



Innowacyjne technologie w inżynierii produkcji

*Jerzy Lipski
Krzysztof Santarek
Antoni Świć
Wiesław Piekarski
Agnieszka Dudziak
Monika Stoma
Alfred Paszek
Piotr Wittbrodt*

MONOGRAFIE

Innowacyjne technologie w inżynierii produkcji

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Zarządzania
ul. Nadbystrzycka 38
20-618 Lublin

Innowacyjne technologie w inżynierii produkcji

Jerzy Lipski
Krzysztof Santarek
Antoni Świć
Wiesław Piekarski
Agnieszka Dudziak
Monika Stoma
Alfred Paszek
Piotr Wittbrodt



Politechnika Lubelska
Lublin 2016

Recenzent:

prof. dr hab. inż. Józef Kuczmarszewski, Politechnika Lubelska

Redakcja techniczna: Tomasz Piech

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2016

ISBN: 978-83-7947-204-8

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

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

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatorp.pl

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

Nakład: 100 egz.

Spis treści

Wstęp	7
<i>Krzysztof Santarek</i>	
I. Prognozowanie rozwoju nowych technologii.....	11
1. Cele prognozowania technologii	11
2. Typologia metod prognozowania technologii	13
3. Fantastyka naukowa	15
4. Metody badania opinii ekspertów	16
5. Metody scenariuszowe	18
6. Metody monitorowania technologii.....	20
7. Roadmapping technologiczny.....	23
8. Metody ekstrapolacji trendu.....	25
9. Metody modelowania.....	32
10. Ocena oddziaływania technologii	34
11. Wykorzystanie w praktyce metod planowania i prognozowania rozwoju nowych technologii	35
Literatura.....	36
<i>Wiesław Piekarski, Monika Stoma, Agnieszka Dudziak</i>	
II. Innowacyjność w dobie globalizacji	39
Wprowadzenie	39
1. Pojęcie i istota innowacji.....	40
2. Rodzaje i źródła innowacji	43
3. Historia innowacyjności	46
4. Zarządzanie działalnością innowacyjną	48
5. Słabe punkty innowacyjności.....	52
6. Podsumowanie	53
Literatura.....	53
<i>Jerzy Lipski</i>	
III. Innowacyjne technologie informatyczne wspomagające procesy wytwarzania	57
Wprowadzenie	57
1. Inteligentne systemy pozyskiwania i wykorzystania danych z procesów technologicznych i pomocniczych	61
2. Wykorzystanie Internetu rzeczy do komunikacji.....	63
3. Obszary potencjalnych zastosowań innowacyjnych technologii informatycznych w procesach wytwarzania.....	70
4. Perspektywy wykorzystania innowacyjnych technologii informatycznych w Inżynierii Produkcji.....	79
Literatura.....	80

Antoni Świć

IV. Innowacyjna technologia wytwarzania długich wałów o małej sztywności....	83
Wprowadzenie	83
1. Obróbka tokarska wałów o małej sztywności	83
2. Dziedziczność technologiczna przy obróbce wałów i zalecana kolejność operacji.....	87
3. Kształtowanie struktury operacji procesu technologicznego obróbki wałów.....	96
Literatura.....	103

Alfred Paszek, Piotr Wittbrodt

V. Zastosowanie logiki rozmytej w budowie systemów wspomagających projektowanie procesów technologicznych	105
Wprowadzenie	105
1. Charakterystyka wybranych elementów logiki rozmytej	106
2. Analiza wyboru wariantów technologicznych ze względu na koszty wytwarzania.....	107
3. Zastosowanie logiki rozmytej dla wyboru wariantów technologicznych.....	108
4. Opracowanie regułowej reprezentacji wiedzy dla wyboru wariantów technologicznych	112
5. Opracowanie reprezentacji wiedzy w diagnostyce eksploatacyjnej w oparciu o elementy logiki rozmytej	114
6. Podsumowanie i wnioski	120
Literatura.....	120

Wstęp

Intencją autorów tej monografii było przybliżenie czytelnikowi problematyki innowacyjności w kontekście zwiększania możliwości systemów produkcyjnych. Monografia składa się z pięciu rozdziałów. Poszczególne rozdziały obrazują kierunki badań prowadzonych w kilku różnych ośrodkach naukowych w Polsce zajmujących się rozwojem Inżynierii Produkcji, są to:

- Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji;
- Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji;
- Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa;
- Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych;
- Politechnika Opolska, Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów.

Mimo, iż przez ostatnie 25 lat polska gospodarka permanentnie znajdowała się na ścieżce wzrostowej, to wzrost ten nie był spowodowany, w większości, własnymi innowacyjnymi rozwiązaniami.

Dalszy rozwój musi być stymulowany powstawaniem i rozwojem nowych technologii. Niezwykle ważnym zadaniem dla naukowców i inżynierów pracujących w obszarach wytwarzania jest śledzenie trendów rozwoju technologii przydatnych do konstruowania i wytwarzania innowacyjnych wyrobów innowacyjnymi technologiami. Analiza tych trendów pozwala na ukierunkowanie badań i wykorzystanie rozwiązań w Inżynierii Produkcji, które zostały opracowane w dziedzinach dalekich od wytwarzania rzeczy materialnych. Przykładem może być rozwój technologii informatycznych pozwalający na konstruowanie systemów wytwórczych sterowanych w czasie rzeczywistym bez udziału człowieka. Innym przykładem może być zastosowanie w procesach wytwarzania metod sztucznej inteligencji opartych o metody matematyczne.

Problematykę prognozowania rozwoju technologii porusza w pierwszym rozdziale monografii prof. Krzysztof Santarek z Politechniki Warszawskiej. Autor tego rozdziału stwierdza, że w dobie szybkiego postępu naukowo-technicznego, ciągłych i trudnych do przewidzenia zmian intuicyjne podejście do prognozowania, polegające np. na prostej ekstrapolacji przeszłości w przyszłość, jest niewystarczające. Podaje szereg naukowych metod prognozowania rozwoju technologii.

W rozdziale II zespół naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie pod kierownictwem prof. Wiesława Piekarskiego opisuje pojęcia i istotę innowacji w kontekście procesów wytwarzania. Omawia także rodzaje i źródła innowacji oraz podaje zasady zarządzania działalnością innowacyjną. Znajdziemy tam także charakterystykę stanu prawnego. Przyjęta 25 września 2015 r., przez Sejm RP, ustawa o wspieraniu innowacyjności, znosi liczne bariery w sektorze nauki i w sektorze przedsiębiorstw. Ustawa umożliwia ponadto rozwój rynku *venture capital* poprzez premiowanie funduszy inwestujących w przedsiębiorstwa zajmujące się działalnością B+R i charakteryzujących się dużą innowacyjnością.

W następnych rozdziałach autorzy monografii prezentują obszary swoich badań w zakresie zastosowania innowacyjnych technologii w Inżynierii Produkcji.

W rozdziale III prof. Jerzy Lipski z Politechniki Lubelskiej proponuje wykorzystanie najnowszych technologii informatycznych takich jak Internet Rzeczy i Chmura Obliczeniowa do sterowania procesami produkcyjnymi i pomocniczymi w czasie rzeczywistym. Dotychczasowe technologie zbierania informacji z rozproszonych obiektów sterowania były zbyt wolne oraz zbyt kosztowne w zastosowaniach. Jednocześnie rośnie lawinowo liczba źródeł informacji koniecznych do podejmowania decyzji w procesach wytwarzania. Wzrasta też skala produkcji i jej poziom automatyzacji. Rozwiązania oparte tylko na lokalnej akwizycji i lokalnym wykorzystaniu danych na każdym stanowisku nie wystarczają do zapewnienia ciągłości produkcji i jej optymalizacji. Człowiek nie jest w stanie zapewnić podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. Opisane w tym rozdziale koncepcje wykorzystania systemów mikroprocesorowych wbudowanych w maszyny i urządzenia technologiczne, dają szansę na zmniejszenie roli decyzyjnej człowieka w zakresie działań operacyjnych, pozostawiając do jego decyzji kwestie strategiczne: co produkować, jak ma wyglądać wyrób, jakimi technologiami go wykonać.

Rozdział IV autorstwa prof. Antoniego Świcia z Politechniki Lubelskiej zawiera opis badań innowacyjnych technologii obróbki długich wałów o małej sztywności. W wielu współczesnych maszynach, agregatach i przyrządach są stosowane bardzo dokładne części o małej sztywności. Ciągły wzrost ilości tego rodzaju elementów jest możliwy dzięki doskonaleniu metod obliczeń wytrzymałościowych, optymalizacji konstrukcji i kształtu części, obniżaniu ilości materiału potrzebnego do wytworzenia części i stale wzrastającej produkcji precyzyjnych maszyn technologicznych. Autor zaproponował i zaprojektował stanowisko do obróbki tokarskiej, przeznaczone do stabilizacji osi części o małej sztywności w procesie obróbki. Podstawowym jego elementem jest podtrzymka samoosiująca o napędzie hydraulicznym. W rozdziale IV poruszono także zagadnienie dziedziczności technologicznej przy obróbce wałów i zalecanej kolejność operacji. Autor przeprowadził modelowanie prawidłowości dziedziczenia z zastosowaniem teorii grafów.

Autorzy rozdziału V Dr inż. Alfred Paszek i Dr inż. Piotr Wittbrodt z Instytutu Innowacyjności Procesów i Produktów Politechniki Opolskiej skupili swoją

uwagę na zastosowaniu innowacyjnych metod logiki rozmytej w budowie systemów wspomagających projektowanie procesów technologicznych. Opracowanie reprezentacji wiedzy technologicznej o problemach rozwiązywanych w sposób przybliżony, a następnie jej zapis w bazie wiedzy pozwala na utworzenie systemu wspomagania decyzji, który może zastąpić w wielu przypadkach działania technologa. W budowie systemu stosowana jest logika rozmyta, której podstawą są funkcje przynależności zbiorów oraz przybliżone reguły wnioskowania. Autorzy pokazują jak można technologię sztucznej inteligencji zastosować dla wyboru wariantów technologicznych.

Autorzy wyrażają nadzieję, że zaprezentowana w monografii problematyka innowacyjnych rozwiązań problemów w Inżynierii Produkcji, zainspiruje czytelnika do dalszych poszukiwań nowych metod i technologii.

I. Prognozowanie rozwoju nowych technologii

Skuteczność podejmowanych decyzji zależy od dostępu do wiarygodnych informacji. Dotyczy to w szczególności przyszłości. Szczególne znaczenie technologii nie tylko dla działalności bieżącej przedsiębiorstw lecz przede wszystkim dla ich przyszłości powoduje, że ich skuteczne wykorzystanie wymaga znajomości i stosowania odpowiednich metod prognozowania technologii. Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie czytelnikowi wybranych zagadnień związanym z prognozowaniem rozwoju technologii. W szczególności omawiane są główne cele prognozowania technologii w przedsiębiorstwach a także przykłady niektórych metod planowania i prognozowania technologii. W pracy poruszono także problemy związane z wykorzystaniem w praktyce metod prognozowania rozwoju technologii.

1. Cele prognozowania technologii

Zarządzanie przedsiębiorstwem wiąże się z koniecznością przewidywania przyszłości. Wiedza na temat przyszłych warunków w jakich będzie ono funkcjonować umożliwia podjęcie wcześniejszych działań dostosowawczych. Perspektywa przyszłości, a zwłaszcza otoczenia w jakim funkcjonuje (bądź będzie funkcjonować) przedsiębiorstwo i jego zmian stanowi istotę zarządzania strategicznego. W dobie szybkiego postępu naukowo-technicznego, ciągłych i trudnych do przewidzenia zmian intuicyjne podejście do prognozowania, polegające np. na prostej ekstrapolacji przeszłości w przyszłość, jest niewystarczające. Wiele firm zniknęło dlatego, iż uznały, że ich sposób działania jest skuteczny i nie wymaga zmian, podczas gdy otoczenie wokół nich zmieniało się. Prognozowanie polega na przewidywaniu przyszłych zjawisk, procesów, stanów, itp. mających istotne znaczenie dla podmiotu prognozującego (wykonującego prognozę, użytkownika prognozy). Wynikiem prognozowania jest sąd (opinia) na temat prawdopodobnych zjawisk, procesów, stanów, itp. Sąd ten nosi nazwę prognozy. Prognozowanie jest zawsze związane z ryzykiem błędu. Oznacza on różnicę pomiędzy prognozą a rzeczywistym zjawiskiem, stanem, procesem, itp. Błąd taki jest nieodłącznie związany

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych.

z prognozowaniem. Zależy on m.in. od horyzontu prognozowania, użytej metody prognozowania, dostępnych danych, kwalifikacji osób opracowujących prognozę, znajomości prognozowanych zjawisk, procesów, i in.

Szczególnym przedmiotem prognozowania są technologie. Planowanie i prognozowanie techniki (w tym technologii) dotyczy przewidywania zmian w technice (i technologii) i ich skutków. Jest jedną z funkcji zarządzania technologiami. Najczęściej prognozowanie technologii odnosi się do takich atrybutów technologii, jak:

- zmiany możliwości (granice wzrostu) technologii,
- szybkość zastępowania starej technologii przez nową, czyli szybkość upowszechniania się (dyfuzji) nowej technologii,
- zasięg upowszechnienia technologii (udział w rynku technologii),
- prawdopodobieństwo i czas pojawienia się nowych, przełomowych technologii.

Problemy prognozowania rozwoju technologii można umownie podzielić na dwie grupy:

- wyznaczanie przyszłego stanu, np. możliwości wyłaniającej się obecnie technologii,
- wyznaczanie ścieżki (uporządkowany i ukierunkowany zbiór działań, w tym również dotyczących rozwoju technologii) umożliwiającej osiągnięcie określonego celu w ustalonym czasie.

W projektowaniu innowacyjnych wyrobów i usług prognozy rozwoju technologii umożliwiają formułowanie ambitnych lecz realistycznych celów, wskazują granice możliwości posiadanych technologii, w tym ich potencjał konkurencyjny oraz możliwości i celowość usprawnień (potencjał modernizacyjny technologii) a także umożliwiają identyfikację technologii wyłaniających się, ocenę ich możliwości oraz kierunków rozwoju.

Takie oceny są konieczne ale zarazem trudne, gdyż:

- prognozowane zjawiska i procesy trudno poddają się formalizacji,
- istnieje mało danych, aby na ich podstawie formułować wiarygodne wnioski,
- występują problemy z selekcją informacji: z szumu informacyjnego trudno wyłować słabe sygnały, wskazujące na pojawienie się nowych zjawisk sygnalizujących zwłaszcza zmiany jakościowe, skokowe,
- istnieje wiele czynników warunkujących zmiany, które są trudne do identyfikacji i analizy,
- istnieje wielu interesariuszy, co powoduje konieczność brania pod uwagę wielu kryteriów oceny,
- konieczność brania pod uwagę zarówno kryteriów mierzalnych jak i niemierzalnych, w tym obok kryteriów technicznych i ekonomicznych także m.in. etycznych, społecznych, politycznych, i in.

Prognozowanie technologii nie jest praktyką często stosowaną w polskich przedsiębiorstwach. Dotyczy to także instytutów naukowych, wyższych uczelni a nawet wielu instytucji odpowiedzialnych za innowacje i rozwój nauki i techniki w Polsce. W ostatnich latach pewną popularność zdobył foresight² oraz niektóre metody go wspierające m.in. metoda delficka. Wydaje się jednak, iż było to wymuszone działaniami zewnętrznymi. Możliwość pozyskania środków na rozwój regionów z funduszy UE była uzależniona od opracowania regionalnych strategii innowacji, których jednym z elementów był foresight regionalny. Takie opracowania powstały w większości regionów (województw) w Polsce. Mamy nadzieję, iż ta krótka publikacja zwróci uwagę osób zainteresowanych na możliwości wykorzystania i potencjał tkwiący w metodach planowania i prognozowania rozwoju technologii.

2. Typologia metod prognozowania technologii

Istnieje wiele klasyfikacji metod prognozowania technologii³. Dla potrzeb niniejszej publikacji będziemy wyróżniać następujące grupy metod:

1. Metody badania opinii ekspertów w których prognoza stanowi wypadkową opinii uzyskiwanych od ekspertów. Zazwyczaj opinie (informacje) pozyskiwane są od wielu ekspertów, niekiedy reprezentujących różne specjalności (dyscypliny wiedzy), w celu uwzględnienia różnych aspektów prognozowanego zjawiska. Metody tej grupy są skuteczne wówczas, gdy brak jest informacji umożliwiających opracowanie prognoz innymi metodami, nie jest możliwe zbudowanie modelu badanego zjawiska (zarówno ilościowego jak też jakościowego) a także, gdy istnieją eksperci gotowi podzielić się posiadanymi informacjami.
2. Metody scenariuszowe w których tworzone są różne scenariusze rozwoju przyszłości, w tym dotyczące postępu nauki i techniki, zmian politycznych, społecznych, ekonomicznych, czynników środowiskowych, demograficznych, uwarunkowań ekonomicznych, i in. Zbiór takich scenariuszy tworzy zestaw możliwych (o różnym stopniu prawdopodobieństwa i skutkach) wizji przyszłości. Metody te umożliwiają wykorzystanie zarówno danych ilościowych jak też jakościowych, w tym uzyskanych innymi metodami

2 UNIDO Technology Foresight Manual, Vol.1: *Organisation and Methods*, Vol.2: *Technology Foresight in Action*, UNIDO, Vienna 2005; tłum. polskie PARP, Warszawa 2007.

3 Roper A.T., Cunningham S.W., Porter A.;L., Mason T.W., Rossini F.A., Banks J., *Forecasting and Management of Technology*, 2nd ed., J.Wiley & Sons, Inc., 2011; Meredith J.R., Mantel S.J., *Project Management: A Managerial Approach*, Appendix B: Technological Forecasting, John Wiley and Sons, New York, NY, 1995; ; Martino J.P., *Technological Forecasting for Decision Making*, 3rd ed., McGraw Hill, New York, 1993; Jantsch E., *Technological Forecasting in Perspective*, OECD, Paris, 1967.

prognozowania. W ten sposób na podstawie stosunkowo niewielkiej ilości danych można uzyskiwać użyteczne prognozy.

3. Metody monitorowania, których istotą jest śledzenie (skanowanie) aktualnych informacji dotyczących przedmiotu prognozowania. Wymaga to systematycznego gromadzenia, porządkowania, klasyfikowania oraz analizowania informacji uzyskiwanych z różnych źródeł. Metoda jest skuteczna, gdy jest możliwy dostęp do informacji na temat przedmiotu prognozowania, są to informacje aktualne oraz wiarygodne (pewne). Metody monitorowania wykorzystują ogólnie dostępne bazy danych, internet, najnowszą literaturę przedmiotu, doniesienia z konferencji, targów, wystaw, dane katalogowe firm, bazy danych patentów i zgłoszeń patentowych, i in.
4. Metody normatywne, których istotą jest przewidywanie i dostosowanie kierunków i możliwości rozwoju technologii dla osiągnięcia zamierzonych celów gospodarczych, społecznych i politycznych. W metodach tych dla ustalonego celu, np. wprowadzenie na rynek nowego produktu, zdobycie określonego udziału w rynku, itp. ustalane są ścieżki dojścia, w tym np. parametry techniczno-użytkowe wyrobów, nowe technologie niezbędne do ich wyprodukowania a następnie planowane są programy (projekty) umożliwiające osiągnięcie tych celów, w tym związane z nowymi technologiami, z uwzględnieniem posiadanych zasobów: finansowych, rzeczowych, ludzkich, możliwości organizacyjnych, i in. Metody normatywne są stosowane zwykle w planowaniu skomplikowanych, kosztownych i długotrwałych programów, o dużym znaczeniu dla przedsiębiorstw i państw. W metodach tych wykorzystywane są często informacje pozyskiwane od ekspertów, często o charakterze jakościowym. Są to więc narzędzia planowania (i prognozowania) strategicznego.
5. Metody ekstrapolacji trendu służące do przewidywania kierunków i możliwości (parametrów, osiągnięć) istniejących / wyłaniających się technologii. W metodach tych przyjmuje się założenie, iż czynniki mające dotychczas wpływ na rozwój technologii będą również występować w przyszłości. Prognozy uzyskuje się zatem „przedłużając” w przyszłość dotychczasowe linie rozwoju technologii. Metody ekstrapolacji trendu to w większości metody ilościowe, wśród których znajdują się metody analizy szeregów czasowych, analizy korelacji, metody ekonometryczne, i inne.
6. Metody modelowania wykorzystują uproszczone opisy (w różnej formie i stopniu) prognozowanego zjawiska. Wymagają znajomości struktury oraz najważniejszych aspektów fragmentu badanej rzeczywistości a także dostępu do dużej ilości pewnych danych. Ta grupa metod obejmuje zarówno proste modele graficzne, modele matematyczne, fizyczne a także symulacyjne. Zaletą metod modelowania jest możliwość obserwacji zmian badanego zjawiska w czasie oraz wyznaczania docelowych jego parametrów,

dla ustalonych założeń (warunków brzegowych). Do metod modelowania można zaliczyć m.in. metody dynamiki systemów, modele symulacji dyskretnej, metody Monte Carlo, modele teorii gier, drzewa decyzyjne, i in.

7. Metody oceny oddziaływania technologii (*technology assessment – technology impact assessment*). Metody te zaliczone zostały do metod prognozowania, gdyż ich istota polega na badaniu przyszłego oddziaływania (skutków) technologii na środowisko, gospodarkę, zdrowie ludzi i zwierząt, itp. Wymagają one zatem przewidywania a więc prognozowania jakie będą (mogą być) skutki stosowania (upowszechnienia) technologii w dłuższym przedziale czasu. W klasycznym podejściu do oceny ekonomicznej efektywności technologii, dokonywanej zwykle w krótkiej, zwykle kilkuletniej perspektywie, tzw. uboczne skutki oddziaływania technologii, które są zwykle przesunięte w czasie, nie są brane pod uwagę. Metody oceny oddziaływania technologii wykorzystują informacje uzyskiwane od ekspertów, ilościowe metody prognozowania, metody modelowania (np. modele dynamiki systemów), i in.

W następnych rozdziałach bliżej scharakteryzowane zostaną wybrane metody prognozowania należące do wymienionych wyżej grup.

3. Fantastyka naukowa

Pragnienie przewidywania, chęć poznania przyszłości jest nieodłączną cechą ludzkiej natury. Ludzie od bardzo dawna, w różny sposób i z różnym skutkiem, próbowali przewidywać przyszłość. Prognozowanie jako pewna systematyczna praktyka było uprawiane od czasów, gdy ludzie rozpoczęli podejmować działania, których efekty pojawiały się z opóźnieniem (np. siew zbóż i prognozowanie wylewów Nilu w starożytnym Egipcie). Podstawową zasadą prognozowania było wówczas przekonanie, iż zjawiska i stany w przyszłości będą w przybliżeniu takie same jakie są obecnie i jakie były w przeszłości. Takie „intuicyjne” prognozowanie było wystarczające, gdy zmiany (środowiska, gospodarki, stosunków społecznych, politycznych) były tak wolne, iż pozostawały niezauważalne przez przeciętnego człowieka a przez to pomijane. W starożytności (ale także znacznie później) wiele decyzji kluczowych dla jednostek i całych społeczności było podejmowanych na podstawie wyroczni formułowanych przez kapłanów, wieszczki, itp.⁴ Szczególnym przypadkiem przewidywania przyszłości jest tzw. fantastyka naukowa. Jej przykłady można znaleźć w twórczości wielu pisarzy i poetów, zawierającej sformułowania odnoszące się do przyszłych stanów, sytuacji, rozwiązań. Najczęściej wymienianym przykładem jest twórczość Juliusza Verne’a oraz Herberta Wellsa, tabl.1.

4 Przykładem może służyć wyrocznia delficka, od której pochodzi nazwa, mającej już solidne podstawy naukowe, metody delfickiej, która jest omawiana w rozdz.4.2, por. także: Halpern P., Na tropach przeznaczenia. *Z dziejów przewidywania przyszłości*, Wydawnictwo W.A.B., Warszawa 2004.

Tab. 1. *Losy pomysłów fantastycznych w utworach J. Verne’a i H. Wells’a.*

Autor	Ogólna liczba pomysłów fantastycznych	Losy pomysłów fantastycznych					
		Już zrealizowane lub w przededniu realizacji		Potwierdzona pryncypialna możliwość realizacji		Pomysły błędne lub nierealne	
		liczba	%	liczba	%	liczba	%
J. Verne	108	64	59	34	32	10	9
H. Wells	86	57	66	20	23	9	11

Wiele zaskakujących swą trafnością wizji dotyczących rozwoju techniki woj-skowej i taktyki prowadzenia działań wojennych można znaleźć w twórczości Jana Blocha⁵. Sformułowane w ostatnich latach XIX wieku znalazły w większości po-twierdzenie w czasie I wojny światowej. Prace Francisa Fukuyamy zawierają z kolei wiele śmiałych prognoz na temat społecznych i politycznych skutków rozwoju biotechnologii⁶. Wiele przykładów prognoz – przepowiedni dotyczących rozwoju techniki ale także wydarzeń politycznych i zjawisk społecznych zaskakujących swą trafnością można znaleźć w twórczości Alвина Tofflera⁷.

4. Metody badania opinii ekspertów

Metody badania opinii ekspertów nie są prostym rozwinięciem metod fanta-styki naukowej, w których zamiast jednej osoby sądy – prognozy są formułowane przez wiele osób. Mają one solidne podstawy naukowe i wykorzystują dorobek nauk behawioralnych a także nauk ścisłych⁸. Stąd też wiarygodność takich prognoz jest często wysoka. Służą one najczęściej do prognozowania jakościowego. Ich istota polega na pozyskiwaniu a następnie analizie opinii ekspertów z określonej dziedziny. Najbardziej znanymi metodami należącymi do tej grupy są: foresight⁹, metoda delficka¹⁰, i in. Głównym założeniem, jakie jest w nich przyjmowane jest to, iż istnieją pewne osoby posiadające więcej wiedzy na określony temat niż inne

5 Bloch J., *Przyszła wojna pod względem technicznym, ekonomicznym i politycznym*, Polski Instytut Spraw Międzynarodowych, Warszawa 2005 (oryginał ukazał się w 1900 r. w pięciu tomach, jednocześnie w językach polskim, rosyjskim, francuskim, niemieckim i holenderskim).

6 Fukuyama F., *Koniec człowieka*, Wydawnictwo ZNAK, Kraków 2004.

7 Toffler A., *Szok przyszłości*, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 1998; Toffler A., *Trzecia fala*, PIW, Warszawa 1997; Toffler A., Toffler H., *Rewolucyjne bogactwo*, Wydawnictwo KURPISZ S.A., Przeźmierowo 2007.

8 Литвак Б.Г., *Экспертная информация. Методы получения и анализа*, Радио и Связь, Москва 1982.

9 UNIDO Technology Foresight Manual, op.cit.

10 Lindstone H., Turoff M. (ed.), *The Delphi Method*, Addison Wesley Publishing Co., 1975.

oraz ich prognozy (przewidywania) mogą być znacząco lepsze. Jeżeli korzystamy ze wsparcia grupy ekspertów, wówczas taka „zbiorowa mądrość” prowadzi do lepszych prognoz niż w przypadku opinii jednego eksperta. Silną stroną metod badania opinii ekspertów jest możliwość zbudowania wysokiej jakości prognoz na podstawie tzw. wiedzy ukrytej ekspertów, którzy w innej sytuacji nie chcą bądź nie potrafią wyrazić jej w sposób jawny. Jakość takich prognoz zależy w sposób oczywisty od dostępu do wysokiej klasy ekspertów.

Opinie ekspertów mogą również okazać się fałszywe. Duży wpływ na opinie wyrażane przez ekspertów ma sposób formułowania pytań a także sam proces pozyskiwania i analizy opinii od ekspertów. Mogą także pojawiać się czynniki zakłócające proces prognozowania, np. dominacja grupy ekspertów przez tzw. silną osobowość, dążenie do osiągnięcia za wszelką cenę konsensusu, konformizm grupowy, i in. Metody badania opinii ekspertów są stosowane wówczas, gdy istnieją eksperci z danej dziedziny gotowi do współpracy a także wtedy, gdy brak jest danych oraz zbudowanie modeli formalnych jest trudne bądź wręcz niemożliwe.

W metodach badania opinii ekspertów istotnym problemem jest synteza indywidualnych opinii i formułowanie ocen końcowych. Zazwyczaj polega to na indywidualnej ocenie poszczególnych wariantów przez poszczególnych ekspertów a następnie na właściwej interpretacji, przetwarzaniu i formułowaniu ocen końcowych. Często formułowanie wariantów (alternatyw) rozwiązań odbywa się z udziałem tych samych ekspertów, którzy następnie poddają je ocenie. Wybór metody eksperckiej oceny wariantów rozwiązań zależy od charakteru dostępnych i analizowanych informacji. Jeżeli analizowane są głównie cechy jakościowe rozwiązań, co polega najczęściej na zdefiniowaniu w zbiorze analizowanych rozwiązań relacji porządku bądź też na rozbiciu analizowanego zbioru na podzbiory (klasy) według ustalonych kryteriów¹¹, to najczęściej stosowane są metoda porównań parami rozwiązań, klasyfikacje, rangowanie (szeregowanie) rozwiązań, itp. Jeżeli natomiast interesują nas oceny ilościowe, wówczas stosowane są metody bezpośredniej (bezwzględnej) oceny rozwiązań, do których należą metoda von Neumanna-Morgensterna, Churchmana-Ackoffa¹², Thurnstone'a i in.

Zazwyczaj oceny formułowane przez poszczególnych ekspertów różnią się. Synteza ocen ekspertów i znalezienie wynikowej relacji porządku, przewyższania lub innej wskazującej preferowane rozwiązanie w zbiorze analizowanych rozwiązań wymaga z reguły przyjęcia określonego kryterium (zasady) wyboru rozwiązania. Wśród wielu możliwości wymienimy w tym miejscu zasadę Concordetę, medianę Kemeny'ego, Pareto, i in. Synteza ocen eksperckich może także odbywać się z wykorzystaniem metod algorytmicznych – metod oceny wielokryterialnej do których

11 Van Ryzin J. (red.), *Classification and Clustering*, Academic Press 1977; Sneath P.H., Sokal R.R., *Numerical Taxonomy*, W.H. Freeman, San Francisco 1973; Kolonko J., *Analiza dyskryminacyjna i jej zastosowania w ekonomii*, PWE, Warszawa 1980.

12 Ackoff R., *Decyzje optymalne w naukach stosowanych*, PWN, Warszawa 1969.

można zaliczyć m.in. metodę Electre¹³ (i liczne jej modyfikacje) czy metodę AHP Th.Saaty'ego¹⁴. Wybór rozwiązań można także formułować i rozwiązywać jako zadanie programowania wielokryterialnego.

Metody tej grupy są stosunkowo dobrze znane, gdyż były wykorzystywane do opracowywania regionalnych strategii innowacyjnych dla województw, priorytetowych programów rozwoju dla kraju, prognoz dotyczących kluczowych problemów społeczno-gospodarczych państwa w ramach Narodowego Programu Foresight Polska 2020 (m.in. obszary Zrównoważony rozwój Polski, Technologie informacyjne i telekomunikacyjne, Bezpieczeństwo, Zdrowie i życie). Z tych też względów nie będziemy ich szerzej omawiać odsyłając zainteresowanych czytelników do literatury przedmiotu¹⁵.

5. Metody scenariuszowe

Początki metod planowania (w tym prognozowania) scenariuszowego sięgają XIX w. i są związane z nazwiskami wybitnych pruskich strategów wojskowych Carla von Clausewitza¹⁶ (1780-1831) i Helmuta von Moltkego („starszego”, 1800-1891), twórców m.in. gier wojennych, będących jedną z odmian planowania scenariuszowego. Metody planowania scenariuszowego są obecnie jednym z narzędzi planowania strategicznego, stosowanym przez duże firmy przemysłowe, np. Shell¹⁷. Metody scenariuszowe oparte są na założeniu, iż przyszłość będzie się zmieniać wg określonego schematu (scenariusza). Scenariusz wynika ze ściśle zdefiniowanego zbioru założeń dotyczących rozwoju przyszłości oraz warunków początkowych dotyczących wszelkich czynników mogących mieć wpływ na prognozę. Na tej podstawie możliwe jest wyznaczenie trajektorii dojścia od stanu obecnego do stanu postulowanego. Ponieważ nie jest możliwe wskazanie jednego scenariusza rozwoju przyszłości zazwyczaj prognozy opracowywane są w kilku różnych wa-

13 Roy B., *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*, La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO) 1968 nr 8; Greco S., Ehrgott M., Figueira J.R., *Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys*, Springer 2016

14 Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill New York 1980; Greco S., Ehrgott M., Figueira J.R., op.cit.

15 Kuciński J., *Organizacja i prowadzenie projektów foresight w świetle doświadczeń międzynarodowych*, IPPT PAN, Warszawa 2006; Jasiński L.J., *Myślenie perspektywiczne. Uwarunkowania badania przyszłości typu foresight*, Warszawa, Instytut Nauk Ekonomicznych PAN; Linstone, H.A. and Turoff, M. (eds.), *The Delphi Method – Techniques and Applications*, Reading: Addison-Wesley 1975; Grupp H., (ed.), *Technological Forecasting and Social Change*, Special Issue on National Foresight Projects, 60(1999)1.

16 Clausewitz C. von, *O wojnie*, Kraków 2006.

17 Van der Heijden K., *Planowanie scenariuszowe w zarządzaniu strategicznym*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2000.

ariantach, reprezentujących różne możliwości rozwoju przyszłości; zazwyczaj są to warianty: optymistyczny, pesymistyczny i obecny (co wcale nie oznacza, iż najbardziej prawdopodobny). Wariant obecny oznacza kontynuację dotychczasowego trendu odnośnie wszystkich czynników mających wpływ na prognozę. Wariant optymistyczny wynika z przyjętych korzystnych (ale możliwych) scenariuszy rozwoju przyszłości. W metodach scenariuszowych możliwe jest uwzględnienie różnych czynników mających wpływ na rozwój technologii, zarówno mierzalnych jak i niemierzalnych a także rodzajów źródeł danych, poczynając od danych historycznych po opinie ekspertów, a także innych metod prognozowania, np. metod analizy trendu, rys.1.



Rys.1. Schemat planowania scenariuszowego

Źródło: materiały firmy Arhur D.Little

Scenariusze obejmują alternatywne cechy (właściwości) prognozowanej technologii wynikające z przyjętych założeń i warunków początkowych. Zadaniem osoby (lub częściej grupy osób) sporządzającej prognozę jest ocena przyjętych założeń, co umożliwia wskazanie scenariusza najbardziej prawdopodobnego. W ten sposób można budować całkiem użyteczne prognozy na podstawie stosunkowo niewielkiej ilości danych. Scenariusz nie powinien jednak być traktowany jako przepowiednia przyszłości, lecz jako możliwy, stanowiący wyzwanie (szanse i zagrożenia) i skoordynowany wewnętrznie obraz tego, co w przyszłości może się wydarzyć, o ile zostaną spełnione wszystkie przesłanki (założenia) sformułowane przed jego opracowaniem.

Równie ważnym jak scenariusz rozwoju przyszłości (wynik prognozowania scenariuszowego) jest także sam proces planowania scenariuszowego, w ramach którego następuje proces organizacyjnego uczenia się. Uczestnicy procesu prognozowania i adresaci prognoz mogą dzięki temu lepiej zrozumieć czynniki i mechanizmy mające wpływ na rozwój technologii, rynku, itp. Identyfikacja czynników

mających największy wpływ na prognozę, w tym tych, które organizacja może sama kontrolować, umożliwia nie tylko uzyskanie obrazu możliwej przyszłości lecz także wskazanie dostępnych sposobów kontroli tych czynników, co pozwala w pewnym stopniu aktywnie wpływać na przyszłość¹⁸.

Możliwe są również kombinacje metod scenariuszowych i symulacyjnych (tzw. gry scenariuszowe, scenariusze interaktywne, gry decyzyjne, itp.), wykorzystujące często narzędzia IT.

6. Metody monitorowania technologii

Główna idea metod monitorowania technologii polega na systematycznym obserwowaniu otoczenia, poszukiwaniu i analizowaniu informacji pochodzących z różnych źródeł na temat przedmiotu prognozowania. Niekiedy używa się też nazwy wywiad technologiczny (*technology intelligence*), co oznacza proces monitorowania kierunków rozwoju technologii przyrostowych i wyłaniających się, który umożliwia identyfikację pojawiających się możliwości i zagrożeń¹⁹ oraz formułowanie nowych, innowacyjnych kierunków rozwoju przedsiębiorstwa²⁰. Wśród wielu metod wywiadu technologicznego należy wymienić:

- analizę patentową,
- analizy bibliometryczne,
- analizę krzywej S (krzywa cyklu życia technologii, por.rozdz.8.2),
- analizy benchmarkingowe,
- macierze analizy portfelowej,
- metodę delficką i inne.

Wywiad technologiczny wymaga znajomości specyficznych metod i wysokich kompetencji. Niewiele firm jest w stanie samodzielnie monitorować rozwój interesujących ich technologii. W odpowiedzi na istniejące zapotrzebowanie pojawiły się firmy świadczące odpłatne usługi w zakresie wywiadu technologicznego²¹ a także serwisy oferowane przez niektóre firmy informatyczne²². Monitorowanie rozwoju technologii oparte jest na założeniu, że istnieje informacja umożliwiająca opracowanie prognozy oraz że możliwe jest pozyskanie takiej informacji. Silną stroną metod monitorowania jest możliwość zdobycia cennych informacji z różnych źródeł, z drugiej zaś strony istnieje ryzyko nadmiaru informacji, co wymaga jej selekcji, filtracji oraz porządkowania.

18 Ringland G., *Scenario Planning: Managing for the Future*, Chichester, John Wiley 1998.

19 Mortara L., Kerr C., Phaal R., Probert D., *Technology intelligence: Identifying threats and opportunities from new technologies*, University of Cambridge, 2007.

20 Norling P. M., Herring J. P., Rosenkrans W. A., Stellpflug M., Kaufmann S. B., *Putting competitive technology intelligence to work*, Research-Technology Management 43(2000)5, pp. 23-28.

21 <http://www.g-i-m.com/>, <http://techradar.cisco.com>

22 Np. Google Alerts, Twitter Alerts.

Jedną z metod monitorowania rozwoju technologii jest analiza patentów (i zgłoszeń patentowych)²³. Patent jest jednym z rodzajów własności przemysłowej i oznacza potwierdzenie praw własności oraz uzyskania ochrony dzieła – wynalazku. Patenty są udzielane na wynalazki, niezależnie od dziedziny techniki której dotyczą. Zdolność patentowa wynalazku oznacza, iż musi być on (wymagania muszą być spełnione łącznie):

- nowy,
- posiadać tzw. poziom wynalazczy oraz
- nadawać się do przemysłowego zastosowania.

Zgodnie z Ustawą prawo własności przemysłowej²⁴ wynalazek uznaje się jako nowy, jeżeli nie jest częścią stanu techniki, wliczając w to również wszystko to, co zostało już udostępnione do powszechnej wiadomości, także przez autora wynalazku, w formie pisemnej, ustnej ale także przez stosowanie (również we własnym zakresie), wystawianie lub też w inny sposób. Wynalazek posiada poziom wynalazczy jeżeli dla specjalisty z danej dziedziny stanowi rozwiązanie nieoczywiste, nie wynikające bezpośrednio ze stanu techniki. Przemysłowe zastosowanie wynalazku oznacza, iż za jego pomocą można uzyskać produkt lub wykorzystać sposób (metodę, proces) w dowolnej działalności przemysłowej a także w rolnictwie. Powyższe kryteria powodują, iż nie wszystko można uznać jako wynalazek a także nie na każdy wynalazek, który spełnia formalne kryteria można uzyskać patent²⁵.

Opisy patentów (wraz z opisami wynalazków) oraz zgłoszeń patentowych są publicznie dostępne. W Biuletynie Urzędu Patentowego publikowane są informacje na temat zgłoszonych w Urzędzie wynalazkach (a także wzorach użytkowych oraz znakach towarowych) zaś w Wiadomościach Urzędu Patentowego ogłoszenia m.in. o udzielonych patentach na wynalazki, dodatkowych prawach ochronnych, złożonych tłumaczeniach patentów europejskich, i in.²⁶ Są to dokumenty jawne i łatwo dostępne, które mogą być wykorzystane jako źródło informacji na temat aktualnego stanu techniki, które można także wykorzystać do prognozowania rozwoju techniki (w tym technologii). Warto jednak pamiętać, iż patenty są bardzo niejednorodne, co powoduje, iż do informacji na temat patentów należy podchodzić ostrożnie. Wiele patentów dotyczy rozwiązania problemów o znikomym znaczeniu, wystarczy bowiem, iż m.in. spełniają kryterium nowości. Wiele udzielonych patentów i zgłoszeń patentowych (a nawet większość) nigdy nie została skomercjalizowana (zastosowana w praktyce). Firmy często wprowadzają w błąd konkurentów zgłaszając do publikacji opisy wynalazków, które nie tylko nie odzwierciedlają rzeczywistego stanu techniki, jaką dysponują lecz nawet su-

23 Daim T.U., Rueda G., Martin H., Gedrsri P., *Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis*, Technological Forecasting & Social Change 73 (2006), str. 981-1012.

24 Ustawa prawo własności przemysłowej, Dziennik Ustaw z 2001 r., nr 49, poz. 508.

25 por. Ustawa Prawo własności przemysłowej, art. 28 i 29.

26 www.uprp.pl

gerują fałszywe kierunki rozwoju techniki²⁷. Należy także pamiętać, iż informacja patentowa nie zawiera danych liczbowych, pokazujących np. poziom wydajności technologii, energo- i materiałochłonności, oddziaływania na środowisko, itp. W prognozowaniu technologii z wykorzystaniem informacji patentowych występują dwa odrębne etapy²⁸:

- ocena aktualnego stanu techniki (ocena statyczna),
- przewidywanie możliwych kierunków rozwoju technologii (ocena dynamiczna).

Przystępując do oceny statycznej należy przede wszystkim sprecyzować przedmiot prognozowania oraz zidentyfikować opisy odpowiednich patentów. Warto podkreślić, iż obszar poszukiwań nie powinien się ograniczać jedynie do patentów istniejących w danym kraju. Poszukiwania patentów w skali globalnej umożliwiają bazy danych on-line patentów²⁹. Nawigacja w bazach danych patentów nie jest jednak zadaniem łatwym, ze względu na olbrzymią ilość opisów patentów i zgłoszeń patentowych, dotyczących bardzo wielu obszarów techniki. Pomocnym narzędziem są systemy klasyfikacji patentów, pozwalające w szybki sposób zawęzić obszar poszukiwań, ułatwiając tym samym znalezienie potrzebnych informacji. Zazwyczaj patenty poddawane są jakościowej ocenie (ekspertkiej) z punktu widzenia następujących kryteriów (przykład):

- techniczne znaczenie patentu, w tym stopień rozwiązania problemu będącego przedmiotem analizy; postęp w stosunku do istniejącego stanu techniki,
- poziom rozwiązania technicznego w stosunku do teoretycznie osiągalnego (np. wydajność, energochłonność, itp.),
- funkcjonalność rozwiązania (np. łatwość produkcji i obsługi, trwałość, niezawodność, itp.),
- oddziaływanie na środowisko, bezpieczeństwo produkcji, eksploatacji, łatwość utylizacji, itp.,
- potencjalne znaczenie ekonomiczne i wpływ na konkurencyjność (np. ilość krajów, w których uzyskano patent na wynalazek, wiek patentu – kiedy skończy się ochrona patentu)

W drugiej fazie prognozowane są możliwe kierunki zmian wyżej wymienionych charakterystyk rozwiązania, wykorzystując „historię” patentu, w tym wcześniejsze patenty których sekwencja w czasie stanowi trajektorię rozwoju rozwiązania danego problemu technicznego. Często istnieje równocześnie wiele

²⁷ Stanowi to jeden z aspektów tzw. strategii patentowania, por. Durlak I., Santarek K., *Inżynieria zarządzania III. Naukowe, techniczne i inwestycyjne przygotowanie produkcji wyrobów wysokiej techniki*, C.H.Beck, Warszawa 2016.

²⁸ Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И., *Теоретические основы инженерного прогнозирования*, Наука, Москва 1973.

²⁹ <http://pl.espacenet.com>, www.uprp.pl, www.epo.org, www.wipo.int, i in.

patentów dotyczących rozwiązania tego samego problemu technicznego. W takim przypadku prognozowanie wymaga analizy rodziny (zbioru) patentów. Również i w tym przypadku oceny dokonywane są przez zespół ekspertów.

Przykładem metody wykorzystującej analizę patentową jest TRIZ³⁰ czyli teoria rozwiązywania zadań wynalazczych H. Altszullera³¹. Na podstawie analizy ponad 2 mln patentów, publikacji naukowo-technicznych, artykułów w czasopismach fachowych i biznesowych, itp. (wraz ze współpracownikami i uczniami) ustalił on ogólne zasady poszukiwania innowacyjnych rozwiązań. Polegają one m.in. na eliminacji sprzeczności technicznych, tzn. par wymagań (kryteriów, celów), których równoczesne spełnienie nie jest możliwe. Sprzeczności te i sposób ich eliminacji stanowią istotę (kryterium nowości i nieoczywistości) innowacyjnego rozwiązania – wynalazku. Taka analiza istniejącego wynalazku wskazuje możliwe kierunki jego rozwoju.

7. Roadmapping technologiczny

Przykładem metody prognozowania normatywnego są mapy rozwoju technologii. Mapa (rozwoju) technologii (*technology roadmap*) jest szczególnym rodzajem planu integrującego cele krótko- i długoterminowe ze specyficznymi rozwiązaniami technologicznymi umożliwiającymi osiągnięcie tych celów. Plany takie tworzone są zarówno dla nowych wyrobów, dla technologii (zwłaszcza tych rozwijających się) a nawet dla określonych dyscyplin nauki i dziedzin techniki. Mapy technologii stosowane są najczęściej w trzech przypadkach:

- dla osiągnięcia konsensusu (wśród decydentów, ekspertów, inwestorów, itp.) odnośnie potrzeb oraz możliwości technicznych (technologii) wymaganych dla ich zaspokojenia,
- w celu prognozowanie rozwoju technologii i podejmowania racjonalnych decyzji dotyczących pozyskiwania i/lub własnego rozwoju technologii,
- dla ułatwienia planowania i koordynacji rozwoju nowych technologii.

Mapy technologii są narzędziem zarządzania strategicznego technologiami na poziomie:

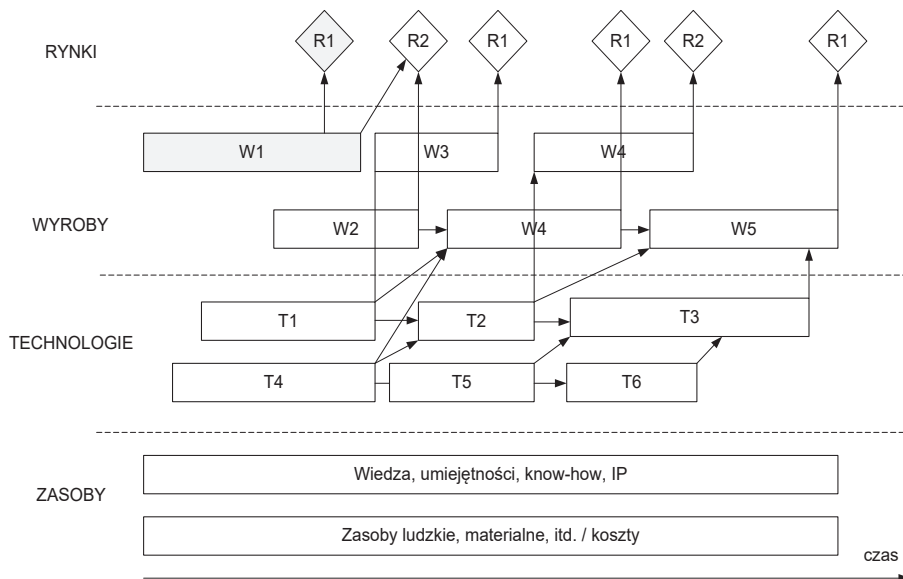
- sektora (np. mapa technologii dla przemysłu motoryzacyjnego),
- przedsiębiorstwa, wyrobu (rodziny wyrobów),
- określonych technologii (zwłaszcza tych przyszłościowych np. mapa nanotechnologii).

Pierwszą firmą, która zastosowała *roadmapping* technologiczny w praktyce była Motorola. W ślad za nią szereg innych firm wdrożyło u siebie procedury *roadmappingu*, głównie w odniesieniu do planowania rozwoju technologicznego

30 TRIZ ros. Теория Решения Изобразовательных Задач.

31 Altszuller H., *Algorytm wynalazku*, Wiedza Powszechna 1972.

przedsiębiorstwa oraz planowania produktów. Zazwyczaj wynikiem *roadmapping*'u technologicznego jest mapa drogowa technologii – ukierunkowana, celowa i wieloletnia metoda planowania biznesu (traktowana jako ciągły proces planistyczno-decyzyjny), rys. 2;



Rys. 2. Przykład mapy rozwoju technologii – *technology roadmap*

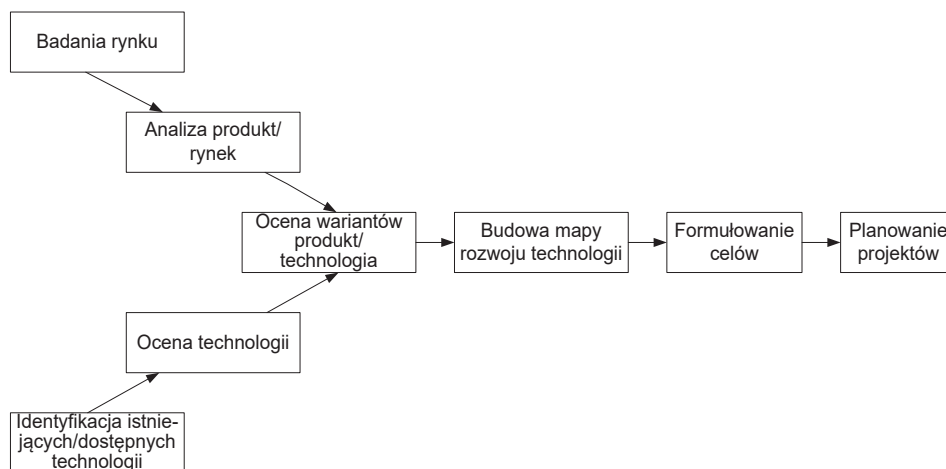
Źródło: opracowanie własne

bazująca na strategii rynkowej (biorącej pod uwagę klientów oraz konkurentów) uwzględniająca:

- rodziny produktów i platformy technologiczne;
- wymagania łańcucha dostaw;
- zależności pomiędzy poszczególnymi poziomami mapy;
- badania prowadzone w firmie oraz kompetencje firmy;
- dostępne zasoby;
- inne czynniki mające istotny wpływ na proces i wynik planowania,
- będąca narzędziem zarządzania (głównie planowania) międzyfunkcyjnego wykorzystywanym do komunikacji i do zarządzania współpracą zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz organizacji.

Mapy rozwoju technologii stanowią wsparcie dla naczelnego kierownictwa organizacji bądź przedsięwzięcia w zakresie podejmowania decyzji strategicznych w obszarze rozwoju technologii oraz produktów. Są jednym z podstawowych narzędzi zarządzania złożonymi, tzw. „naukochłonnymi” programami badawczo-roz-

wojowymi. Budowanie map technologii jest złożonym działaniem wymagającym udziału wielu osób, w tym tzw. ekspertów dziedzinowych. Proces roadmappingu technologicznego przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Proces budowy mapy rozwoju technologii – roadmappingu

źródło: Technology Roadmapping, WG52 Report, EIRMA, Paris b.r.w.

Korzyści wynikające z wdrożenia roadmapping'u technologicznego są następujące:

- lepsza korelacja celów biznesowych z celami produktowymi i technologicznymi przedsięwzięcia;
- efektywniejsze zarządzanie zasobami badawczymi, technologicznymi oraz produkcyjnymi przedsięwzięcia / przedsiębiorstwa / jednostki;
- łatwiejsza ocena wpływu podjętych decyzji strategicznych na przyszłość projektu;
- większa transparentność podejmowanych decyzji strategicznych;
- skupienie się na proaktywnym planowaniu (kreowanie przyszłości) zamiast planowania reaktywnego (odpowiedzi na zachodzące zmiany w bliskim oraz dalszym otoczeniu).

8. Metody ekstrapolacji trendu

8.1. Metody empiryczne

Jedną z przesłanek powstania metod empirycznych jest powszechnie obserwowane zjawisko coraz szybciej następujących zmian: liczby ludności na świecie, ilości generowanych informacji, w tym publikacji a ogólnie postępu naukowego

i technicznego. Doprowadziło to do sformułowania empirycznych, gdyż bazujących na obserwacjach, prawidłowości rozwoju określonych dyscyplin nauki i techniki. Być może najbardziej znanym jest tzw. „prawo” Moore’a, które stwierdza, iż liczba tranzystorów w wysoko zintegrowanych układach scalonych podwaja się w przybliżeniu co dwa lata. Jako pierwszy zwrócił na to uwagę w 1965 r. Gordon E. Moore, współzałożyciel firm Intel oraz Fairchild Semiconductors³². Początkowo sądził on, iż zależność ta będzie obowiązywać tylko w ciągu najbliższej dekady. Kolejne obserwacje potwierdzają, iż zasada ta obowiązuje nadal, chociaż pojawiają się opinie, iż technologia produkcji układów wysokiej skali integracji zbliża się do granic możliwości fizycznych. „Prawo” Moore’a było (a być może nadal jest) wykorzystywane w przemyśle półprzewodników w planowaniu długookresowym a także jako podstawa ustalania celów prac badawczo-rozwojowych. Warto zwrócić uwagę na to, iż istnieje wiele innych empirycznych prawidłowości. Poniżej przedstawiamy niektóre z nich:

- prawo Eroom’a mówiące, iż opracowanie nowych leków staje się coraz wolniejsze i bardziej kosztowne, niezależnie od postępu w technologii (biotechnologia, komputerowe projektowanie leków, i in.). Zgodnie z prawem Eroom’a koszt opracowania nowego leku rośnie dwukrotnie średnio co 9 lat, co zostało po raz pierwszy zaobserwowane już w latach 1980-tych,
- prawo Haitz’a, które stwierdza, iż koszt produkcji diod LED odniesiony do 1 lumenu strumienia światła maleje 10 krotnie co 10 lat zaś intensywność strumienia światła LED (żarówki) rośnie 20 krotnie w tym samym okresie (dla danej długości fali świetlnej),
- prawo Koomey’a określające energochłonność obliczeń komputerowych: liczba obliczeń przypadająca na 1 J energii rośnie dwukrotnie w przybliżeniu co 1.57 roku. Alternatywne sformułowanie tego prawa stwierdza, iż przy stałym obciążeniu (liczbie obliczeń) komputera, zużycie energii (a więc i wymagana pojemność akumulatora zasilającego komputer) zmniejsza się dwukrotnie co każde 1.5 roku. Ciekawe, iż tendencja ta utrzymuje się nieprzerwanie od lat 1950-tych.

Wymienione wyżej, a także inne, prawa empiryczne są wykorzystywane w prognozowaniu. Obserwacje potwierdzają w zasadzie słuszność tych praw, chociaż trwają dyskusje na temat zakresu ich obowiązywania. Prawa empiryczne, o których mowa w tym miejscu, wskazują często na wykładniczy charakter zmian. Zasadne są zatem pytania, jaki jest kres tych zmian i jak długo będą obowiązywać te prawa. Pytania te są o tyle istotne, iż milczącym założeniem, jakie się przyjmuje jest to, iż zjawiska, które są przedmiotem prognozowania, wynikają z pewnych praw fizycz-

32 Moore, Gordon E., *Cramming more components onto integrated circuits*, Proceedings of the IEEE, 86 (1998)1, January (reprint z 1965 r.).

nych a więc mają swoje ograniczenia. Im bardziej zbliżamy się do granic możliwości tych zjawisk, tym szybciej rosną m.in. koszty opracowania nowych technologii, co z jednej strony stawia pod znakiem zapytania sens kontynuacji takiej ścieżki rozwoju zaś z drugiej strony uzasadnia poszukiwanie nowych rozwiązań, wykorzystujących inne zjawiska i prawa fizyki, czego przykładem są prace nad komputerami kwantowymi, nowymi generacjami pamięci komputerowych, i in.

8.2. Metody analizy szeregów czasowych

Metody analizy szeregów czasowych wykorzystują dane historyczne i na tej podstawie dokonują ekstrapolacji zidentyfikowanych trendów w przyszłość. Ta grupa metod jest bardzo liczna i obejmuje zarówno proste metody wykorzystujące elementarne funkcje trendu, rys. 4, metody prognozowania ekonometrycznego³³, analizę regresji i korelacji, metodę średnich ruchomych, metodę wygładzania wykładniczego, metodę krzywych wzrostu, rozdz. 8.3 jak też bardzo zaawansowane np. metodę Boxa-Jenkinsa³⁴. W ogólnym przypadku szereg czasowy stanowi realizację pewnego procesu stochastycznego, którego dziedziną jest czas. Jest nim uporządkowany w czasie ciąg informacji, których pomiary dokonywane są w określonych (zazwyczaj stałych) odstępach czasu.

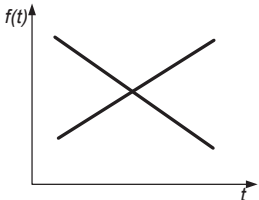
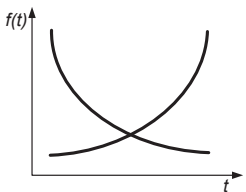
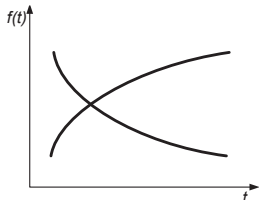
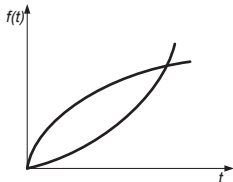
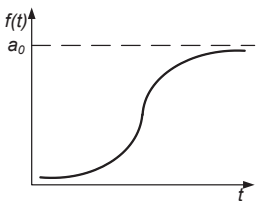
Szereg czasowy może zawierać kilka składników, a wśród nich:

- tendencję rozwojową zwaną trendem,
- wahania sezonowe (krótko i średnio okresowe),
- wahania cykliczne (długookresowe),
- wahania przypadkowe – czynnik losowy.

Metody ekstrapolacji trendu oparte są na założeniu, iż wszystkie czynniki mające w przeszłości wpływ na zmienną prognozowaną będą również występować w przyszłości i charakter tego wpływu nie ulegnie zmianie. Zaletą metod ekstrapolacji trendu jest możliwość prognozowania parametrów kwantyfikowalnych pod warunkiem dysponowania odpowiednio licznym zbiorem wiarygodnych danych historycznych. Metody ekstrapolacji trendu dobrze zdają egzamin zwłaszcza w przypadku prognoz krótkoterminowych. Wadą tych metod jest to, iż są bardzo wrażliwe na wszelkie nieciągłości oraz nieprzewidywalne zmiany czynników mających wpływ na zmienną prognozowaną, co ma związek z tym, że nie biorą pod uwagę w sposób bezpośredni związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zmienną prognozowaną a czynnikami zewnętrznymi.

33 Cieślak M. (red.) *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, PWN, Warszawa 1997

34 Box G., Jenkins J., *Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie*, PWN, Warszawa, 1986

Lp	Nazwa funkcji prognozy	Postać matematyczna funkcji prognozy	Rysunek funkcji
1	liniowa	$f(t) = a_0 + a_1 \cdot t$	
2	wykładnicza	$f(t) = a_0 \cdot e^{a_1 t}$	
3	logarytmiczna	$f(t) = a_0 + a_1 \cdot \log t$	
4	potęgowa	$f(t) = a_0 \cdot t^{a_1}$	
5	logistyczna	$f(t) = \frac{a_0}{1 + a_1 \cdot e^{-a_2 t}}$	

Rys. 4. Przykłady elementarnych funkcji trendu

Dla zilustrowania istoty metod ekstrapolacji trendu posłużymy się liniowym modelem prognozy, rys. 4, $f(t) = a_0 + a_1 \cdot t + \varepsilon$, gdzie a_0 , a_1 są parametrami (liniowej) funkcji prognozy zaś ε jest błędem prognozy tzn. różnicą pomiędzy

teoretyczną a zaobserwowaną wartością funkcji prognozy. Znajomość parametrów a_0, a_1 umożliwia wyznaczenie wartości zmiennej prognozowanej dla ustalonej chwili t_p . Wyznaczenie wartości a_0, a_1 odbywa się na podstawie analizy danych historycznych : danych jest n obserwacji zmiennej prognozowanej $f_1 = f(t_1), f_2 = f(t_2), \dots, f_n = f(t_n)$ odpowiadających kolejnym chwilom $t_1, t_2, \dots, t_n, t_1 < t_2 < \dots < t_n$. Wartości parametrów a_0, a_1 liniowej funkcji prognozy wyznacza się tak, aby zminimalizować następującą funkcję:

$$F(a_0, a_1) = \left\{ \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(f_i - \check{f}(t_i) \right)^2 \right\}$$

Gdzie :

f_i – zaobserwowana wartość funkcji prognozy w chwili t_i

$\check{f}(t_i)$ – obliczona wartość funkcji prognozy w chwili t_i

podstawiając: $\check{f}(t) = a_0 + a_1 \cdot t$ oraz $\frac{\partial F}{\partial a_0} = 0$, $\frac{\partial F}{\partial a_1} = 0$, otrzymujemy:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n f_i - n \sum_{i=1}^n t_i f_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2} \text{ oraz } a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n t_i f_i - \sum_{i=1}^n t_i^2 \sum_{i=1}^n f_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2}$$

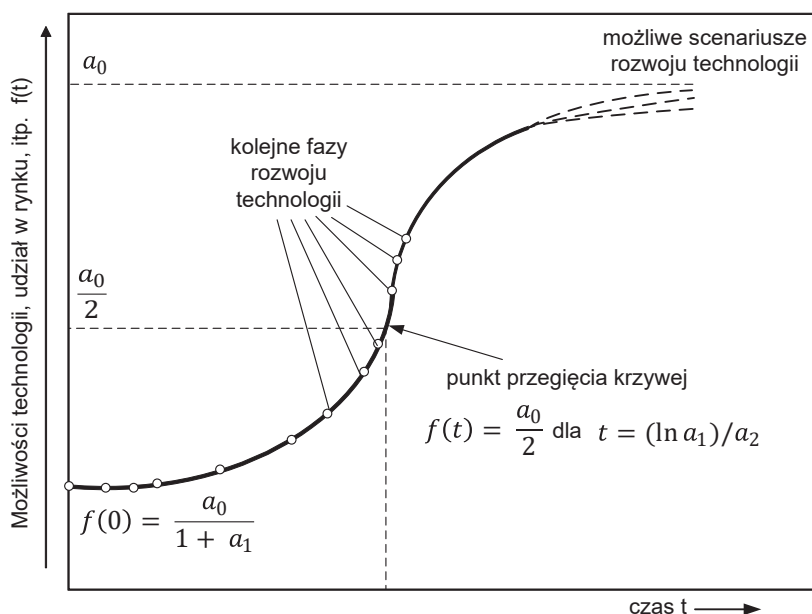
Powyższe podejście do szacowania parametrów liniowej funkcji trendu nosi nazwę metody najmniejszych kwadratów. Może być ona wykorzystana do szacowania parametrów także innych prostych funkcji prognozy, m.in. funkcji wykładniczej, potęgowej i logistycznej³⁵. Uogólnieniem analizy szeregów czasowych jest analiza regresji, w której badane są związki pomiędzy dowolnymi wielkościami charakteryzującymi pewne zjawisko. W ten sposób na podstawie znajomości pewnych wielkości można przewidywać (prognozować) inne wielkości.

8.3. Krzywe S rozwoju technologii

Specjalne miejsce wśród metod prognozowania zmian w technice zajmują modele matematyczne, obrazujące proces rozwoju (doskonalenia) technologii. Szczególną ich kategorię stanowią krzywe S rozwoju technologii. Początkowo postęp w rozwoju technologii jest powolny (por. rys.5), co związane jest z koniecznością rozwiązywania wielu nowych problemów, dokonywania częstych zmian, rozpatrywania wielu wariantów rozwiązań, itp. Następnie rozwój technologii, mierzony parametrami charakteryzującymi jej możliwości, ulega przyspieszeniu. Wielu

³⁵ Por. rozdz. 8.3.

naśladowców bierze udział w doskonaleniu technologii, co zwiększa szybkość zmian. Po pewnym czasie krańcowa stopa zmian technologii maleje, czego sygnałem jest zmniejszanie się efektów zmian technologii przypadających na jednostkę nakładów. W kolejnych okresach poziom technologii zbliża się do granic swoich możliwości. Dalsze finansowanie rozwoju technologii przestaje być opłacalne, gdyż nakłady na doskonalenie technologii stają się relatywnie większe w stosunku do uzyskiwanych efektów (poprawy parametrów technologii). Ponadto pojawiają się jej następne generacje, początkowo nawet o gorszych parametrach lecz o dużym potencjale wzrostu. Krzywa opisująca taki scenariusz rozwoju technologii ma charakterystyczny kształt przypominający spłaszczoną literę S, stąd nazwa krzywa S rozwoju technologii.



Rys. 5. Przykład krzywej wzrostu (krzywa Pearla)

Źródło: opracowanie własne

Podobny charakterystyczny przebieg ma zmiana udziału technologii w rynku (proces zastępowania dotychczasowych technologii przez technologie nowe), gdzie początkowo nowa technologia konkuruje z istniejącymi i dobrze znanymi technologiami. W tym przypadku określa się je jako modele wzrostu bądź modele procesu substytucji (*substitution process*). Bazują one na założeniu, że proces zastępowania istniejącego zespołu rozwiązań technicznych (ich wzrostu) przez inny zespół jest funkcją ich udziału w rynku. Niekiedy założenie to ulega modyfikacji,

przyjmując, że proces ten zależy w równym stopniu od udziału w rynku i od czynnika czasu. Wśród modeli tej grupy najbardziej znany (i najstarszy) jest model Pearla, mający następującą postać, por. rys. 5:

$$f(t) = \frac{a_0}{1 + a_1 \cdot e^{-a_2 t}}$$

gdzie:

$f(t)$ jest udziałem (%) technologii w rynku w chwili t ,

a_0 jest górną granicą wzrostu zmiennej prognozowanej,

a_1, a_2 – współczynniki funkcji wzrostu otrzymane na podstawie analizy danych.

Funkcja Pearla ma następujące właściwości:

- dla $t = -\infty$, $f(-\infty) = 0$ zaś dla $t = +\infty$, $f(+\infty) = a_0$
- dla $t = 0$, $f(0) = a_0 / (1 + a_1)$, co oznacza początkowy udział technologii w rynku
- punkt przegięcia krzywej $t = (\ln a_1) / a_2$, gdzie $f(t) = a_0 / 2$.
- jest symetryczna względem punktu przegięcia,
- zmiany współczynników a_1 i a_2 są niezależne, tzn. zmiana a_1 wpływa tylko na położenie krzywej nie zaś na jej kształt, z kolei zmiana a_2 powoduje tylko zmianę kształtu krzywej bez wpływu na położenie.

Estymacja parametrów a_1, a_2 funkcji Pearla polega na prostym przekształceniu:

$$\ln \left(\frac{f(t)}{a_0 - f(t)} \right) = -\ln a_1 + a_2 t$$

Z prawej strony otrzymujemy równanie prostej o współczynnikach odpowiednio $-\ln a_1$ oraz a_2 . Na podstawie obserwacji (pomiarów) zmiennej prognozowanej otrzymujemy:

$$f(t)^* = \{f(1)^*, f(2)^*, \dots, f(n)^*\}$$

Współczynniki $-\ln a_1$ oraz a_2 prostej można teraz wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów (przyjmując wartość a_0 oznaczającą maksymalny poziom nasycenia rynku technologią bądź też maksymalne parametry technologii, itp.).

Różniczkując $f(t)$ względem t , po przekształceniach, otrzymujemy:

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{a_2}{a_0} \cdot f(t) \cdot (a_0 - f(t))$$

co oznacza, iż zmiana wartości funkcji $f(t)$ jest proporcjonalna do już osiągniętej wartości oraz do odległości od wartości maksymalnej (poziomu nasycenia). Odpowiada to kształtowi (spłaszczony) litery S; stąd nazwa tej rodziny funkcji – funkcje

S rozwoju technologii. Istnieje wiele innych funkcji o takim kształcie, które można wykorzystać w prognozowaniu rozwoju technologii. Wśród nich można wymienić model Fishera-Pry, będący modyfikacją modelu Pearla, model Gompertza, tzw. krzywe logistyczne i in.

9. Metody modelowania

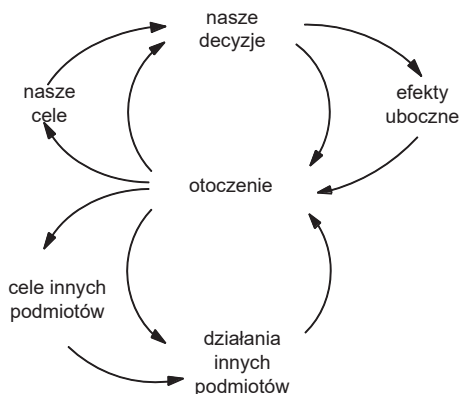
Metody modelowania wykorzystują uproszczone reprezentacje świata rzeczywistego, w tym jego struktury i dynamiki (zmiany stanu w czasie). Ta grupa metod wykorzystuje zarówno modele procesów (przepływu), proste równania jak również modele fizyczne oraz modele symulacyjne. Istotną kwestią jest to, jak dokładnie modele odwzorowują fragment badanego świata rzeczywistego i czy badając takie modele (np. wykonując eksperymenty na modelach) uzyskamy wiarygodne i wartościowe informacje na temat modelowanego fragmentu świata rzeczywistego. Silną stroną modeli jest możliwość opisu sposobu zachowania się (a więc zmian) obiektu rzeczywistego i na tej podstawie wyciągania wniosków dotyczących przyszłości. Model nie zastępuje rzeczywistego obiektu badań, co oznacza, iż nie jest w stanie dostarczyć wszelkich informacji na temat obiektu rzeczywistego. Dlatego ważny jest aspekt budowy modeli określający cel ich budowy oraz rodzaj i zakres informacji, jakie chcemy na tej podstawie z modelu uzyskać. Modele są szczególnie przydatne w przypadku badania zjawisk, które poddają się kwantyfikacji. W ten sposób można jednak pominąć istotne czynniki niewymierne mogące mieć duży wpływ na prognozowane zjawisko. W takich sytuacjach celowa jest budowa modeli hybrydowych, w których integralną częścią modelu są ludzie, podejmujący decyzje czy też wyrażający opinie³⁶. Dotyczy to zwłaszcza modeli wykorzystywanych do celów prognozowania technologii. Modele są wygodnym i skutecznym narzędziem prognozowania, gdy możliwe i celowe jest uproszczenie złożonego systemu rzeczywistego i jego reprezentacja w postaci (zawsze) uproszczonego modelu. W prognozowaniu rozwoju technologii szczególnie użyteczne są modele dynamiki systemów³⁷. Twórcą dynamiki systemów był J. Forrester, profesor MIT³⁸. W modelach dynamiki systemów przedmiotem badania są złożone systemy techniczne, społeczne, gospodarcze, przyrodnicze, i in. W modelach odwzorowywane są interakcje pomiędzy jego elementami, mające charakter sprzężeń zwrotnych. Interakcje te związane są z przepływem informacji, energii, materiałów (wyrobów), itp. Przepływowi tym towarzyszą transformacje i opóźnienia. W szczególności przedmiotem modelowania mogą być procesy w których uczestniczą ludzie, jako podmiot bądź przedmiot

36 Por. rozdz. 5.

37 Sterman J.D., *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin-McGraw Hill 2000.

38 Forrester J.W., *Industrial Dynamics*, Pegasus Communications Inc., Waltham 1999 (reprint).

określonych działań, w tym jako decydenci. Przesłanką podejmowania działań jest obserwacja otoczenia, w tym skutków wcześniejszych decyzji, rys. 6. Prowadzi to do przeformułowania własnych celów (zmiany/ korekty planów) a następnie kolejnych decyzji, które mają wpływ na otoczenie a także powodują efekty uboczne, wcześniej nie planowane bądź nawet nie brane pod uwagę. Nasze działania powodują jednak reakcję innych podmiotów, działających w tym samym otoczeniu. Taki model może służyć do wyjaśniania a także prognozowania skutków wdrożenia nowych technologii, uwzględniając różne interakcje pomiędzy elementami tego systemu oraz szeroko rozumianym otoczeniem (gospodarczym, społecznym, przyrodniczym), w tym związane z występowaniem opóźnień. Modele dynamiki systemów pozwalają przewidywać dynamiczne interakcje w takich złożonych systemach. Jednym z pierwszych zastosowań dynamiki systemów, a być może najbardziej znanym, były analizy i rekomendacje Klubu Rzymskiego dotyczące globalnych problemów świata, w tym związanych z zagrożeniami środowiska, wyczerpywaniem się zasobów naturalnych, wzrostem liczby ludności, i in.³⁹



Rys. 6. Model sprzężeń zwrotnych w systemie

Źródło: Sterman J.D., *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin – McGraw Hill, 2000

W prognozowaniu technologii można także stosować inne modele symulacyjne, w tym modele symulacji dyskretniej, modele symulacyjne zorientowane obiektowo, metodę Monte Carlo, drzewa decyzyjne (np. metoda PATTERN), gry statystyczne⁴⁰, gry interaktywne których uczestnikami (elementami) są ludzie, i in.

39 Mesarović M., Pestel E., *Ludzkość w punkcie zwrotnym*. Drugi raport dla Klubu Rzymskiego, PWE, Warszawa 1977.

40 Greń J., *Gry statystyczne i ich zastosowania*, PWE, Warszawa 1972.

10. Ocena oddziaływania technologii

Decyzje dotyczące celowości opracowania i wdrożenia nowej technologii są związane z oceną oddziaływania technologii nie tylko na organizację, jej procesy, pozycję konkurencyjną, i in. lecz również na środowisko, społeczeństwo, a więc dotyczą w istocie przyszłości. Takie oceny są ważne a niekiedy wręcz niezbędne w przypadku wielu technologii rozwijających się (tj. znajdujących się we wczesnych fazach rozwoju) i przełomowych (radykalnych), których kierunki rozwoju oraz oddziaływanie na otoczenie nie są jeszcze znane ani też przewidywane, i są dokonywane w skali globalnej, regionalnej, krajowej bądź konkretnej organizacji. Ocena skutków oddziaływania technologii wywodzi się z prognozowania techniki (kierunki, tempo i poziom rozwoju, możliwe korzyści i zagrożenia, itp.), biorąc pod uwagę m.in. kryteria etyczne, opinię społeczeństwa, wpływ techniki i technologii na środowisko społeczne i naturalne, i in.⁴¹ Ocena skutków oddziaływania technologii jest iteracyjnym, opartym na naukowych przesłankach procesem komunikowania się, którego celem jest uzyskanie opinii na temat szeroko rozumianych społecznych aspektów nauki i techniki. Taka ocena wynika z przekonania, iż nowe odkrycia i technologie są ważne dla społeczeństwa a nie tylko dla naukowców i inżynierów a także, iż postęp naukowo-techniczny rodzi dylematy etyczne. Aby ocenić technologie nie wystarczy po prostu rozwiązać problemy i spełnić zakładane wymagania i ograniczenia, lecz także trzeba przeciwdziałać możliwym negatywnym konsekwencjom, jakie mogą się pojawić w wyniku przypadkowego czy też bezmyślnego wykorzystania i upowszechnienia nowej technologii⁴².

Brak oceny skutków oddziaływania technologii z uwzględnieniem uwag, opinii i oczekiwań osób i środowisk, które z różnych względów są nimi zainteresowane bądź są (lub też będą) przedmiotem oddziaływania tych technologii rodzi liczne problemy natury etycznej, społecznej a nawet politycznej. Bagatelizowanie tego problemu powoduje opóźnienia w realizacji przedsięwzięć, konieczność zmiany projektów, wzrost kosztów a także niepotrzebne napięcia społeczne i polityczne. Warto podkreślić, iż ciągle pojawiają się technologie o potencjalnie znacznych, lecz dostatecznie nie zbadanych oddziaływaniach na społeczeństwo, środowisko naturalne, i in. Wystarczy w tym miejscu wymienić nanotechnologie (jako przykład technologii nadal rozwijających się a więc podatnych jeszcze na korekty) oraz telefonię komórkową (technologia dojrzała, powszechnie stosowana a więc już trudna do ewentualnych zmian) ze względu na jej udokumentowany wpływ na ludzi, biotechnologię i bioinżynierię (rodzące wątpliwości moralne i często gwałtowne protesty ze strony różnych środowisk).

41 Jantsch E., op.cit.

42 Decker M., Ladikas M. (eds), *Bridges between Science, Society and Policy*, Springer, Berlin, 2004; Sorenson K., Williams R. (eds), *Shaping Technology, Guiding Policy*, Edward Elgar, Cheltenham (UK), 2002.

11. Wykorzystanie w praktyce metod planowania i prognozowania rozwoju nowych technologii

Zainteresowanie metodami przewidywania przyszłości nie tylko nie zmalało od czasów starożytności ale jest duże jak nigdy wcześniej. Wiąże się to z koniecznością podejmowania wielu złożonych decyzji, w zmiennym środowisku, których efekty przesunięte są w czasie. Dotyczy to wielu aspektów działalności politycznej, społecznej, ekonomicznej, naukowej, technicznej, i in. Prognozowanie jest zatem narzędziem wspomagającym preparacyjną (przygotowawczą) fazę działalności. Dotyczy to w szczególności prognozowania rozwoju technologii. Przejawem dużego zainteresowania i znaczenia prognozowania rozwoju technologii są ciągłe poszukiwania nowych metod prognozowania, umożliwiających opracowywanie dokładniejszych prognoz, w oparciu o tzw. słabe sygnały, dane jakościowe, itp. Warto w tym miejscu wymienić kilka przykładów nowych i szybko rozwijających się metod prognozowania: analiza dużych zbiorów danych (web mining, data mining), automaty komórkowe, teoria chaosu, metody business intelligence, i in. Pomimo tak dużej liczby metod, prognozowanie stanowi nadal duże wyzwanie dla wszystkich, którzy próbują przewidywać przyszłość. Być może jedną z przyczyn jest to, iż rozwój technologii jest wypadkową nie tylko stanu nauki i techniki, kwalifikacji pracowników zajmujących się badaniami i rozwojem, poziomu finansowania lecz także wielu czynników politycznych, społecznych i ekonomicznych a zwłaszcza ich złożonych interakcji mających decydujący wpływ na przyszłość⁴³.

Warto także zwrócić uwagę, iż wybór właściwego podejścia do prognozowania (metodyka i metody prognozowania) wymaga uwzględnienia „wartości” prognozy w porównaniu z kosztami jej opracowania. Wśród omawianych metod prognozowania znajdują się zarówno proste, łatwe i tanie w zastosowaniu jak również skomplikowane, wymagające udziału wielu osób, trudne i kosztowne w zastosowaniu. Na wybór metody prognozowania duży wpływ ma charakter środowiska, w którym dokonywana jest prognoza a także ilość i jakość danych, charakter prognozy (ilościowa czy jakościowa). W wielu metodach prognozowania przyjmuje się względną stabilność otoczenia, z wyraźnymi trendami. W takich przypadkach metody statystyczne prognozowania zazwyczaj zdają egzamin, zwłaszcza w przypadku prognoz krótkoterminowych. Często jednak przyszły rozwój, w tym pojawienie się nowych technologii jest wynikiem odkrycia naukowego lub wynalazku, których pojawienie się nie wynika w prosty sposób z dotychczasowego stanu i rozwoju nauki i techniki⁴⁴.

43 Meredith J.R., Mantel S.J., *Project Management: A Managerial Approach*, 7th ed., Appendix B: Technological Forecasting, John Wiley and Sons, New York, NY, 2015

44 Armstrong J.S., *Selecting Forecasting Methods*, w: Armstrong J.S. (ed.). *Principles of Forecasting. A Handbook for Researchers and Practitioners*, Kluwer, 2001

Zazwyczaj w prognozowaniu dostępne dane są traktowane jako szereg czasowy, w którym poszukuje się charakterystycznych prawidłowości (trend, wahania cykliczne, i in.). Ich identyfikacja ułatwia wybór odpowiedniej metody prognozowania. Pomocna może być także identyfikacja związków przyczynowo skutkowych, zwłaszcza wówczas, gdy na rozwój technologii ma wpływ wiele czynników, powiązanych ze sobą (np. w metodzie dynamiki systemów). Dostępne dane historyczne dotyczą zazwyczaj krótkiego okresu czasu. Z tego też względu metody ekstrapolacji trendu można stosować jedynie w prognozowaniu krótkookresowym. W prognozowaniu długookresowym bardziej odpowiednie są metody ocen eksperckich. Metody te są zalecane wówczas, gdy brak jest danych liczbowych bądź też brak jest czasu i środków, aby takie dane zgromadzić a także wówczas, gdy liczba zmiennych problemu (zarówno prognozowanych – objaśnianych jak też objaśniających) jest duża zaś relacje pomiędzy nimi są złożone bądź niezbyt dobrze znane.

Literatura

- [1]. Ackoff R., *Decyzje optymalne w naukach stosowanych*, PWN, Warszawa 1969.
- [2]. Altszuller H., *Algorytm wynalazku*, Wiedza Powszechna 1972.
- [3]. Armstrong J.S., *Selecting Forecasting Methods*, w: Armstrong J.S. (ed.). *Principles of Forecasting. A Handbook for Researchers and Practitioners*, Kluwer, 2001.
- [4]. Bloch J., *Przyszła wojna pod względem technicznym, ekonomicznym i politycznym*, Polski Instytut Spraw Międzynarodowych, Warszawa 2005.
- [5]. Box G., Jenkins J., *Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie*, PWN, Warszawa, 1986.
- [6]. Cieślak M. (red.) *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, PWN, Warszawa 1997.
- [7]. Daim T.U., Rueda G., Martin H., Gedrsri P., *Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis*, Technological Forecasting & Social Change 73 (2006), str. 981-1012.
- [8]. Decker M., Ladikas M. (eds), *Bridges between Science, Society and Policy*, Springer, Berlin, 2004.
- [9]. Durlik I., Santarek K., *Inżynieria zarządzania III. Naukowe, techniczne i inwestycyjne przygotowanie produkcji wyrobów wysokiej techniki*, C.H.Beck, Warszawa 2016.
- [10]. Forrester J.W., *Industrial Dynamics*, Pegasus Communications Inc., Waltham 1999 (reprint).
- [11]. Fukuyama F., *Koniec człowieka*, Wydawnictwo ZNAK, Kraków 2004.
- [12]. Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И., *Теоретические основы инженерного прогнозирования*, Наука, Москва 1973.

- [13]. Greco S., Ehr Gott M., Figueira J.R., *Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys*, Springer 2016.
- [14]. Greń J., *Gry statystyczne i ich zastosowania*, PWE, Warszawa 1972.
- [15]. Halpern P., *Na tropach przeznaczenia. Z dziejów przewidywania przyszłości*, Wydawnictwo W.A.B., Warszawa 2004.
- [16]. Jantsch E., *Technological Forecasting in Perspective*, OECD, Paris, 1967.
- [17]. Kolonko J., *Analiza dyskryminacyjna i jej zastosowania w ekonomii*, PWE, Warszawa 1980.
- [18]. Lindstone H., Turoff M. (ed.), *The Delphi Method*, Addison Wesley Publishing Co., 1975.
- [19]. Литвак Б.Г., *Экспертная информация. Методы получения и анализа*, Радио и Связь, Москва 1982.
- [20]. Martino J.P., *Technological Forecasting for Decision Making*, 3rd ed., McGraw Hill, New York, 1993.
- [21]. Meredith J.R., Mantel S.J., *Project Management: A Managerial Approach*, 7th ed., Appendix B: Technological Forecasting, John Wiley and Sons, New York, NY, 2015.
- [22]. Mesarović M., Pestel E., *Ludzkość w punkcie zwrotnym. Drugi raport dla Klubu Rzymskiego*, PWE, Warszawa 1977.
- [23]. Moore, Gordon E., *Cramming more components onto integrated circuits*, Proceedings of the IEEE, 86 (1998)1, January 1998 (reprint z 1965 r.).
- [24]. Mortara L., Kerr C., Phaal R., Probert D., *Technology intelligence: Identifying threats and opportunities from new technologies*, University of Cambridge, 2007.
- [25]. Norling P. M., Herring J. P., Rosenkrans W. A., Stellpflug M., Kaufmann S. B., *Putting competitive technology intelligence to work*, Research-Technology Management 43(2000)5, pp. 23-28.
- [26]. Roper A.T., Cunningham S.W., Porter A.;L., Mason T.W., Rossini F.A., Banks J., *Forecasting and Management of Technology*, 2nd ed., J.Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [27]. Roy B., *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*, La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO) 1968 nr 8.
- [28]. Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill New York 1980.
- [29]. Sneath P.H., Sokal R.R., *Numerical Taxonomy*, W.H.Freeman, San Francisco 1973.
- [30]. Sorenson K., Williams R. (eds), *Shaping Technology, Guiding Policy*, Edward Elgar, Cheltenham (UK), 2002.
- [31]. Sterman J.D., *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin-McGraw Hill 2000.
- [32]. *Technology Roadmapping*, WG52 Report, EIRMA, Paris b.r.w.
- [33]. Toffler A., *Szok przyszłości*, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 1998.
- [34]. Toffler A., *Trzecia fala*, PIW, Warszawa 1997.

- [35]. Toffler A., Toffler H., *Rewolucyjne bogactwo*, Wydawnictwo KURPISZ S.A., Przeźmierowo 2007.
- [36]. UNIDO Technology Foresight Manual, Vol.1: Organisation and Methods, Vol.2: Technology Foresight in Action, UNIDO, Vienna 2005, tłum. polskie PARP, Warszawa 2007.
- [37]. Ustawa prawo własności przemysłowej, Dziennik Ustaw z 2001 r., nr 49, poz. 508.
- [38]. Van der Heijden K., *Planowanie scenariuszowe w zarządzaniu strategicznym*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2000.
- [39]. Van Ryzin J. (red.), *Classification and Clustering*, Academic Press 1977.

II. Innowacyjność w dobie globalizacji

„Innowacyjność nie polega na wymyślaniu czegoś zupełnie nowego, lecz na umiejętnym zastosowaniu czegoś już działającego w całkiem nowej sytuacji”

(M. Sawhney, S. Khosla)

Wprowadzenie

Mimo, iż przez ostatnie 25 lat polska gospodarka permanentnie znajdowała się na ścieżce wzrostowej, w produkcji zaawansowanej technologii, to w ciągu ostatnich kilkunastu lat zdołała wyprzedzić wiele krajów, w tym m.in. Indie, Brazylię i Turcję. Jak wynika bowiem z raportu Oxford Economics, przygotowanego dla holdingu HSBC, w 2000 r. nasz kraj zajmował 21. pozycję na świecie (w globalnym zestawieniu rynku wysokich technologii), a w 2013 – już 14. pozycję. Niestety wzrost ten w niewielkim stopniu miał źródło w innowacyjności krajowych producentów; w dużej mierze wynikał on z przenoszenia do Polski różnego rodzaju zakładów produkcyjnych, takich jak fabryki samochodów, czy sprzętu elektronicznego, jak i ze zdolności do absorpcji i komercyjnego wykorzystania zagranicznej myśli i technologii oraz niskim kosztem pracy. Z drugiej jednak strony autorzy raportu pozytywnie odnoszą się do prognoz w tym zakresie – według nich Polska w 2030 r. może nawet osiągnąć 11. miejsce wśród największych światowych producentów „high-tech”, wyprzedzając Francję czy Wielką Brytanię. Świadczyć to może o tym, iż w Polsce kreowanych będzie coraz więcej własnych technologii, wytwarzanych od początku do końca przez rodzimych producentów [31, 32].

Co więcej, należy stwierdzić, iż przez najbliższe 15-20 lat, głównym bodźcem rozwoju polskiej gospodarki będą innowacje, a ich punktem wyjściowym – odpowiednia ilość środków finansowych oraz odpowiednie know-how w zakresie zarządzania procesami innowacyjnymi. Należy ponadto zwrócić uwagę na rolę państwa w procesie tworzenia innowacji – jego zadania powinny być przemyślane, skoncentrowane na wybranych celach, a wsparcie konsekwentne i długoterminowe, głównie poprzez proinnowacyjną politykę podatkową i inwestycyjną. Państwo

45 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji.

powinno ponadto oddziaływać na sektor komercyjny, przez takie jednostki jak Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) czy ARP. Natomiast ciężar aktywnego wytworzenia innowacji powinny wziąć na siebie uczelnie, ośrodki badawcze i wiodące na rynku przedsiębiorstwa. Stąd też, istotne staje się z jednej strony wykreowanie odpowiednich mechanizmów pozwalających na przełożenie badań na nowe, użyteczne technologie, a z drugiej – inwestowanie w kadrę inżynierską i inkubatory przedsiębiorczości, które powinny stać się pośrednikami pomiędzy nauką a przemysłem.

Duże znaczenie wydaje się więc mieć, przyjęta 25 września 2015r., przez Sejm RP, ustawa o wspieraniu innowacyjności, znosząca liczne bariery w sektorze nauki i w sektorze przedsiębiorstw. Zgodnie z nową ustawą zniesione będzie opodatkowanie aportu własności intelektualnej i przemysłowej. Ustawa umożliwia ponadto rozwój rynku *venture capital* poprzez premiowanie funduszy inwestujących w przedsiębiorstwa zajmujące się działalnością B+R i charakteryzujące się dużą innowacyjnością. Nie mniej istotne jest to, że wprowadzone przepisy uproszczą zasady rozporządzania majątkiem przez uczelnie, instytuty badawcze i Polską Akademię Nauk. Jednostki nie będą musiały każdorazowo uzyskiwać zgody Ministra Skarbu Państwa na zakup, sprzedaż lub licencjonowanie elementów majątku [33].

Nie ulega wątpliwości, iż innowacje stanowią bardzo istotny czynnik determinujący rozwój społeczno-gospodarczy danego kraju. Odzwierciedlają one poziom innowacyjności gospodarki poprzez swoją liczbę, a w konsekwencji bezpośrednio wpływają na konkurencyjność całego kraju, jak i dobrobyt społeczeństwa. Można się również spotkać z opinią, iż innowacyjność kraju skutkuje jego odpornością antykryzysową.

1. Pojęcie i istota innowacji

Innowacje to pojęcie bardzo szerokie i definiowane głównie jako zmiana jednego sposobu działania na inny, który jest bardziej efektywny lub jako proces polegający na przekształceniu istniejących możliwości w nowe idee, a następnie wprowadzenie ich do praktycznego zastosowania. Dotyczy nie tylko wynalazków czy nowych technologii produkcji, ale także np. handlu czy logistyki, itp.

Pojęcie innowacji pochodzi z języka łacińskiego od słów: *innovare* – tworzenie czegoś nowego, czy *innovatio* – odnowienie, choć niektórzy autorzy twierdzą, iż wywodzi się ono od innego łacińskiego słowa – *novus*, oznaczającego nowość [5]. Do nauk ekonomicznych wprowadził je – na początku XX w. – J.A.Schumpeter [25]. Definiował on to pojęcie dosyć szeroko, jako nowatorskie połączenie kapitału i środków produkcji, obejmujące swoim zasięgiem pięć następujących kategorii: (1) introdukcję nowego wyrobu (wprowadzenie nowatorskiego towaru, usługi itp., z którym

klienci nie mieli jeszcze styczności), (2) introdukcję nowej metody produkcji czy dystrybucji (wdrożenie nowego sposobu produkcji niewypróbowanego w danej gałęzi przemysłu), (3) otwarcie nowego rynku (na którym dana gałąź krajowego przemysłu wcześniej nie występowała – bez względu, czy rynek istniał uprzednio czy nie), (4) pozyskanie nowych źródeł surowców lub półfabrykatów (bez względu na to, czy dane źródło już istniało, czy zostało nowoodkryte), (5) tworzenie nowych struktur rynkowych w przemyśle, np. wdrożenie nowej organizacji produkcji. W tym ujęciu tradycyjnym innowacje traktowane są jako proces o wieloaspektowym wymiarze prowadzący do zmian o charakterze jakościowym [24].

Ponadto Schumpeter rozumiał innowacje jako tworzenie zmian fundamentalnych lub radykalnych, obejmujących transformację nowej idei lub technologicznego wynalazku w rynkowy produkt lub proces [30]. Dostrzegł on również ich przełomową rolę jako katalizatora zmian gospodarczych. Wprowadzenie terminu „innowacje” przez J. Schumpetera rozpoczęło dyskusję nad znaczeniem innowacji w gospodarce.

Jak już podkreślono, zarówno w literaturze, jak i praktyce gospodarczej istnieje wiele definicji pojęcia innowacje – interpretacja zarówno pojęć, jak i procesów innowacyjnych ewaluowała bowiem wraz z rozwojem gospodarki. Wynika to zarówno z odmienności ujęć teoretycznych, jak i z niedługiej tradycji badań nad innowacjami. W tabeli 1 dokonano przeglądu definicji analizowanego terminu, w podziale na wąskie i szerokie ujęcie innowacji.

Tab. 1. *Wąskie i szerokie ujęcie innowacji – wybrane definicje [3-6, 12-15, 21-23, 27]*

Autor	Definicja
Wąskie ujęcie innowacji – innowacją jest wyłącznie pierwsze zastosowanie	
Carter, Williams (1958)	Innowacje to wprowadzenie wynalazku stanowiącego część nie wykorzystanej wiedzy technologicznej.
Kuznets (1959)	Innowacje to nowe zastosowanie starej lub nowej wiedzy do procesu produkcji inicjującej zastosowanie wynalazku.
Mansfield (1968)	Innowacja to pierwsze zastosowanie nowatorskiego produktu, procesu, systemu lub urządzenia (maszyny).
Whitfield (1979)	Innowacja to każda modyfikacja bazująca na asymilacji przekazywanej wiedzy. Innowacja to ciąg skomplikowanych działań polegających na rozwiązywaniu problemów. W rezultacie powstaje kompleksowa i całkowicie opracowana nowość.
Freeman, Soete (1994)	Innowacja to pierwsze komercyjne zastosowanie lub wyprodukowanie nowej technologii lub produktu.
Kotler (1994)	Innowacja to każde dobro, które przez kogoś jest postrzegane jako nowe.
Begg (1997)	Innowacje to zastosowanie nowej wiedzy w procesie produkcji.

Autor	Definicja
Szerokie ujęcie innowacji – innowacje to wszelkie procesy badań i rozwoju, zmierzające do zastosowania i użytkowania ulepszonych rozwiązań w technice, technologii i organizacji	
Barnett (1953)	Innowacja to każda myśl, zachowanie lub rzecz, która jest nowa, tzn. jakościowo różni się od form istniejących.
Porter (1990)	Innowacje to pomyślna ekonomicznie eksploatacja nowych pomysłów. To kontinuum zmian techniczno-organizacyjnych, obejmujące z jednej strony proste modyfikacje istniejących produktów, procesów i praktyk do fundamentalnie nowych produktów i procesów z drugiej. Realizacja innowacji angażuje cały szereg czynności naukowych, technologicznych, organizacyjnych, finansowych i handlowych.
Lundvall (1992)	Innowacja to interaktywny proces uczenia się, który ma społeczne i terytorialne odniesienie oraz kontekst kulturalny i instytucjonalny.
Rothwell (1992)	Innowacja to proces akumulacji know-how oraz uczenia się wewnętrznego i zewnętrznego. To techniczne, finansowe jak i związane z zarządzaniem, projektowaniem, produkcją, marketingiem, działania zaangażowane w komercjalizację nowego (bądź ulepszanego) procesu wytworzenia lub produktu.
Haffer (1998)	Innowacje to wszelkie zmiany, które w danych warunkach przestrzennych i czasowych postrzegane są jako nośniki nowości dotyczące w równej mierze wytworów kultury materialnej, jak i niematerialnej.
Rogers (2003)	Innowacja to idea, praktyka lub obiekt, który jest rozpoznawany jako nowy przez osobę lub inną jednostkę przyjmującą.
Bogdanienko, Haffer, Popławski (2004)	Innowacja jest końcowym etapem tworzenia nowej rzeczywistości materialnej; jest to pierwsze zastosowanie nowych idei w praktyce.
Carter A.P. (2007)	Innowacje są heterogenicznym zjawiskiem w dodatku ciągle niesprecyzowanym, a wyróżnia je jedna cecha, którą jest nowość.

Należy również wspomnieć o definicjach zaproponowanych w podręczniku Oslo Manual (międzynarodowym podręczniku metodologicznym badań statystycznych innowacji zalecanym w krajach OECD i UE). Według szerszej definicji innowację stanowi wdrożenie nowego lub istotnie ulepszanego produktu (wyrobu lub usługi), nowego lub istotnie ulepszanego procesu, nowej metody marketingu lub nowej metody organizacji w zakresie praktyk biznesowych, organizacji miejsca pracy bądź relacji ze środowiskiem zewnętrznym. Natomiast zgodnie z węższą definicją, stworzoną na potrzeby polityki naukowo-technicznej oraz w celu zachowania porównywalności w czasie z wynikami dotychczasowych badań statystycznych innowacji, za innowacje uznaje się jedynie tzw. innowacje „techniczne”, tzn. nowe lub istotnie ulepszone produkty (wyroby i usługi) i procesy. W konsekwencji oznacza to, że definicja innowacji według podręcznika Oslo Manual obejmuje zarówno nowości na skalę światową (tzw. innowacje absolutne – *new to the world*), jak i nowości w skali rynku, na którym działa dane przedsiębiorstwo (*new to the*

market), a także nowości jedynie z punktu widzenia danego przedsiębiorstwa (*new to the firm*) [18].

Niektórzy autorzy proponują również ujęcie innowacji jako rezultatu lub jako procesu. W przypadku podejścia zorientowanego na rezultat, za innowacje uznaje się zmiany w sferze produkcji, prowadzące do stworzenia nowych wyrobów. Natomiast w odniesieniu do podejścia zorientowanego na proces, za innowacje uważa się wszelkie procesy twórczego myślenia, które zmierzają do zastosowania i użytkowania ulepszonych rozwiązań do techniki, technologii, organizacji oraz do społeczeństwa [17, 20].

2. Rodzaje i źródła innowacji

Jedną z powszechnych klasyfikacji innowacji jest ich podział na następujące rodzaje:

- produktowe,
- procesowe (technologiczne),
- organizacyjne,
- marketingowe.

Innowacja produktowa oznacza wszelkiego rodzaju zmiany polegające na udoskonaleniu wyrobów już wytwarzanych przez przedsiębiorstwo. Należy jednakże pamiętać, iż dotyczy to nowatorskich rozwiązań poprawiających parametry techniczne lub komponenty, a także wykorzystania nowych produktów z zakresu inżynierii materiałowej. Innowacja produktowa może również polegać na rozszerzeniu struktury asortymentowej o nowy produkt. Innowacje tego typu mogą wiązać się z całkowicie nowymi technologiami, opierać się na połączeniu istniejących technologii w nowych zastosowaniach lub też na wykorzystaniu nowej wiedzy.

Innowacja procesowa (technologiczna) oznacza zmiany dokonane w stosowanych przez przedsiębiorstwo metodach wytwarzania (lub świadczenia usług), a także w sposobach docierania z produktem do odbiorców. Innowacje technologiczne mają miejsce wówczas, gdy nowy lub zmodernizowany wyrób zostaje wprowadzony na rynek albo gdy nowy lub zmieniony proces zostaje zastosowany w produkcji. Podobnie jak to ma miejsce w przypadku innowacji produktowych, również w odniesieniu do innowacji procesowych może to dotyczyć zmian dokonywanych w urządzeniach lub w organizacji produkcji, połączenia tych dwóch rodzajów zmian lub też być wynikiem wykorzystania nowej wiedzy. Zmiany te mogą mieć na celu zarówno produkcję lub dostarczenie nowych lub udoskonalonych produktów, które nie mogłyby być wytworzone lub dostarczone przy wykorzystaniu konwencjonalnych metod, jak i zwiększenie efektywności produkcji lub dostarczenia istniejących produktów. Należy również podkreślić, iż innowacje

technologiczne powstają w wyniku działalności innowacyjnej obejmującej wiele różnorodnych działań o charakterze badawczym, technicznym, organizacyjnym, finansowym i handlowym. Jako przykład można podać automatyzację linii produkcyjnej lub instalację nowej albo ulepszonej technologii produkcyjnej.

Innowacja organizacyjna polega na wprowadzeniu nowej metody zarządzania w przedsiębiorstwie, organizacji miejsca pracy lub też w relacjach zewnętrznych. Różnego rodzaju zmiany organizacyjne można uznać za innowacje organizacyjne tylko wtedy, gdy wywierają pozytywny oraz dający się zmierzyć wpływ na wyniki przedsiębiorstwa (np. wzrost produktywności czy zwiększenie sprzedaży). Jako przykład innowacji organizacyjnej można podać: wdrożenie zaawansowanych technik zarządzania (np. TQM), wprowadzanie istotnie zmienionych (ulepszonych) struktur organizacyjnych; wdrożenie nowych lub istotnie zmienionych strategii działania przedsiębiorstwa.

Innowacja marketingowa oznacza zastosowanie nowej metody marketingowej, która dotyczy znaczących zmian w wyglądzie produktu, jego opakowaniu, pozycjonowaniu, promocji, polityce cenowej czy też modelu biznesowym. Wśród wielu przykładów innowacji marketingowych można wymienić następujące: wprowadzenie nowego symbolu marki produktów, wprowadzenie nowego opakowania, pierwsze zastosowanie licencjonowania produktów, pierwsze zastosowanie specjalnej oferty sklepu.

Na dzisiejszym rynku na szczególną uwagę zasługują innowacje technologiczne. Są one ogromną siłą sprawczą, jeśli chodzi o generowanie wartości ekonomicznej; są także motorem do osiągania przewagi konkurencyjnej. Jednak, jak się wydaje, niektóre ważne innowacje mogą mieć niewiele wspólnego z technologią.

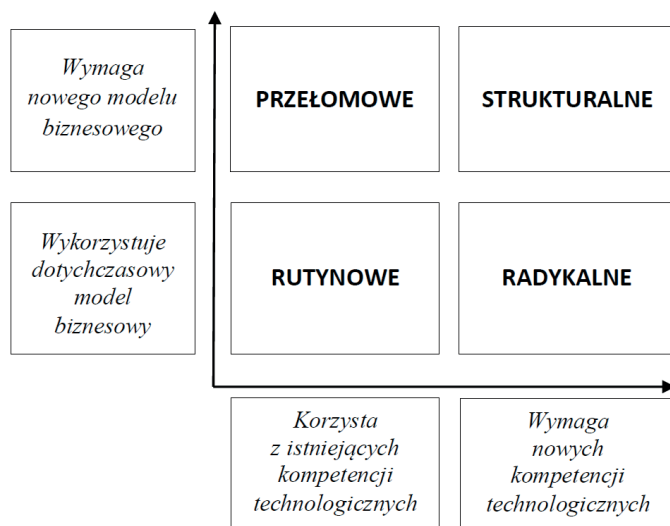
Przedsiębiorstwa chcące wprowadzać innowacje w obszarze swojej działalności powinny bowiem zdecydować, w jakim stopniu chcą skupić się na innowacjach technologicznych, a w jakim – na innowacjach dotyczących modelu biznesowego. Na rys. 1 przedstawiona została macierz, która obrazuje dopasowanie do określonego modelu.

Innowacja rutynowa (*routine innovation*) stanowi rozwinięcie posiadanych przez firmę kompetencji technologicznych i wpisuje się w jej aktualny model biznesowy, a tym samym – pasuje do jej obecnej bazy klientów. Przykładem tego rodzaju innowacji jest sukcesywne wprowadzanie na rynek przez firmę Intel coraz wydajniejszych mikroprocesorów, co pozwala jej na utrzymanie wysokich marż, od kilku dekad stanowi też siłę napędową jej wzrostu. Innymi przykładami są nowe wersje systemu operacyjnego Windows i kolejne modele iPhone'a.

Innowacja przełomowa (*disruptive innovation*), która zawdzięcza nazwę Claytonowi Christensenowi z Harvard Business School, potrzebuje nowego modelu biznesowego, ale niekoniecznie rewolucji technologicznej. Upowszechnienie się tego rodzaju innowacji oznacza podważenie lub zaburzenie modeli biznesowych konkurentów. Na przykład przeznaczony do wykorzystania w urządzeniach mo-

bilnych system operacyjny Android koncernu Google może nadszarpnąć kondycję Apple'a i Microsoftu; nie wynika to z istotnych różnic technicznych, ale z tego, że użytkownicy dostaną Androida za darmo, a za systemy Apple'a czy Microsoftu muszą płacić.

Innowacja radykalna (*radical innovation*) plasuje się na przeciwnym biegunie w stosunku do innowacji przełomowej. W jej przypadku nowość dotyczy wyłącznie technologii. Przykładem takiej innowacji radykalnej, datującej się od lat 70. i 80. ubiegłego wieku, jest zastosowanie inżynierii genetycznej oraz biotechnologii w badaniach nad nowymi lekami. Uznane firmy farmaceutyczne, mogące się pochwalić kilkudziesięcioletnim doświadczeniem w pozyskiwaniu leków drogą syntezy związków chemicznych, miały poważne trudności z wypracowaniem kompetencji w obszarze biologii molekularnej. Jednak leki będące efektem badań biotechnologicznych dobrze pasowały do ich modeli biznesowych, które wymagały dużych inwestycji w badania i rozwój, finansowanych przez kilka bardzo zyskownych produktów.



Rys. 1. Mapa krajobrazu innowacji [19]

Innowacja strukturalna (*architectural innovation*) łączy fundamentalne zmiany w technologii i modelu biznesowym. Przykładem tego rodzaju innowacji jest fotografia cyfrowa. Dla Kodaka i Polaroida wejście w świat cyfrowy oznaczało konieczność opanowania nowych kompetencji w takich obszarach, jak: konstrukcja aparatów fotograficznych, elektronika półprzewodnikowa, oprogramowanie i technologia obrazowania. Wymagało ono znalezienia sposobu na czerpanie zysków ze sprzedaży aparatów, a nie „artykułów jednorazowego użytku” (błon

fotograficznych, papieru fotograficznego, odczynników chemicznych). Nietrudno zgadnąć, że tworzenie innowacji strukturalnych sprawia „zasiedziały” firmom największe trudności [19].

Inna klasyfikacja innowacji pozwala z kolei wyróżnić:

- innowacje zorientowane na proces – dotyczą zarówno rozwoju nowych metod, instrumentów i podejść, jak również poprawy istniejących metod;
- innowacje zorientowane na cel – koncentrują się głównie wokół formułowania nowych zadań oraz podejść w celu zidentyfikowania nowych i obiecujących kwalifikacji oraz tworzeniu nowych obszarów zatrudnienia na rynku pracy;
- innowacje zorientowane na kontekst – odnoszą się do struktur politycznych i instytucjonalnych.

W zależności od znaczenia danej technologii dla przedsiębiorstwa można wyróżnić różne źródła oraz sposoby pozyskiwania innowacji. Jako wewnętrzne źródło należy wskazać własną działalność badawczą przedsiębiorstwa (B+R). Natomiast do źródeł zewnętrznych można zaliczyć [26]:

- zakup nowej wiedzy w postaci niematerialnej – patenty, licencje, oprogramowanie, know-how, usługi o charakterze technicznym, marketingowym, organizacyjnym, szkoleniowym itp.,
- zakup nowej wiedzy w postaci materialnej – nabycie tzw. technologii materialnej, czyli innowacyjnych urządzeń i maszyn o podwyższonych parametrach technicznych,
- współpraca z innymi przedsiębiorstwami i instytucjami (np. spółki spin-off, joint ventures, corporate venturing, alianse strategiczne z uczelniami, franchising).

Głównym źródłem innowacji technologicznych powinny być różne formy transferu pożądaných nowości z otoczenia.

3. Historia innowacyjności

Definicja innowacyjności we współczesnym świecie jest niezwykle pojemna. Termin innowacyjność, jak już wspomniano, ma swój początek w łacińskim słowie *innovatio*, oznaczającym odnowienie. Często też pojęcie to traktuje się jako pochodzące od innego łacińskiego słowa, mianowicie *novus*, oznaczającego nowość [5]. W rozwoju ludzkości oraz gospodarki, a w konsekwencji innowacyjności, wyodrębnić można 4 epoki:

1. do 1915 r.
2. od 1915 r. do przełomu lat 50. i 60. XX w.
3. od lat 60. XX w. do początku XXI w.
4. od początku XXI w. do chwili obecnej.

Pierwsza era innowacyjności trwała przez większą część historii ludzkości aż do roku 1915, a jej cechą charakterystyczną był samotny wynalazca – większość przełomowych innowacji kojarzonych jest bowiem z konkretnymi osobami, np. prasa drukarska Gutenberga, żarówka Edisona, samolot braci Wright czy linia montażowa Forda. Wprowadzenie i stopniowe udoskonalanie tej ostatniej technologii pozwoliło na zapoczątkowanie drugiej ery innowacyjności. Wynikało to z faktu, iż poprzez wprowadzenie produkcji masowej, proces kreowania innowacji stawał się coraz bardziej złożony oraz generował większe koszty. Uniemożliwiała to samodzielne tworzenie nowych technologii, stąd też innowacyjność stała się domeną przedsiębiorstw. Jako przykłady innowacyjnych technologii i produktów powstałych w drugiej epoce innowacyjności wymienić można: molekuły oraz nylon firmy DuPont, samolot szpiegowski U-2 czy odrzutowiec myśliwski SR-71 Blackbird.

Zmiany w przedsiębiorstwach, które nastąpiły na przełomie lat 50. i 60. XX w. (ogromny wzrost potencjału firmy, a w konsekwencji biurokracji, formalizacji i hierarchizacji struktur organizacyjnych), spowodował przejście do trzeciej ery innowacyjności. Wynalazcy zaczęli opuszczać nieprzychylnie im wielkie korporacje, łączyć się w grupy i zakładać nowe firmy. Aby pozyskać – niejednokrotnie bardzo wysokie – środki finansowe na tworzenie innowacji, pojawiły się tzw. start-upy wspierane przez fundusze *venture capital*. Dwa fundusze: Kleiner Perkins Caufield&Byers oraz Sequoia Capital okazały się mieć istotne znaczenie dla gwałtownego rozwoju innowacyjności w latach 70. XX w. Te i podobne im fundusze pozwoliły na powstanie takich wielkich firm, jak: Apple, Microsoft, Cisco Systems, Amazon, Facebook czy Google.

Obecnie, dzięki rewolucji zapoczątkowanej kilkadziesiąt lat temu przez fundusze *venture capital*, stworzone zostały odpowiednie warunki pozwalające – szczególnie dużym firmom – uwalniać innowacyjność, a nie ją hamować. Wynika to przede wszystkim z trzech trendów, które można zaobserwować na współczesnym rynku [1]:

1. coraz większej łatwości tworzenia innowacji i coraz niższego kosztu prowadzenia takich prac,
2. widocznej skłonności wielkich przedsiębiorstw do brania przykładu ze strategii start-upów i wprowadzania w życie otwartej innowacyjności (czyli szukania innowacyjnych rozwiązań z wykorzystaniem nie tylko wewnętrznych zasobów firmy, ale także zasobów dostępnych w otoczeniu zewnętrznym),
3. pojawiania się innowacji dotyczących nie jak to było w przeszłości jedynie produktów i usług, lecz technologii i modeli biznesowych wykorzystujących mocne strony dużych korporacji.

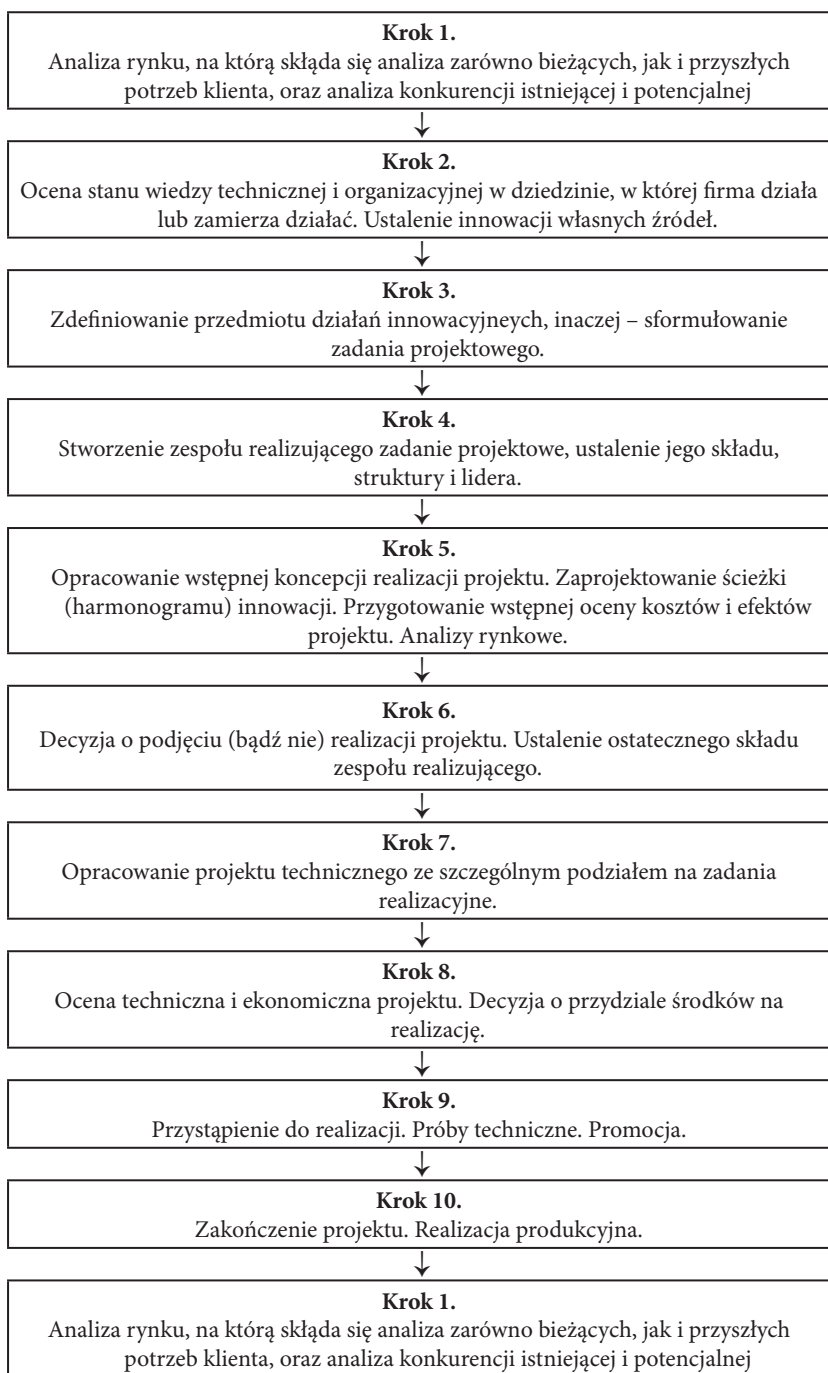
Stąd też wydaje się, że obecnie świat wkroczył w nową – czwartą – erę innowacyjności, charakteryzującą się tym, że przedsiębiorcze osoby, zwane katalizatorami przedsiębiorczości, pracujące w dużych przedsiębiorstwach, dzięki wykorzystaniu zasobów oraz infrastruktury organizacji, ich skali działalności oraz zwiększającej się organizacji i zarządzania, rozwiązują globalne problemy w sposób przekracza-

jący możliwości innych organizacji, czyli stymulują firmy do tworzenia innowacji. Przedsiębiorstwa te realizują swoje strategie w takich dziedzinach jak: technologie wykorzystywane w służbie zdrowia, systemy uzdatniania wody, nowe sposoby podnoszenia wydajności gospodarstw rolnych, czy budowanie systemów do zarządzania dostawami energii, ruchem drogowym i transportem publicznym, itp. Jako przykłady innowacji czwartej ery podać można [1]:

- opracowany przez firmę Medtronic program Healthy Heart for All, dzięki któremu dociera ona z usługami diagnostyki kardiologicznej do mieszkańców wiejskich regionów Indii oraz organizuje środki na finansowanie zabiegów wszczepiania rozruszników serca;
- opracowana przez koncern Unilever tania technologia uzdatniania wody Pure-it dla gospodarstw domowych w krajach rozwijających się (przenośny system uzdatniania wody, dzięki któremu dostarczać można czystą wodę w cenie pół centa za litr);
- stworzona przez firmę Syngenta inicjatywa Uwezo, dzięki której możliwe jest dostosowanie systemu dystrybucji środków ochrony roślin do możliwości małych gospodarstw w Afryce (system dystrybucji pestycydów w saszetkach);
- opracowany przez firmę IBM projekt „inteligentne miasta”, polegający na tworzeniu pakietów technologii i powiązanych z nimi usług, które pomagają miastom w skutecznym zarządzaniu dostawami energii i wody, ruchem ulicznym, miejscami parkingowymi i transportem publicznym.

4. Zarządzanie działalnością innowacyjną

Działalnością innowacyjną należy zarządzać tak jak każdą inną funkcją w organizacji lub procesem. W ogólnym znaczeniu zarządzanie działalnością innowacyjną można traktować jako zbiór uporządkowanych działań, takich jak: planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, przeprowadzenie i kontrolowanie. Działania te należy skierować na zasoby organizacji: ludzkie, informacyjne, rzeczowe i finansowe głównie po to, aby osiągnąć zamierzone cele organizacji w zakresie: wyboru innowacji, którymi należałoby się zająć w określonej przyszłości, sposobów pozyskiwania innowacji oraz ich wykorzystania w sposób sprawny. Instrumentem ukierunkowującym takie działania powinna być strategia działalności innowacyjnej. Dlatego w strategicznym ujęciu, zarządzanie działalnością innowacyjną obejmuje: wybór kierunków działalności innowacyjnej, sposoby pozyskiwania danych, informacji i wiedzy niezbędnych do tworzenia innowacji, wybór sposobów pozyskiwania innowacji oraz ich wykorzystania, z uwzględnieniem aspektów politycznych, prawnych, finansowych, społecznych, administracyjnych, strukturalno-procesowych i środowiskowych [2]. Przykładowy schemat procesu przebiegu innowacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat procesu przebiegu innowacji [29]

W jednej z wielu funkcjonujących definicji innowacyjności, określa się ją jako motywację i zdolność podmiotów gospodarczych do poszukiwania oraz komercyjnego wykorzystywania wyników badań naukowych, nowych koncepcji, pomysłów i wynalazków, prowadzących do wzrostu poziomu nowoczesności i wzmocnienia pozycji konkurencyjnej firmy czy realizacji ambicji technicznych przedsiębiorcy. A zatem za innowacyjne uważa się przedsiębiorstwa, które umieją tworzyć, absorbować i zbywać nowe produkty czy usługi oraz te, które charakteryzują się zdolnością adaptowania się do zmian, zachodzących w otoczeniu [28].

Wypada również zwrócić uwagę na wprowadzone – w podręczniku Oslo Manual – rozróżnienie między operacyjnymi definicjami dwu pojęć: *działalności innowacyjnej* (mającej szerszy zakres) i *innowacji* (o węższym zakresie pojęciowym).

Działalność innowacyjna to całokształt podjętych w okresie obserwacji działań o charakterze naukowym (badawczym), technicznym, organizacyjnym, finansowym i komercyjnym, które prowadziły lub miały w zamierzeniu doprowadzić do wdrażania innowacji, zaś *innowacja* to wdrożenie nowego lub znacząco udoskonalonego produktu (wyrobu, usługi) lub procesu, nowej metody organizacyjnej lub marketingowej w praktyce gospodarczej, organizacji miejsca pracy lub w zakresie stosunków z otoczeniem. Za szczególną formę działalności innowacyjnej przedsiębiorstw, uznawana jest działalność badawczo-rozwojowa.

Tradycyjnie analizę stopnia zaawansowania procesów innowacyjności gospodarki danego kraju, rozpoczyna się od zidentyfikowania udziału podmiotów aktywnych innowacyjnie wśród ogółu firm. Taką informację, odnoszącą się do innowacyjności polskich przedsiębiorstw w wybranych okresach, z uwzględnieniem zagregowanych sektorów i wielkości przedsiębiorstw, zawiera tabela nr 2. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że publikacje wyników CIS ukazują się ze znacznym opóźnieniem [13].

Tab. 2. *Udział przedsiębiorstw innowacyjnych w Polsce wg sektorów i liczby zatrudnionych (a – przemysł, b – usługi) [7-10]*

	Ogółem		Małe (10-49)		Średnie (50 – 249)		Duże (250 i więcej)	
	a	b	a	b	a	b	a	b
2004-2006 (CIS 5)	23,2	21,2	13,9	16,9	37,4	34,8	65,5	53,5
2006-2008 (CIS 6)	21,0	16,0	14,0	13,1	33,3	25,3	60,9	48,2
2008-2010 (CIS 7)	17,1	12,8	10,4	10,3	31,5	22,6	59,0	48,0
2010-2012 (CIS 8)	16,5	12,4	9,6	9,5	29,4	20,9	56,2	44,7

Analizując dane zawarte w tabeli 2, należy zwrócić uwagę na wyraźny trend systematycznego zmniejszania się w kolejnych okresach, udziału przedsiębiorstw innowacyjnych, zarówno w sektorze przemysłowym, jak i usługowym. Może to

wynikać z faktu, iż wdrażanie innowacyjnych technologii jest zadaniem nie tylko skomplikowanym, ale przede wszystkim interdyscyplinarnym i wymagającym innych, względem bieżącej działalności, kompetencji. Stąd też, zadania te mogą stanowić wyzwania trudne do sprostania, szczególnie dla pojedynczego przedsiębiorstwa, zwłaszcza małego i słabego, którego potencjał innowacyjny z założenia ma ograniczoną siłę sprawczą. W takich okolicznościach pożądane wydaje się korzystanie z profesjonalnego wsparcia podmiotów oferujących fachową pomoc w formie adekwatnych do potrzeb usług konsultingowych [11].

Tabela 3. *Przedsiębiorstwa innowacyjne i aktywne innowacyjnie w latach 2010-2012 w % ogółu przedsiębiorstw według liczby pracujących (a – przemysł, b – usługi) [10]*

	Ogółem		Małe (10-49)		Średnie (50 – 249)		Duże (250 i więcej)	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Przedsiębiorstwa innowacyjne	16,5	12,4	9,6	9,5	29,4	20,9	56,2	44,7
Przedsiębiorstwa aktywne innowacyjnie	17,7	13,9	10,4	10,9	31,4	22,9	59,3	48,4

Warto również podkreślić, iż pomiędzy wielkością zatrudnienia a prowadzeniem działalności innowacyjnej istnieje wyraźna zależność – w grupie dużych przedsiębiorstw występują wyższe udziały przedsiębiorstw innowacyjnych i aktywnych innowacyjnie. Prawidłowość ta została szczegółowo zilustrowana w tabeli 3. Z tabeli nr 3 wynika, iż w latach 2010-2012 wprowadzenie innowacji dotyczyło niespełna 17% przedsiębiorstw przemysłowych i tylko 12,5% podmiotów z sektora usług, zaś udział firm aktywnych innowacyjnie był wyższy w obydwu sektorach o ok. 1,5%. Innowacyjne przedsiębiorstwa wśród jednostek małych (zatrudniających od 10 do 49 osób) stanowiły w obydwu sektorach około 10%, a udział przedsiębiorstw aktywnych innowacyjnie kształtował się na zbliżonym poziomie (różnica 1-1,5%).

W grupie przedsiębiorstw średniej wielkości w przemyśle innowacyjnych było – 29,4% jednostek, a w usługach 20,9%; natomiast w odniesieniu do przedsiębiorstw aktywnych innowacyjnie udziały te okazały się być trochę wyższe, zarówno w jednym, jak i drugim sektorze (o ok. 2%). Wśród przedsiębiorstw dużych (zatrudniających ponad 250 osób) udziały przedsiębiorstw innowacyjnych w sektorze przemysłowym i usługowym wynosiły odpowiednio – 56,2% oraz 44,7%. Natomiast zdecydowanie najwyższy, w tej ostatniej klasie wielkości, był udział firm aktywnych innowacyjnie, przedstawiał się on na poziomie ok. 60% w przemyśle i prawie 50% w usługach.

W kontekście stosunkowo niskiej innowacyjności polskich przedsiębiorstw szczególnego znaczenia nabiera więc upowszechnienie zarządzania innowacjami, a także poszukiwanie nowych rozwiązań, metod, koncepcji i sposobów.

Jednym z wyzwań dla innowacji jest pojęcie crowdsourcingu. Jako praktykę w dziedzinie innowacyjności przyjęto ideę polegającą na umożliwieniu partycypacji wszystkim chętnym pracownikom (tzw. społeczności entuzjastów) w procesie tworzenia innowacji, zamiast skupienia się na opinii kilku ekspertów. Najczęściej dzieje się tak, gdy organizacja przedstawia problem na platformie internetowej (takiej jak InnoCentive) i zachęca do nadsyłania rozwiązań, oferując niekiedy nagrodę finansową za najlepsze pomysły. Crowdsourcing ma dużo zalet. Przede wszystkim zachęca ogromną liczbę osób do zajęcia się problemami do rozwiązania, co zwiększa prawdopodobieństwo znalezienia nowatorskiego rozwiązania. Badania przeprowadzone przez Karima Lakhanię z Harvard Business School i jego współpracownika Kevina Boudreau z London Business School dostarczają mocnych dowodów na to, że crowdsourcing może skutkować szybszymi, wydajniejszymi i bardziej pomysłowymi rozwiązaniami. Jednak należy pamiętać, że crowdsourcingiem można się posłużyć tylko w przypadku niektórych problemów. Wymaga on bowiem szybkich i wydajnych metod wypróbowywania dużej liczby potencjalnych rozwiązań. Jeśli takie testy są czasochłonne i kosztowne, lepiej zamówić niewielką liczbę rozwiązań u zaledwie kilku ekspertów lub firm. Crowdsourcing świetnie się sprawdza również w przypadku systemów modułowych, w których różni twórcy rozwiązań mogą skupić się na konkretnych elementach, nie martwiąc się o to, co robią inni. Nie należy zakładać, że crowdsourcing sprawdzi się (bądź zawiedzie) w każdej sytuacji. Podstawowa cecha tego narzędzia – korzystanie z wielu różnorodnych źródeł rozwiązań – w pewnych warunkach (mocno rozproszona baza wiedzy, stosunkowo niedrogie sposoby testowania zgłaszanych pomysłów, system modułowy) stanowi zaletę, a w innych (skoncentrowana baza wiedzy, drogie testy, system z jednolitą architekturą) – jest bezużyteczna [19].

5. Słabe punkty innowacyjności

W ciągłej pogoni za nowościami firmy utrzymują laboratoria badawczo-rozwojowe, przeprowadzają projekty pilotażowe, korzystają z crowdsourcingu pomysłów i stosują formułę otwartej innowacyjności – liderom może się więc wydawać, że skala inwestowania ich firm w sferę innowacyjności jest ogromna. Natomiast gdy przychodzi do przechwytywania wartości, nawet gorliwi innowatorzy zazwyczaj nie mają się czym pochwalić.

Być może zakładają, że gdy wartość zostanie wytworzona, korzyści finansowe przyjdą same. Bez wątplenia jednym z powodów, dla których innowacje w obszarze przechwytywania wartości umykają uwadze firm, jest to, że przedsiębiorstwa

dobrze radzące sobie z tą kwestią opracowują równocześnie innowacje w obszarze wytwarzania wartości i to te drugie wysuwają się na pierwszy plan.

Nawet menedżerowie, którzy wiedzą, że powinni zająć się kwestią przechwytywania wartości, często sprowadzają ją do polityki cenowej. Polityka ta jest oczywiście ważna, ale zmiana ceny z 9,50 na 9,99 zł, lub promocji typu: „zapłać za jedną sztukę, drugą otrzymasz za darmo” nie stanowi innowacji. Przechwytywanie wartości wymaga bowiem uwzględnienia fundamentalnych czynników, które niosą ważniejsze implikacje natury strategicznej. Dlatego też pierwszym krokiem zmierzającym do wprowadzenia innowacji umożliwiających przechwytywanie wartości jest po prostu uświadamianie ludziom ich istnienia [16].

6. Podsumowanie

Innowacje stanowią kluczowy element współczesnego rynku oraz podstawowe zjawisko w rozwoju gospodarczym – napędzają gospodarkę i stanowią o jej konkurencyjności. Nowe technologie pozwalają na tańszą, szybszą, a przede wszystkim lepszą jakościowo produkcję, w odniesieniu do sytuacji sprzed kilku-kilkunastu lat. Należy jednakże pamiętać, iż dynamicznie zmieniająca się sytuacja na rynkach krajowych i światowym powoduje, że przedsiębiorstwa muszą cały czas analizować otoczenie i w konsekwencji szybciej identyfikować wiedzę, przejmować ją, a następnie wdrażać [26].

Warto też podkreślić, iż przez najbliższe 15-20 lat, głównym bodźcem rozwoju polskiej gospodarki, nadal będą innowacje, a ich punktem wyjściowym – odpowiednia ilość środków finansowych, a także odpowiednia wiedza w zakresie zarządzania procesami innowacyjnymi. Stąd potrzeba skupienia uwagi na różnych grupach interesariuszy zainteresowanych działalnością innowacyjną, która jak się okazuje, jest dziedziną przeżywającą obecnie swój rozkwit i wymaga wsparcia oraz konkretnych rozwiązań.

Literatura

- [1] Anthony S.D., *Nowa era innowacji*, Harvard Business Review Polska, lipiec-sierpień 2015, s. 123-133.
- [2] Baruk J., *Zarządzanie wiedzą i innowacjami*, Wydawnictwo Adam Marszałek w Toruniu, Toruń 2006.
- [3] Begg D., Fisher S., Dornbush R., *Makroekonomia*, PWE, Warszawa 1997.
- [4] Bogdanienko J., Haffer M., Popławski W., *Innowacyjność przedsiębiorstw*, UMK, Toruń, 2004.

- [5] Borkowski P.F., *Przedsiębiorstwa XXI w.*, Europejski Doradca Samorządowy 2011, t. 17, nr 2, s. 8-13.
- [6] Carter A.P., *Measurement of the clustering and dispersion of innovation*, [w:] Polenske K. (red.), *The Economic Geography of Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge 2007.
- [7] Działalność innowacyjna w latach 2004-2006.
- [8] Działalność innowacyjna w latach 2006-2009.
- [9] Działalność innowacyjna w latach 2009-2011.
- [10] Działalność innowacyjna przedsiębiorstw w latach 2010-2012.
- [11] Glabiszewski W., *Konsulting jako wsparcie dla potencjału absorpcyjnego małych i średnich przedsiębiorstw*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Nr 752, Ekonomiczne Problemy Usług Nr 102, „Uwarunkowania Rynkowe Rozwoju Mikro, Małych I Średnich Przedsiębiorstw. Mikrofirma 2013”, 2013, S. 49-60.
- [12] Kotler Ph., *Marketing. Analiza, planowanie, wdrażanie i kontrola*, Gebethner i Ska, Warszawa 1994.
- [13] Koźuch J., *Innowacyjność polskich przedsiębiorstw w zakresie innowacji organizacyjnych i marketingowych*, Logistyka nr 2/2015, s. 937-945.
- [14] Lundvall B. A., *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter Publishers, London 1992.
- [15] Mądra J., *Bariery innowacyjności przedsiębiorstw z sektora MSP*, [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, część I pt. „Innowacyjność procesów i produktów”, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2013.
- [16] Michael S., *Przechwycić więcej wartości*, Harvard Business Review Polska, lipiec-sierpień 2015, s. 138-139.
- [17] Motyka S., *Pomiar innowacyjności przedsiębiorstwa*, [w:] *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, R.Knosala (red.), tom II, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2011.
- [18] OECD, *Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data*, 3rd Edition, OECD/Eurostat, Paris 2005.
- [19] Pisano G.P., *Potrzebujesz strategii innowacyjności*, Harvard Business Review Polska, lipiec – sierpień 2015, s. 95.
- [20] Pomykański A., *Innowacje*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001.
- [21] Porter M.E., *The Competitive Advantage of Nations*, The Macmillan Press Ltd, London 1990.
- [22] Rogers E.M., *Diffusion of Innovations*, Free Press, New York 2003.
- [23] Rothwell R., *Towards the Fifth-Generation Innovation Process*, International Marketing.
- [24] Rutkowska-Gurak A., *W poszukiwaniu miar innowacyjności rozwoju*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Oeconomica 246, 2010, s. 65-77.

- [25] Schumpeter J.A., *Teoria rozwoju gospodarczego*, PWN, Warszawa 1960.
- [26] Sieniewska B., *Otwarty model innowacji – nowe podejście do działalności badawczo-rozwojowej*, [w:] *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, R.Knosala (red.), tom II, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2010.
- [27] Sikora J., Uziębło A., *Innowacja w przedsiębiorstwie – próba zdefiniowania*, *Journal of Management and Finance*, 2013, nr 2, część 2, s. 351-363.
- [28] Skrętowicz B., Kożuch J., *Przedsiębiorstwa innowacyjne w Polsce w świetle Wspólnotowego Badania Innowacyjności (CIS)*, w: *Współczesne aspekty rynku pracy*, red. A. Organiściak-Krzykowska, IPiSS & UWM, Warszawa-Olsztyn 2013, s. 47-65.
- [29] Sosnowska A., *Jak wdrażać innowacje technologiczne. Poradnik dla przedsiębiorców*, PARP, Warszawa 2005.
- [30] Stawasz E., *Innowacje a mała firma*, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1999.
- [31] <http://www.forbes.pl/oxford-economics-polskie-innowacje-maja-znaczenie,artykuly,173405,1,1.html>
- [32] <http://biznes.gazetaprawna.pl/artykuly/883912,innowacje-to-przyszlosc-dla-polskiej-gospodarki.html>
- [33] <http://www.nauka.gov.pl/aktualnosci-ministerstwo/ustawa-o-innowacyjnosci-przyjeta-przez-sejm.html>

III. Innowacyjne technologie informatyczne wspomagające procesy wytwarzania

Wprowadzenie

Procesy wytwarzania są często definiowane jako takie działania, w wyniku których następuje zmiana geometrii i cech fizycznych materiałów przez celowe użycie energii z wykorzystaniem informacji. Rola informacji w tych procesach jest kluczowa. Mając zarówno, dostępne materiały jak i maszyny technologiczne do ich przetwarzania z użyciem energii, nie można niczego wytworzyć bez informacji. Z informacji towarzyszących produkcji można wydzielić kilka grup:

- informacje konstrukcyjne określające co ma powstać w wyniku procesów technologicznych i jakie ma mieć cechy;
- informacje technologiczne określające jak prowadzić procesy przetwarzania, aby osiągnąć cel czyli wyrób;
- informacje raportujące bieżący stan procesów wytwarzania, stan maszyn technologicznych, stan narzędzi oraz parametry ilościowe i jakościowe wyrobu;
- informacje o istotnych dla produkcji podstawowej parametrach generowanych przez procesy pomocnicze, między innymi: stan zaopatrzenia w narzędzia i pomoce warsztatowe, materiały do produkcji, energię, zasoby ludzkie itp.;
- informacje pochodzące z otoczenia przedsiębiorstwa, które mogą wpływać na zmianę ilościowych i jakościowych planów produkcyjnych, cech wyrobu, dobór materiałów konstrukcyjnych, technologii.

Informacje te mają różny charakter z punktu widzenia czasu ich generowania oraz możliwego czasu ich wykorzystania do sterowania procesem wytwarzania [8]. Część z nich powstaje w stosunkowo długim procesie przygotowania produkcji wyrobu, jest utrwalona na różnych nośnikach informacji (dyski komputerowe, dokumentacja papierowa) i ma charakter wolnozmienny w okresie produkcji. Do tej grupy informacji należy także opis parametrów (logistycznych, czasowych, ilościowych i jakościowych) źródeł zasilania w materiały i narzędzia a także informacje o rynku i konkurencji. Analiza tej grupy informacji i wnioski wynikające z niej mają charakter strategiczny. Tego rodzaju informacje są gromadzone w systemach ERP [8]. Na ich podstawie są podejmowane działania dotyczące planów

produkcyjnych, modernizacji wyrobu, zmian dostawców, zmian w konstrukcji lub też technologii wyrobu.

Drugą grupę informacji determinujących proces produkcyjny to olbrzymie zbiory danych o parametrach realizacji procesu wytwarzania [3,8]. Liczba tych danych jest bardzo duża i są to dane szybkozmienne. Jednakże, mają one znaczenie kluczowe w procesach sprawnego sterowania produkcją. Mogą być wykorzystane podwójnie: raz do bieżących regulacji systemu wytwarzania w czasie rzeczywistym, oraz po analizie *off line* w funkcji czasu i w korelacji z wartościami innych parametrów, do zmiany strategii sterowania (nastaw regulatorów, prognozowania stanów przyszłych itp.). Niestety, znaczne koszty monitorowania i przechowywania danych, a także koszty lokalnego przetwarzania w celu ich wykorzystania, nie zachęcały producentów do wdrażania systemów wykorzystujących te informacje w szerszym zakresie. Systemy sterowania adaptacyjnego, to znaczy dostosowującego strategię sterowania do zmian własności obiektu sterowanego (np. maszyny technologicznej, procesu technologicznego), znalazły nieliczne zastosowanie w sposób ograniczony lokalnie w zaawansowanych maszynach technologicznych. Systemy te jako pozbawione informacji o szerszym otoczeniu nadzorowały sprawność procesu wytwarzania na jednym stanowisku. Zakłócenia zewnętrzne (np. brak dostępu do sprawnego narzędzia lub materiału) powoduje w tym przypadku, często nieoczekiwane, zatrzymanie lub zmniejszenie produktywności stanowiska roboczego. Jedynie interwencja człowieka nadzorującego może go usprawnić.

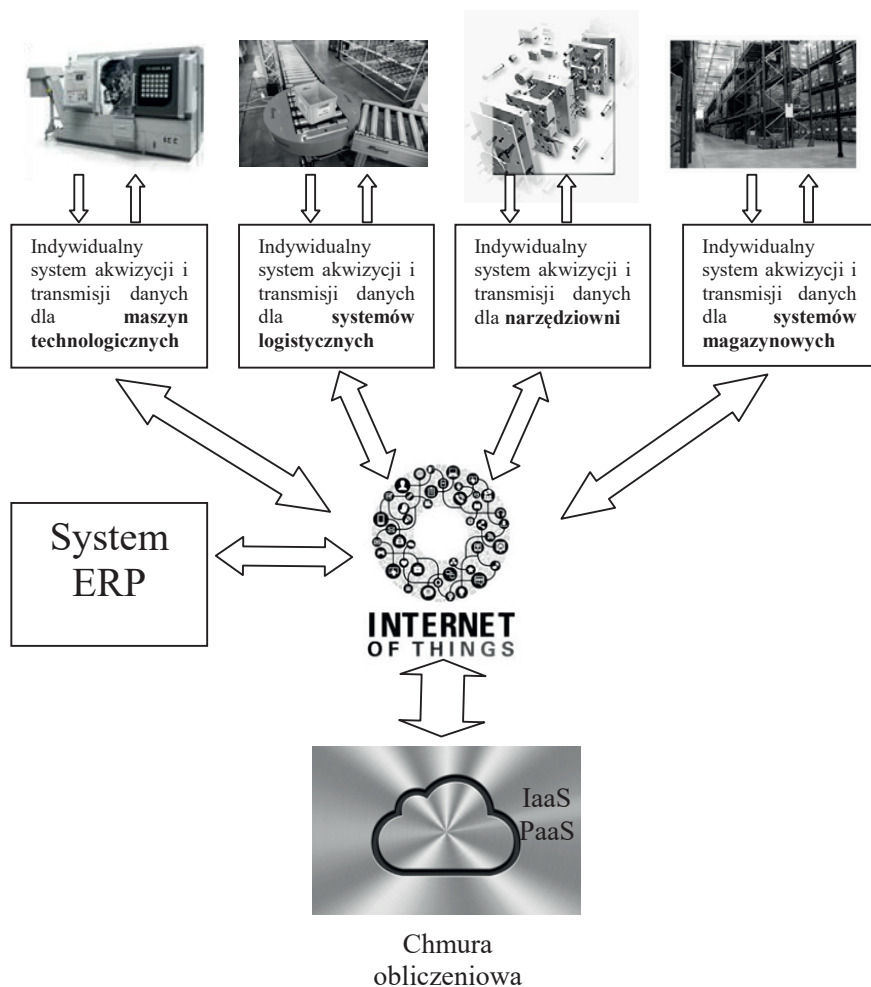
Biorąc pod uwagę, że istnieją już algorytmy, opracowane i przetestowane w innych dziedzinach, operujące na dużych zbiorach danych w czasie rzeczywistym, można „postawić” tezę, że ich zastosowanie do sterowania kompleksowego procesami wytwarzania jest możliwe pod pewnymi warunkami:

- podstawowym warunkiem jest zbudowanie systemu informatycznego do bieżącej akwizycji istotnych danych ze wszystkich współpracujących ze sobą stanowisk roboczych oraz systemów logistycznych i zasilania tych stanowisk;
- drugim warunkiem jest zapewnienie szybkiej komunikacji między systemami monitorującymi zainstalowanymi na maszynach produkcyjnych i transportowych oraz w magazynach a centralnym systemem przetwarzania danych;
- trzecim utworzenie kanałów transmisji do systemu produkcyjnego i zapewnienie możliwości wykonawczych dla decyzji sterujących wygenerowanych przez centralny system sterowania adaptacyjnego produkcją;
- czwartym warunkiem wdrożenia jest obniżenie kosztów zarówno akwizycji danych jak i ich przetwarzania w stosunku do konwencjonalnych technologii.

Schemat ideowy innowacyjnego systemu wykorzystania informacji do sterowania kompleksowego procesami wytwarzania przedstawiono na rys. 1. Pokazana na tym schemacie koncepcja zakłada monitorowanie w czasie rzeczywistym danych charakteryzujących stan procesów w tych obszarach jakie decydują o stabilności i poprawności ich realizacji. Część danych może być pobrana z systemów MRP lub

ERP (o ile funkcjonują w przedsiębiorstwie). Inne, zapisane w systemach MRP/ERP mogą być aktualizowane i weryfikowane na bieżąco co poprawi wiarygodność danych. Procesem akwizycji powinny być objęte dane:

- ze stanowisk bezpośrednio produkcyjnych;
- z komponentów logistyki wewnętrznej;
- z komórek realizujących zadania pomocnicze w zakresie regeneracji i za-
mówień narzędzi oraz oprzyrządowania;
- ze struktur magazynowych.



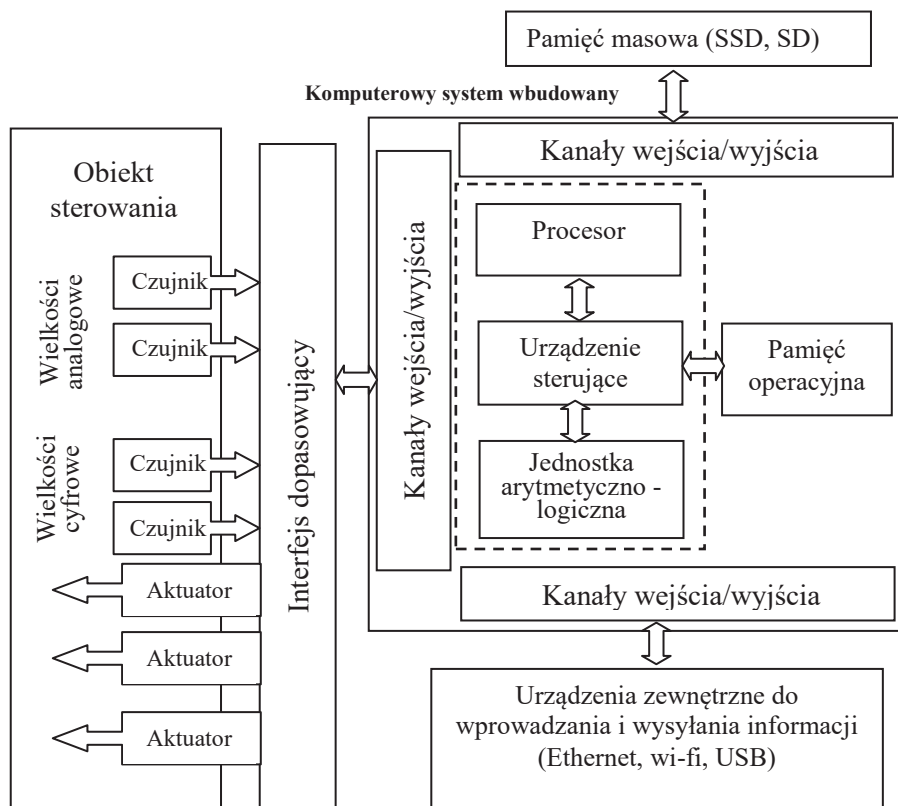
Rys.1. Konceptcja przetwarzania informacji w zintegrowanym systemie sterowania procesami wytwarzania

Innowacyjnym, zaproponowanym rozwiązaniem, jest sposób pozyskiwania istotnych dla sterowania danych oraz ich transmisja z wdrożeniem zasad obowiązujących w „Internet of things” (Internecie rzeczy) [4, 10]. W tym rozwiązaniu część pozyskanych informacji w jednym miejscu systemu wytwarzania może być natychmiast wykorzystana, przez odpowiedni algorytm w innym miejscu, oraz dodatkowo zarejestrowana przez system MRP/ERP. Jeżeli komponent systemu, poza funkcją generowania informacji o swoim stanie, ma również wbudowane funkcje sterowania (np. maszyny technologicznej lub urządzenia transportowego) to mikrokontroler może dokonywać zmian jego zachowania zgodnie z wbudowanymi algorytmami w funkcji pozyskanych danych od innych zależnych komponentów. W wielu przypadkach, podjęcie decyzji sterującej jest uwarunkowane możliwością wykonania prostych analiz odbieranych danych co nie przekracza możliwości jednoukładowych mikrokontrolerów lub prostych i tanich mikrokomputerów z dedykowanymi do nich systemami operacyjnymi.

W sytuacjach, gdy podjęcie decyzji sterującej wymaga zaawansowanych analiz i obliczeń lub wykorzystania wiedzy zawartej w systemach ekspertowych można wykorzystać inne innowacyjne rozwiązanie jakim jest „Cloud computing” (chmura obliczeniowa) [2, 14] umieszczona w Internecie. Chmura obliczeniowa, w przyjętej koncepcji, jest systemem nadrzędnym w stosunku do Internetu rzeczy. Rozwiązanie to pozwala na gromadzenie danych z wszystkich komponentów procesu wytwarzania, agregowanie ich i wykorzystanie dużej mocy obliczeniowych do wygenerowania optymalnych decyzji sterujących odnoszących się do wielu składników procesu w tych przypadkach, gdy takie działania będą potrzebne dla utrzymania ciągłości i założonych parametrów produkcji. Decyzje te (odpowiednie sygnały sterujące) są przesyłane przez globalną sieć komputerową i zaadresowane do odpowiednich kontrolerów mikroprocesorowych w systemie wytwarzania. Przyjęte rozwiązania strukturalne i ideowe zmierzają do zastąpienia człowieka w procesach podejmowania decyzji w warunkach dużej ilości istotnych i zmieniających się w czasie danych. Analizując liczbę źródeł informacji, jakie mogą być potrzebne do podjęcia decyzji sterujących a następnie kontrolowania ich skutków, można ją oszacować (w zaawansowanych technologicznie przedsiębiorstwach) na kilkaset a nawet kilka tysięcy. Biorąc pod uwagę wzrost szybkości zmian tych informacji, związany z wzrostem wydajności współczesnych systemów wytwórczych, człowiek nie jest w stanie właściwie reagować jako regulator systemu wytwarzania. Rolą jego jest przede wszystkim podejmowanie decyzji w sferze strategicznej i tu także z wykorzystaniem systemów wspomagania komputerowego takich jak np. *Business Intelligence*. [8 t.2]

1. Inteligentne systemy pozyskiwania i wykorzystania danych z procesów technologicznych i pomocniczych

Rozwój technologii informatycznych, w czasie ostatniego dziesięciolecia, spowodował znaczne potanie procesorów i innych komponentów komputerów. Stało się realne skonstruowanie mikrokomputerów wykonujących zadania akwizycji danych z kilkudziesięciu a nawet kilkuset sensorów monitorujących różne wielkości fizyczne zawierające informacje o stanie procesu technologicznego i maszyny.[6]



Rys. 2. Schemat funkcjonalny komputerowego systemu wbudowanego w obiekt systemu produkcyjnego

Dodatkowo systemom tym można powierzyć zadania sterowania wybranymi funkcjami tych maszyn i urządzeń w czasie rzeczywistym. Koszt takiego pojedynczego modułu to kilkadziesiąt euro. Schemat blokowy przykładowego systemu przedstawiono na rys. 2. Składa się on z sensorów wielkości analogowych o charak-

terze ciągłym, wejść cyfrowych dwustanowych rejestrujących stan logiczny maszyn i urządzeń, oraz wejść dla sygnałów w formie wektorów cyfrowych (np. z innych urządzeń pomiarowych i sterowników maszyn). Rolą interfejsu dopasowującego jest standaryzacja sygnałów i izolacja galwaniczna systemu komputerowego od obiektu. Wszystkie wejścia i wyjścia są izolowane galwanicznie od mikrokomputera. W kanałach wejścia/wyjścia do obiektu znajduje się multiplekser sterujący wyborem kanału pomiarowego lub sterującego oraz przetwornik analogowo-cyfrowy dla kanałów analogowych. Mikrokomputer przechowuje zarejestrowane dane w pamięci lokalnej na czas potrzebny do podjęcia decyzji sterujących.

Można wyodrębnić trzy grupy czynności wykonywanych przez moduł wbudowany do stanowiska roboczego lub urządzeń spełniających rolę pomocniczą w procesie wytwarzania (np. urządzenia transportowe, magazynowe, kontrolne itp.):

- zarejestrowanie, wstępne przetworzenie, wybór adresatów i przesłanie informacji do innych, powiązanych funkcjonalnie, modułów wbudowanych w procesie wytwarzania a także do systemu archiwizacji stanów w chmurze obliczeniowej;
- pozyskanie informacji z innych modułów powiązanych informacyjnie w celu wygenerowania poprawnych decyzji sterujących;
- przetwarzanie zgromadzonych informacji lokalnych i pozyskanych z innych modułów wbudowanych oraz wygenerowanie decyzji sterujących oraz przesłanie ich do systemu sterowania stanowiskiem roboczym, systemami pomocniczymi lub transportowymi;

Pierwsza grupa czynności wymaga zestawienia torów pomiarowych monitorujących parametry procesów technologicznych i maszyn oraz urządzeń pomocniczych. Dotyczy to parametrów, których stan w istotny sposób wpływa na przebieg procesów technologicznych w chwili pomiaru a także może mieć wpływ na przyszłe ich stany. Dobór tych parametrów musi być poprzedzony wnikliwą analizą danych historycznych zarejestrowanych w czasie eksploatacji stanowiska. Należy również, na tym etapie, podjąć decyzję o formie danych, która będzie najlepsza do dalszych analiz i zaimplementować algorytmy agregacji informacji. Takie przetworzenie *on line* informacji z bieżących pomiarów może przyspieszyć podjęcie decyzji sterujących. Dla przykładu, wyznaczenie trendu zmian parametru zużycia narzędzia, ze zmierzonych wartości chwilowych, pozwoli na wyznaczenie harmonogramu czynności obsługi narzędziowej realizowanej przez służby pomocnicze (zamówienie narzędzia, pobranie z narzędziowni, ustalenie chwili wymiany, dostarczenie do stanowiska, polecenie wymiany). Innym przykładem zbierania informacji istotnych dla wprowadzania korekt do harmonogramu produkcji, może być algorytm pomiaru bieżącej wydajności stanowiska przez zarejestrowanie liczby wykonanych operacji i ich rzeczywistego czasu. Tego typu informacje, zbierane i przesyłane w czasie rzeczywistym ze wszystkich stanowisk ciągu technologicznego są przetwarzane w programach konstruujących harmonogramy. Takie działanie umożliwia usługa PaaS (*Platform as a Service*)

pozwalająca na wykorzystanie bardzo wydajnych klastrów komputerowych oraz dostosowanego do potrzeb użytkownika, kompletu aplikacji. Adaptacja bieżących harmonogramów do rzeczywistych warunków realizacji procesu wytwarzania umożliwi zmniejszenie zapasów buforowych między stanowiskami a tym samym wartości produkcji w toku.

Druga grupa czynności ma na celu uzupełnienie zbioru lokalnych informacji o istotne, dla podejmowania decyzji, informacje pochodzące z innych wbudowanych modułów mikroprocesorowych. Dla przykładu, moduł rejestrujący wymiary wyrobu po obróbce oblicza trend wskazujący na możliwość przekroczenia granicy tolerancji. Analizując ten trend można wyznaczyć wartość korekcji wymiarowej i przesłać taką decyzję do sterownika obrabiarki za pośrednictwem komputerowego systemu wbudowanego. Wymiana informacji między systemem pomiarowo kontrolnym a modulem sterującym funkcjami obrabiarki, może być wykorzystana do adaptacyjnej zmiany programu sterującego procesem obróbki skrawaniem. Polega to na testowej obróbce przedmiotu o zróżnicowanej sztywności przy założeniu maksymalnej wydajności obróbki. Analiza wymiarowa testowanego przedmiotu po obróbce umożliwia wprowadzenie korekcji toru narzędzia do programu sterującego. Korekcja ta pozwala na prowadzenie wysoko wydajnościowej obróbki przy zachowaniu wymiarów w granicach tolerancji.

Za pośrednictwem wbudowanego modułu mikroprocesorowego można także wprowadzać informacje sterujące przebrojeniem stanowiska roboczego, zgodnie z harmonogramem opracowanym w ramach ERP.

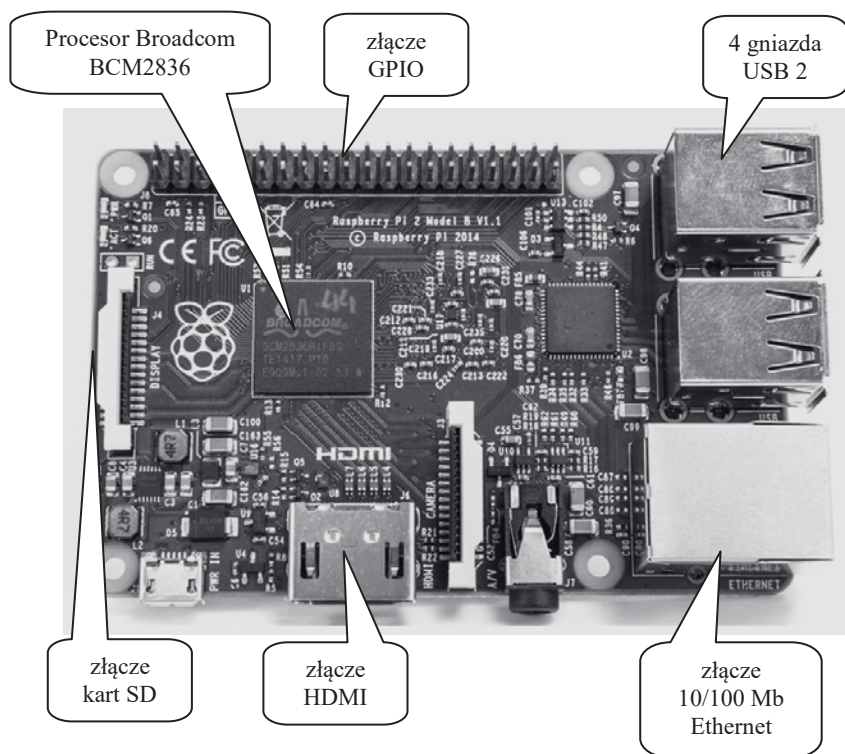
Analiza lokalnie zarejestrowanych informacji oraz tych, które zostały pozyskane z innych wbudowanych systemów mikroprocesorowych posłuży do wyznaczenia sygnałów sterujących stanowiskiem roboczym, oprzyrządowaniem, robotami lub urządzeniami transportowymi. Dla zapewnienia funkcjonalności tej fazy działania koniecznym jest opracowanie algorytmów decyzyjnych. W wielu przypadkach mogą to być algorytmy wykorzystujące systemy ekspertowe i programy optymalizujące a także systemy sztucznej inteligencji. Zastosowanie tych narzędzi informatycznych wymaga znacznych mocy obliczeniowych i aplikowanie ich lokalnie w systemie wbudowanym było by niecelowe. Rozwiązaniem jest zapewnienie bieżącej komunikacji przez sieć globalną Internet z Chmurą obliczeniową i wykorzystanie zasobów sprzętowych oraz programowych dostępnych w tej technologii.

2. Wykorzystanie Internetu rzeczy do komunikacji

Funkcjonalność, gwarantującą realizację wymienionych zadań w zintegrowanym systemie sterowania wytwarzaniem, mają jedno lub wiele rdzeniowe systemy mikrokomputerowe zbudowane z wykorzystaniem procesorów w ar-

chitekturze ARM [6]. Przykładem takiego rozwiązania może być miniaturowy komputer **Raspberry Pi 2 B** (rys.3). Jednostką centralną komputera jest procesor Broadcom BCM2836 z czterema rdzeniami ARMv7 Cortex-A7, które pracują z częstotliwością zegara 800 do 900 MHz. Do wymiany informacji z otoczeniem zaimplementowano 4 porty USB, 40 pinowe **złącze GPIO** (ang. *general purpose input/output- wejście/wyjście ogólnego przeznaczenia*), port micro USB **służący do zasilania**, wyjście HDMI oraz złącza DSI (*Display Serial Interface*) i CSI (*Camera Serial Interface*).

Mikrokomputer może pracować pod kontrolą systemu Linux lub Windows 10. Koszt Raspberry Pi gotowego do wykorzystania jako system wbudowany to 35\$. Jako pamięć masową zastosowano kartę pamięci mikro SD.



Rys. 3. Przykład Raspberry Pi 2 B jako mikrokomputera spełniającego kryteria zaawansowanego modułu pracującego w systemie Internetu rzeczy IoT (Internet of Thing)

Jednym z kluczowych uwarunkowań wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technologii informatycznych do sterowania zintegrowanym systemem wytwarzania, jest opracowanie sprzętowych i programowych kanałów informacyjnych o stanie

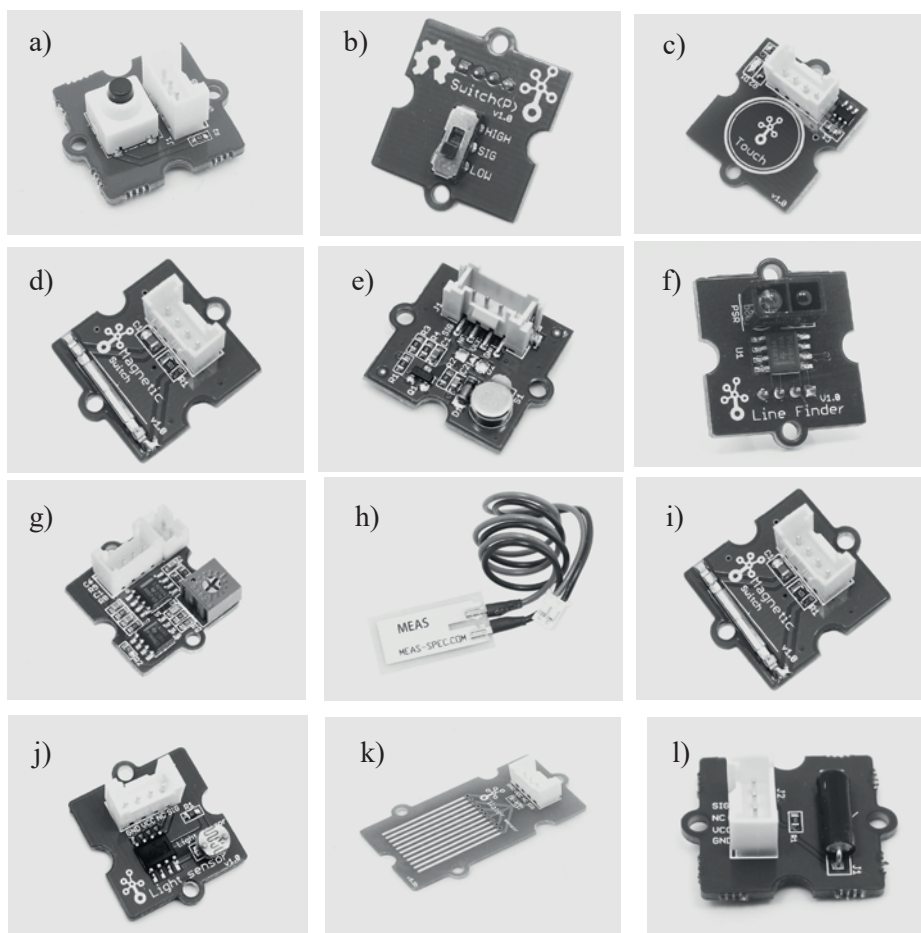
procesów sterowanych. Rozwiązania te powinny być kompatybilne z istniejącymi interfejsami mikrokomputerowych systemów wbudowanych. Jak wynika z analiz rynku urządzeń pomiarowych i systemów wykonawczych stosowanych do automatyzacji, oferta jest bogata lecz nie zawsze odpowiada wymaganiom stawianym przez przemysł wytwórczy.

Wiele firm z obszaru elektroniki i informatyki zauważyło te możliwości. Przykładem może być Intel, znany producent mikroprocesorów i układów scalonych. Projektanci Intela zaproponowali budowę całego „ekosystemu” dla Internetu rzeczy z ukierunkowaniem na potrzeby systemów wytwórczych. Projekt ten nazwano Intel IoT Platform. Celem projektu jest ułatwienie łączności, zwiększenie bezpieczeństwa i standaryzowanie Internetu rzeczy. Intel nawiązał współpracę z dużą liczbą firm tworzących produkty działające w oparciu o Internet rzeczy. Należą do nich między innymi Accenture, Booz Allen Hamilton, Capgemini, Dell, HCL, NTT DATA, SAP, Tata Consultancy oraz Wipro. Będą one w swoich systemach używać ujednolicone elementy. Ma to spowodować, że dane będą mogły być szybciej analizowane i wykorzystywane na potrzeby projektów przemysłowych. Podobne zainteresowanie zastosowaniem technologii IoT przejawia firma Microsoft. Firma zaproponowała innowacyjne rozwiązanie pod nazwą Microsoft Azure IoT Suite. Rozwiązanie to umożliwia zaawansowane analizy danych dostarczanych przez rozproszone moduły monitorujące procesy z wykorzystaniem Microsoft Cloud Platform (*Chmury obliczeniowej Microsoftu*). Dodatkowo firma udostępniła bezpłatnie system operacyjny Windows 10 w wersji dostosowanej do platformy mikrokomputerów Raspberry Pi 2 B. Dało to możliwość wykorzystania środowiska programistycznego Visual Studio z wykorzystaniem języków C++, C#.

Pomysł integracji systemu sterowania procesami wytwarzania w technologii IoT, może zostać wdrożony przy założeniu dostępności sensorów przekazujących istotne informacje, zakodowane w przebiegu zmian wartości różnych wielkości fizycznych. Zmiany te są generowane w wyniku procesów technologicznych i logistycznych zachodzących w trakcie wytwarzania. Sygnały rejestrowane mają zróżnicowany charakter i wymagają również zróżnicowanych metod przetwarzania oraz interpretacji zawartych w nich informacji. Można tu wyróżnić, ze względu na charakter generowanego sygnału:

- sensory generujące sygnał dwustanowy (przełączniki);
- sensory generujące sygnał w postaci wektora bitowego;
- sensory generujące sygnał analogowy.

Wiele zdarzeń wynikających z działania systemu wytwarzania generuje sygnały dwustanowe. Dla przykładu obecność lub brak materiału do obróbki w zasobniku maszyny technologicznej może być opisany zmianą wartości bitu z 1 na 0, obecność urządzenia transportowego w oczekiwanym miejscu także może być opisana w ten sposób.



Rys. 4. Przykładowe rozwiązania techniczne sensorów generujących sygnał dwustanowy i współpracujących z mikrokomputerem Raspberry Pi i Arduino

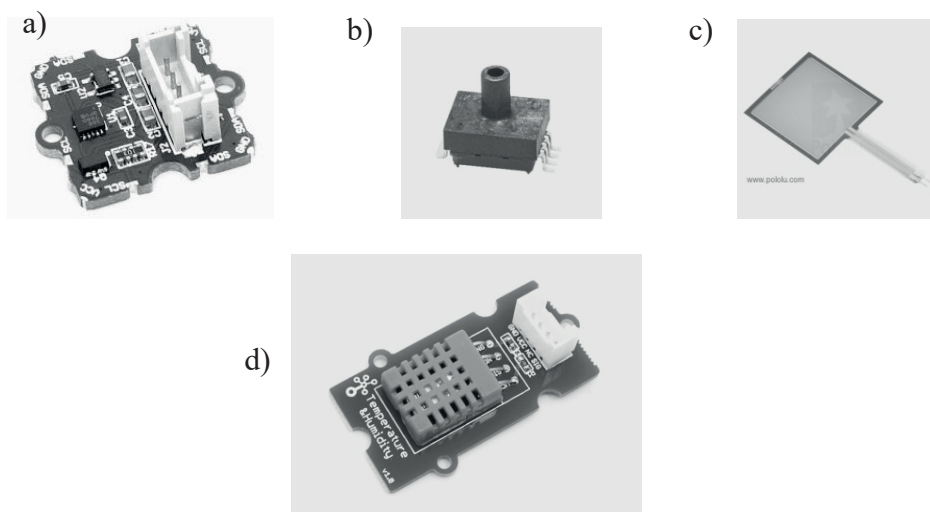
Informacje tego typu mogą być zbierane za pośrednictwem dotykowych lub bezdotykowych sensorów identyfikujących dwustanowe zdarzenia. Pokazane na ilustracji (rys.4) sensory są dedykowane dla systemów IoT opartych na mikrokomputerach Raspberry Pi oraz Arduino i są proponowane do implementacji w szerokiej gamie zastosowań w obszarach sterowania automatycznego w technologii IoT przez firmę DEXTER INDUSTRIES. Pokazane rozwiązania konstrukcyjne są miniaturowe i po zabezpieczeniu przez odpowiednie obudowy przed działaniem czynników destrukcyjnych mogą znaleźć zastosowanie w warunkach przemysłowych. Przykłady takich rozwiązań pokazano na rys.4. Pokazano sensory reagujące zmianą stanu wyjścia z niskiego na wysoki i odwrotnie z wysokiego na niski dla zdarzeń o zróżnicowanym charakterze, i tak:

- rys. 4a pokazuje sensor reprezentowany przez przełącznik niestabilizowany (naciśnięcie generuje sygnał wysoki, w stanie spoczynku stan niski). Może znaleźć zastosowanie jako generator sygnału potwierdzenia przez obsługę stanowiska zdarzeń lub wykonania innych czynności obsługowych nie wymagających wprowadzania większych ilości informacji.
- rys. 4b przedstawia przełącznik stabilizowany mechanicznie (każdy stan wyjściowy może być ustawiony stabilnie). Każdemu ze stanów można przypisać trwałą informację generowaną przez obsługę stanowiska roboczego lub innego systemu pomocniczego.
- rys. 4c przedstawia sensor dotykowy reagujący na zbliżenie palca do jego powierzchni. Zastosowanie może być podobne jak przełącznika niestabilizowanego z rys. 4a.
- rys. 4d pokazuje sensor reagujący na obecność pola magnetycznego z elektromagnesu lub magnesu stałego. Zastosowania takiej konstrukcji czujnika w procesach wytwarzania i pomocniczych mogą być bardzo różne. Ogólnie można je określić jako identyfikację obecności lub brak obecności elementów generujących pole magnetyczne o ustalonym minimalnym natężeniu.
- rys. 4e to sensor kolizji w trakcie ruchu. Sygnał wyjściowy pozostaje na poziomie niskim gdy sensor rejestruje drgania lub jest poddawany przemieszczaniu z małymi przyspieszeniami, natomiast wykazuje dużą czułość na gwałtowne uderzenia generując na wyjściu wysoki poziom sygnału. Sygnały z takich czujników mogą, wraz z innymi informacjami, być przydatne do identyfikacji zdarzeń katastroficznych lub o charakterze nagłym w systemach obróbkowych lub transportowych.
- rys. 4f przedstawia sensor podczerwieni i zawiera diodę emitującą promieniowanie w paśmie podczerwonym oraz fototranzystor odbierający odbite od obiektu promieniowanie. Ponieważ rozróżnia obiekty o różnym stopniu odbicia i absorpcji może znaleźć zastosowanie w procesach identyfikacji obecności różnych obiektów w wybranym miejscu. Generuje na wyjściu sygnał wysoki gdy identyfikuje czarną powierzchnię i niski gdy białą. Typowym zastosowaniem jest prowadzenie zautomatyzowanych samobieżnych urządzeń transportowych po wyznaczonych drogach.
- rys. 4g, h przedstawia piezoelektryczny czujnik generujący wysoki poziom sygnału na wyjściu w przypadku pojawienia się drgań o amplitudzie przekraczającej zadaną wartość. Sensor jest wrażliwy na drgania w szerokim zakresie częstotliwości. Może mieć zastosowania diagnostyczne w sytuacjach, gdy wzrost drgań świadczy o nieprawidłowościach przebiegu procesu technologicznego lub uszkodzeniu maszyny albo nieprawidłowym zamocowaniu przedmiotu obrabianego lub narzędzia.
- rys. 4i pokazuje sensor kontaktronowy generujący stan wysoki w obecności pola magnetycznego. Może znaleźć zastosowanie jako czujnik położenia

elementów maszyny technologicznej lub stanu elementów przyrządów obróbkowych.

- rys. 4j przedstawia sensor natężenia światła w paśmie widzialnym.
- sensor na rys. 4k pozwala na wykrywanie wilgoci. Przy jego pomocy można identyfikować nieszczelności w instalacjach przemysłowych.
- rys. 4l przedstawia sensor reagujący na zmianę położenia względem powierzchni ziemi. W zakresie kąta od 10 do 170 stopni generuje sygnał na wysokim poziomie logicznym a od 190 do ok. 350 stopni na niskim. W zastosowaniach przemysłowych można używać go do identyfikacji skrajnych położень elementów maszyn i oprzyrządowania a także urządzeń załadowniczych i wyładowniczych w systemach logistyki.

Z dokonanego przeglądu przykładowych konstrukcji sensorów generujących tylko informację dwustanową widać jak szerokie może być ich zastosowanie. Jednakże dla zintegrowanego systemu sterowania wytwarzaniem w wielu zastosowaniach potrzebne są informacje o wartościach analogowych przekazywane w postaci cyfrowej. W takich przypadkach tor pomiarowy składa się z czujnika analogowego mierzonej wielkości oraz przetwornika analogowo-cyfrowego. Rozwiązania takie są dostępne w cenach kilkunastu do kilkudziesięciu dolarów. Na rys. 5 pokazano kilka wybranych przykładów sensorów wielkości analogowych.



Rys. 5. Czujniki wielkości fizycznych z wyjściem sygnału analogowym lub cyfrowym I2C: a) kompas z wyjściem I2C; b) analogowy czujnik ciśnienia c) analogowy czujnik nacisku d) czujnik temperatury i wilgotności z interfejsem cyfrowym



Rys. 6. *Przetwornik analogowo cyfrowy (A/C) i cyfrowo analogowy (C/A) jako nakładka na mikrokomputer Raspberry Pi*

Sygnały analogowe z czujników mogą być przetworzone na postać wektora cyfrowego w wielowejściowym przetworniku kompatybilnym z mikrokomputerem Raspberry Pi. Pokazany na rys.6 przetwornik dysponuje ośmioma analogowymi wejściami z których sygnał jest przetwarzany na wektor 24 bitowy oraz dwa kanały analogowe wyjściowe.

Zainstalowany mikrokomputerowy system wbudowany może komunikować się z siecią lokalną Ethernet i Internetem za pośrednictwem wbudowanego interfejsu z gniazdem RJ-45 lub bezprzewodowo w technologii wi-fi. W przypadku zastosowania łączności bezprzewodowej konieczne jest zastosowanie karty sieciowej wi-fi podłączonej do mikrokomputera przez złącze USB.

Zawarta w tym rozdziale analiza możliwości technicznych realizacji koncepcji zintegrowanego sterowania procesem wytwarzania potwierdza tezę, że obecne na rynku innowacyjne techniki i technologie zbierania, przetwarzania, agregowania i przechowywania informacji pozwalają na techniczną realizację takiego zadania. Jednakże jest to możliwe po spełnieniu kilku warunków wymagających dalszych badań i prac rozwojowych. Warunkiem koniecznym jest opracowanie algorytmów i oprogramowania pozwalającego generować optymalne decyzje oparte na ciągle napływających danych w czasie rzeczywistym i adresować je do właściwych stanowisk roboczych i komórek pomocniczych. Trzeba podkreślić, że opisywana koncepcja sterowania nie zakłada zastąpienia natywnych sterowników maszyn CNC lub PLC a tylko wpływanie na ich bieżące ustawienia wynikające z globalnej analizy danych i predykcji stanów, tak jakby to wykonywał operator. Odrębnym problemem jaki trzeba pokonać jest budowa interfejsów do zróżnicowanych technicznie systemów sterowania natywnego maszyn, oprzyrządowania, robotów

i zautomatyzowanych systemów transportowych. Rozwiązanie tego problemu będzie wymagało standaryzacji z wykorzystaniem istniejących najbardziej rozpowszechnionych standardów przesyłania i wykorzystania informacji w warunkach przemysłowych.

Zastąpienie operatora i ustawiacza maszyn a także dyspozytora transportu i magazyniera sterowaniem komputerowym może usprawnić procesy decyzyjne ze względu na:

1. globalną analizę stanu wszystkich procesów technologicznych, organizacyjnych i obsługowych, niemożliwą przez człowieka w czasie rzeczywistym;
2. dużą szybkość podejmowania decyzji z uwzględnieniem minimalizacji ryzyka.

3. Obszary potencjalnych zastosowań innowacyjnych technologii informatycznych w procesach wytwarzania

Istnieje wiele obszarów funkcjonalnych procesu wytwarzania, których działanie można usprawnić i zoptymalizować pod warunkiem pozyskania informacji o bieżących stanach procesów. Zarówno procesów podstawowych jak i pomocniczych. Do takich obszarów, wpływających bezpośrednio na stan procesu podstawowego należą:

- procesy diagnostyki i utrzymania ruchu maszyn i urządzeń bezpośrednio produkcyjnych oraz pomocniczych;
- procesy zaopatrzenia, magazynowania i regeneracji przyrządów oraz narzędzi produkcyjnych;
- procesy zamawiania, identyfikacji i weryfikacji oraz magazynowania i dystrybucji materiałów i podzespołów produkcyjnych;
- procesy kontroli jakości międzyoperacyjnej oraz produktów finalnych;
- procesy logistyki wewnętrznej i zewnętrznej.

3.1. Procesy diagnostyki i utrzymania ruchu

Wiedza o stanie maszyn i urządzeń zarówno produkcyjnych jak i pomocniczych pozwala na zapewnienie ciągłości produkcji. Niezwykle ważnym zadaniem służb utrzymania ruchu jest zmniejszenie przypadków nieprzewidzianych awarii oraz takie zaplanowanie działań zapobiegawczych, aby nie powodować koncentracji wyłączeń z ruchu maszyn. Realizacja pierwszego z tych zadań wymaga rozbudowanej diagnostyki i wykorzystania algorytmów pozwalających na prognozowanie przyszłych stanów istotnych komponentów zasobów produkcyjnych.

Pozyskanie danych, wstępnie przetworzonych w mikroprocesorowych systemach wbudowanych do maszyn i urządzeń, pracujących w systemie Internetu rzeczy, jest pierwszym etapem kompleksowej diagnostyki. Dane te są przesłane w czasie rzeczywistym i rejestrowane w bazach danych chmury obliczeniowej. Następny etap to zaawansowana ich analiza z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji i zastosowaniem systemów ekspertowych w celu ustalenia stanu technicznego i priorytetów działań obsługowych dla działu utrzymania ruchu. Duże możliwości obliczeniowe klastrów komputerowych umieszczonych w chmurze obliczeniowej mogą być wykorzystane do identyfikacji procesów destrukcyjnych maszyn technologicznych i innych urządzeń produkcyjnych.

Jednym z przykładów zastosowań systemu eksperckiego umieszczonego w chmurze obliczeniowej jest proces diagnostyki obrabiarek sterowanych numerycznie. Problem diagnostyki, maszyn technologicznych sterowanych numerycznie i pracujących przy udziale robotów w trybie bez operatorów, stanowi bardzo ważne zagadnienie dla zapewnienia jakości procesów produkcyjnych. Przede wszystkim wymaga zgromadzenia wiedzy i doświadczenia na poziomie trudnym do osiągnięcia dla inżynierów niespecjalistów w tej dziedzinie. Innym, nie mniej ważnym problemem, jest akwizycja danych diagnostycznych z dużej liczby obrabiarek w tym samym czasie w sposób ciągły. Rozwiązaniem tego problemu jest skonstruowany system ekspertowy w Asian Institute of Technology w Bangkoku [11] wypełniony specjalistyczną wiedzą. Zaprojektowany system to hybryda pomiędzy modelem głębokim systemu i modelem płytkim. Płytki model reprezentuje heurystyczną metodę, która przybliża identyfikację miejsca niesprawności diagnozowanego systemu. Natomiast głęboki model, na podstawie struktury i zachowania maszyny sterowanej numerycznie, oraz zapisanej wiedzy eksperckiej, postępując według strategii głębokiego rozumowania lokalizuje dokładnie usterkę. Hybrydowe połączenie tych dwóch modeli zapewnia dużą precyzję systemu diagnostycznego. Na podstawie zgromadzonej wiedzy został zaprojektowany taki prototypowy system diagnostyczny z zastosowaniem bazy wiedzy, dla którego utworzono 500 zasad wnioskowania. System w czasie rzeczywistym otrzymuje informacje diagnostyczne z kilkudziesięciu systemów wbudowanych obserwujących stan głównych zespołów obrabiarek. Informacje te przesyłane przez Internet do chmury obliczeniowej są analizowane. Wnioski z analiz wpływają automatycznie na decyzje o wyłączeniu z produkcji maszyn i zgłoszeniu ich do służby utrzymania ruchu wraz z opisem najbardziej prawdopodobnego uszkodzenia. (Bohez, i inni, 1997). Rozszerzeniem możliwości tego systemu może być predykcja możliwych uszkodzeń oraz przekazanie takich informacji do działu zaopatrzenia w celu dokonania zakupu części i zespołów, przygotowanie dokumentacji, materiałów i narzędzi. Takie działania skracają procesy przygotowawcze i powodują ograniczenie czasu wyłączenia maszyn i urządzeń z procesu produkcyjnego koniecznych do wykonania napraw. Inną funkcją systemu może być opracowanie prognozy zmia-

ny stanu obiektów diagnozowanych w najbliższym czasie i ustalenie najbardziej prawdopodobnej kolejności awarii i wyłączeń z ruchu maszyn technologicznych lub urządzeń.

Analiza tych priorytetów pozwala na budowanie oraz ciągłą aktualizację harmonogramów obsługi oraz konserwacji zasobów produkcyjnych i pomocniczych. Uwzględniając informacje zawarte w harmonogramie produkcji, można ustalać czas i miejsce procesów naprawczo-usługowych w całym przedsiębiorstwie produkcyjnym w taki sposób, aby zminimalizować koszty.

3.2. Procesy zaopatrzenia, magazynowania i regeneracji przyrządów oraz narzędzi produkcyjnych

Ten obszar działań pomocniczych w stosunku do procesu produkcyjnego także może być usprawniony przez zastosowanie nowych technologii informatycznych [7]. Procesy zaopatrzeniowe już w wielu przedsiębiorstwach korzystają z funkcji wbudowanych w systemy ERP w zakresie zaopatrzenia w materiały i komponenty do produkcji. Polega to na automatycznym generowaniu zamówień materiałów i podzespołów do produkcji na podstawie planu produkcyjnego oraz stanów magazynowych i prognozowanych okresów od zamówienia do dostawy. Jednak i w tak zorganizowanym systemie trzeba się liczyć z możliwością wystąpienia zakłóceń.

Takim zakłóceniem może być np. chwilowy brak komponentów do montażu lub półfabrykatów do obróbki spowodowany niestabilnością rynków materiałów i komponentów. Zmiana cen, spowodowana zdarzeniami losowymi lub trendami na giełdach może wpłynąć znacząco na opłacalność produkcji. W tym obszarze technologie informatyczne także mogą pomóc w zminimalizowaniu skutków takich zdarzeń. Pomocna będzie technika bieżącego automatycznego monitorowania giełd materiałowych i cen zaopatrzeniowych w Internecie w odniesieniu do materiałów i komponentów potrzebnych do produkcji. Na podstawie danych z programu produkcyjnego oraz zapasów magazynowych konkretnych materiałów można, znając trendy cenowe i dostępności, opracować algorytm podejmowania decyzji o wielkości zakupu oraz terminach złożenia zamówień. Takie działanie może zminimalizować oddziaływanie negatywnych trendów w obszarze zaopatrzenia w materiały i komponenty.

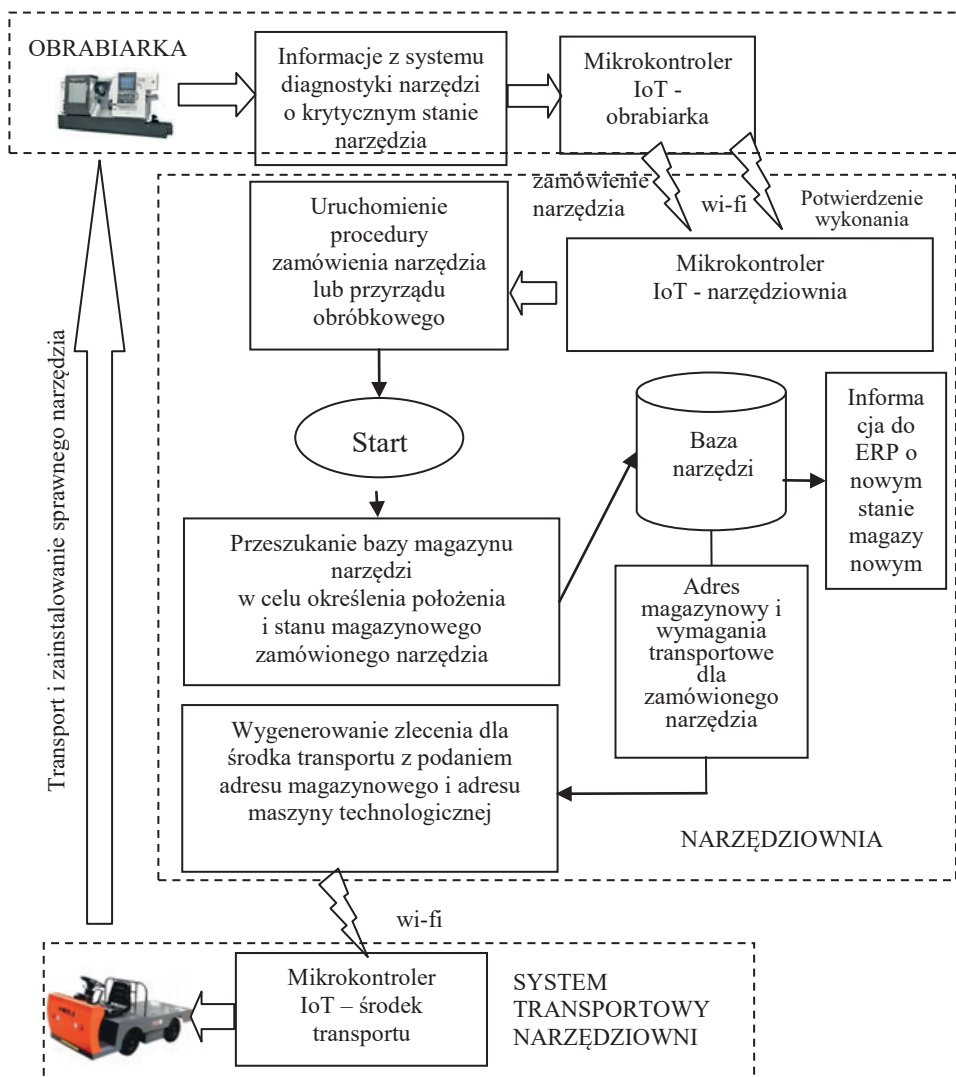
Nieco inny charakter mają procesy zaopatrzenia produkcji w narzędzia i przyrządy obróbkowe. Zdarzeniem, które uruchamia proces zaopatrzenia jest identyfikacja braku narzędzia lub przyrządu na stanowisku podczas uruchamiania procesu technologicznego lub identyfikacja naturalnego ewentualnie katastroficznego zużycia w trakcie trwania procesu. W systemach obróbkowych, które dysponują diagnostyką narzędzi, w przypadku obserwacji zużycia naturalnego,

następuje analiza trendu symptomu zużycia i oszacowanie czasu do koniecznej wymiany. Tu zaczyna się rola operatora maszyny, który składa zamówienie na wymianę narzędzia lub przyrządu. Biorąc pod uwagę fakt, że operator może mieć pod kontrolą nawet kilkanaście zautomatyzowanych stanowisk używających kilkadziesiąt narzędzi, włączenie roli człowieka w algorytm zainicjowania zamówienia i wymiany narzędzia, może skutkować przestojami.

W oparciu o technologię informatyczną Internet of Things (IoT) można problem pobrania, dostawy i wymiany narzędzia rozwiązać bez angażowania operatora. Po otrzymaniu od systemu diagnostycznego informacji o dynamice zmian symptomów zużycia lub zdarzeniu katastroficznego zużycia, następuje wysłanie zamówienia do narzędziowni wraz z parametrami charakteryzującymi narzędzie lub przyrząd oraz adresem stanowiska i miejsca w magazynie lokalnym.

Mikrokomputer, działający w narzędziowni jako system wbudowany, przeszukuje bazę magazynową narzędzi w celu znalezienia współrzędnych położenia narzędzia w magazynie. Po odszukaniu, zamawia środek transportu przekazując otrzymany od obrabiarki, za pośrednictwem IoT, adres stanowiska roboczego i pozycji w magazynie lokalnym stanowiska zamawiającego oraz adres w magazynie narzędziowni. W zależności od stopnia automatyzacji informacje te mogą posłużyć do automatycznej realizacji załadunku i transportu lub być wypisane na terminalu wózka jako zlecenie dla pracownika transportu. Po umieszczeniu narzędzia w zaadresowanej maszynie technologicznej, następuje potwierdzenie wykonania zamówienia kończące operację i inicjujące powrót wózka do bazy oraz ewentualne rozpoczęcie wykonania podobnego zadania dla innego stanowiska. Niekiedy, w wyniku konieczności wymiany narzędzia lub oprzyrządowania, koniecznym jest wstrzymanie produkcji na stanowisku roboczym (w przypadkach zużycia awaryjnego lub pracochłonnej wymiany oprzyrządowania). Informacja o tym fakcie wraz z podaniem czasu przestoju i liczby części niewykonanych jest przekazana w ramach IoT do mikrokomputera uaktualniającego harmonogram produkcji. Algorytm opisanych działań przedstawia rys. 7.

Zużyte narzędzia dostarczone do narzędziowni w wyniku opisanych operacji podlegają kwalifikacji na nadające się do regeneracji lub całkowicie zużyte. Proces ten wymaga zastosowania stanowisk pomiarowych realizujących zadania diagnostyczne. W wyniku powstaje informacja istotna punktu widzenia zaopatrzenia w narzędzia. Mikrokomputerowy system sterowania procesami zaopatrzenia otrzymuje bieżącą informację o liczbie skasowanych narzędzi i po skonfrontowaniu z zapasem magazynowym konkretnych typów i odmian może podjąć decyzję o zamówieniu lub skierowaniu do wykonania w przypadku narzędzi specjalnych.



Rys. 7. Algorytm procesu sterowania wymianą zużytego narzędzia z wykorzystaniem Internetu rzeczy do pozyskiwania i wykorzystania informacji

3.3. Procesy zamawiania, identyfikacji, weryfikacji oraz magazynowania i dystrybucji materiałów oraz podzespołów dla produkcji i montażu produkcji wariantowej

Podstawowe procesy produkcyjne generujące produkt gotowy wymagają dobrze zorganizowanej obsługi informatycznej. Szczególnie można zaobserwować proble-

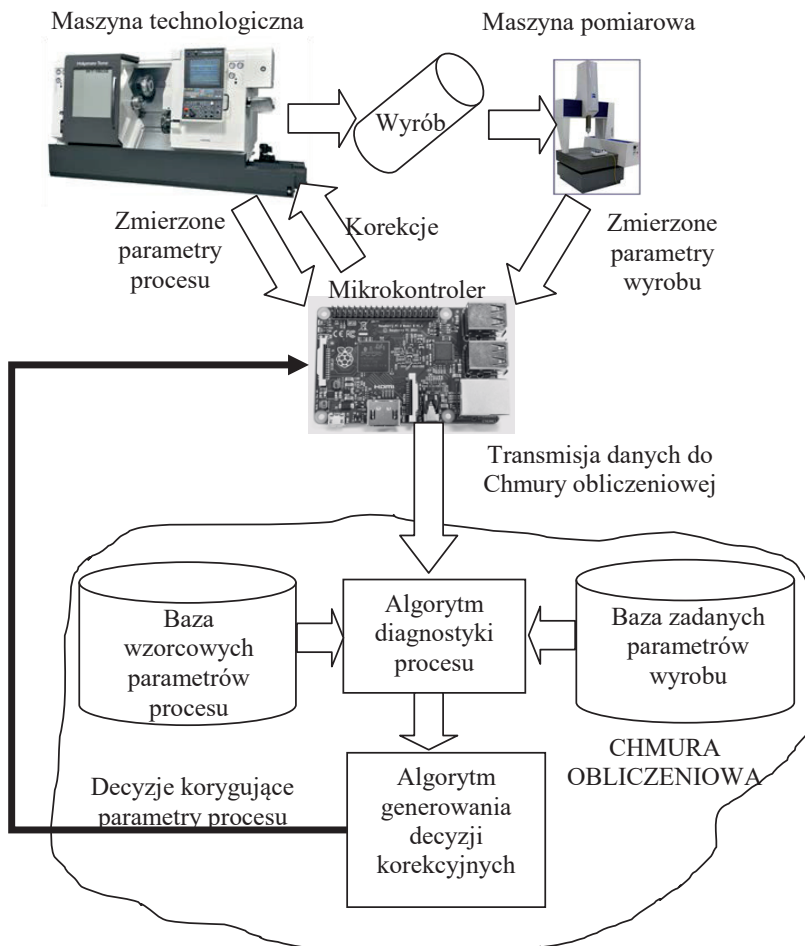
my w tym obszarze dla produkcji wariantowej. Przedsiębiorstwa produkcyjne, dążąc do podniesienia konkurencyjności, stosują strategię zindywidualizowanej produkcji masowej zwaną również masową kastomizacją. Polega ona na uwzględnieniu potrzeb klienta przez opracowanie i wyprodukowanie wariantu wyrobu, spełniającego jego indywidualne oczekiwania. Powstają wtedy problemy z synchronizacją zaopatrzenia stanowisk roboczych w odpowiednie komponenty, oprogramowanie sterujące oraz przyrządy i narzędzia adekwatne do wariantu wyrobu. Także i w tym przypadku mogą pomóc innowacyjne technologie informatyczne np. przez znakowanie wyrobów niestandardowych specjalnym elektronicznym znacznikiem.

Ideowym urządzeniem IoT, realizującym taki model jest elektroniczny znacznik – beacon. Beacon to scalony układ elektroniczny, którego głównym zadaniem jest emisja stałego, unikalnego sygnału. Sygnał ten to znacznik w postaci kodu cyfrowego urządzenia, jednoznacznie go identyfikuje. W ten sposób dokonywane jest przypisywanie cyfrowych informacji przedmiotom fizycznym z którymi powiązano miniaturowy beacon. Nośnikiem informacji jest sygnał radiowy odpowiadający częstotliwościom bluetooth. Urządzenie standardowo wykorzystuje technologię Bluetooth Low Energy i może działać zasilane niewielką baterią nawet przez rok. Jego funkcjonalność może być odpowiednio rozszerzana o dodatkowe czujniki. Beacon może zostać obudowany dowolną obudową zapewniającą bezpieczeństwo układu elektronicznego w warunkach przemysłowych. Beacon w tłumaczeniu na język polski oznacza radiolaternia – to w najlepszy sposób oddaje idee tego urządzenia. Urządzenie to sygnalizuje istnienie oraz położenie jakiegoś obiektu na podstawie mocy sygnału, a tym samym jego odległości od urządzenia odczytującego – skanera. Jeżeli założyć, że przy każdym stanowisku roboczym jest zainstalowany mikrokontroler spełniający rolę akwizytora informacji i dystrybutora w systemie IoT, to sygnał z becona może być zidentyfikowany jako cyfrowy podpis obecności wyrobu wariantowego na określonym stanowisku obróbkowym. Z indywidualnym kodem cyfrowym można, korzystając z bazy danych, skojarzyć wszystkie potrzebne komponenty do wykonania operacji technologicznej. Pozwoli to na uruchomienie, z obliczonym wyprzedzeniem, zaopatrzenia kolejnych stanowisk. Dodatkowo, efekty wykonanych operacji technologicznych, wpływające na parametry innych operacji na następnych stanowiskach, mogą być przekazywane przez IoT między stanowiskami. Równie ważna, z punktu widzenia dynamicznej organizacji produkcji, jest dostępność informacji zbiorczej od wszystkich wprowadzonych do procesu produkcyjnego obiektów o ich położeniu i stopniu wykonania zadań technologicznych.

3.4. Procesy kontroli jakości międzyoperacyjnej

Międzyoperacyjna kontrola jakości wykonania kolejnych procesów technologicznych ma na celu wyeliminowanie wykonywania operacji na wyrobach niespełniających założeń konstruktora (nienaprawialnych). Drugim jej zadaniem

jest zasygnalizowanie koniecznych zmian parametrów technologicznych, narzędzi, przyrządów lub dokonanie regulacji przywracających sprawność maszyny technologicznej. Najkorzystniejszym rezultatem właściwie zorganizowanych operacji kontrolnych jest możliwość predykcji niekorzystnych stanów wyrobu na podstawie bieżących obserwacji. Takie działania dają szansę na wyeliminowanie powstawania braków. Konceptcję takiego rozwiązania, z zastosowaniem innowacyjnych technologii informatycznych, pokazano na rys. 8. Tu także, kluczem do osiągnięcia pozytywnych rezultatów jest pozyskanie bieżącej informacji o trendach zmian kontrolowanych parametrów uzyskiwanych dla kolejnych przedmiotów poddawanych obróbce.



Rys. 8. Konceptcja poprawy jakości produkowanych części metodą predykcji wystąpienia zakłóceń w procesie technologicznym.

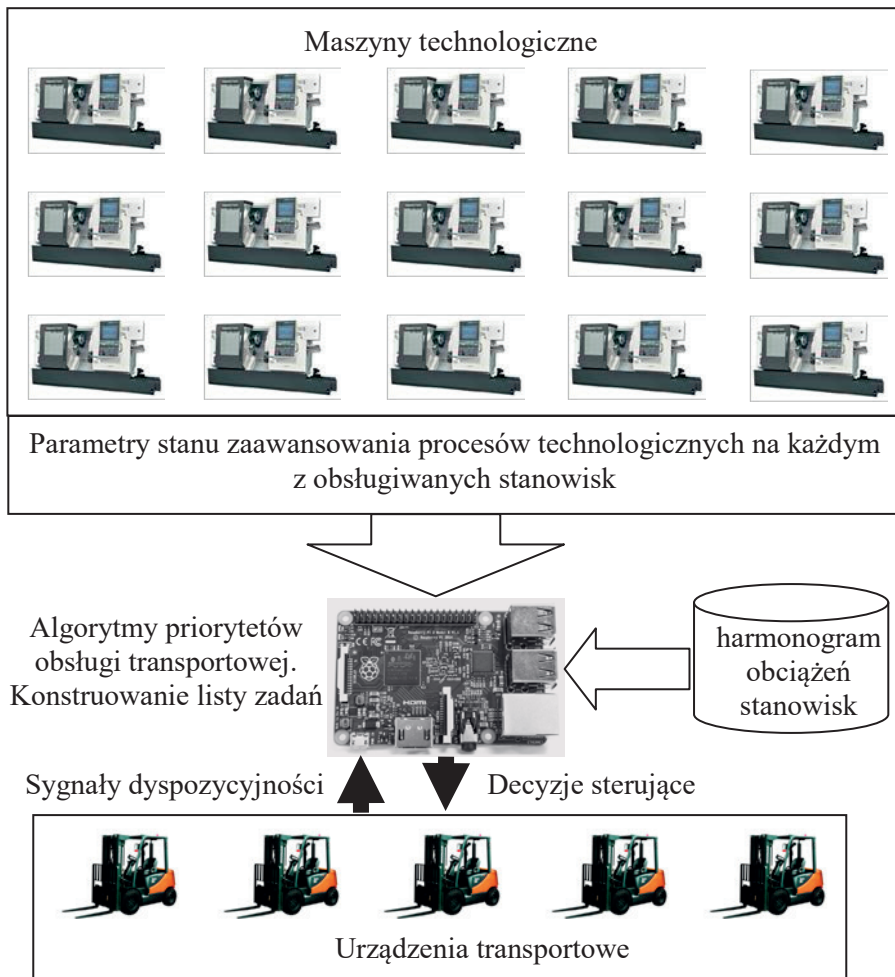
Zastosowanie mikrokomputerowych systemów wbudowanych na poszczególnych stanowiskach umożliwia monitorowanie i rejestrację wyników kontroli międzyoperacyjnej. Jednakże, analiza tych wyników wymaga algorytmów indywidualnie zaprojektowanych dla każdego stanowiska i parametru mierzonego. Algorytmy te powinny, w większości przypadków, decydować o wdrożeniu procedur naprawczych. Przesyłane z chmury obliczeniowej decyzje naprawcze wraz z parametrami ich wdrożenia mogą być wykorzystane przez obsługę lub automatycznie wdrożone za pośrednictwem sterowników maszyny technologicznej. Strategia automatyzacji diagnostyki procesu wytwarzania wydaje się być oczywista i stosunkowo łatwa do zrealizowania dla pojedynczego stanowiska. W literaturze były opisy takich rozwiązań [13]. Trzeba jednak wziąć pod uwagę skalę problemu w przypadku masowej produkcji na kilkudziesięciu stanowiskach. Przy czym na każdym z nich realizuje się kilka lub nawet kilkanaście operacji, których rezultaty są mierzalne i oceniane. Organizacja wykorzystania IoT w procesach kontroli, będzie wymagała, dla wypracowania decyzji, skorzystania z algorytmów uczenia się i modelowania zjawisk będących przyczyną błędów wyrobów. Uczenie systemu a także parametryzacja modeli wymaga znacznych mocy obliczeniowych, które mogą być udostępniane na platformach chmur obliczeniowych. Bez tych innowacyjnych rozwiązań informatycznych, wykorzystanie predykcji błędów w większej skali, niż pojedyncze stanowisko i realizowane na nim operacje, było dotychczas niemożliwe.

3.5. Procesy logistyki wewnętrznej

W dużych wydziałach produkcyjnych, gdzie jednocześnie wykonywane są procesy technologiczne na znacznej liczbie różnych części, dąży się do wykorzystania czasu maszynowego każdego ze stanowisk roboczych. Koordynacja przemieszczeń obrabianych części ze stanowiska na stanowisko tak, aby dobrze wykorzystać park maszynowy zależy od harmonogramu produkcji. Dobrze opracowany harmonogram może być podstawą do sterowania systemem logistycznym pod warunkiem ciągłej aktualizacji informacji o rzeczywistych, a nie tylko zaplanowanych, zdarzeniach w systemie produkcyjnym [14]. Opóźnienia, awarie, braki narzędzi lub wady materiałów obrabianych mogą burzyć założenia harmonogramu statycznego. Sytuacje takie prowadzą do spiętrzeń zamówień na obsługę transportową i w efekcie przestoje niektórych stanowisk z powodu braku części do obróbki oraz przepełnienia magazynów międzyoperacyjnych na innych stanowiskach.

Sytuacjom takim można zapobiec przez stosowanie sterowania predykcyjnego systemem transportowym, którego koncepcję pokazano na rys. 9. Istnieją metody matematyczne optymalizacji kolejek do usług transportowych ze względu na minimalizację czasu oczekiwania na taką obsługę. Problemem jest jednak

pozyskanie aktualnej informacji, z pewnym wyprzedzeniem, o żądaniu obsługi. Można go jednak rozwiązać przez bieżące monitorowanie stanowisk roboczych. Śledząc taki parametr jak liczba wykonanych procesów technologicznych i mając informację o wielkości partii, którą wprowadzono do obróbki a także średni czas obróbki jednej sztuki półfabrykatu można obliczyć czas jaki pozostał do operacji logistycznej. Na podstawie zadań zawartych w harmonogramie produkcji [1] dla określonego stanowiska można także określić rodzaj, ilość i źródło materiałów, które trzeba będzie dostarczyć do stanowiska. W podobny sposób można ustalić ilość obrobionych i przeznaczonych do transportu elementów na inne, zgodne z zapisem w harmonogramie, stanowisko lub do magazynu.



Rys. 9. Koncepcja sterowania predykcyjnego międzystanowiskowym systemem transportowym

Wymienione dane może zbierać lokalny system mikroprocesorowy wbudowany w każde lokalne stanowisko robocze. Według koncepcji IoT informacje te są w czasie rzeczywistym przekazywane do mikrokomputera sterującego urządzeniami transportowymi. Programy, działające lokalnie, rejestrują zdarzenia jakimi są kolejne opuszczające strefę roboczą przedmioty. Zliczając je obliczają okresy między nimi. Obliczając wartość średnią okresu, algorytm może oszacować czas jaki pozostał do zakończenia cyklu technologicznego na danej partii. Liczebność dostarczonej partii otrzymuje od systemu wbudowanego w poprzednie stanowisko robocze lub magazyn materiałów w momencie załadunku na środek transportu. Efekt obliczeń (opis parametryczny stopnia zawansowania procesu) jest wysyłany, na bieżąco, do mikrokomputera układającego kolejkę zadań dla systemów transportowych obsługujących wydział produkcyjny. Algorytmy działające na tym mikrokomputerze korzystają z bazy danych zawierającej aktualny harmonogram przepływu wyrobów w wydziale oraz tablicę średnich czasów realizacji usługi transportowej (wraz z wyładunkiem i załadunkiem) zgodnej z harmonogramem. Aby zapewnić ciągłość pracy priorytet obsługi będą miały te stanowiska, które zgłaszają obliczony czas do zakończenia partii wyrobów równy lub mniejszy od czasu realizacji usługi. Odpowiedni algorytm, w systemie transportowym, znając położenie dysponowanych wózków i priorytety zamówień na transport wysyła polecenia obsługi, do wybranego wózka, podając współrzędne stanowiska źródłowego i docelowego. Znając listę zadań, algorytm może optymalizować położenie wolnego środka transportu tak, aby dla wykonania kolejnego zadania znajdował się w pobliżu zaadresowanej stacji roboczej. Brak obciążenia na wózku transportowym, sygnalizowany przez czujnik obciążenia po rozładowaniu, powoduje wysłanie do programu zarządzającego transportem, sygnału o dyspozycyjności środka transportu. Znając stany zaawansowania procesów produkcyjnych na wszystkich, powiązanych ze sobą, stanowiskach można wyznaczyć z wyprzedzeniem listę priorytetów obsługi transportowej. Priorytety będą mogły być modyfikowane na podstawie bieżącej informacji o zakłóceniach w systemie produkcyjnym.

4. Perspektywy wykorzystania innowacyjnych technologii informatycznych w Inżynierii Produkcji

Nie do przecenienia jest dla menadżerów produkcji możliwość zbierania, analizowania i wykorzystania w czasie rzeczywistym danych z całego obszaru realizacji zadań produkcyjnych. Taką możliwość dają obecnie innowacyjne technologie informatyczne, zarówno w zakresie akwizycji danych jak i ich przetwarzania. Podstawowym celem jest generowanie optymalnych decyzji operacyjnych i strategicznych oraz automatyzacji ich wdrażania [5].

Do opisanych technologii Internetu Rzeczy i Chmury Obliczeniowej, których powstanie wiąże się z rozwojem miniaturyzacji i możliwości sprzętu komputerowego i Internetu, trzeba dodać innowacyjne osiągnięcia w obszarze oprogramowania. Innowacyjne koncepcje algorytmów zarządzania dużymi zbiorami danych (*ang. Big Data*) a także zbiory aplikacji budowanych w koncepcji Business Intelligence. Te ostatnie służą do przekształcania danych w informacje, a informacji w wiedