikcyjne, tzn. początkową $O.o$ oraz końcową $O.f$, z zerowymi czasami wykonania ($p_o = p_f = 0$).

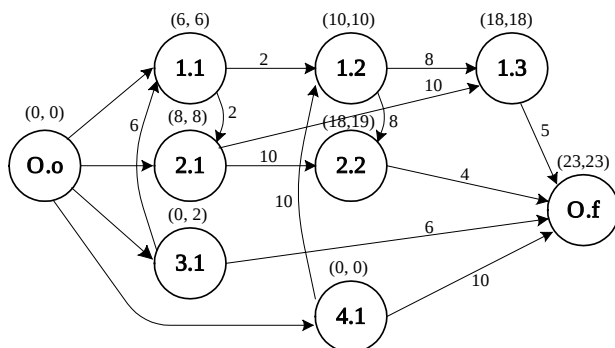


Rys. 1. Modelowanie gniazda produkcyjnego za pomocą grafu dysjunktywnego

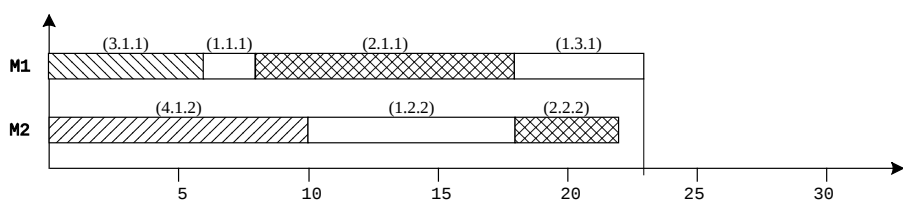
Podstawowym zadaniem jest ustalenie porządku wykonywania każdej pary operacji na współdzielonych maszynach, co w grafie dysjunktywnym odpowiada zastąpieniu odpowiedniej krawędzi przez zorientowany łuk. Harmonogram otrzymuje się poprzez zorientowanie wszystkich krawędzi łączących pary operacji wykonywanych na tych samych maszynach. Otrzymany w ten sposób harmonogram będzie dopuszczalny, jeżeli powstały tą drogą graf będzie acykliczny. Długość harmonogramu jest równa długości najdłuższej drogi w tym grafie.

Reprezentacja problemu za pomocą grafu dysjunktywnego może stanowić podstawę dla programowania całkowitoliczbowego. W zakresie optymalizacji pracy analizowanego systemu gniazdowego dokonano stosownych deklaracji zależności czasowych [na podst. 4], wyznaczając kierunki krawędzi dysjunktywnych.

Wyznaczona kolejność wykonania operacji produkcyjnych (wykorzystano relację przechodnią) oraz sposób wyznaczenia wartości $C_{\max}$ metodą długości ścieżki krytycznej CPM [na podst.10], przedstawiona zastała na rys. 2, zaś harmonogram pracy gniazda prezentuje wykres 4.



Rys. 2. Wyznaczenie długości ścieżki krytycznej CPM



Wykres 4. Harmonogram wyznaczony metodą grafu dysjunktywnego

Zestawienie wartości liczbowych parametrów charakteryzujących pracę gniazda w zależności od wyznaczonej kolejności wykonania operacji i zadań produkcyjnych przedstawia tab.4.

Tab. 4. Wartości kryteriów charakteryzujących efektywność zastosowanych metod harmonogramowania

Metoda harmonogramowania	Kryterium oceny		
	$C_{\max}$	$C_{\text{śr}}$	η_{M1} / η_{M2}
System dyspozytorski – metoda „bez opóźnień”	23	15,75	1,00 / 0,96
System dyspozytorski – metoda „aktywna”	29	18,00	0,79 / 0,76
Algorytm Jacksona	29	21,00	0,79 / 0,76
Graf dysjunktywny	23	15,25	1,00 / 0,96

Otrzymane wyniki wskazują, iż najlepsze rozwiązania, oceniane z punktu widzenia przyjętego kryterium podstawowego $C_{\max}$, uzyskano w wyniku zastosowania systemu dyspozytorskiego – metoda „bez opóźnień” oraz metody grafu dysjunktywnego. System dyspozytorski – metoda „aktywna” oraz algorytm Jacksona „proponują” rozwiązania odbiegające od uzyskanego minimum.

Ocena zastosowanych metod harmonogramowania według obu dodatkowych kryteriów (C_{sr} , η_{Mi}) wskazuje, że zastosowanie „metod optymalnych” powoduje „statystyczne” skrócenie cykli produkcyjnych oraz dużą intensywność wykorzystania maszyn. Wykazana quasi ciągła praca maszyn powoduje pewne ryzyko związane z brakiem „rezerw czasowych” w ich czasie eksploatacji, co w przypadku wystąpienia jakichkolwiek problemów (awarie, ponadnormatywne przebrojenia, itp.), stanowić może poważne problemy z dotrzymaniem wyznaczonych terminów wykonania zadań.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza pracy prostego systemu produkcji typu gniazdowego, w zakresie przykładowego zbioru zadań produkcyjnych charakteryzowanych przez określone powiązania procesowe i sekwencje czasów, pozwalają stwierdzić, że:

- zastosowane metody planowania wykazują różną efektywność, zaś ocenę ich użyteczności należy prowadzić w sposób wieloaspektowy,
- przydatność zastosowanych metod oceniać należy nie tylko na podstawie bezpośrednio analizowanych kryteriów technicznych lub ekonomicznych, ale ich użyteczność rozpatrywać z punktu widzenia parametrów pośrednich (np. „prostota aplikacyjna”, złożoność obliczeniowa itd.),
- metodę planowania dostosować należy do konkretnych warunków produkcyjnych i charakteru pracy systemu produkcji.

Analizę w zakresie efektywności metod optymalizacji rozpatrywać można również w kategoriach ich użyteczności dydaktycznej, tzn. w kontekście przedstawienia problematyki planowania i sterowania procesami produkcji:

- prostota algorytmu Jacksona i ograniczenia aplikacyjne sugerują jego zastosowanie jako metody pogładowej i ilustrującej zagadnienia planowania produkcji,
- wariantowość aplikacyjna metod algorytmu dyspozytorskiego, daje możliwość prezentacji odmienności podejścia do problemu i uzyskiwanych wyników,
- spośród zaprezentowanych metod szczególne znaczenie, zarówno praktyczne jak i dydaktyczne, przypisać należy metodzie grafu dyskunktywnego – jej bezsprzeczną zaletą jest możliwość graficznej prezentacji modelowanego systemu oraz wsparcia obliczeń o technikę cyfrową.

LITERATURA

1. Skowronek Cz., Saryusz – Wolski Z.: Logistyka w przedsiębiorstwie. PWE, Warszawa 2003.
2. Knosala R. i zespół: Zastosowanie sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. WNT, Warszawa, 2002.
3. Pawlak M.: Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji. PWN, Warszawa, 1999.

4. Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa, 1998.
5. Wodecki M.: Metody agregacji w problemach optymalizacji dyskretnie. OW Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.
6. Skołud B., Wosik I.: Algorytmy immunologiczne w szeregowaniu zadań produkcyjnych. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Nr 1, 2008, s.47-56.
7. Makuchowski M.: Problemy gniazdowe z operacjami wielomaszynowymi. Własności i algorytmy. Praca doktorska, Wrocław, 2004.
8. Deo N.: Toria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce. PWE, Warszawa, 1980.
9. Sysło M., Deo N., Kowalik J.: Algorytmy optymalizacji dyskretniej. PWN, Warszawa, 1995.
10. Sikora W. (red.): Badania operacyjne. PWE, Warszawa, 2008.

SCHEDULING TECHNIQUES IN GENERAL JOB-SHOP MANUFACTURING SYSTEMS

Abstract

An usability of selected discrete optimization methods in general job-shop manufacturing scheduling systems has been presented. An efficiency of some selected scheduling methods like as: sequencing techniques, Jackson's algorithm and graph theory combined with integer programming has been analyzed.

PLANOWANIE PRACY SYSTEMÓW WYTWARZANIA TYPU GNIAZDOWEGO

Streszczenie

Przedstawiono możliwość zastosowania wybranych metod optymalizacji dyskretniej w zakresie harmonogramowania pracy systemów wytwórczych typu gniazdowego. Analizie poddano wybrane metody harmonogramowania tj.: systemy dyspozytorskie, algorytm Jacksona oraz połączoną metodykę z zakresu teorii grafów i programowania całkowitoliczbowego.

Słowa kluczowe: system produkcji, typ gniazdowy, harmonogramowanie, optymalizacja

Dr inż. Marek KĘSY
 Instytut Technologii Mechanicznych
 Politechnika Częstochowska
 42-201 Częstochowa, al. Armii Krajowej 21
 e-mail: mar_kes@poczta.onet.pl
 kesy@itm.pcz.pl

KONCEPCJA PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CZĘŚCI ZAMIENNE Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

W przedsiębiorstwach z przemysłu wydobywczego prognozowanie zapotrzebowania na części zamienne jest bardzo istotne, ze względu na wysoką awaryjność maszyn spowodowaną trudnymi warunkami pracy. Prognozowanie popytu metodami klasycznymi, nie spełnia swojej roli, dlatego istnieje konieczność opracowania nowej, efektywnej metody predykcji. Metoda zaprezentowana w niniejszym artykule opiera się na wykorzystaniu SSN i skutecznych kryteriów selekcji zmiennych.

Wstęp

Prognozowanie zapotrzebowania na części zamienne w stabilnych systemach produkcyjnych, w skład których wchodzi mało awaryjne maszyny, stanowi stosunkowo niewielki problem. Części zamienne zamawiane są rzadko, a regularnie przeprowadzane przeglądy gwarantują praktycznie bezawaryjną pracę. Jeśli jednak rozważyć proces produkcyjny, w którym ze względu na jego specyfikę, maszyny ulegają awariom właściwie nieprzerwanie, wówczas kwestia efektywnej predykcji popytu na części zamienne urasta do rangi bardzo ważnego problemu. Procesem takim jest proces wydobywczy. Maszyny niezbędne do realizacji procesu znajdują się w ciągłym ruchu, w środowisku z dużą wilgotnością, zawadnieniem, wysoką temperaturą. W efekcie maszyny ulegają bardzo częstym awariom. W takim przedsiębiorstwie właściwe prognozowanie zapotrzebowania na części zamienne jest praktycznie równoważne zapewnieniu materiałów bezpośrednio produkcyjnych. Długie czasy napraw maszyn dołowych wynikają w dużej mierze z braku dostępnych części zamiennych lub z powodu długich okresów oczekiwania na te części. W celu skrócenia czasu napraw poprzez zapewnienie niezbędnych części należałoby zastosować efektywną metodę prognozowania zapotrzebowania, a następnie – wykorzystując prognozy – odpowiednio zamawiać części. Należy zaznaczyć, że dostarczenie części do miejsca jej przeznaczenia jest skomplikowanym procesem, na który składa się transport poziomy naziemny, transport pionowy, a następnie poziomy podziemny.

W związku z tym jeśli wystąpi awaria i nastąpi konieczność wymiany części, a część ta nie znajduje się aktualnie w magazynie, wówczas maszyna może zostać wyłączona z pracy na długi okres.

1. Metody prognozowania zapotrzebowania na części zamienne

Istnieje wiele metod pozwalających na prognozowanie popytu, ale tylko niektóre z nich znajdują zastosowanie w predykcji zapotrzebowania na części zamienne. Zapotrzebowanie to charakteryzuje brak powtarzalności, niestabilność, częste przyjmowanie wartości zerowych. W literaturze znaleźć można wiele klasycznych metod poświęconych temu zagadnieniu – wygładzania wykładniczego (*Single Exponential Smoothing*, SES), Crostona CR, Syntetosa – Boylana (*Syntetos – Boylan Approximation*, SBA), średniej ruchomej (*Moving Average*, MA), ważonej średniej ruchomej (*Weighted Moving Average*, WMA), addytywny/multiplikatywny model Wintersa, *Bootstrap*, Poissona, ARIMA, a także predykcję ekonometryczną. W najnowszych publikacjach poświęconych zagadnieniu prognozowania zapotrzebowania na części zamienne, coraz większą popularność zdobywa jedno z narzędzi sztucznej inteligencji, a mianowicie – sztuczne sieci neuronowe SSN. Analizując dostępne w literaturze i w najnowszych opublikowanych badaniach, metody prognozowania z wykorzystaniem SSN wyróżnić można trzy podejścia, które mogłyby stanowić efektywne narzędzie predykcji zapotrzebowania na części zamienne w przedsiębiorstwie z przemysłu wydobywczego. Pierwsze z nich (podejście w skali mikro) zostało zaproponowane w pracy P. Kozika i J. Sępa [1]. Podejście to zastosowano w zarządzaniu remontami silników lotniczych. SSN zbudowana na podstawie tej koncepcji opiera się na zbiorze zmiennych objaśniających, w skład którego wchodzi wewnętrzne i zewnętrzne charakterystyki eksploatacyjne silnika lotniczego. Przedstawiona metoda pozwoliła na poprawę trafności prognozy zapotrzebowania na części zapasowe i obniżenie kosztów eksploatacji.

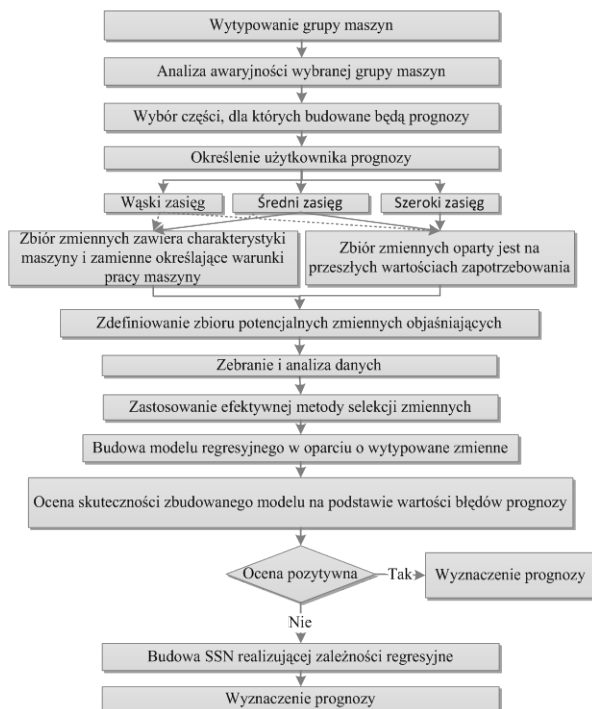
Drugim analizowanym podejściem (w skali makro) jest koncepcja prognozowania w oparciu o zbiór zmiennych, który zbudowany został na podstawie przebiegu wartości zapotrzebowania w poprzednich okresach. Podejście to opracowano na potrzeby pewnego przedsiębiorstwa z branży petrochemicznej [2]. Do obliczenia prognozy wykorzystano ponownie SSN. Dzięki tej metodzie odnotowano poprawę trafności prognozy zapotrzebowania na części zapasowe w porównaniu z innymi badanymi metodami, co pozwoliło na optymalizację poziomów magazynowych wybranych części. Metoda ta została zaklasyfikowana jako „makro” ze względu na fakt, że może być stosowana w makroskali, czyli do prognozowania zapotrzebowania na części nie tylko z punktu widzenia pojedynczej maszyny, komory czy oddziału, ale także całego magazynu.

W podejściu mikro i makro stosowane były sieci neuronowe zbudowane do realizacji zagadnień regresyjnych. W problemach predykcyjnych można wyróżnić także drugą kategorię – klasyfikację. Metoda hybrydowa (trzecie

podejście) opiera się właśnie na SSN zbudowanej do realizacji zagadnień klasyfikacyjnych [3]. W kroku pierwszym w tej metodzie należy przekonwertować dane o zapotrzebowaniu na wartości binarne, a następnie zdefiniować zmienne objaśniające. W kolejnym etapie budowana jest sieć realizująca zadania klasyfikacyjne. Na podstawie takiej sieci wyznaczana jest prognoza wystąpienia zapotrzebowania przyjmująca dwie wartości (0,1). Prognoza równa zero to sygnał dla użytkownika, że wielkość zapotrzebowania wynosi zero i nie należy składać zamówienia. Wynik z SSN równy jeden oznacza przejście do kolejnego kroku, czyli obliczenie niezerowej wielkości zapotrzebowania na metodami klasycznymi.

2. Koncepcja prognozowania zapotrzebowania na części zamienne z wykorzystaniem SSN

W celu opracowania efektywnej metody prognozowania zapotrzebowania na części zamienne, którą można by zastosować w przemyśle wydobywczym, przeanalizowano zarówno klasyczne metody, jak i nowe podejścia wykorzystujące metody sztucznej inteligencji. Opracowana koncepcja wykorzystuje elementy podejścia „mikro” i „makro”. Na schemacie zaprezentowano poszczególne kroki opracowanej metody. W kroku pierwszym należy wytypować grupę maszyn, która zostanie poddana analizie. W kroku drugim zbadana zostaje awaryjność wytypowanej grupy maszyn. Na tej podstawie można wyselekcjonować grupy awarii, które występują najczęściej. W kolejnym kroku należy wytypować części, o kluczowym znaczeniu pod względem awaryjności, dla których skonstruowane zostaną prognozy. Kolejny krok to wyznaczenie użytkownika prognozy. Określenie użytkownika jest bardzo istotne, ponieważ częściowo wpływa na wybór wariantu ścieżki prognozowania. Prognoza może być wyznaczona dla użytkownika o wąskim zasięgu (najczęściej z najniższego szczebla organizacji – np. komory), średnim zasięgu (na przykład oddziału, który zarządza kilkoma komorami) lub szerokiego zasięgu (np. magazynu). Podział ten wynika z wolumenu części z jakich korzysta, jakimi zarządza lub dysponuje użytkownik prognozy. Jeśli zostanie podjęta decyzja, że prognoza będzie budowana dla użytkownika o szerokim zasięgu, wówczas należy opierać prognozę na zmiennych charakteryzujących przeszłe wartości prognozowania (wariant „makro”).



Rys. 1. Schemat postępowania w prezentowanej metodzie prognozowania

Wybór wąskiego lub średniego zasięgu dla użytkownika prognozy, pozostawia pewną dowolność w wyborze wariantu. Można zatem w kolejnym kroku zastosować wariant „mikro” (zbiór zmiennych oparty na wybranych charakterystykach maszyny i warunkach jej pracy) lub wariant „makro”. Ze względu na pewne problemy wiążące się z podejściem „mikro”, prognozę zapotrzebowania na daną część zamienną Z dla użytkownika o zasięgu średnim prościej budować w ujęciu „makro”. Jednak drugi wariant również jest możliwy do wdrożenia. Po wybraniu jednego z wariantów, w kolejnym kroku definiowany jest zbiór potencjalnych zmiennych objaśniających. Po zdefiniowaniu zakresu zbioru konieczne jest zebranie odpowiednich danych. Po ich zebraniu, następnie analizie i odpowiednim przygotowaniu, istotne jest ustalenie, które zmienne z wejściowego zbioru faktycznie wnoszą istotne informacje o kształtowaniu się zmiennej objaśnianej y (poziom zapotrzebowania na część zamienną Z). W tym celu należy wykorzystać efektywną metodę selekcji zmiennych.

W prowadzonych badaniach, które nie są przedmiotem niniejszej pracy, analizowano efektywność czterech wybranych metod doboru zmiennych objaśniających – kryterium informacyjnego Akaike (AIC) [4], kryterium informacyjnego Schwarza (BIC) [5], wskaźników pojemności informacji Hellwiga [6] i entropii krzyżowej [7]. Za pomocą odpowiednio skonstruowanego programu napisanego w języku R (*R language*) zbadano efektywność czterech metod

selekcji zmiennych pod kątem wyboru optymalnego podzbioru, który powinien wejść do modelu. Zweryfikowano, czy skuteczność poszczególnych metod różni się w zależności od rodzaju rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych, a także dokonano oceny efektywności poszczególnych metod w zależności od rozmiaru modelu, próby i rozmiaru zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających.

Po przeprowadzeniu dogłębnej analizy wyników pochodzących z badań symulacyjnych można stwierdzić, że najefektywniejszym narzędziem selekcji modelu jest kryterium informacyjne Schwarza. W wypadku bardzo licznych prób prawdopodobieństwo wskazania przez to kryterium optymalnego zbioru zmiennych mających wejść do modelu przekracza 90%. Z kolei dla prób mniej licznych skuteczność kryteriów Akaike i Schwarza jest porównywalna. Nie można jednoznacznie stwierdzić, która metoda jest lepszym narzędziem. Należy jednak zaznaczyć, że kryteria informacyjne stanowią bezsprzecznie zdecydowanie skuteczniejsze narzędzie wyboru odpowiedniej postaci modelu w porównaniu do pozostałych badanych metod. Dokonane analizy wykazały również, że metodę wskaźników pojemności informacji Hellwiga i metodę entropii krzyżowej charakteryzuje bardzo niska skuteczność w selekcji prawidłowych zmiennych, które powinny wejść do modelu. Należy zatem zdecydowanie odradzić stosowanie tych metod jako kryterium wyboru postaci modelu.

W ramach niniejszej pracy zweryfikowano skuteczność czterech metod w badaniach empirycznych. Zgodnie z krokami prezentowanej metody, po zastosowaniu efektywnej metody selekcji zmiennych, budowany jest model regresyjny w oparciu o wyselekcjonowane zmienne, a następnie dokonywana jest ocena skuteczności zbudowanego modelu na podstawie błędów prognozy. Jeśli model regresyjny okaże się efektywnym narzędziem predykcji – wówczas należy wyliczyć prognozę, jeśli nie – wtedy zbudować sieć neuronową realizującą zależności regresyjne w oparciu o utworzony wcześniej zbiór danych. W ostatnim kroku wyliczana jest prognoza. Jak już zostało wspomniane, w pierwszej kolejności konstruowany jest model regresyjny, a dopiero w kolejnych krokach SSN, ponieważ jeżeli zbudowany model regresyjny będzie stanowił efektywne narzędzie prognozy, wówczas znacznie łatwiej będzie z niego korzystać potencjalnemu użytkownikowi. Dlatego też nie ma sensu sięgać po zbyt zaawansowane narzędzie prognozy, kiedy nie ma takiej potrzeby. Parametry modelu są też dużo łatwiejsze w interpretacji. Budowa SSN jest wskazana w momencie, w którym okazuje się, że model regresyjny nie jest wystarczająco skutecznym narzędziem prognozowania.

Podsumowując przedstawione warianty opracowanej metody, można stwierdzić, że wariant makro jest bardziej uniwersalny, opiera się na danych pochodzących z systemu ERP (danych łatwo dostępnych), a zatem budowa prognozy nie nastręcza wielu trudności. Z kolei wariant „mikro” konstruuje prognozę na podstawie zmiennych niezależnych, co pozwala sądzić, że otrzymane prognozy będą bardziej wiarygodne. Jednak pozyskiwanie, przechowywanie, segregacja

oraz analiza danych w tym podejściu powodować będzie dodatkowe obciążenie pracowników i zaangażowanie dodatkowych środków i kosztów, co z kolei może prowadzić do sytuacji, w której jej zastosowanie okazać się może niewspółmierne do oczekiwanych korzyści. Należy jednak zauważyć, że jeśli jakaś grupa maszyn byłaby wyposażona w odpowiedni sprzęt (z oprogramowaniem) monitorujący poszczególne wskaźniki, wówczas zastosowanie tego wariantu jest jak najbardziej zasadne, ponieważ pozyskanie danych do budowy prognozy przestaje już stanowić problem.

Po wyznaczeniu prognozy, konieczne jest dokonanie jej oceny. Do tego celu wykorzystane zostaną pierwiastek kwadratowy ze współczynnika Theila (I), czyli względny błąd prognozy *ex post* oraz współczynnik determinacji R^2 .

3. Wyniki badań

W ramach badań empirycznych analizie poddano dane dotyczące trzech typów części zamiennych, które dla potrzeb artykułu oznaczone zostaną jako Z1, Z2 i Z3. W badaniach wykorzystano wariant makro przedstawionej metody. Dla części Z1 wielkość próby wynosiła $n=728$ dni, dla części Z2 $n=1035$ dni, a dla części Z3 $n=1741$ dni.

Tab. 1. Zbiory zmiennych wyselekcjonowane przez każdą z metod

Część	Zmienne wyselekcjonowane metodą:			
	AIC	BIC	CE	Hellwiga
Z1	X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₇	X ₃ , X ₅ , X ₇	W.W., X ₄	X ₂ , X ₅ , X ₇
Z2	X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₈	X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₇	X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆ , X ₇	X ₁ , X ₃ , X ₆ , X ₈ , X ₉
Z3	X ₃ , X ₅ , X ₆ , X ₇	X ₃ , X ₅ , X ₆ , X ₇	W.W., X ₄	X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₇ , X ₉ , X ₁₀

Po wyznaczeniu zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających ($x_1, \dots, x_{10}$), w którym znalazły się zmienne charakteryzujące kształtowanie się zapotrzebowania w poprzednich okresach, wykonano wyliczenia dla każdej z badanych w pracy metod selekcji zmiennych. Zbiory zmiennych wytypowane przez każdą z metod przedstawiono w powyższej tabeli (tab. 1). W oparciu o każdy zbiór zmiennych zbudowano model regresyjny (łącznie 12 modeli). W powyższej tabeli kolorem szarym zaznaczono zmienne nieistotne oraz w przypadku CE wyraz wolny (w.w.), który był nieistotny. Wystąpienie w modelu zmiennych nieistotnych, oznacza, że model ten należy odrzucić i nie może on stać się narzędziem predykcji. Wyniki obliczeń na danych empirycznych wykazały, że jedynie kryterium BIC wskazuje na zmienne, które pozwalają zbudować model istotny statystycznie. W przypadku części Z3 AIC i BIC wyselekcjonowały taki sam zbiór zmiennych.

Zgodnie z zaprezentowaną metodą dla trzech (Z1(BIC),Z2(BIC), Z3(AIC/BIC)) spośród dwunastu modeli, które poddano analizie, wyliczono wartości współczynnika determinacji, w celu oceny jakości modelu.

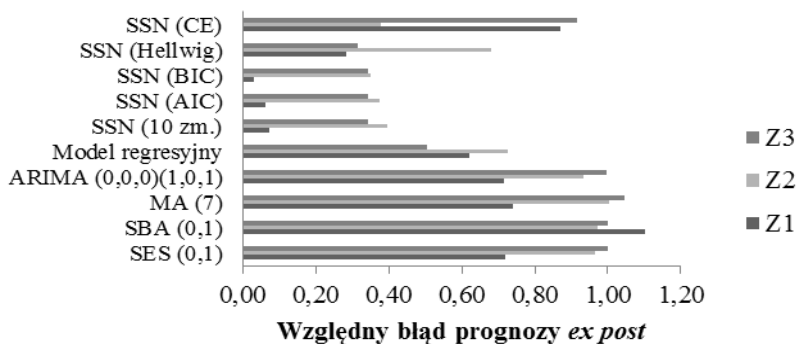
Tab. 2. Analiza jakości zbudowanych SSN

Z1	Struktura sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)
SSN (10 zm.)	MLP 10-7-1	0,942	0,966	0,946
SSN (AIC)	MLP 4-10-1	0,969	0,981	0,984
SSN (BIC)	MLP 3-9-1	0,954	0,970	0,975
SSN (Hellwig)	MLP 3-10-1	0,950	0,975	0,971
SSN (CE)	MLP 1-2-1	0,407	0,319	0,450
Z2				
SSN (10 zm.)	MLP 10-4-1	0,914	0,888	0,856
SSN (AIC)	MLP 5-6-1	0,919	0,909	0,910
SSN (BIC)	MLP 4-6-1	0,932	0,903	0,936
SSN (Hellwig)	MLP 5-4-1	0,690	0,783	0,752
SSN (CE)	MLP 7-7-1	0,922	0,906	0,855
Z3				
SSN (10 zm.)	MLP 10-4-1	0,917	0,987	0,993
SSN (AIC/BIC)	MLP 4-9-1	0,918	0,989	0,994
SSN (Hellwig)	MLP 6-6-1	0,943	0,945	0,980
SSN (CE)	MLP 1-2-1	0,375	0,395	0,320

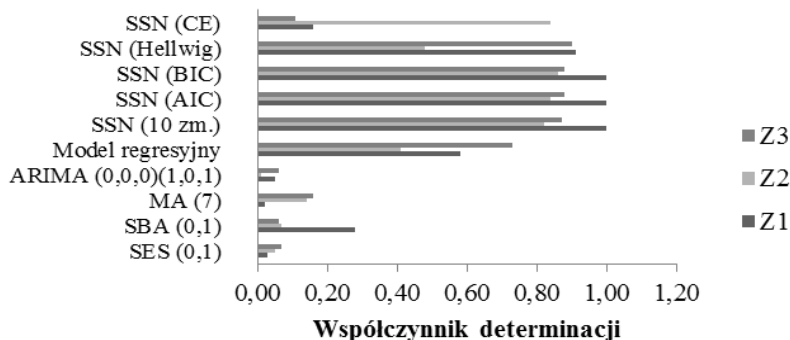
Wyniosły one odpowiednio $R^2(Z1)=0,58$, $R^2(Z2)=0,41$, $R^2(Z3)=0,73$. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że jedynie współczynnik determinacji równy 0,73 dla części Z3, świadczy o dość dobrym dopasowaniu modelu do danych i w związku z tym można uznać, że model ten może służyć jako narzędzie prognozowania. Jednak prognozy pochodzące z tego modelu mogą być obciążone stosunkowo dużym błędem. W kolejnym kroku zbudowano sztuczne sieci neuronowe dla wszystkich części. Dla każdej z nich skonstruowano pięć sieci – pierwszą zbudowaną na pełnym zbiorze potencjalnych zmiennych objaśniających, drugą w oparciu o zmienne wyselekcjonowane przez kryterium AIC, trzecią w oparciu o zmienne wyselekcjonowane przez kryterium BIC, czwartą o zmienne wyselekcjonowane przez metodę Hellwiga i piątą o zmienne wyselekcjonowane przez entropię krzyżową.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki dotyczące wszystkich sieci neuronowych. Miarą jakości sieci jest jej zdolność do generalizacji i tą właśnie zdolność mierzy jakość walidacyjna. Pogrubioną czcionką zaznaczono najwyższe wartości jakości walidacyjnej. Analizując otrzymane wyniki należy stwierdzić, że najlepsze, pod względem wysokiej jakości walidacyjnej, są sieci zbudowane w oparciu o kryteria informacyjne. Wniosek ten potwierdzają wyniki otrzymane dla wszystkich trzech części. W celu oceny skuteczności w zakresie prognozowania zapotrzebowania na części zamienne modeli regresji i sieci

neuronowych oraz w celu porównania ich z klasycznymi metodami dokonano analizy efektywności poszczególnych metod na podstawie wartości względnego błędu prognozy *ex post* (rys. 2.) i współczynnika determinacji (rys. 3.).



Rys. 2. Porównanie metod predykcji na podstawie względnego błędu prognozy



Rys. 3. Porównanie metod predykcji na podstawie współczynnika determinacji

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że przebadane w pracy metody klasyczne osiągnęły bardzo niską skuteczność w predykcji zapotrzebowania na części zamienne, o czym świadczą wysokie błędy prognozy i niskie wartości współczynników R^2 . Z kolei sieci neuronowe, szczególnie te zbudowane na zmiennych wytypowanych przez kryteria AIC i BIC charakteryzuje niskim poziom błędów i wysoki poziom R^2 .

4. Wnioski

Podsumowując otrzymane wyniki, należy stwierdzić, że metody klasyczne nie spełniają swojej roli w zakresie prognozowania zapotrzebowania na części zamienne. Uzyskane rezultaty potwierdziły, że zaproponowana w pracy metoda prognozowania może stać się efektywnym narzędziem budowania prognoz zapotrzebowania na części zamienne w przemyśle wydobywczym. Wyniki badań poświęcone modelom regresyjnym (predykcja ekonometryczna)

wykazały, że błędy prognoz otrzymywane tą metodą są znacznie mniejsze od błędów metod klasycznych, jednak przewyższają błędy prognoz otrzymanych metodą SSN. Należy więc ponownie podkreślić, że zasadność stosowania modeli regresyjnych jako metod prognozowania zależy od dopuszczalnego błędu jaki ustawi użytkownik prognozy. Jeśli uzna (część Z3), że poziom błędów prognozy nie przekraczający 50% i wartość współczynnika determinacji powyżej 70% są zadawalające, wówczas postępując zgodnie z zaprezentowaną metodą, należy przyznać modelowi ocenę pozytywną. Wówczas nie ma potrzeby budowania SSN, w oparciu o model regresyjny można wyliczyć prognozę. W przeciwnym wypadku model uzyskuje ocenę negatywną, a w kolejnym kroku budowana jest SSN.

W odniesieniu do badań empirycznych przeprowadzonych w zakresie analizy regresji można stwierdzić, że potwierdzone zostały wyniki uzyskane w teoretycznych badaniach symulacyjnych. Należy jednoznacznie stwierdzić, że najefektywniejszą metodą doboru zmiennych do modelu jest kryterium informacyjne Schwarza. Dość dobrą metodą okazało się też kryterium Akaike, jednakże nie zawsze pozwala ono wskazać na zbiór zmiennych, z których wszystkie są istotne statystycznie. Za zdecydowanie nieefektywną metodę należy uznać metodę Hellwiga i entropii krzyżowej. Uzyskane wyniki udowadniają także, że SSN stanowią skuteczną alternatywę dla metod klasycznych i można uznać je za efektywne narzędzie prognozowania zapotrzebowania na części zamienne. Otrzymane rezultaty świadczą ponadto o tym, że SSN zbudowane na zbiorze zmiennych wyselekcjonowanych w oparciu o kryteria informacyjne (AIC i BIC) charakteryzują mniejsze błędy prognozy. Z kolei należy odradzić stosowania metody Hellwiga i entropii krzyżowej jako metod doboru zmiennych do SSN.

Podsumowując należy stwierdzić, że zastosowanie kryteriów informacyjnych na etapie budowy modelu i sieci pozwala na zwiększenie trafności prognozy zapotrzebowania na części zamienne. Można więc uznać, że zaproponowana w pracy metoda powinna stać się przydatnym i efektywnym narzędziem budowania prognoz zapotrzebowania na części zamienne w przemyśle wydobywczym.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Zadanie współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

LITERATURA

1. Kozik P., Sep J.: Aircraft engine overhaul demand forecasting using ANN, *Management and Production Engineering Review*, Vol.3, Nr 2, Czerwiec 2012, s. 21–26.
2. Amin-Naseri M.R., Rostami Tabar B.: Neural Network Approach to Lumpy Demand Forecasting For Spare Parts in Process Industries, *Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering 2008*, May 13-15, Kuala Lumpur, Malaysia 2008.
3. Nasiri Pour A., Rostami Tabar B., Rahimzadeh: A Hybrid Neural Network and Traditional Approach for Forecasting Lumpy Demand, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 40 2008.
4. Akaike H.: Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, *Breakthroughs in Statistics*, Vol.1: 610–624. Springer-Verlag, London 1992.
5. Schwarz G.: Estimating the dimension of a model, *The Annals of Statistics*, 1978, Vol. 6, No. 2, 461-464
6. Hellwig Z.: Problem optymalnego wyboru predykant, *Przegląd statystyczny*, R.XVI, zeszyt 3-4, 1969, s.223
7. Detyna J.: Maksimum entropii jako teoretyczne kryterium statystycznego opisu separacji materii granulowanej, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2007, s. 93

CONCEPT OF SPARE PARTS DEMAND FORECASTING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abstract

In mining industry companies, spare parts demand forecasting is an issue of great importance due to high failure rate of machines working in difficult conditions. Conventional forecasting methods are not suitable, which is why there is a need to develop a new and effective forecasting method. The method presented in this paper uses ANN and efficient variable selection criteria.

Keywords: forecasting, ANN, AIC, BIC, Hellwig's method, cross entropy

KONCEPCJA PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CZĘŚCI ZAMIENNE Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNYCH SIECI

Streszczenie

W przedsiębiorstwach z przemysłu wydobywczego prognozowanie zapotrzebowania na części zamienne jest bardzo istotne, ze względu na wysoką awaryjność maszyn spowodowaną trudnymi warunkami pracy. Prognozowanie popytu metodami klasycznymi, nie spełnia swojej roli, dlatego istnieje konieczność opracowania nowej, efektywnej metody predykcji. Metoda zaprezentowana w niniejszym artykule opiera się na wykorzystaniu SSN i skutecznych kryteriów selekcji zmiennych.

Słowa Kluczowe: prognozowanie, SSN, AIC, BIC, m. Hellwiga, entropia krzyżowa

Mgr inż. Maria ROSIENKIEWICZ
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji
50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 5
tel. +48 604 075 366
e-mail: maria.rosienkiewicz@pwr.wroc.pl

OPTYMALIZACJA PRZEBRAJANIA OBRABIAREK SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Wstęp

Zagadnienie przeobrajania poszczególnych obrabiarek i całego systemu w istotny sposób określa efektywność pracy systemu produkcyjnego. Przeobrajanie obrabiarek w systemach należy do problemów NP-trudnych. W literaturze są prezentowane algorytmy rozwiązania tego problemu o różnym stopniu skomplikowania w przypadku pojedynczych obrabiarek i systemów produkcyjnych [1, 4, 9].

1. Algorytmy przeobrajania obrabiarek

Znane są metody optymalizacji przeobrażeń jednej obrabiarki, na przykład przedstawione w pracach [4, 6]. Jeżeli przez obrabiarkę przechodzi n typów przedmiotów i oznaczyć przez t czas bieżącego przygotowania produkcji, niezbędny do przejścia od obróbki jednej partii do obróbki drugiej, to macierz przeobrażeń będzie macierzą kwadratową $n \times n$, elementy głównej przekątnej, której są równe zero.

Zadanie optymalizacji przeobrażeń znacznie komplikuje w przypadku szeregu powiązanych między sobą procesem technologicznym obrabiarek. Proces wielooperacyjny stawia zadanie optymalizacji kolejności obróbki całego asortymentu części w przedziałach grup technologicznych, przechodzących przez rozpatrywane obrabiarki [1, 5, 7, 8, 9, 10].

Przy minimalizacji sumarycznego czasu przeobrażenia możliwe są następujące przypadki:

1. Elementy macierzy przeobrażeń różnią się od siebie nieznacznie, a więc sumaryczny czas przeobrażeń jest niezależny od kolejności obróbki partii przedmiotów.
2. Elementy macierzy przeobrażeń znacznie się od siebie różnią, a macierz jest praktycznie symetryczna, wówczas czas przeobrażeń w przypadku dwóch sąsiednich partii przedmiotów jest stały przy dowolnej kolejności ich obróbki.

3. Elementy macierzy przebrojeń istotnie się od siebie różnią, a macierz jest niesymetryczna, to znaczy czas przebrojeń w przypadku dwóch sąsiednich partii przedmiotów nie jest stały i zależy od kolejności ich obróbki.

$$v^p = \begin{bmatrix} \tau_{11}^p & \tau_{12}^p & \dots & \tau_{1k}^p & \dots & \tau_{1n}^p \\ \tau_{21}^p & \tau_{22}^p & \dots & \tau_{2k}^p & \dots & \tau_{2n}^p \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \tau_{k1}^p & \tau_{k1}^p & \dots & \tau_{kk}^p & \dots & \tau_{kn}^p \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \tau_{(n-1)1}^p & \tau_{(n-1)2}^p & \dots & \tau_{(n-1)k}^p & \dots & \tau_{(n-1)n}^p \\ \tau_{n1}^p & \tau_{n2}^p & \dots & \tau_{nk}^p & \dots & \tau_{nn}^p \end{bmatrix} \quad (1)$$

Analiza wymienionych przypadków (2 i 3) jest najbardziej prosta wtedy, kiedy ograniczyć ją do jednej obrabiarki, na której jest realizowana obróbka wielorodzajowa. Wariant ten można nazywać przebrojeniem jednooperacyjnego procesu technologicznego.

Do chwili obecnej nie ma efektywnej metody matematycznego rozwiązania zadania optymalizacji przebrojeń, a wymiarowość zadań uniemożliwia zastosowanie planów rozpatrywania wszystkich wariantów.

Rzeczywisty, minimalny sumaryczny czas przebrojenia wynosi:

$$T_{pt\min}^{\Sigma} = \sum_{k=1}^n \tau_{ab}^p \quad (2)$$

gdzie $a \neq b$

Do określenia $T_{pt\min}^{\Sigma}$ z uwzględnieniem niedozwolonych wariantów ($a \rightarrow a$, $b \rightarrow b$) jest konieczna analiza v^* przypadków, przy czym $v^* = n!$

Dochodzi się do zadania z klasy teorii szeregowania. Klasyczna teoria szeregowania związana jest w pierwszym rzędzie z pracami S. Johnsona, który rozpatrywał ogólny przypadek szeregowania obróbki n przedmiotów na S_x obrabiarkach. Ponieważ liczba wariantów kolejności obróbki przedmiotów jest liczbą określoną, naturalną metodą rozwiązania zadania wydaje się być przebadanie wszystkich wariantów. Z uwagi na to, że przy optymalnym

uszeregowaniu każda obrabiarka może mieć swój porządek obróbki przedmiotów, należy przebadać $(n!)^{S_z}$ wariantów szeregowania. Ze wzrostem wymiarowości zadania liczba wariantów rośnie na tyle szybko, że otrzymać rozwiązanie nawet przy pomocy komputera można tylko w przypadku zadań o niewielkich rozmiarach.

Fakt ten spowodował, iż próbowano stosować inne, w szczególności heurystyczne, metody w celu rozwiązania danego zadania. Chociaż zadanie przy jednej obrabiarku ($S_z = 1$) jest jednym z najbardziej zbadanych szczególnych przypadków zadania Johnsona, jest stawiana teza o niezależności czasu zakończenia obróbki całego zbioru przedmiotów od porządku ich wprowadzania do obróbki. Taka sytuacja może mieć miejsce tylko w szczególnym przypadku, kiedy czas przezbrajania obrabiarki z obróbki jednych przedmiotów na obróbkę innych przedmiotów w zakresie zadanej zbioru przedmiotów jest taki sam [1].

Natomiast w ogólnym przypadku przy wielorodzajowej produkcji porządek wprowadzania przedmiotów do obróbki, w wyniku różnych czasów przezbrojeń, istotnie wpływa na ogólne obciążenie obrabiarki.

Dlatego też podejmowane są liczne próby zastosowania innych w szczególności heurystycznych metod rozwiązania tego zadania [1, 6, 8].

Metoda przedstawiona poniżej bazuje na tym, że: jest określona kolejność obróbki przedmiotów w systemie (zgodnie z ich podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym, lecz przy uwzględnieniu narzuconych priorytetów) i kolejność ich obróbki na obrabiarkach; znane są drogi obróbki przedmiotów (z dokładnością do wzajemnie zamiennych grup obrabiarek); znane są charakterystyki obrabiarek, w szczególności dane o ich magazynach narzędziowych.

Zadanie sprowadza się więc do optymalizacji czasu przezbrojeń obrabiarek przy znanej kolejności przechodzenia przedmiotów, drogach obróbki i charakterystykach obrabiarek. Jako kryterium optymalizacji przyjęto wykorzystanie narzędzi w systemie produkcyjnym (W_{SP}).

$$W_{SP} \rightarrow \max \quad (3)$$

Do realizacji obróbki w systemie partii przedmiotów jest niezbędne aby przeszła ona przez określoną liczbę typów obrabiarek (jeżeli w skład systemu wchodzi centra obróbkowe, to zwykle do obróbki przedmiotów wystarczają 2 – 3 ich typy).

Nie zawsze bez konieczności przezbrojenia, na jednej obrabiarence danego typu, można realizować wszystkie przypisane (możliwe do realizacji) do niej przejścia. Zdarzają się sytuacje, kiedy pojemność magazynu narzędziowego obrabiarki jest niewystarczająca, aby pomieścić wszystkie niezbędne dla obróbki narzędzia.

Minimalna, w stosunku do ilości różnorodnych narzędzi, liczba obrabiarek danego typu, niezbędna dla obróbki przedmiotu, jest określana jako stosunek liczby różnorodnych narzędzi (niezbędnych do obróbki przedmiotu) do pojemności magazynu narzędziowego obrabiarki.

$$Q_{\min}^{O_j} = \frac{IN_{rp}^{O_j}}{P_{mo}} \quad (4)$$

gdzie IN_{rp} – liczba różnorodnych narzędzi niezbędnych dla obróbki przedmiotu (rodzaju przedmiotów).

W rezultacie, przedmioty danego typu powinny być obrobione na takiej liczbie obrabiarek, aby narzędzia były wykorzystane maksymalnie ($W_{nsp} \rightarrow \max$). Nie zawsze przy obróbce partii przedmiotów wystarcza zastosowanie tylko jednego różnorodnego narzędzia; w tych przypadkach, kiedy czas skrawania narzędzia przy obróbce partii przedmiotów jest większy niż okres trwałości jego ostrza należy przewidzieć dubler, a więc jakby zwiększa się liczba narzędzi. Ustaloną w ten sposób liczbę narzędzi, łącznie z dublerami, nazywa się obliczeniową. Obliczeniowa liczba narzędzi ($INZ_{rp}^{O_j}$) jest określana z zależności.

$$INZ_{rp}^{O_j} = \sum_{i=1}^n \left\lceil \frac{t_{i_{rp}}}{T_i} \right\rceil \quad (5)$$

gdzie: n – liczba różnorodnych narzędzi niezbędnych dla obróbki rodzaju przedmiotów;

$t_{i_{rp}}$ – czas skrawania i - tym różnorodnym narzędziem, niezbędny dla obróbki rodzaju przedmiotów;

T_i – trwałość narzędzia.

Liczbę przebrojeń obrabiarek danego typu (IP), niezbędnych do obróbki rodzaju przedmiotów określa się w następujący sposób:

$$IP_{rp_i}^{O_j} = \frac{INZ_{rp}^{O_j} - IN_{rp}^{O_j}}{P_{mo}^{O_j} \times IO^{O_j} - IN_{rp}^{O_j}} \quad (6)$$

gdzie: P_{mo} – pojemność magazynu narzędziowego obrabiarki;
 IO – ilość obrabiarek danego typu.

W ogólnym przypadku w magazynie obrabiarki znajdują się narzędzia, które

były używane przy obróbce poprzedniej partii przedmiotów i niektóre z nich (ponieważ kolejność obróbki w systemie partii przedmiotów jest określana według podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego) mogą być zastosowane przy obróbce danej partii przedmiotów, a więc zbiory narzędzi znajdujących się w magazynie obrabiarki i niezbędnych (które powinny być wstawione do magazynu obrabiarki) do obróbki danego rodzaju przedmiotów, mają część wspólną.

$$IN_{mó}^{O_j} \cap IN_{rp}^{O_j} = IN_{rp}^{O_j} \quad (7)$$

W przypadku każdego elementu (narzędzia) podzbioru $IN_{rp}^{O_j}$ jest określany stosunek:

$$\frac{t_{i_{rp-1}+t_{irp}}}{T_i} \quad (8)$$

gdzie: $t_{i_{rp-1}}$ – sumaryczny, do obróbki danego rodzaju przedmiotów, czas skrawania i - tego narzędzia, znajdującego się w magazynie obrabiarki;

t_i – czas skrawania i - tego narzędzia, niezbędny dla obróbki analizowanego rodzaju przedmiotów.

Określa się nową wartość INZ , którą oznaczono jako INZ'

$$INZ_{rp}^{O_j} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_{i_{rp-1}} + t_{irp}}{T_i} \right] \quad (9)$$

a także $IP_{rp_i}^{O_j}$, którą analogicznie oznaczono jako $IP_{rp_i}^{O_j}$, stąd

$$IP_{rp_i}^{O_j} = \frac{(INZ_{rp_i}^{O_j} - IN_{rp_i}^{O_j})}{(P_{mó}^{O_j} \times IO^{O_j} - IN_{rp_i}^{O_j})} \quad (10)$$

Analogicznie w przypadku systemu i zbioru przedmiotów (P):

$$INZ_P^{ESP} = \sum_{l=1}^m rp_l \sum_{j=1}^k O_j \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}}}{T_i} \right] \quad (11)$$

a także wartość

$$IP_P^{ESP} = \sum_{l=1}^m rp_l \sum_{j=1}^k \left[\frac{(INZ_{rp_l}^{O_j} - IN_{rp_l}^{O_j})}{(P_{m0}^{O_j} \times IO^{O_j} - IN_{rp_l}^{O_j})} \right] \quad (12)$$

Możliwe są dwa przypadki.

1. Otrzymana wartość IP^{O_j} nie przekracza $\lceil IP \rceil$, w tym przypadku wszystkie narzędzia zbioru IN'_{rp} będą wykorzystane przy obróbce danej partii przedmiotów.
2. Wartość IP' jest większa niż $\lceil IP \rceil$. Jeżeli nowe narzędzia są doprowadzane, a wykorzystane są odprowadzane w sposób ciągły bez zatrzymywania obrabiarki (lub systemu) to wszystkie narzędzia zbioru IN'_{rp} mogą pracować do chwili wykorzystania okresu ich trwałości.

W tych przypadkach, kiedy obrabiarka jest zatrzymywana w celu przebrojenia lub jest wymieniany cały magazyn narzędziowy, to nie wszystkie elementy zbioru IN'_{rp} będą wykorzystane, ponieważ doprowadziłoby to do zwiększenia liczby przebrojeń obrabiarki.

Bierze się więc tylko te narzędzia z IN'_{rp} , zastosowanie których nie prowadzi do zwiększenia liczby przebrojeń. Iteracyjnie w kierunku wzrastania stosunku:

$$\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i}, \text{ zaczynając od narzędzia, w przypadku którego stosunek ten jest}$$

najmniejszy, określana jest wartość IP . Kiedy $IP > \lceil IP \rceil$ obliczenia są przerywane, odrzuca się ostatnie z wziętych do obliczeń narzędzi należących do IN'_{rp} . W taki sposób z IN'_{rp} wyodrębnia się zbiór narzędzi, które znajdują zastosowanie przy obróbce danej partii przedmiotów.

Przebrojenie obrabiarki jest realizowane w następujący sposób. W magazynach narzędziowych obrabiarek (IO), zgodnie ze schematem realizowanych przez nie zabiegów, uwzględnia się po jednym różnorodnym narzędziu. Określa się liczbę możliwych do rozmieszczenia w magazynach obrabiarek (IO^{O_j}) dublerów narzędzi:

$$IDN_{rp_l}^{O_j} = P_{m0}^{O_j} \times IO^{O_j} - IN_{rp_l}^{O_j} \quad (13)$$

Dublerzy są niezbędne dla narzędzi, w przypadku których stosunek $\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i} > 1$.

W pierwszym kolejności przewiduje się dubler narzędzia, w przypadku którego stosunek $\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i}$ jest największy (i oczywiście większy od jedności), trwałość tego narzędzia kończy się w jako pierwsza. Dla niego jest określana nowa wartość stosunku $\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i}$, ponieważ jednak zastosowano dubler, to do T dodaje się T ($T := T + T$). Zatem znowu uwzględnia się dubler w przypadku narzędzia o max $\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i}$. Działania te są powtarzane do tej pory, dopóki dla wszystkich narzędzi stosunek ten będzie mniejszy od jedności lub ilość dublerów będzie równa IDN .

Czas przebrojenia jest równy sumarycznemu czasowi wyjęcia z magazynów narzędziowych obrabiarek narzędzi nieprzydatnych do obróbki rodzaju przedmiotów (określany jest dla nich stopień zużycia) i ustawienia w nie narzędzi (razem z dublerami), niezbędnych do obróbki danego rodzaju przedmiotów.

Jeżeli w przypadku wszystkich narzędzi stosunek $\frac{(t_{i_{rp_l-1}} + t_{i_{rp_l}})}{T_i} \leq 1$, to wszystkie przedmioty danego rodzaju będą obrobione przy jednym przebrojeniu.

W tym przypadku, kiedy liczba dublerów stanie się równa liczbie możliwych dublerów, to obliczana jest liczba przedmiotów, obrobionych po danym przebrojeniu:

$$IOP_{rp_l}^{O_j} = \frac{(t_{I_{rp_l}} - t_{I_{rp_l-1}})}{T_{rp_l}^p} \quad (14)$$

gdzie: I – numer (oznaczenie) narzędzia w przypadku którego stosunek $(T_{srp} - T_p)/T$ w danym momencie jest największy,

$T_{rp_l}^p$ – czas skrawania danym narzędziem przy obróbce jednego przedmiotu analizowanego rodzaju przedmiotów.

2. Algorytm określania przebiegu systemu.

Algorytm ma na celu określenie najbardziej efektywnych dróg technologicznych obróbki części w systemie produkcyjnym. Jako czynniki określające optymalizację można uznać liczbę przebiegów oraz współczynnik wykorzystania narzędzi.

Warunki i dane wejściowe.

Ogólnie można przyjąć, że dane wejściowe są podzielone na grupy:

Dane dotyczące obrabianych przedmiotów:

- liczba grup rodzajów przedmiotów,
- liczba rodzajów przedmiotów (partii) w kolejnych grupach,
- liczba przedmiotów każdego rodzaju przedmiotu (ilość przedmiotów w kolejnej partii),
- ilość ustawień dla każdego przedmiotu,
- ilość operacji wykonywanych w każdym ustawieniu,
- numer kolejny przedmiotu.

Dane dotyczące wykonywanej operacji:

- rodzaj obróbki,
- nazwa narzędzia jakim wykonuje się operację (kod narzędzia),
- czas trwania obróbki.

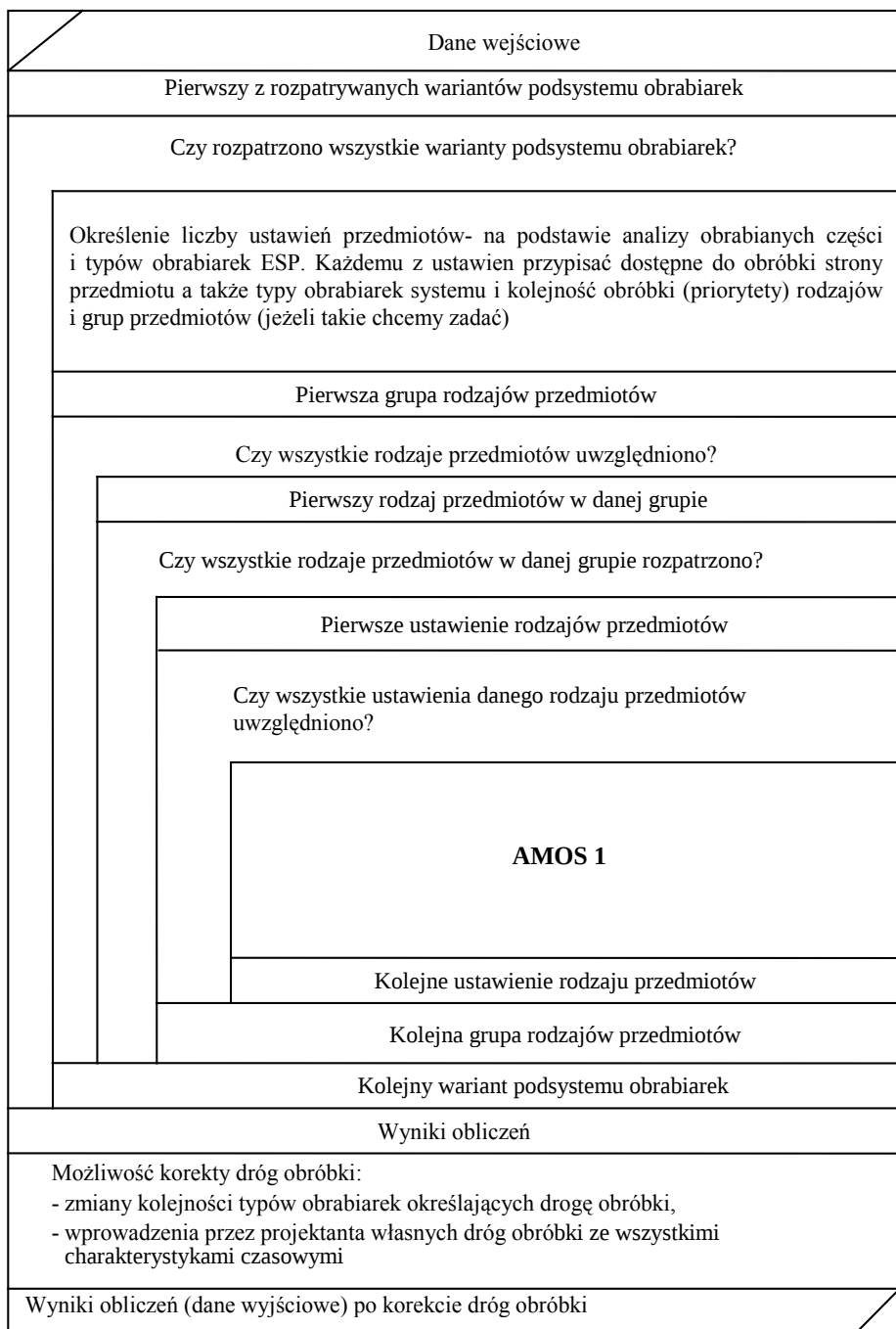
Dane dotyczące obrabiarki:

- ilość obrabiarek,
- nazwa obrabiarki,
- typ obrabiarki,
- numer fabryczny obrabiarki,
- numer kolejny w podsystemie obrabiarek,
- pojemność magazynu narzędziowego,
- czas zmiany narzędzia w magazynie obrabiarki.

Dane dotyczące narzędzi:

- nazwa narzędzia,
- kod narzędzia,
- okres trwałości narzędzia.

Algorytm rozwiązania zadania jest częścią składową algorytmu określania dróg obróbki i struktury podsystemu obrabiarek, gdzie te zadania rozwiązywane są w sposób kompleksowy – rys. 1.



Rys. 1. Algorytm określania dróg obróbki i struktury podsystemu obrabiarek

AMOS 1

Określić liczbę różnorodnych narzędzi niezbędnych do realizacji obróbki przedmiotu (dla aktualnego ustawienia i typu obrabiarki)
Określić minimalną liczbę obrabiarek danego typu, na których przedmiot może być obrabiany z uwzględnieniem liczby różnorodnych narzędzi niezbędnych do jego obróbki (minimalną liczbę różnorodnych narzędzi niezbędnych do obróbki przedmiotu i pojemności magazynu narzędziowego obrabiarki)
Zakłada się, że przedmiot obrabiany jest na minimalnej liczbie obrabiarek. W przypadku kiedy liczba obrabiarek w grupie nie dzieli się przez minimalną liczbę obrabiarek bez reszty, to zwiększa się ją o jeden i tak postępuje się do chwili otrzymania wyniku dzielenia bez reszty
Czy określona w taki sposób liczba obrabiarek jest większa niż liczba Obrabiarek danego typu?
Określenie liczby przebrojeń, niezbędnych dla obróbki rodzaju przedmiotów IP$IP = (INZ - IN) / (PMO * IO - IN)$ Sprawdza się, które z narzędzi znajdujących się w magazynie obrabiarki (stosowanych przy obróbce poprzedniego rodzaju przedmiotów) można zastosować. Dla tych narzędzi określa się stosunek $(T_{sp} + T_s) / T$, gdzie: T_{sp} i T_s - czas skrawania odpowiednio przy obróbce poprzedniego i danego typu części. Określa się liczbę narzędzi (INZ):$INZ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{s_p} + T_s}{T} \right)$ Określa się liczbę przebrojeń przy uwzględnieniu otrzymanej wielkości INZ w przypadku, kiedy nie przewyższa ona kolejnej liczby całkowitej nie mniejszej niż określona liczba przebrojeń - wszystkie narzędzia mogą być zastosowane, w przeciwnym razie uwzględnia się kolejne narzędzia w kierunku wzrastania stosunku $(T_{sp} + T_s) / T$ i obliczenia wykonywane są iteracyjnie przy zachowaniu warunku nie przekroczenia liczby całkowitej nie mniejszej od liczby przebrojeń.
AMOS2
Kolejny wariant liczby obrabiarek danego typu

Rys. 1. Ciąg dalszy

AMOS 2

Czy dla wszystkich narzędzi $(T_{sp} + T_s) \leq 1$?
<u>Realizacja przebrojenia.</u> Zabezpiecza się po jednym egzemplarzu różnorodnych narzędzi niezbędnych dla obróbki. Oblicza się liczbę możliwych dublerów narzędzi $IDN = PMO * IO - IN$. Dla narzędzia o największym stosunku i większym od jedności $\frac{(Ts_{prp} + Ts_{rp})}{T}$ dobiera się dubler i oblicza nową wartość $\frac{(Ts_{prp} + Ts_{rp})}{T}$ przy tym T zwiększa się o T. Działania te powtarza się do tej pory, kiedy dla wszystkich narzędzi stosunek $\frac{(Ts_{prp} + Ts_{rp})}{T}$ będzie mniejszy od jedności lub kiedy liczba dublerów stanie się równa liczbie możliwych dublerów
<u>Czas realizacji przebrojenia.</u> Czas przebrojenia równy jest czasowi wyjęcia z magazynu niepotrzebnych dla obróbki danego rodzaju przedmiotów narzędzi i czasowi wstawienia narzędzi łącznie z dublerami niezbędnych do obróbki danego rodzaju przedmiotów. Dla narzędzi wyjętych z magazynu określa się ich zużycie.
W przypadku kiedy dla wszystkich narzędzi $\frac{(Ts_{prp} + Ts_{rp})}{T} \leq 1$ wszystkie przedmioty będą obrobione po pierwszym przebrojeniu. W przypadku kiedy liczba dublerów stanie się równa liczbie możliwych dublerów określa się ilość obrobionych przedmiotów. Za bazę do obliczeń przyjmuje się numer narzędzia, dla którego określany będzie dubler (dla którego stosunek $\frac{(Ts_{prp} + Ts_{rp})}{T}$ jest największy). Liczba obrobionych przedmiotów jest równa $IOP = (T_s - T_{sp}) / T_{sp}$
Kolejne przebrojenie
Określa się ilość obrabiarek na których przedmiot może być obrabiany: liczbę obrabiarek dla poprzedniego wariantu powiększa się o jeden. W przypadku, kiedy liczba obrabiarek danego typu dzieli się bez reszty przez otrzymaną w taki sposób liczbę obrabiarek to się ją przyjmuje. W przeciwnym przypadku znowu powiększa się ją o jeden aż do czasu, kiedy wynik dzielenia będzie liczbą całkowitą.

Rys.1. Ciąg dalszy

3. Wnioski

W pracy zaprezentowano opracowany algorytm przezbrajania obrabiarek systemu produkcyjnego minimalizujący czas ich przezbrajania przy obróbce określonego asortymentu części. Algorytm ten jest składową częścią algorytmu określania dróg obróbki oraz struktury obrabiarek tworzących system produkcyjny. Takie kompleksowe podejście umożliwia racjonalne określenie podsystemu obrabiarek i realizowanych w nim procesów technologicznych, w tym minimalizację czasu przebrojeń maszyn technologicznych, a w rezultacie minimalizację kosztów wytwarzania określonego asortymentu części w systemie produkcyjnym.

LITERATURA

1. Świć A.: Elastyczne systemy produkcyjne. Technologiczno-organizacyjne aspekty projektowania i eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej; Lublin 1998.
2. Charczenko A., Świć A., Taranenko W.: Obrabiarki i urządzenia technologiczne w produkcji elastycznej. Lublin: Politechnika Lubelska, 2011.
3. Kosmol J.: Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. Warszawa: WNT, 2000.
4. Świć A. Gola A.: Elements of Design of Production Systems – Methodology of Machine Tool Selection in Casing-Class FMS, Management and Production Engineering Review, Vol. 1, No. 2, pp. 73-81.
5. Szron L., Bogucki W., Świć A., Taranenko W.: Eksploatacja i remont maszyn technologicznych w elastycznych systemach produkcyjnych. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2007.
6. Balaji C. M., Gurumurthy A., Kodali R.: Selection of Machine Tool for FMS Using ELECTRE III, Automation Science and Engineering (2009).
7. Gola A., Świć A.: Algorytm generowania ścieżek technologicznych w procesie doboru obrabiarek. Zarządzanie Przedsiębiorstwem nr 1(2011), s. 8-16.
8. Gola A., Świć A.: Computer aided machine tool selection for focused flexibility manufacturing systems using economical criteria. Actual Problems of Economics/ Актуальні Проблеми Економіки 2011, 10 (124), s. 383-369.
9. Gola A., Świć A., Kramar V.: A multiple-criteria approach to machine-tool selection for focused flexible manufacturing systems. Management & Production Engineering Review. Vol. 2, No 4, 2011, p. 21 – 32.
10. Prochazka M., Simakova P., Smidova N.: SERRS microspectroscopy of porphyrins: improvement of sensitivity and spectral reproducibility. XIII European Conference on the Spectroscopy of B. Molecules, Palermo, 2009.
11. Prochazka M., Simakova P., Smidova N.: SERRS microspectroscopy of porphyring on immobilized Au nanoparticles: Testing spectral sensitivity and reproducibility. Colloids and Surfaces A. Elsevier, 2007.

OPTIMIZATION OF MACHINES RETOOLING PROCESS

Abstract

The method for optimization the retooling process of machine tools of the productive system basing on earlier defined order and paths of processing the part machined in system as well as machine tools characteristics was introduced in the paper. Utilization of tools in the machining system was selected as the optimization criterion.

Keywords: retooling of machine tools, optimization, production system

OPTIMALIZACJA PRZEBRAJANIA OBRABIAREK SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę optymalizacji przebrożeń obrabiarek systemu produkcyjnego, bazującą na wcześniej określonych kolejności i drogach obróbki części w systemie oraz charakterystykach obrabiarek. Jako kryterium optymalizacji przyjęto wykorzystanie narzędzi w systemie obróbkowym.

Słowa kluczowe: przebrożenia obrabiarek, optymalizacja, system produkcyjny

Prof. dr hab. inż. Antoni ŚWIĆ
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: a.swic@pollub.pl

Prof. dr hab. inż. Wiktor TARANENKO
Łucki Narodowy Uniwersytet Techniczny
Łuck, ul. Lwowska 75

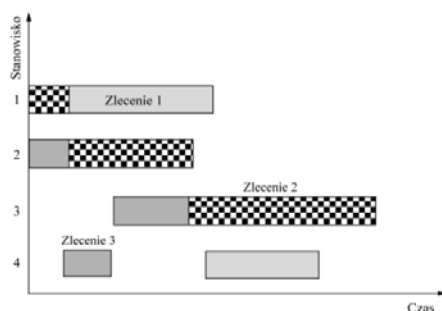
ZASTOSOWANIE MATLABA W SZEREGOWANIU ZADAŃ PRODUKCYJNYCH

Wstęp

Współczesny rynek dość często określany jest mianem burzliwego. Występująca w nim duża konkurencyjność sprawia, że z jednej strony przedsiębiorstwa muszą obniżać koszty produkcji, zaś z drugiej – rozwijać się i zwiększać elastyczność systemów produkcyjnych. Obecnie produkcja nie polega na wytwarzaniu szeregu zunifikowanych wyrobów, lecz na ciągłym zaspokajaniu potrzeb klienta. Dlatego też istnieje potrzeba stosowania różnorodnych narzędzi pozwalających zoptymalizować proces produkcji. W usprawnieniu produkcji pomagają także różnorodne metody harmonogramowania produkcji. Połączenie ich z odpowiednim oprogramowaniem komputerowym czyni je skutecznym narzędziem pracy.

1. Harmonogramowanie produkcji

Pod pojęciem „harmonogramowanie produkcji” (szeregowanie zadań produkcyjnych) rozumie się określenie wielkości partii produkcyjnych oraz sporządzenie szczegółowego harmonogramu wraz z wszystkimi występującymi ograniczeniami. Harmonogram jest to „wykres lub opis poszczególnych operacji (zadań) uwzględniający jednostki terminowania, w których te operacje (zadania) będą wykonywane” (rys. 1) [10].



Rys. 1. Przykład harmonogramu (wykres Gantta) [10]

Przedstawienie przebiegu procesu produkcyjnego w taki sposób pozwala na jego dogodną i przejrzystą analizę. Harmonogramowanie zadań produkcyjnych jest zagadnieniem dość często poruszonym. Dzieje się tak, ponieważ dobrze zaplanowana i prowadzona produkcja przynosi korzyści. Celem szeregowania jest efektywne przetwarzanie danych, a przede wszystkim dotrzymywanie terminów, unikanie opóźnień zakończenia pracy, ograniczanie czasu pomiędzy złożeniem zamówienia przez klienta do zakończenia transakcji oraz wykorzystanie zasobów pracy (wykorzystanie w pełni sprzętu oraz personelu). Realizacja założonych celów harmonogramowania przyczynia się do obniżenia kosztów produkcji [11].

Analizując jednak zagadnienie szeregowania zadań produkcyjnych należy stwierdzić, iż istnieje wiele problemów, które w pewnym stopniu uniemożliwiają efektywne prowadzenie tego procesu. Większość z nich należy do klasy problemów NP-trudnych. Problemy takie uniemożliwiają prowadzenie obliczeń z wielomianową złożonością obliczeniową. Oznacza to bardzo dużą trudność w znalezieniu dokładnego i optymalnego rozwiązania. Możliwe jest wówczas znalezienie jedynie rozwiązania dopuszczalnego [1].

Dlatego też wciąż prowadzi się prace mające na celu optymalizację procesów harmonogramowania produkcji. Celem staje się tworzenie skutecznych i szybkich algorytmów wykorzystujących różnorodne techniki oraz metody obliczeniowe, a także odpowiednie oprogramowanie komputerowe. Skuteczność procesu harmonogramowania zależy głównie od przyjętych modeli matematycznych oraz algorytmów optymalizacyjnych [2].

2. Problemy harmonogramowania produkcji

Problemy związane z szeregowaniem procesów produkcyjnych są dużym dylematem. Powodują one zmniejszenie efektywności planowania, a także wpływają na sprawność przebiegu produkcji.

Problemy szeregowania zadań produkcyjnych można podzielić na kilka grup. Ze względu na rodzaj zaistniałego problemu wyróżnia się harmonogramowanie w systemach typu *flow-shop*, *job-shop* oraz *open-shop*. Ze względu na powiązanie systemu z praktyką definiuje się problemy praktyczne oraz teoretyczne. Natomiast ze względu na zmiany zachodzące w systemach wyróżnia się problemy dynamiczne oraz statyczne. Uwzględniając losowość cech systemów, problemy dzieli się na deterministyczne i probabilistyczne [11].

Zagadnieniem dość często poruszonym w literaturze jest problem przepływowy (*flow-shop*), problem gniazdowy (*job-shop*) oraz problem otwarty (*open-shop*) [8]. Dokłada się wciąż wszelkich starań, aby rozwiązywać problemy tego typu, gdyż należą one do klasy problemów NP-trudnych [1].

System typu *flow-shop* charakteryzuje się wykonywaniem dokładnie jednej operacji na jednej maszynie. Ponadto prace wykonywane są w takim samym porządku na każdej z występujących maszyn. Analizując problem przepływowy

definiuje się dwa zbiory – zbiór zadań oraz zbiór maszyn, a następnie każdemu elementowi ze zbioru zadań przyporządkowuje się odpowiedni element zbioru maszyn. Takie przyporządkowanie będzie nosiło miano operacji. Ponadto przyjmuje się następujące założenia:

- zadania będą wykonywane bez przerwy,
- dana maszyna może wykonywać tylko jedną operację w danej chwili,
- nie można wykonywać więcej niż jednej operacji zadania w danej chwili,
- każda maszyna wykonuje zadania w takiej samej kolejności.

W chwili rozpoczęcia operacji zdefiniowane zostaje dopuszczalne uszeregowanie zadań, przy uwzględnieniu wspomnianych założeń i ograniczeń. Problem polega wówczas na znalezieniu uszeregowania będącego dopuszczalnym i minimalizującym moment wykonania wszystkich zadań. Dość często problem przepływowy rozpatruje się jako tzw. *permutation flow-shop*. Jako zmienną decyzyjną przyjmuje się wówczas permutację zbioru zadań [9].

Harmonogramowanie w systemie *job-shop* zakłada pełne uporządkowanie zadań wynikające z ograniczeń technologicznych. W celu analizy problemu gniazdowego należy zdefiniować trzy zbiory – zbiór zadań, zbiór operacji oraz zbiór maszyn. Ponadto zbiór operacji podzielony jest na odpowiednie podzbiory odpowiadające poszczególnym zadaniom. Zadanie kojarzone jest z określoną sekwencją operacji konkretnego podzbioru. Sekwencja określa wymaganą kolejność wykonywania operacji. Ponadto każdej z operacji przyporządkowana jest odpowiednia maszyna. Dodatkowo przyjmuje się następujące ograniczenia:

- każda z maszyn może wykonywać wyłącznie jedną operację w danej chwili,
- w danej chwili nie można wykonywać więcej niż jednej operacji danego zadania,
- operacja nie może zostać przerwana.

Dopuszczalne uszeregowanie zostaje zdefiniowane na podstawie momentów rozpoczęcia operacji przy uwzględnieniu powyższych ograniczeń. Problem polega na określeniu dopuszczalnego rozwiązania, które będzie minimalizowało wykonanie wszystkich operacji rozpatrywanego procesu [9].

Problem typu *open-shop* jest nazywany także problemem otwartym. Problem ten jest nieco mniej znany i cechuje go brak uporządkowania operacji [8]. Problem otwarty jest bardzo ważnym problemem praktycznym związanym z szeregowaniem zadań produkcyjnych. Jest on jednocześnie bardzo trudny do rozwiązania – zwłaszcza, gdy chodzi o czas uzyskania jego rozwiązania [6]. W przypadku problemu otwartego nie są określone relacje następstw, które zachodzą pomiędzy poszczególnymi operacjami procesu. Dlatego też operacje mogą być wykonywane w dowolnej kolejności. Przykładem mogą tu być wszelkie działania, w których kolejność wykonywania poszczególnych prac nie gra roli [11]. Tak przyjęte założenie powoduje, że przestrzeń obliczeń i poszukiwania rozwiązania przyjmuje ogromne rozmiary.

Liczba różnorodnych wariantów harmonogramów jest bardzo duża [6]. Podczas planowania produkcji zakłada się statyczny charakter procesu, jednak doświadczenie wskazuje na występowanie dynamizmu produkcji. Dlatego też podczas szeregowania zadań produkcyjnych napotyka się na problemy statyczne oraz dynamiczne. Wszelkie problemy statyczne dotyczą systemów, w których wszystkie procesy są znane podczas tworzenia harmonogramu. Oznacza to, że żadne zadania, które uprzednio nie były znane nie pojawiają się. Natomiast problemy dynamiczne dotyczą systemów wymagających często pewnej reorganizacji. W dynamicznych systemach harmonogramowania mogą pojawić się prace, które nie były znane w chwili tworzenia harmonogramu. Ponadto należy je umieścić w utworzonym harmonogramie, co niejednokrotnie jest problemem samym w sobie [11].

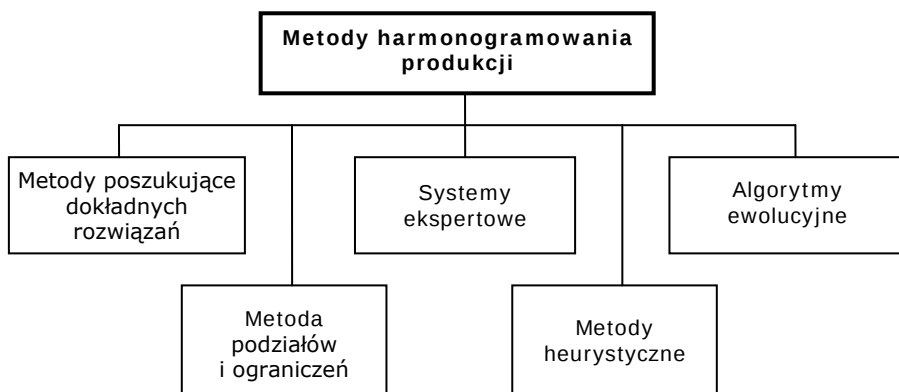
Rzeczą wiadomą jest, iż prowadzone badania teoretyczne niekoniecznie mogą w pełni znaleźć odzworowanie w rzeczywistości. Stąd też problemy teoretyczne, to często problemy testowe. Ujawniają się one podczas oceny wyników przeprowadzanych badań. Cechą charakterystyczną tych problemów jest formułowanie pewnych założeń upraszczających rzeczywistość – zgodnych lub niezgodnych z praktyką. Istnieje szereg założeń, których przykładem mogą być następujące reguły:

- „Na danej maszynie nie można wykonywać dwóch operacji równolegle” – założenie niezgodne z praktyką (rzadko występuje maszyna wykonująca tylko i wyłącznie jedną operację),
- „Mogą wystąpić okresy, w których maszyny są nieobciążone” – założenie zgodne z praktyką (sytuacja może mieć miejsce) [11].

Problemy praktyczne natomiast dotyczą harmonogramowania rzeczywistych procesów. Do ich rozwiązywania stosuje się podejście ewolucyjne. Przykładami takich problemów mogą być typowe komplikacje pojawiające się chociażby w produkcji schłodzonych produktów spożywczych, produkcji papieru i folii, produkcji elementów złącznych. Tworzone są systemy odpowiednio niwelujące różnorodne problemy szeregowania zadań produkcyjnych. Systemy te nazwy-czaj dotyczą jednej maszyny, uwzględniają czasy przebrojeń, terminy napływu zleceń oraz terminy zakończenia. Jest to zagadnienie poruszane w literaturze fachowej [11]. Proces harmonogramowania związany jest także z występowaniem pewnych zmiennych losowych. Dlatego też rozróżnia się problemy deterministyczne oraz probabilistyczne. Problemy te wynikają z charakteru rozpatrywanego systemu. Jeżeli system harmonogramowania będzie systemem stochastycznym, wówczas wielkości takie jak chociażby termin gotowości prac czy czasy wykonania operacji są zmiennymi losowymi o zadanych parametrach. Jeżeli zaś system będzie deterministyczny – element losowości nie będzie w nim występował. Dotyczy to zarówno terminów pojawiania się prac, czasów trwania operacji, a także innych wielkości charakterystycznych dla danego systemu produkcyjnego [11].

3. Metody szeregowanie zadań produkcyjnych

Odpowiedzią na problemy harmonogramowania produkcji są różnorodne metody szeregowania zadań produkcyjnych [5]. Metody harmonogramowania produkcji dzieli się na odpowiednie grupy. Podział ten wynika z różnorodności stosowanych algorytmów (rys. 2).



Rys. 2. Podział metod harmonogramowania produkcji

Pierwszą grupę stanowią metody poszukujące dokładnych rozwiązań problemów harmonogramowania. Zaliczamy do nich:

- przeszukiwanie zupełne i losowe,
- programowanie całkowitoliczbowe.

Metoda przeszukiwania zupełnego bazuje na rachunku kombinatorycznym. Pozwala ona na określenie liczby wszystkich możliwych harmonogramów dopuszczalnych, a następnie wybranie z wyznaczonego zbioru możliwych rozwiązań (harmonogramów aktywnych). Jednak metoda ta w złożonych przypadkach (wiele prac wykonywanych na wielu maszynach) daje bardzo duże i trudne do wykorzystania wyniki. Dlatego też zazwyczaj zastosowanie znajduje przeszukiwanie losowe. Zamiast generowania wszystkich dopuszczalnych harmonogramów w sposób losowy tworzone są tylko niektóre wyniki. Oznacza to, że w chwili pojawienia się problemu podejmowana jest kolejna losowa decyzja. Programowanie całkowitoliczbowe natomiast znajduje zastosowanie w sytuacjach, gdy do mamy czynienia z problemami czysto teoretycznymi [11].

Kolejną grupę stanowi metoda podziałów i ograniczeń. Metoda ta oparta jest na budowie drzewa decyzyjnego utworzonego z rozwiązań dopuszczalnych. Wierzchołkiem drzewa jest harmonogram pewnego podzbioru operacji, zaś gałęziami – operacje. Istotą metody jest odcinanie poszczególnych gałęzi drzewa na podstawie określonej funkcji celu. Górną granicą funkcji jest wygenerowane

już najlepsze rozwiązanie, zaś granica dolna obliczana jest na podstawie drogi wiodącej od bieżącego miejsca do wierzchołka drzewa [11].

W szeregowaniu zadań produkcyjnych zastosowanie znajdują także systemy ekspertowe. Stosując je w harmonogramowaniu produkcji rozpatruje się dwa podejścia:

- algorytmiczne,
- uwzględniające zmianę sformułowania problemu.

W podejściu algorytmicznym problemy są definiowane za pomocą typowego programowania matematycznego. Gdy zostanie sformułowany problem (niezmienny w trakcie jego rozwiązywania) uruchamiamy jest odpowiedni algorytm poszukujący dopuszczalnego wyniku. Natomiast podejście drugie pozwala na modyfikowanie problemu, a jego celem jest nie tyle znalezienie rozwiązania optymalnego, co satysfakcjonującego (rozwiązania, które jest stosunkowo łatwo uzyskać) [11].

Jedną z grup metod harmonogramowania są także metody heurystyczne, których podstawą są algorytmy heurystyczne. Algorytmy te dzieli się na:

- algorytmy jednokrotne (systemy dyspozytorskie i niedyspozytorskie),
- algorytmy korygujące (wspinanie na szczyt, symulowane wyżarzanie, przeszukiwanie tabu).

Algorytmy jednokrotne nie dopuszczają zmian harmonogramu. Jeżeli dana operacja posiada określony czas jej rozpoczęcia, to nie może on ulec późniejszej zmianie. Kolejne operacje umieszczane są w harmonogramie bez ingerencji w operacje wcześniejsze. Natomiast algorytmy korygujące dopuszczają zmianę czasu operacji już włączonej do harmonogramu. Zmiana ta może polegać na opóźnieniu lub przyspieszeniu terminu operacji. Zmiany mogą dotyczyć także całej grupy operacji. Możliwa jest wielokrotna korekta terminów rozpoczęcia wszystkich operacji [11].

Ostatnią grupę stanowią metody zaliczane do grupy algorytmów ewolucyjnych. Do grupy tychże algorytmów zalicza się:

- algorytmy genetyczne,
- programowanie i strategie ewolucyjne,
- systemy klasyfikatorowe,
- programowanie genetyczne.

Idea algorytmów ewolucyjnych powstała w oparciu o istniejące w świecie zjawiska biologiczne – organizmy, aby przetrwać i funkcjonować, muszą przystosowywać się do istniejących warunków. Dlatego też pod podjęciem algorytmów ewolucyjnych rozumie się komputerowe systemy, które działają na zasadach podobnych do organizmów żywych. Podobieństwo to dotyczy zarówno struktury systemów jak i sposobu ich działania [7]. Cechą wspólną metod opartych na algorytmach ewolucyjnych jest tworzenie populacji osobników. Osobnikami tymi są właśnie harmonogramy produkcji. Osobniki te mogą się rozmnażać, przystosowywać do określonych kryteriów, tworzyć kolejne

4. Charakterystyka środowiska Matlab

The screenshot displays the Kali Linux desktop environment. The top panel shows the 'Kali Linux' logo and a menu bar with 'File', 'Edit', 'View', 'Window', 'System', 'Tools', 'Help', and 'Window Manager'. The desktop background is a dark blue gradient with the Kali Linux logo and the text 'Kali Linux' and ' kali@kali: ~ - ssh - 12.00.00'.

Three windows are open:

- Terminal Window:** The title bar reads 'Terminal - kali'. The terminal content shows a command prompt where the user has entered 'cat /etc/passwd' and the output is displayed, listing system users like 'root:x:0:0:root:/root:/bin/bash' and regular users like 'daemon:x:65534:65534:/usr/sbin/nologin'. The prompt is now 'kali@kali:~\$'.
- File Manager Window:** The title bar reads 'Files - kali'. The window shows the file system tree on the left, with the 'home' directory selected. The main pane is empty, indicating the user's home directory is currently empty.
- Web Browser Window:** The title bar reads 'Web Browser - kali'. The address bar shows 'http://kali.local/'. The main content area displays a simple web page with the text 'kali' in a large, bold, black font.

Rys. 3. Okno poleceń Matlaba

Prowadzenie działań na tego typu strukturach nie wymaga ich uprzedniego definiowania. Stanowi to przewagę systemu Matlab nad językami programowania typu C czy Fortran, w którym wektory oraz macierze wymagają uprzedniego zdefiniowania takiej struktury.

Matlab w środowiskach uniwersyteckich jest narzędziem wykorzystywanym do obliczeń numerycznych, zaś w przemyśle stosuje się go do prowadzenia wyspecjalizowanych analiz oraz badań [3].

Środowisko obliczeniowe firmy MathWorks posiada także dodatkowe biblioteki, które umożliwiają stosowanie specjalistycznych technologii. Biblioteki te składają się z funkcji Matlaba, które pozwalają na rozwiązywanie specjalistycznych problemów, poszerzając przez to możliwości pakietu. W bibliotece znaleźć możemy m.in. Control System Toolbox – służący do projektowania układów sterowania, Neural Network Toolbox – poruszający zagadnienie sieci neuronowych oraz wiele innych elementów służących do rozwiązywania różnorodnych zagadnień. W języku Matlab napisany jest również program Simulink, który jest interaktywnym systemem umożliwiającym graficzne modelowanie oraz symulację układów dynamicznych [3].

Do podstawowych elementów pakietu Matlab zalicza się:

- Język Matlab – język wysokiego poziomu, który udostępnia różnorodne funkcje, obsługę wejścia i wyjścia oraz elementy projektowania obiektowego.
- Środowisko robocze – zestaw narzędzi zarządzania zmiennymi w przestrzeni roboczej, m-plikami, aplikacjami pakietu.
- System graficzny – zbiór funkcji wysokiego poziomu służące do tworzenia wykresów dwu- oraz trójwymiarowych, funkcje przetwarzania obrazów i tworzenia animacji.
- Bibliotekę funkcji matematycznych – biblioteka różnorodnych funkcji matematycznych – podstawowe (np. sumowanie, funkcje trygonometryczne, funkcje liczb zespolonych), funkcje macierzowe (np. obliczanie macierzy odwrotnych, wyznaczanie wartości własnych) oraz specjalistyczne funkcje matematyczne (np. szybka transformata Fouriera, funkcje Bessela).
- Interfejs API – bibliotekę umożliwiającą tworzenie programów w językach C oraz Fortran, współpracujących z programami napisanymi w języku Matlab.

Praca z pakietem Matlab może mieć dwojaki charakter:

- Bezpośredni – wówczas użytkownik pracuje w typowym trybie roboczym, a praca odbywa się w systemie dialogowym na zasadzie „pytanie – odpowiedź”.
- Pośredni – praca w tymże trybie pozwala na szybkie i efektywne wykonywanie obliczeń oraz prezentację wyników za pomocą programu, bądź skryptu napisanego w języku pakietu Matlab [3].

5. Zastosowanie pakietu Matlab w szeregowaniu zadań produkcyjnych

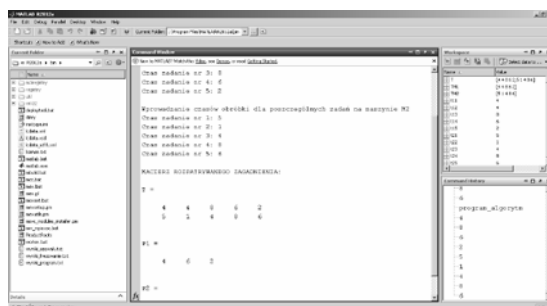
Wszechstronność pakietu obliczeniowego Matlab sprawia, iż może on być wykorzystywany do rozwiązywania wielu problemów w różnorodnych dziedzinach nauki. Matlab daje także możliwość analizy różnorodnych zagadnień związanych z szeregowaniem zadań. Przykładem zastosowania pakietu Matlab w harmonogramowaniu produkcji, może być przygotowanie odpowiedniego programu szeregującego zadania produkcyjne, bazującego na algorytmie Johnsona.

Algorytm Johnsona zaliczany jest do grupy prostych algorytmów optymalizacyjnych, stosowanych do rozwiązywania problemów kolejnościowych. Algorytm ten został stworzony głównie do prostych przypadków jedno- i dwumaszynowych. Zastosowanie tego algorytmu pozwala określić sekwencję kolejnościową o najkrótszym czasie zakończenia realizowanych procesów [4].

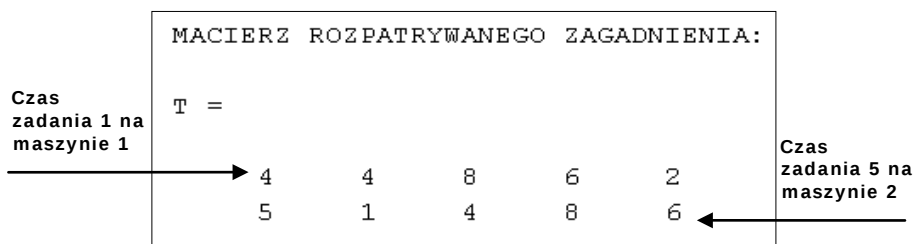
Algorytm ten składa się z czterech kroków:

1. Tworzenie listy realizowanych zadań wraz z czasami ich wykonania na poszczególnych stanowiskach.
2. Identyfikacja operacji o najkrótszym czasie wykonania (czasie nieuwzględnionym poprzednio).
3. Ustalenie kolejności wykonania zadań:
 - jeżeli operacja realizowana jest na stanowisku pierwszym, wówczas jej wykonanie planuje się jak najwcześniej (bez zmian operacji zaplanowanych wcześniej),
 - jeżeli operacja jest realizowana na stanowisku drugim, wówczas jej wykonanie planuje się jak najpóźniej (bez zmian operacji zaplanowanych wcześniej).
4. Procedura ta powtarzana jest aż do momentu rozplanowania wszystkich operacji [4].

Algorytm Johnsona można wykorzystać w programie Matlab do stworzenia odpowiedniego programu zapisanego w m-pliku. Program ten bazując na algorytmie Johnsona realizuje odpowiednie kroki za pomocą dostępnych w pakiecie funkcji. Zadaniem programu jest określić optymalną sekwencję wykonania 5 zadań na 2 maszynach. Praca odbywa się na zasadzie interakcji z użytkownikiem. Po procedurze wprowadzania danych (rys.4) program odpowiednio przetwarza dane w celu otrzymania optymalnych wyników. Wprowadzone czasy realizowanych zadań są w pakiecie Matlab zapisywane w formie odpowiedniej macierzy (rys.5).

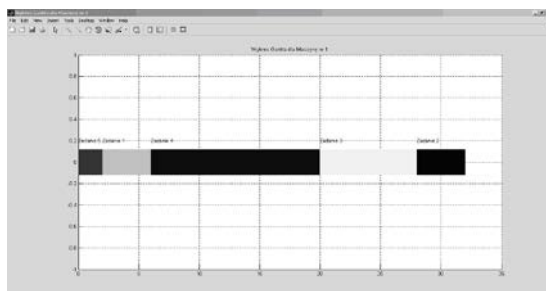


Rys. 4. Wprowadzanie danych do programu



Rys. 5. Macierz czasów poszczególnych zadań stworzona w Matlabie

Elementy stworzonej macierzy są ze sobą porównywane zgodnie z przyjętym algorytmem, a następnie rozdzielane na grupę czasów zadań realizowanych na maszynie nr 1 oraz maszynie nr 2. Taka klasyfikacja zadań oraz odpowiednie ich uszeregowanie daje rezultat w postaci optymalnej sekwencji realizacji zadań, która przedstawiona zostaje użytkownikowi w postaci uszeregowanej listy zadań. Następnie program generuje wykresy Gantt'a przedstawiające realizację zadań na poszczególnych maszynach (rys. 6).



Rys. 6. Wygenerowany wykres Gantt'a

Uzyskane dane można wyeksportować do pliku tekstowego w celu ich dokładnej analizy. Wykonanie opracowanego programu jest możliwe dzięki całej paletce funkcji dostępnych w pakiecie Matlab. Interakcja w użytkownikiem możliwa jest za pomocą funkcji *disp* oraz *input*. Pierwsza z nich pozwala wyświetlać wszelkiego rodzaju komunikaty informujące użytkownika o postępach programu, natomiast druga z funkcji służy do pobierania danych (czasów realizowanych zadań) oraz zapisywaniu ich jako zmiennych, z których zostanie utworzona macierz czasów. Tworzenie macierzy odbywa się poprzez zastosowanie typowego polecenia Matlab – $T = [element1, element\ 2, \dots]$. W celu utworzenia kolejnego wiersza macierzy, elementy pierwszego i drugiego wiersza oddziela się za pomocą znaku „;”. Kolejnym elementem jest odnajdywanie operacji o najkrótszych czasach wykonania. Proces ten odbywa się poprzez porównywanie elementów znajdujących się w poszczególnych kolumnach macierzy. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu funkcji warunkowej *if*, która następnie za pomocą polecenia *horzcat* dodaje elementy do odpowiednich macierzy (macierzy czasów zadań realizowanych na maszynie nr 1, bądź macierzy czasów zadań realizowanych na maszynie nr 2). Dane w odpowiednich macierzach są następnie sortowane rosnąco za pomocą funkcji *ascend* oraz malejąco za pomocą funkcji *descend*. Określenie kolejności wykonania zadań jest następnie wyświetlana za pomocą instrukcji warunkowej *switch* oraz polecenia *disp*. Kolejnym etapem wykonywania programu jest generowanie wykresów. Funkcja *figure* pozwala w oknie graficznym Matlab wyświetlić wykresy Gantt’a dla maszyny nr 1 oraz maszyny nr 2. W oknie graficznym znajdują także zastosowanie funkcje: *title* – wyświetlająca tytuły wykresów, *text* – pozwalająca opisać poszczególne dane na wykresie, *line* – interpretująca długość trwania operacji. Eksport obliczeń oraz danych do pliku tekstowego umożliwia funkcja *diary*.

Jak możemy zauważyć pakiet Matlab znajduje zastosowanie w szeregowaniu zadań produkcyjnych. Przedstawiony przykład rozwiązuje problem o stosunkowo niedużej złożoności obliczeniowej, jednak możliwości pakietu pozwalają na analizę również bardziej złożonych zagadnień, poprzez stosowanie innych funkcji oraz algorytmów.

6. Wnioski

Współczesny, burzliwy rynek wymusza na przedsiębiorstwach elastyczność oraz sprawność realizowanych procesów wytwarzania. Przedsiębiorstwa muszą być zorientowane na klienta i spełniać jego (niejednokrotnie bardzo złożone) potrzeby. W celu realizacji stawianych wymagań należy korzystać z optymalizacji produkcji, która możliwe jest m. in. dzięki jej odpowiedniemu harmonogramowaniu (szeregowaniu zadań produkcyjnych). Proces ten jednak związany jest z występowaniem wielu problemów różnorodnej natury. W celu zniwelowania oraz usunięcia powstających problemów stosuje się różnorodne

metody szeregowania zleceń produkcyjnych. Metody te dzieli się ze względu na sposób rozwiązywania danego problemu. Metody opierają się na odpowiednich algorytmach poszukujących optymalnych rozwiązań. Rozwiązania problemów mają niejednokrotnie bardzo dużą złożoność obliczeniową, przez co otrzymanie wyniku jest często dość trudne i czasochłonne. Dlatego też jako pomoc stosuje się maszyny cyfrowe. Wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania komputerowego pomaga usprawnić proces szeregowania zadań produkcyjnych oraz jego optymalizację. Pakiet Matlab z pewnością należy do grupy oprogramowania, które jest pomocne w procesie harmonogramowania produkcji.

LITERATURA

1. Herka W., Sewastianow P.: Szeregowanie zadań na jednej maszynie (aspekt wąskiego gardła) w warunkach niepewności rozmyto-interwałowej. Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, Częstochowa.
2. Herma S.: Harmonogramowanie linii montażowej jako element projektowania Cyfrowej Fabryki. Informatyczne Systemy Zarządzania, t. 2, 2011, str. 52-65.
3. Kamińska A., Pińczyk B.: Ćwiczenia z Matlab. Przykłady i zadania. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa, 2002.
4. Kęsy M.: Techniki planowania i sterowania produkcją. Zarządzanie procesami produkcyjnymi w przedsiębiorstwie, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2011.
5. Klimek M.: Predyktywno-reaktywne harmonogramowanie produkcji z ograniczoną dostępnością zasobów. Kraków, 2010.
6. Louis J. S., Xu Z.: Genetic Algorithms for Open Shop Scheduling and Re-Scheduling. Department of Computer Science. University of Nevada, str. 2.
7. Makuchowski M., Tyński A.: Automatyczna mutacja w algorytmach ewolucyjnych. Automatyka, t. 13, z. 2, 2009, str. 443-452.
8. Muhammad A. S., Deris S.: An artificial immune system for solving production scheduling problems: a review. Artificial Intelligence Review, Volume 39, Issue 2, str. 97-108.
9. Nowicki E., Makuchowski M.: Metoda wstawień w klasycznych problemach szeregowania - cz. I - problem przepływowy. Instytut Cybernetyki Technicznej, Politechnika Wrocławska, s. 1-3.
10. Pająk E.: Zarządzanie produkcją – produkt, technologia, organizacja. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
11. Pawlak M.: Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.

USES MATLAB TO SCHEDULING PRODUCTION TASKS

Abstract

The paper presents the issues related to the scheduling of production tasks. First of all the definition of production scheduling and benefits of production scheduling were outlined. Secondly, problems in production scheduling and their division were presented. In addition methods and algorithms for solving typical problems of production scheduling were described. In the final part of the paper the solution of the simple optimization problem by means of Matlab was described.

Keywords: production scheduling, scheduling problems, scheduling methods, MATLAB, scheduling optimization.

ZASTOSOWANIE MATLABA W SZEREGOWANIU ZADAŃ PRODUKCYJNYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z szeregowaniem zadań produkcyjnych. Podano definicję harmonogramowania produkcji, a także przedstawiono korzyści wynikające z szeregowania zadań produkcyjnych. Przedstawiono także problemy związane z harmonogramowaniem produkcji oraz ich podział. Zaprezentowano metody oraz algorytmy pozwalające rozwiązywać typowe problemy szeregowania zadań produkcyjnych. Ponadto zaprezentowano możliwość zastosowania pakietu Matlab w harmonogramowaniu produkcji. Przedstawione zostało rozwiązanie prostego problemu optymalizacyjnego za pomocą pakietu Matlab.

Słowa Kluczowe: harmonogramowanie produkcji, problemy harmonogramowania, metody harmonogramowania, MATLAB, optymalizacja harmonogramowania.

Mgr inż. Łukasz SOBASZEK
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: sobaszek@poczta.onet.pl

Dr inż. Arkadiusz GOLA
Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: a.gola@pollub.pl

ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM RECYKLINGU MECHANICZNEGO

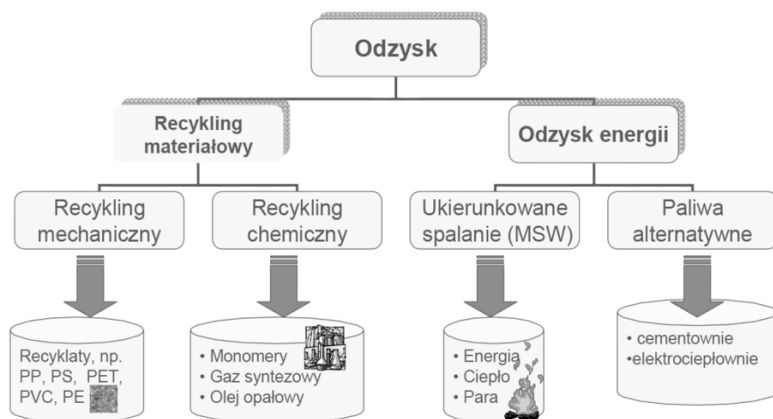
Wstęp

Propagowana obecnie strategia zrównoważonego rozwoju, która ma na celu spowolnienie procesu wyczerpywania się zasobów surowcowych i energetycznych oraz nieodwracalnych zmian w środowisku naturalnym Ziemi zakłada wykorzystanie dwóch docelowych modeli rozwoju cywilizacji człowieka. Pierwszy z nich to zamknięty układ wytwarzania i konsumpcji dóbr, wymieniający z otoczeniem tylko energię. W tym systemie wszystkie dobra konsumpcyjne są wykonane z materiałów, które po zakończeniu ich cyklu życia mogą zostać poddane powtórnemu przetworzeniu. Drugi model to układ, w którym wszystkie materiały konstrukcyjne są pochodzenia odnawialnego i degradowane przez naturę [1]. Wymienione modele wydają się być nierealne, zawierają jednak elementy, które muszą być uwzględnione podczas tworzenia strategii rozwoju współczesnego świata. Najważniejsze z nich to:

- konieczność zwiększania udziału źródeł odnawialnych w pozyskiwaniu surowców i nośników energii, nie tylko w celu oszczędzania dotychczasowych źródeł nieodnawialnych i ograniczenia zniszczeń w środowisku naturalnym, ale także w celu uzupełnienia coraz bardziej niekorzystnego bilansu energetycznego,
- dążenie do wielokrotnego wykorzystania materiałów i energii,
- oszczędzanie surowców i energii szczególnie poprzez wytwarzanie dóbr o dużej trwałości.

Z przyczyn ekonomicznych oraz z powodu dbałości o środowisko naturalne dąży się do osiągnięcia jak największego poziomu odzysku surowców z tworzyw sztucznych [2]. Jest to możliwe do zrealizowania na kilka sposobów (rys. 1.), najczęściej stosowane to:

- recykling materiałowy,
- odzysk energii.



Rys. 1. Schemat technologii odzysku tworzyw sztucznych

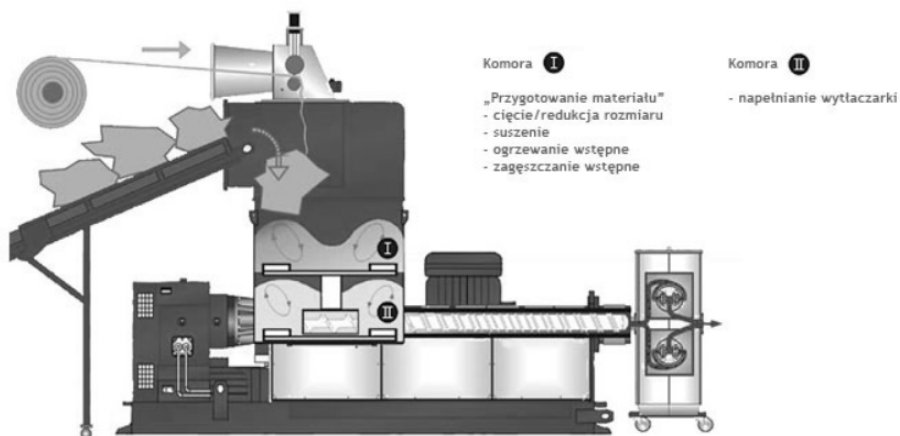
Recykling mechaniczny polega najczęściej na rozdrobnieniu zużytych tworzyw sztucznych do postaci regranulatu lub recyklatu nadających się do ponownego przetworzenia. Struktura chemiczna tworzywa pozostaje niemal niezmieniona. Skrócone łańcuchy polimerów pozwalają na zastosowanie regranulatu zmieszanego z surowcem pierwotnym jako pełnowartościowego materiału do produkcji nowych wyrobów.

Recykling chemiczny (surowcowy) oznacza rozkład tworzywa pod wpływem temperatury lub w następstwie reakcji chemicznej na składniki podstawowe, z których powstaje tworzywo. Otrzymane w ten sposób substancje chemiczne to przede wszystkim ciekłe węglowodory lub gazy, z których następnie można wyprodukować nowe tworzywa lub inne surowce chemiczne. Recykling surowcowy to rozwiązanie w przypadku zmieszanych różnych rodzajów tworzyw lub odpadów zanieczyszczonych innymi substancjami.

Odzysk energii oznacza spalanie odpadów z tworzyw sztucznych z równoczesnym produkowaniem energii, którą można wykorzystać w produkcji ciepła czy energii elektrycznej albo w innych procesach technologicznych wymagających dużej ilości ciepła. Odzysk energii stosuje się głównie dla bardzo zanieczyszczonych odpadów z tworzyw sztucznych.

1. Recykling mechaniczny

W wyniku procesu recyklingu materiałowego, którego schemat przedstawiono na rys. 2. powstają rozdrobnione do niewielkich rozmiarów cząstki, które w zależności od potrzeb są czyszczone i rozdzielane na różne frakcje. Tak rozdrobniony i posortowany materiał nosi nazwę regranulatu.



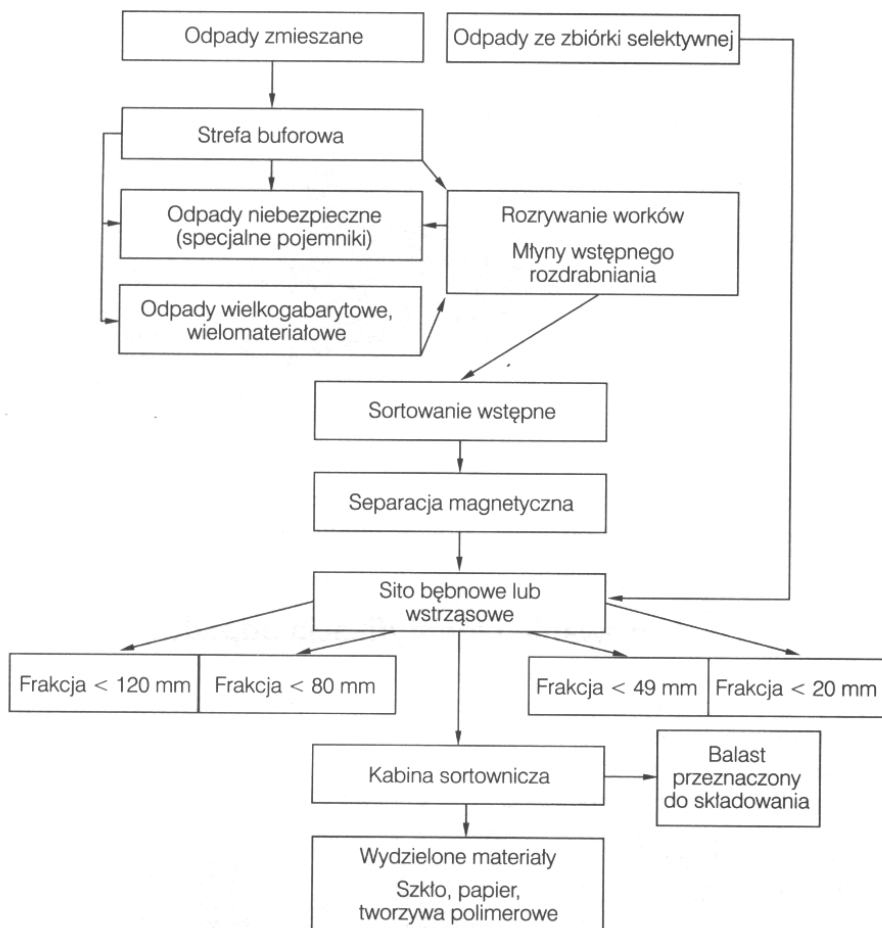
Rys. 2. Schemat procesu wytwarzania regranulatu

Warunkiem prowadzenia recyklingu mechanicznego jest zachowanie czystości i jednorodności tworzywa wchodzącego do procesu. Przykładem takiego procesu jest recykling zużytych butelek, folii przemysłowych czy ram okiennych. Warunkiem opłacalności tego typu procesu jest stosowanie właściwej selekcji odpadów tak aby całkowite nakłady poniesione na proces odzysku były niższe od kosztów zakupu lub wytworzenia nowej partii tworzywa.

Sortowanie i identyfikacja odpadów jest najważniejszym etapem w procesie utylizacji i od jej efektów zależy ilość materiałów nadających się do recyklingu oraz przeznaczonych do składowania. Ogólny proces sortowania przedstawiono na schemacie (rys. 3).

Ważnym problemem w procesie sortowania jest usunięcie ze strumienia odpadów wszelkiego rodzaju wyrobów z metali żelaznych i nieżelaznych. W pierwszym etapie usuwa się z wszystkie wyroby z metali żelaznych. W tym celu stosuje się separatory magnetyczne. Działanie separatorów jest oparte na wykorzystaniu właściwości magnetycznych materiałów. Urządzenia te są stosowane do wychwytywania cząstek o wielkości poniżej 5 mm, przy czym w zależności od miejsca zainstalowania urządzenia istnieje możliwość wychwytywania także mniejszych cząstek.

Separatory metali nieżelaznych są przeznaczone do oddzielania ze strumienia odpadów takich metali jak: aluminium, miedź, ołów i cynk. Separacja tych metali odbywa się za pośrednictwem prądów wirowych wytworzonych w metalu przez pole magnetyczne wirujące z dużą prędkością. Prądy wirowe indukują w metalu nieżelaznym pole magnetyczne skierowane przeciwnie do pola głównego, co powoduje odpychanie metalu i wyrzucenie go na zewnątrz poza strumień sortowanych odpadów.

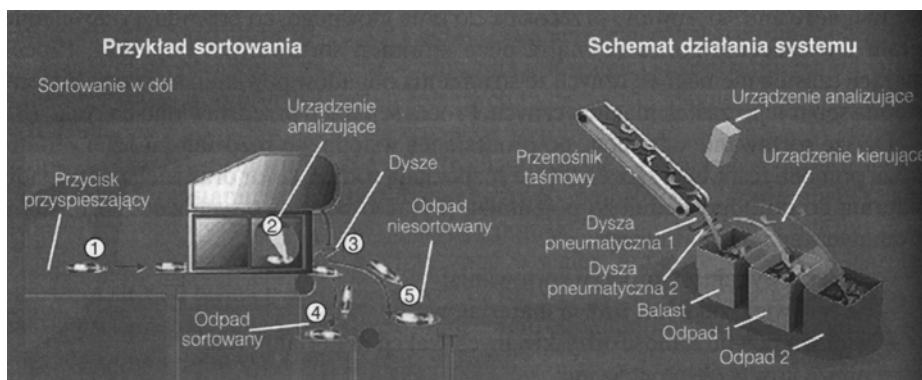


Rys. 3. Schemat sortowania odpadów [1]

Dalsze sortowanie odpadów, po procesie ich wstępnego rozdziału, można prowadzić za pomocą zespołu urządzeń, które rozpoznają rodzaj, kolor oraz wielkość odpadu i skierują go do odpowiedniego pojemnika. Do podstawowych zalet sortowania automatycznego można zaliczyć:

- większą wydajność procesu sortowania,
- odzysk większej ilości frakcji materiałowych,
- większą powtarzalność odzyskiwanych frakcji materiałowych,
- niższy koszt eksploatacji,
- większe bezpieczeństwo pracy związany z brakiem bezpośredniego kontaktu pracownika z sortowanym odpadem.

W procesie sortowania ręcznego jakość oraz ilość odzyskiwanych materiałów zależy od pracy osób sortujących. Natomiast wydajność procesu sortowania automatycznego uzależniona jest od prędkości transportera, wstępnego przygotowania odpadów, rozmieszczenia odpadów na taśmie, szybkości procesu rozpoznania i usuwania odpadu [3]. Schemat działania systemu sortowania automatycznego zilustrowano na rys. 4.



Rys. 4. Schemat procesu sortowania automatycznego [1]

Proces zautomatyzowanego sortowania na ogół obejmuje [4]:

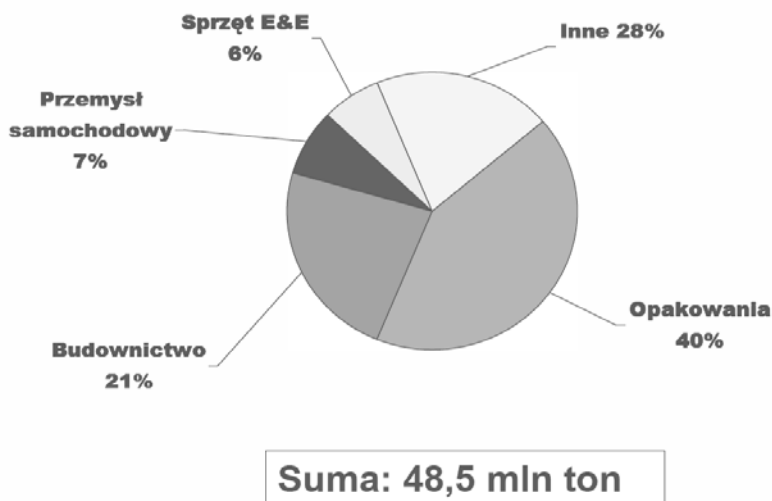
- przygotowanie odpadów,
- podział na frakcje,
- separację metali żelaznych i nieżelaznych,
- separację pneumatyczną polegającą na odsysaniu lekkich frakcji,
- separację balistyczną,
- sortowanie według rodzaju odpadu w podczerwieni.

W procesie sortowania odpadów ważnym etapem jest ich identyfikacja [5]. Większość opisanych w literaturze metod nie znalazła jednak zastosowania z uwagi na duże koszty ich wdrożenia. To powoduje, że nadal poszukuje się metod separacji, których zastosowanie będzie opłacalne dla danych rodzajów odpadu.

2. Procesy recyklingu w przedsiębiorstwie przemysłowym

W przedsiębiorstwach przemysłowych występuje szereg odpadów. Jednym z nich są odpady powstałe w skutek wykrycia wad w produkowanych wyrobach i konieczności utylizacji produktu. Wzrost produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych wymusza konieczność podejmowania określonych działań zmierzających do jak największego wykorzystania odpadów produkcyjnych w procesie tworzenia nowych wyrobów [6].

Jak wynika z przedstawionej analizy (rys. 5) zużycia tworzyw przez poszczególne sektory gospodarki znaczący udział przypada na przemysł motoryzacyjny. Należy tu zauważyć, że w przypadku przemysłu motoryzacyjnego szereg części jest projektowanych tak aby zapewnić możliwość ich recyklingu.



Rys. 5. Zużycie tworzyw sztucznych w sektorach gospodarki [7]

W ramach prac rozwojowym badaniom poddano możliwość poddania recyklingowi systemów paliwowych pojazdów w tym zbiorników paliwa. Głównym problemem utrudniającym stosowanie zautomatyzowanych procesów technologicznych recyklingu jest gabaryt tych elementów szczególnie zbiorników i ich złożona budowa. Generalnie można przyjąć, że z uwagi na wielkość tego typu elementy należy rozdrobnić. W procesie rozdrabniania stosuje się:

- młyny do odpadów,
- urządzenia rozdrabniające i aglomerujące.

Istotny wpływ na sposób rozdrobnienia ma postać odpadu, ilość rodzaj materiału, jego cechy fizyczne, takie jak sztywność, kruchość, elastyczność oraz dalsze przeznaczenie.

W przypadku branży przemysłu motoryzacyjnego związanego z wytwarzaniem systemów paliwowych najczęściej stosowanym materiałem jest polietylen (PE-HD) [8]. Polietylen jest giętki, woskowaty, przezroczysty, termoplastyczny. Traci elastyczność pod wpływem światła słonecznego i wilgoci [9].

Podczas produkcji systemów paliwowych wykorzystuje się polietylen PE-HD przy czym do produkcji korpusu zbiornika wykorzystuje się technologię wielowarstwową w celu polepszenia właściwości wyrobu.

W skład warstwy zbiornika wchodzi:

C: zewnętrzna warstwa PE-HD,

A: warstwa regranulatu,

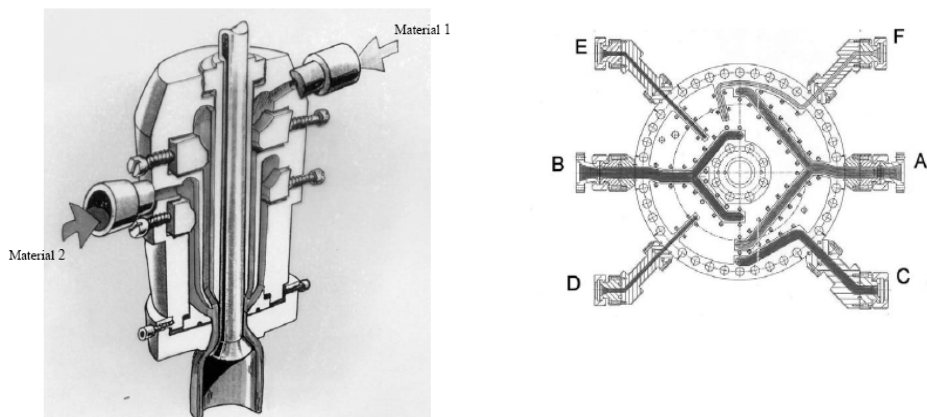
D: zewnętrzna warstwa adhezyjna,

F: EVOH,

E: wewnętrzna warstwa adhezyjna,

B: wewnętrzna warstwa PE-HD,

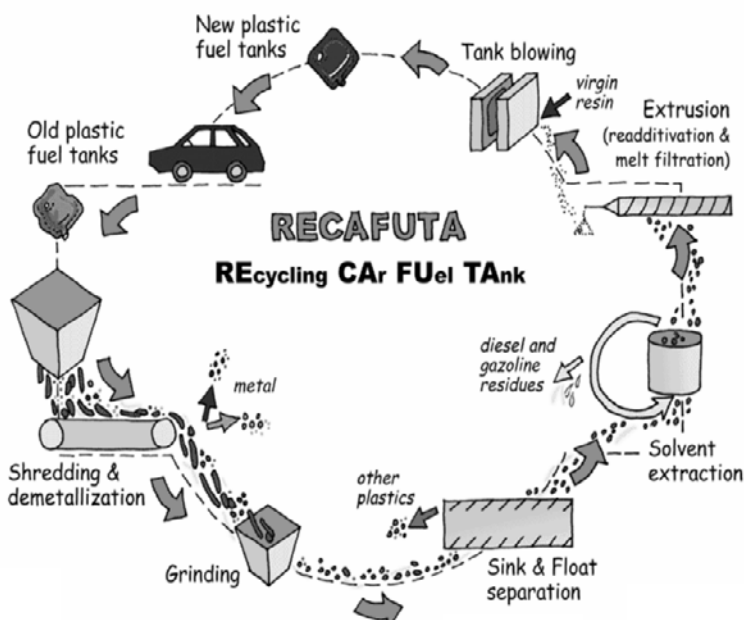
Schemat głowicy do współwytłaczania wyrobów o takiej strukturze przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat głowicy do współwytłaczania sześciu warstw polimeru

Komponenty przyłączane do elementu bazowego wykonane są najczęściej z jednolitego polietylenu przy czym w wielu przypadkach w ich skład wchodzi metalowe elementy. W wyniku procesu wytłaczania i procesów obróbki w tym zgrzewania powstają półprodukty systemu paliwowego.

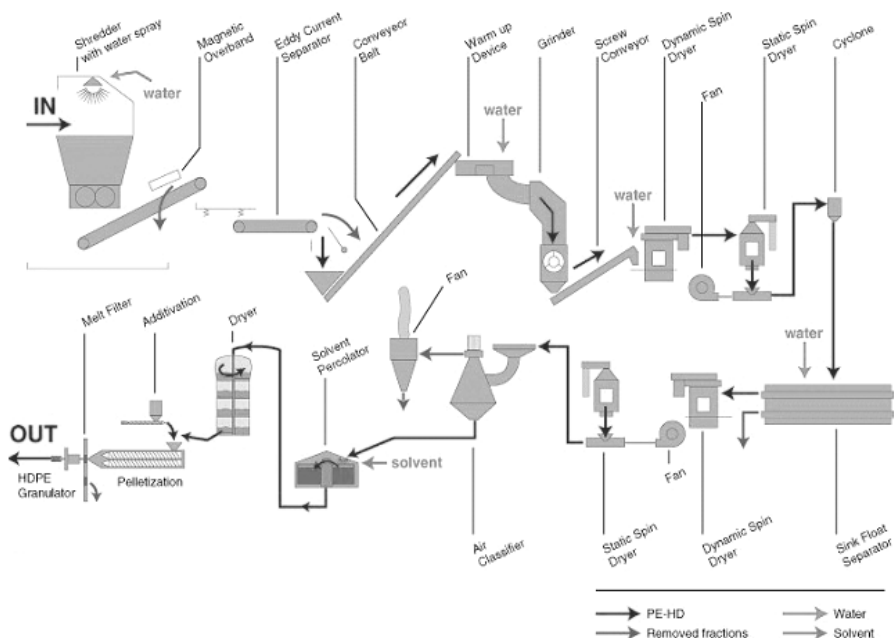
Wykorzystanie do produkcji zbiornika regranulatu sprawia, że przedsiębiorstwa chętnie stosują własne linie produkcji tego surowca. Technologia wytwarzania regranulatu jest oryginalna ze względu na zastosowane rozwiązania techniczne i technologiczne, które podwyższają jakość granulatu, można go traktować jako pełnowartościowy produkt nadający się do przetwórstwa konwencjonalnymi technikami przetwórstwa (wtryskiwanie i wytłaczanie) – regranulat jest pozbawiony zanieczyszczeń mechanicznych, jak również wtrąceń gazów w postaci pęcherzy. Aby móc osiągnąć odpowiedni produkt niezbędne jest usunięcie z wykorzystywanych do jego produkcji odpadów metalu i innych substancji zgodnie z przedstawionym na rys. 7 schematem.



Rys. 7. Schemat odzysku tworzyw termoplastycznych z systemów paliwowych pojazdów

W celu wytworzenia regranulatu z materiałów odpadowych w tym z wadliwych produktów niezbędne jest zastosowanie linii produkcyjnej zaprezentowanej na rys. 8. Koszt zakupu i eksploatacji dla przedsiębiorstw wytwórczych jest najczęściej zbyt duży w stosunku do osiąganych korzyści dlatego też takie linie stosują wyłącznie przedsiębiorstwa zajmujące się wyłącznie recyklingiem i wytwarzaniem regranulatu.

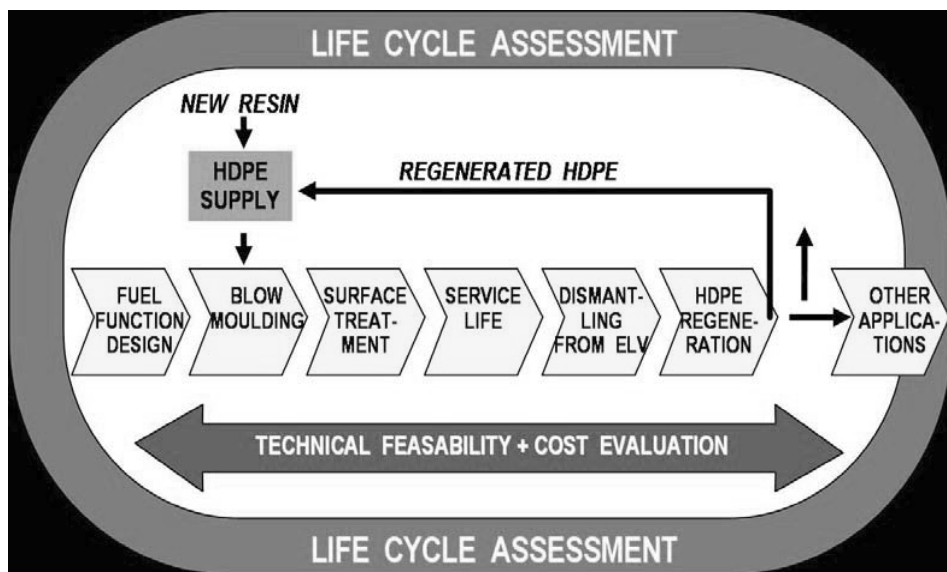
Dla potrzeb przedsiębiorstwa zajmującego się wytwarzaniem wyrobów z tworzyw sztucznych potrzebne są tańsze i prostsze rozwiązania. Takim rozwiązaniem jest zastosowanie ręcznej separacji materiałowej. Takie podejście gwarantuje otrzymanie jednolitego i czystego materiału wejściowego, który po przemienieniu jest pełnowartościowym regranulatem. Pozostała część surowca stanowiąca mieszaninę polietylenu metalu i innych surowców przekazywana jest do firm posiadających odpowiednie wyposażenie pozwalające na ich rozdzielanie. Niestety operacja rozdzielania ręcznego jest czasochłonna i niebezpieczna dla pracowników. Wiąże się ona z wykorzystaniem do tego procesu narzędzi mechanicznych, a w wyniku ich działania powstaje pył przed, którym muszą być chronieni pracownicy.



Rys. 8. Schemat procesu technologicznego recyklingu zbiorników paliwa

3. Zrobotyzowany system separacji odpadów z PE-HD

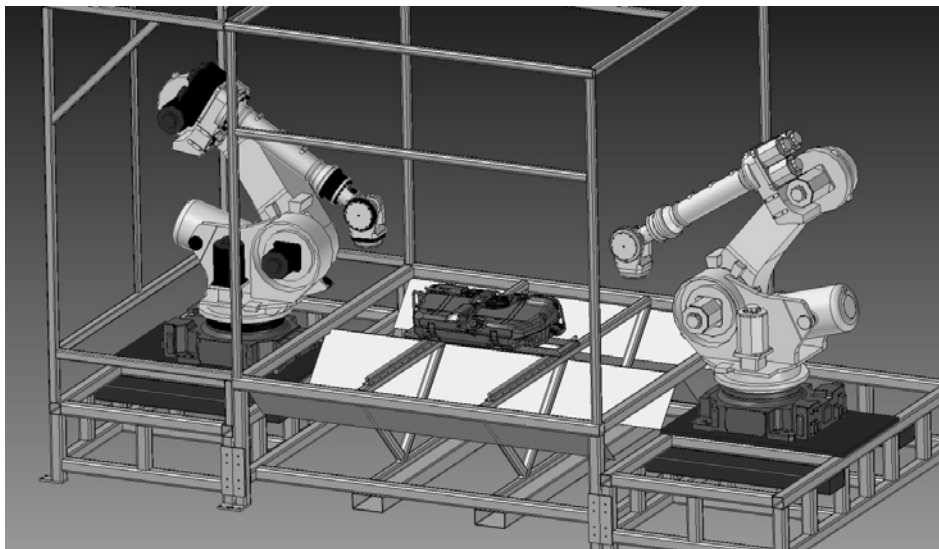
Z analizy problemu prezentowanego w poprzednim rozdziale pracy wynika, że do poprawy opłacalności odzyskiwania tworzyw termoplastycznych, a tym samym wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw zajmujących się ich wytwarzaniem niezbędne jest stosowanie prostych i tanich rozwiązań, które pozwolą przedsiębiorstwom na samodzielne odzyskiwanie surowców. Dotychczas bardzo często tego typu prace były realizowane ręcznie co nie zawsze dawało możliwość znacznego obniżenia kosztów wytwarzania. Tego typu rozwiązanie może być stosowane wówczas gdy dotyczy to małych ilości surowców, a koszty ich składowania i transportu do przedsiębiorstw utylizujących są duże. W przypadku polietylenu, a szczególnie wytwarzania polietylenu z dodatkiem regranulatu zalecane jest stosowanie zautomatyzowanych układów umożliwiających bezpośredni odzysk części surowca, który po przemieleniu wprowadzany jest ponownie do produkcji. Schemat takiego cyklu przedstawia rys. 9.



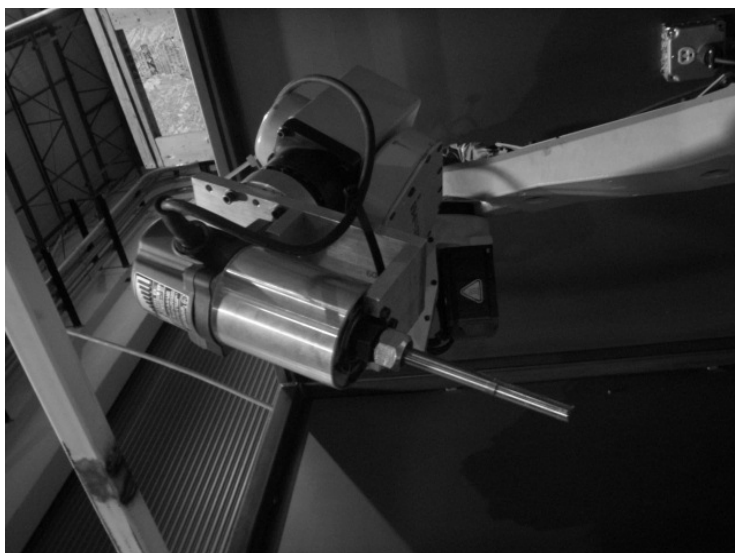
Rys. 9. Schemat życia produktu w przedsiębiorstwie

W oparciu o przeprowadzoną analizę efektywności i kosztów należy stwierdzić, że w obecnym czasie najlepszym sposobem rozwiązaniem jest stosowanie w systemach produkcyjnych robotów przemysłowych [10]. Na rys. 10 przedstawiono przykładową aplikację robotów przemysłowych do rozdzielania elementów zawierających inne materiały od polietylenowego korpusu. Zastosowanie w prezentowanym rozwiązaniu dwóch robotów jest związane z wielkością zbiorników paliwa. Przy czym w zależności od gabarytów i wymaganej wydajności może być stosowany jeden robot lub robot umieszczony na szynie prowadzącej co znacząco zwiększa zakres jego działania. Roboty te należy wyposażać w głowice robocze. Na rys. 11. przedstawiono głowicę, którą można wykorzystać w przypadku separacji materiałowej w produktach wielkogabarytowych.

Prezentowane na rys. 10. rozwiązanie umożliwia poddawanie obróbce zbiorników różnych typów co sprawia, że stanowisko jest funkcjonalne i elastyczne. W obszarze roboczym robotów można umieścić zbiorniki o dowolnej geometrii, a w przypadku konieczności ich obróbki w czwartej osi możliwe jest zastosowanie stołu obrotowego zapewniającego obrót zbiornika w osi poziomej lub pionowej. Wybór ostatecznego rozwiązania zależy od złożoności problemu jaki występuje w procesie obróbki. Należy tu zauważyć, że możliwy jest również proces automatyzacji demontażu gabarytowo małych wyrobów, istnieją bowiem techniczne możliwości zastosowania handlowych układów, które mogą zostać wykorzystane do prezentowanego rozwiązania.



Rys. 10. Przykładowa aplikacja robotów przemysłowych do procesu recyklingu



Rys. 11. Głowica robocza przystosowana do pracy z robotem

4. Podsumowanie

Procesy odzysku tworzyw sztucznych stosowanych przez przedsiębiorstwa są opłacalne wyłącznie wtedy kiedy koszt ich pozyskania jest niższy od kosztów zakupu nowych surowców. Obecnie obowiązujące strategie w dziedzinie gospodarowania zasobami wskazują konieczność pozyskiwania jak największej

ilości materiałów z odzysku. To powoduje, że przedsiębiorstwa szukają możliwości stosowania technologii, które nie wpłyną na cenę produktu powiększając ją ale pozwolą na jej zmniejszenie. Jednym z takich rozwiązań jest proponowane w opracowaniu stosowanie uproszczonych technologii pozyskiwania surowców dla własnych potrzeb przetwórczych w tym produkowania regranulatów. Nowe innowacyjne podejście daje możliwość rozwoju przedsiębiorstwa poprzez obniżenie kosztów wytwarzania oraz zmniejszenie zaangażowania pracy ludzkiej w niebezpiecznych dla środowiska operacjach. Stosowanie elastycznych systemów wytwarzania w tym pozyskiwania surowców wydaje się być właściwym kierunkiem rozwoju.

Procesy recyklingu prezentowane w opracowaniu znacząco różnią się od informacji literaturowych poświęconych automatyzacji procesu [12]. Dotyczą bowiem separacji materiałów połączonych nierozłącznie, dla których tradycyjne metody demontażu nie mają zastosowania. Należy tu też zauważyć, że zastosowanie nowego rozwiązania pozwala na znaczące obniżenie czasu realizacji procesu, który dla zbiorników paliwa będzie możliwy do wykonania w ok. 60 s. (czas realizacji zależy od złożoności procesu jaki musi być przeprowadzony) przy obecnym czasie realizacji który jest trzykrotnie dłuższy. Połączenie nowych technologii produkcyjnych z ekologią w prezentowanym rozwiązaniu pozwoli przedsiębiorstwom zajmujących się przetwórstwem tworzyw na osiągnięcie dodatkowych korzyści.

LITERATURA

1. Kijeński J., Błędzik A. K., Jeziórska R.: Odzysk i recykling materiałów polimerowych. PWN SA, Warszawa 2011.
2. Wójcik P.: Odzysk odpadów z tworzyw sztucznych. Odpady i Środowisko, Nr 4/2011 15.
3. Błędzik A. K. (red): Recykling materiałów polimerowych. WNT, Warszawa, 1997.
4. Brandrup J., Brittner M., Menges G., Muchaeli W.: Recykling and Recovery of Plastics. Hanser Publishers, Munich, 1996.
5. Scheirs J., Kaminsky W.: Feedstock Recycling and pyrolysis of waste plastics. John Wiley & Sons, Ltd 2006.
6. Rusik-Dulewka Cz.: Aktualny stan gospodarki odpadami w Polsce i perspektywy zmian. Materiały konferencyjne II Ogólnopolskiego Kongresu Inżynierii Środowiska , tom 3.
7. Plastic Europe Market Research Group (PEMRG), 2008.
8. Sikora R.: Wprowadzenie do przetwórstwa tworzyw polimerowych - projekt leksykonu naukowo-technicznego. Wydawnictwo Wadim Plast Sp.J., Lublin 2002.
9. Rabek J. F., Marciniak M.: Współczesna wiedza o polimerach. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
10. Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. WNT, Warszawa 2010.
11. Szalatkiewicz J.: Zrobotyzowany demontaż odpadów zużytego sprzętu elektrycznego elektronicznego w celu odzysku surowców. Pomiary Automatyka Robotyka, 2011.

AUTOMATED SYSTEM FOR MECHANICAL RECYCLING

Abstract

Information regarding methods of recycling materials from parts manufactured with defects in the technological processes were introduced in the paper. The paper focuses on recycling materials that can be successfully introduced in productive companies by applying mechanical separation systems. The analysis of possible automation of recycling processes of materials to be re-used in production process on the example of manufacturing the vehicle fuel system was presented together with the analysis of its efficiency. The innovative automated solution of the mechanical separation system designed in order to simplify the process of the plastic granules production was presented.

Keywords: recycling, plastics, automation

ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM RECYKLINGU MECHANICZNEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono informacje na temat metod odzyskiwania materiałów z wadliwych wyrobów powstałych w trakcie procesów technologicznych. Szczególną uwagę zwrócono na recykling materiałowy, który z powodzeniem może być realizowany w przedsiębiorstwie produkcyjnym po zastosowaniu mechanicznych układów separujących. Zaprezentowano analizę możliwości automatyzacji procesów odzyskiwania surowców w celu powtórnego ich wykorzystania w produkcji na przykładzie produktów systemu paliwowego pojazdu wraz z analizą jego efektywności. Zaprezentowano innowacyjne zautomatyzowane rozwiązanie separacji mechanicznej służące obniżeniu kosztów produkcji regranulatu.

Słowa kluczowe: recykling, tworzywa sztuczne, automatyzacja

Dr inż. Jacek DOMIŃCZUK
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
tel. 0815384585
e-mail: j.dominczuk@pollub.pl

ANALIZA MATEMATYCZNO – FIZYCZNA CIEPLNYCH KOMÓR TECHNICZNYCH

Wstęp

Artykuł przedstawia wyznaczanie modelu matematyczno-fizycznego przejścia ciepła przez zewnętrzną przegrodę cieplnej komory technicznej. Artykuł ma na celu ukazanie efektów energetyczno-ekonomicznych związanych z utrzymaniem określonego reżimu temperaturowego w aspekcie przejścia ciepła przez przegrodę komory technicznej z uwzględnieniem dynamiki zmian temperatury powietrza atmosferycznej zewnętrznego a w konsekwencji tego, dynamiki zmian wektora strumienia ciepła. W zależności od rodzaju i przeznaczenia cieplnej komory technicznej a tym samym od pożądanych warunków cieplnych wewnątrz pomieszczenia, różne będą konstrukcje ścian zewnętrznych jak też i różne będą zapotrzebowania na agregaty chłodzące bądź ogrzewające obiekty techniczne. W przypadku magazynów bądź przechowalni produktów spożywczych a w szczególności owoców, gdzie pożądana temperatura ma zawierać się w przedziale od około zera do kilku stopni Celsjusza powyżej zera – wówczas będzie można skutecznie wykorzystać zmiany temperatury atmosferycznej. Odpowiednio zbudowana przegroda zewnętrzna komory może pozwolić na wytłumienie amplitudy zmian dobowych oscylacji temperatury bądź też nawet rocznych a w konsekwencji zapewnić oszczędności zużycia energii przez zastosowane agregaty.

1. Opis problematyki

Aktualny kryzys energetyczny we wszystkich krajach świata prowadzi do wysiłków mających na celu uzyskanie oszczędności energii. Oszczędności te poszukiwane są wśród największych użytkowników – zakładów produkcji przemysłowej jak również w dziedzinach nieprodukcyjnych wśród, których dużą część energii zużywają cieplne komory techniczne a to w procesach ogrzewania, chłodzenia lub klimatyzacji. Pod nazwą cieplne komory techniczne (CKT) rozumie się różne składy bądź magazyny przeznaczone zarówno jak do przechowywania produktów spożywczych tak i do wyrobów przemysłowych, chłodnie składowe i podobne im obiekty, u których nie ma okien lub występuje jedynie minimalna powierzchnia przeszklona.

Problem badania i rozwiązywania problemów przejścia ciepła tych cieplnych komór technicznych był do niedawna wyznaczany tylko stacjonarnie, to znaczy, że obiekty a zwłaszcza ich ściany obwodowe, analizowane były ze względu na opory przy stacjonarnym strumieniu ciepła. Badane temperatury objawiały się na wewnętrznej i zewnętrznej warstwie ściany ewentualnie na granicach poszczególnych warstw.

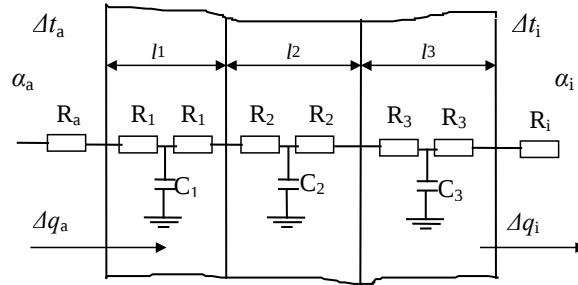
Uzyskane wyniki umożliwiały kontrolę tych temperatur z różnych technicznych punktów widzenia, tak jak np. ze względu na żądanie, aby temperatura przegrody pod wewnętrzną izolacją cieplną nigdy nie spadła poniżej temperatury punktu rosy a tym samym aby nie dochodziło do zawilgocenia ściany. Zawilgocenie materiału przegrody powoduje znaczny spadek wartości termoizolacyjnej ściany oraz przyspiesza proces niszczenia.

Prawdą jest, że już w tym stadium badania można było czynić konkretne wnioski ze względu na optymalizację zużycia energii cieplnej, ponieważ systematyczne badania umożliwiały nie tylko projektować odpowiednią izolację w ścianie zewnętrznej, ale i pozwalały uzyskać przegląd na temat przenikania wilgoci przez izolację cieplną do ściany a tym samym o wpływie strumienia cieplnego na tą wilgoć.

Przy badaniu tym okazało się, że dotychczas stosowane metody pomiaru temperatury wewnętrznej cieplnej komory technicznej są w większości przypadków niewystarczające dlatego, że podają wyłącznie temperaturę konwekcyjną pomieszczenia wewnętrznego, która nie daje żadnego obrazu o działaniu składowej promieniowania na ułożony w pomieszczeniu towar (szczególnie jeżeli chodzi o chłodnie czy magazyny produktów spożywczych).

2. Model matematyczno- fizyczny cieplnej komory technicznej

Do modelowania matematyczno-fizycznego zastosowano analogię Elektryczną wykorzystując prawa Ohma i Kirchhoffa. Rozpatrywane obiekty zastąpiono obiektami liniowymi z parametrami skupionymi w ten sposób, że przez zastosowanie analogii elektrycznej ściana bez względu na liczbę warstw jest uważana jako czwórnik RC. Modele typu RC oparte są na założeniu nieskończenie wielkiej prędkości rozchodzenia się zaburzenia cieplnego, a więc i elektrycznego. Tego rodzaju analogie termo-kinetyczno-elektryczne zostały wykorzystane do analizy układów RC, których rozwiązanie przeprowadzono przy pomocy metody operatorowej. Pole temperatur i pole potencjałów elektrycznych są opisywane takimi samymi równaniami zarówno w stanie ustalonym jak i nieustalonym. To matematyczne podobieństwo wykorzystano do symulacji procesów termo kinetycznych na modelach elektrycznych. Wyznaczone wielkości pozwolą określić funkcje przejścia tzw. transmitancje, powiązane z dynamiką zmian temperatury zewnętrznej bądź ogrzewania wnętrza komory cieplnej. Przykładowo dla ściany złożonej z trzech warstw materiałów (rys. 1) model matematyczno-fizyczny będzie:



Rys. 1. Model ściany trójwarstwowej

Oznaczenia:

$$\Delta t_a(\tau)[K]$$

– zmiana w czasie temperatury zewnętrznej.

$$\Delta t_i(\tau)[K]$$

– zmiana w czasie wewnętrznej komory.

$$\alpha_a \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

– współczynnik przejmowania ciepła przez ścianę.

$$\alpha_i \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

– współczynnik przejmowania ciepła przez komorę cieplną.

$$\Delta q_a(\tau) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

– zmiana strumienia cieplnego wchodzącego w ścianę.

$$\Delta q_i(\tau) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

– zmiana strumienia cieplnego wchodzącego do komory cieplnej

$$\lambda_1 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

– współczynnik przewodzenia ciepła przez ścianę.

$$c_{w1} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

– ciepło właściwe materiału ściany.

$$\rho_1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

– gęstość materiału ściany.

$$l[m]$$

– szerokość ściany.

$$C \left[\frac{J}{m^2 \cdot K} \right]$$

– pojemność cieplna ściany w odniesieniu do $1m^2$.

$$\tau[sek]$$

– oznacza czas.

Ściana nie tylko przewodzi ciepło lecz również akumuluje w zależności od rodzaju użytych materiałów oraz ich uwarstwienia – energię cieplną. Zjawisko to stanowi analogię do kondensatora o pewnej pojemności, w którym następuje gromadzenie się ładunku. Inną elektryczną analogią w procesie przejścia ciepła jest opór cieplny ściany oraz opór wynikający ze współczynnika przejmowania ciepła przez przegrodę:

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{\alpha_a} \\ R_i &= \frac{1}{\alpha_i} \end{aligned} \quad (1)$$

α_a, α_i - dane

$$C = c_{w_1} \cdot \rho \cdot l \quad (2)$$

W naszym konkretnym przypadku dotyczącym analizy matematyczno-fizycznej procesów cieplnych i wentylacyjnych obiektu technicznego poszukujemy $\Delta q_a(\tau), \Delta q_i(\tau), \Delta t_i(\tau)$.

Rozwiązań dla układu składającego się z trzech równań uzyskanych z bilansów cieplnych poszukujemy z wykorzystaniem transformacji Laplace'a dla obwodów elektrycznych. Zakładamy, że zależność między temperaturą a strumieniem cieplnym na obu powierzchniach ścian dana jest w postaci liczby zespolonej $p = 1 + j\varpi$.

ϖ - częstotliwość wymuszenia zewnętrznego

Układ uzyskanych trzech równań pozwoli na przedstawienie dowolnych funkcji przejścia umożliwiających sterowanie bądź regulację temperatura wewnątrz komory:

$$\begin{cases} \Delta t_i(p) + 0 \cdot \Delta q_i(p) + (pR_1R_2C + R_1 + R_2) \cdot \Delta q_a(p) = \Delta t_a(1 + pR_2C) \\ 0 \cdot \Delta t_i(p) + 1 \cdot \Delta q_i(p) - (pR_1C + 1) \cdot \Delta q_a(p) = -\Delta t_a \cdot pC \\ (p \cdot T_{m+1})\Delta t_i(p) - \Delta q_i R_i K_z + 0 \cdot \Delta q_a(p) \cdot 0 = \Delta t_a(p) \end{cases} \quad (3)$$

Przykładowe transmitancje wyznaczone dla obiektu złożonego z trójwarstwowej ściany zewnętrznej:

$$\frac{\Delta t_i(p)}{\Delta t_a(p)} = \frac{[R_1 + R_2 + R_i K_z + pR_1R_2]}{p^2 T_m R_1 R_2 C + p[T_m(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C + R_i R_1 C K_z] + (R_1 + R_2 + R_i K_z)} \quad (4)$$

$$\Delta q_i(p) = \frac{\Delta t_a(p) \cdot p[R_1 C - T_m]}{p^2 T_m R_1 R_2 C + p[T_m(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C + R_1 R_i C K_z] + R_1 + R_2 + R_i K_z} \quad (5)$$

$$\Delta q_a(p) = \frac{[p^2 R_2 C T_m + p(R_2 C + T_m + R_i K_z C)] \cdot \Delta t_a(p)}{p^2 T_m R_1 R_2 C + p[T_m(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C + R_1 R_i C K_z] + R_1 + R_2 + R_i K_z} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta q_i(p)}{\Delta q_a(p)} = \frac{p(R_1 C - T_m)}{p^2 T_m R_1 R_2 C + p[T_m(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C + R_1 R_i C K_z] + R_1 + R_2 + R_i K_z} \quad (7)$$

$$[\Delta t_i(p) \Delta q_i(p)] = [\Delta t_a(p) \Delta q_a(p)] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -pC_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -R_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -pC_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -R_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Według tej metody rozwiązanie problemu przejścia ciepła przez przegrodę komory technicznej w odniesieniu do ściany jednorodnej lub wielowarstwowej, sprowadza się do rozwiązania przedstawionych zależności algebraicznych. W równaniach tych występuje dziedziną „s”, która jest wielkością zespoloną, a z tego wynika fakt, że przy ruchu fali temperaturowej przez warstwę materiału możemy wprowadzać do części urojonej częstotliwość a następnie analizować tłumienie amplitudy i przesunięcie fazowe fali zmian temperatury. Zjawiska te można odpowiednio wykorzystać projektując przegrody zewnętrzne w ciepłych komorach technicznych, a w szczególności w pomieszczeniach o specjalnym przeznaczeniu, jak na przykład w przechowalniach produktów spożywczych.

3. Znaczenie ekonomiczne doboru konstrukcji przegrody

W dziedzinie ciepłych komór technicznych przewodzenie ciepła (kondukcja) bezspornie było i jest najbardziej i najwięcej badanym rodzajem przenikania ciepła ponieważ składowa ta ma decydujący wpływ na proces wymiany ciepła zachodzący na przegrodach zewnętrznych pomieszczeń. Nie mogło być inaczej, ponieważ ten rodzaj przenoszenia ciepła w bilansie energetycznym przewyższa inne sposoby przenoszenia to znaczy konwekcję i radiację, które przecież są niemniej ważne.

I dlatego dynamika ciepła magazynów ewentualnie składów produktów spożywczych jest przedmiotem prac doświadczalnych, ponieważ wpływa ona nie tylko na przebieg obciążenia agregatu ale ma związek przede wszystkim z problematyką zużycia energii.

Na podstawie wyżej wymienionego rozważania w konsekwencji wynika, że przy wszystkich tego typu uwagach są niezbędne szczegółowe analizy

dotyczące zarówno powietrza wewnętrznego w komorze jak również analizy temperatury powierzchni ścian cieplnej komory technicznej. Niezwykle niezbędnym jest uwzględnienie własności dynamicznych systemu zewnętrznej ściany obwodowej, z której to pojemnością cieplną należy się liczyć przy badaniu dynamiki obiektu.

Większość dotychczasowych badań stale pomija analizę własności dynamicznych obiektu tak, aby była wyznaczona tzw. termostabilność cieplnych komór technicznych. W tym celu należy podać krótkie wyjaśnienie. Oczywistym jest, że każdy obiekt znajdujący się w naszym położeniu geograficznym, tzn. w środkowej i północnej części Europy, poddany jest okresowo zmieniającym się wpływom temperatury atmosferycznej. Zmiany tej temperatury są zarówno długookresowe, np.: roczna zmiana temperatury od lata do zimy, jak i krótkookresowe – dobową zmianą temperatury dzień i noc. Nie chodzi tu jedynie o temperaturę atmosferyczną lecz o wypadkową temperatur konwekcyjnej, radiacyjnej i tzw. terestrycznej pochodzącej od wtórnego promieniowania terenu sąsiadującego z rozpatrywanym obiektem.

Poprzez odpowiednie wykorzystanie bezwładności cieplnej komory można osiągnąć bardzo korzystne tłumienie tych okresowych zmian temperatury zewnętrznej. Odwrotnie, źle dobrany projekt komory technicznej może te wahania temperatury, o ile jest jego bezwładność cieplna w fazie z okresowo zmieniającą się temperaturą atmosferyczną, wzmocnić na niewyobrażalnie wysoką wartość.

Czynniki kształtujące stan cieplny pomieszczeń należy analizować razem z procesami wymiany ciepła, powietrza i wilgoci zachodzącymi w budynku. Warunki cieplne w pomieszczeniach decydują o komforcie cieplnym odczuwalnym przez ludzi, właściwym przebiegu procesów produkcyjnych, wytrzymałości okresie żywotności konstrukcji i instalacji budowlanych. Warunki cieplne pomieszczenia są wynikiem oddziaływania szeregu czynników takich jak temperatury, ruchu i wilgotności powietrza, występowania strumieni powietrza, rozkładu parametrów powietrza w poziomie i pionie pomieszczenia, jak również strumieni wypromieniowanego ciepła zależnych od temperatury, wymiarów, położenia i właściwości fizycznych powierzchni promieniujących zwróconych w stronę pomieszczenia. W wyniku wymiany ciepła przez konwekcję i promieniowanie oraz wymiany masy w pomieszczeniu, temperatury jego powierzchni i powietrza są ze sobą związane.

Możemy wnioskować, że cieplno-pojemnościowe własności komór w zasadniczy sposób wpływają na podstawowe cechy jakościowe tych obiektów w aspekcie ekonomiki zużycia energii jak i komfortu cieplnego w ich wnętrzu.

Należy zauważyć, że wyznaczenie ww. własności przy identyfikacji CKT ma decydujące znaczenie dla projektowania automatycznego systemu regulacji (ASR), którego zadaniem jest sterowanie urządzeniami klimatyzacji i ogrzewania, jednakże dla uzyskiwania oszczędności energii koncepcja i struktura ASR ma niewielki wpływ. ASR zawsze można zaprojektować tak, aby

regulowanie temperatury ewentualnie wilgotności powietrza wewnątrz CKT przebiegało optymalnie np. w zależności od minimalnego zużycia energii a kryterium to będzie uzależnione z kolei od konstrukcji i budowy przegrody.

W wielu pracach poświęconych problematyce fizyki budowni było udowodnione, że obiekt posiadający maksymalne własności stabilności termicznej w znaczeniu okresowych zmian dzień i noc, ma zużycie energii na klimatyzację o 50% niższe aniżeli ten sam obiekt nieodpowiednio zaprojektowany pomimo, że ASR jego urządzeń klimatyzacyjnych był ustawiony na optymalną regulację.

Parametrem określającym przewodność cieplną przegrody jest współczynnik przewodzenia ciepła λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$], który zależy między innymi od gęstości objętościowej i struktury materiału, od wilgotności oraz temperatury. Współczynnik przewodzenia ciepła jest informacją o strumieniu energii, jaki przepływa przez jednostkową powierzchnię warstwy materiału o grubości 1 m, przy różnicy temperatur po obydwu stronach tej warstwy, równej 1 K (1°C).

Im większa jest gęstość objętościowa tym większy jest współczynnik, a tym samym materiał "zimniejszy". Ponadto w materiałach o tych samych substancjach, lecz różnych gęstościach, występują różne współczynniki przewodzenia ciepła. Wzrost temperatury powoduje wzrost przewodności cieplnej materiałów budowlanych.

Dzieje się tak, dlatego że następuje zwiększenie przewodności cieplnej substancji stałej i powietrza zawartego w porach. Jednocześnie w porach występuje przepływ ciepła w skutek promieniowania. Im większe są pory materiału, tym większa jest przewodność cieplna zawartego w nich powietrza, a tym samym materiał jest „cieplejszy”. Praktyczne zastosowanie tego zjawiska ma znaczenie tylko, gdy materiały są stosowane w wysokich lub niskich temperaturach, tj. np. izolacja gorących zbiorników. W przegrodach budowlanych wahania temperatur są stosunkowo niskie, co pozwala pominąć zmiany przewodności cieplnej. Jednak określając wartość współczynnika λ należy zawsze podawać temperaturę w jakiej został on oznaczony.

Celem skutecznej ochrony budynku przed wilgocią jest unikanie negatywnych wpływów jej obecności i wynikających z tego usterek lub szkód. Warunkiem utrzymania w pomieszczeniach budynku komfortowego mikroklimatu są suche przegrody, otaczające to pomieszczenie. Wilgotne przegrody znacznie niemożliwiają utrzymanie komfortowych warunków, jest to wręcz niemożliwe, nawet przy bardzo intensywnym ogrzewaniu. W ochronie przed wilgocią bardzo istotny jest także przepływ pary wodnej. Dyfuzja pary wodnej przez przegrody budowlane to proces wyrównywania cząstkowych ciśnień pary wodnej pomiędzy dwoma środowiskami, które rozdziela przegroda. Przepływ pary wodnej odbywa się od środowiska o wyższej koncentracji pary do środowiska o koncentracji niższej, tak więc para wodna będzie zawsze dyfundować w tym kierunku, gdzie powietrze jest bardziej suche. Właściwości materiałów związanych z dyfuzją pary wodnej przez materiały budowlane charakteryzuje

współczynnik paro-przepuszczalności [mg/(m·h·Pa)]. Odpowiada on ilości pary wodnej w miligramach, jaka dyfunduje przez 1 m² warstwy materiału o grubości 1 m w ciągu jednej godziny i przy różnicy ciśnień po obydwu stronach tej warstwy równej 1 Pa. Podobnie, jak dla przepływu ciepła przez powłokę zewnętrzną budynku, wprowadzono pojęcie oporu dyfuzyjnego dowolnej warstwy materiału: $Z = l / \lambda$, gdzie: l – grubość warstwy [m].

Woda zamknięta w porach ma współczynnik λ ok. 0,56 [Wm⁻¹K⁻¹] a więc około 20 razy większy od współczynnika λ powietrza zamkniętego w porach o średnicy około 0,05 mm materiału budowlanego. Dodatkowy wpływ na proces przewodzenia ciepła ma dyfuzja pary wodnej, z którą połączone jest zwiększone przenoszenie ciepła oraz kapilarne przemieszczanie się wilgoci. Ze wzrostem wilgotności materiałów następuje wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła. I dlatego obniżenie wartości termoizolacyjnych przez wilgoć spowodowane jest tym, że na miejsce powietrza zawartego w porach wchodzi woda.

Proces ten nie przebiega jednakowo w różnych materiałach, zależny jest od struktury i pochodzenia materiału, np. w betonach komórkowych przyjmuje się, że przyrost współczynnika λ wynosi ok. 4,5% na 1% przyrostu wilgoci.

4. Wnioski

W opracowaniu podana została metodyka postępowania i zasady tworzenia opisu zjawiska przejścia strumienia cieplnego przez wielowarstwowe przegrody z uwzględnieniem głównych parametrów wpływających na analizowane zjawisko. Przedstawiony model matematyczno-fizyczny przegrody oraz metoda rozwiązania problemu przejścia ciepła przez ścianę cieplnej komory technicznej jest praktycznie przydatny do projektowania ścian. Przy analizie przejścia ciepła przez przegrodę wielowarstwową zwrócono uwagę na tzw. termostabilność cieplnych komór technicznych, która ma znaczny wpływ na oszczędności energii użytej do ogrzewania lub klimatyzacji. Model matematyczno-fizyczny przejścia ciepła przez ścianę wykorzystujący analogię elektryczną przydatny dla znalezienia funkcjonału pozwalającego na optymalizację konstrukcji przegrody. Wykorzystanie uzyskanego modelu w praktyce, np. przy budowie obiektów typu przechowalnie owoców, magazynów lub chłodni składowych pozwoli osiągnąć znaczne oszczędności energii. Określone zapotrzebowanie na moc cieplną ogrzewanego pomieszczenia wynika od wymaganych warunków termicznych wewnątrz obiektu a jednocześnie w zależności od zewnętrznej temperatury atmosferycznej. W tym zapotrzebowaniu na ciepło uwzględnia się straty spowodowane przenikaniem ciepła przez przegrody z uwzględnieniem strat związanych z wentylacją pomieszczenia.

LITERATURA

1. Carlslaw H., Jaeger J.: "Conduction of heat in solids". Oxford University. 1959.
2. Janczarek M.M.: Dynamika větranych tepelně technických prostoru při konvektivním a radiačním sdílení tepla. Kandidatská disertační práce. ČVUT Fakulta Strojní. Praha (Republika Česka) 1980.
3. Janczarek M.M.: Mathematisch-Physikalische Analyse der Dynamischen Eigenschaften Warmetechnischen Kammern. Tage der Wissenschaft und Technik. s. 9. Wismar (Niemcy) 1984.
4. Janczarek M.M.: Dynamické vlastnosti tepelně technických prostoru. VIII. Międzynarodowa Konferencja „Heating, Ventilation and Air-Conditioning”. s. 51-54. Karlovy Vary (Republika Česka) 1985.
5. Janczarek M., Skalski P., Suchorab Z.: „Przewodzenie ciepła przez przegrodę w stanach ustalonych i nieustalonych” – INFORMATYKA W TECHNICIE Tom I., Lubelskie Towarzystwo Naukowe Lublin 2006/2007
6. Janczarek M., Skalski P., Bulyandra A., Sobczuk H.: „Przewodność cieplna zewnętrznych ścian budynków w aspekcie wilgotności i oszczędności energii” – Rynek Energii nr 4 (65) sierpień 2006. Kaprint – Lublin 2006.
7. Janczarek M.: „Wyznaczanie bilansu cieplnego komór chłodniczych” – XII. Konf. Nauk. – Techn. Rynek Ciepła 2006 – Materiały i Studia. Kaprint – Lublin 2006.
8. Janczarek M., Bulyandra O.F.: „Zbierigannia fruktiv u gazowich serediwischczach” HARCHOWA PROMISLOWIST NR 5 UDK 664(04)(082) – KYIV, UKRAINE 2007.
9. Janczarek M.M., Bulyandra O.F., Szapowalenko O. I., Winogradov-Saltykov W.A.: „Osobiennosti rasczieta tiepłowowo balansa tiepłowych kamer chranienia fruktow” – Naukowi Praci, wipusk 31, tom 2 – Odessa nacionalna akademia charczowych technologii – Odessa - Ukraina – 2007.
10. Janczarek M.M.: „Determining of coefficient of heat transfer in bricks depended from degree of their moisture” – CEEPUS WEB Summer School 2007 "Informatics Systems in Automation", University of Maribor – Maribor, Slovenia – 14 th - 28 th September, 2007.
11. Janczarek M.M.: „The analysis of wall temperatures in a fruit storage in the aspect of transient heat flow” – Engineering Mechanics 2009. Svratka, Czech Republic 11 – 14 th May 2009.
12. Janczarek M.M.: „Technological describtion of heat and mass transfer processes in thermal treatment of fruit storage chambers” – Engineering Mechanics 2009. Svratka, Czech Republic 11 – 14 th May 2009.
13. Winogradov-Saltykov W.A., Janczarek M.M., Fiedorow W.G., Kiepk O.I.: „Tieplometriczeskije issliedowanie tieplozaszczitnych swoistw ograzhdienij” – pages 116 – 123. Industrial Heat Engineering – International Scientific and Applied Journal – Vol. 31., Number 4/2009 – Kyiv, Ukraine.
14. Janczarek M.M., Świć A.: „Scientific and technological description of heat and mass transfer processes in chambers” - Tome X, Year 2012. Acta technical convinieties – Bulletin of Engineering. Fascicule 2. ISSN 1584 – 2665.

MATHEMATICS - PHYSICAL ANALYSIS OF THERMAL TECHNICAL SPACES

Abstract

The paper shows the mathematics - physical analysis of thermal technical spaces and describes the development and research work of methods concerning conductive heat transfers through walls of technical chambers.. An analysis of mathematics – in terms of the physical heat transfer through the outer wall of the thermal chamber including changes outside air temperature. Special attention is paid to the economic effects associated with a positive impact amplitude of diurnal changes of atmospheric temperature for a certain temperature inside the regime.

Key words: heat exchanges, energy, savings of energy in buildings

ANALIZA MATEMATYCZNO – FIZYCZNA CIEPLNYCH KOMÓR TECHNICZNYCH

Projektowanie domu pod względem ochrony cieplnej konstrukcji wymaga znajomości zasad i procesów opisywanych przez fizykę budowli. Budynki powinny spełniać wymagania związane z oszczędzaniem energii przy jednoczesnym zachowaniu komfortu cieplnego w pomieszczeniach. Nieznajomość procesów cieplnych występujących w obiektach budowlanych a w szczególności nie dotrzymanie poziomu wartości współczynników przewodzenia ciepła przez przegrodę, może doprowadzić do marnotrawienia stale drożęcej energii oraz nadmiernego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Artykuł niniejszy przedstawia analizę matematyczno-fizyczną cieplnych komór technicznych wraz z wyznaczeniem modelu pozwalającego odpowiednio konstruować przegrody zewnętrzne celu uzyskania oszczędności energii na ogrzewanie lub chłodzenie pomieszczeń

Słowa kluczowe: przewodzenie ciepła, modelowanie procesów cieplnych, termostabilność komór technicznych

Dr hab. inż. Marian Marek JANCZAREK, prof. nadzw.
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin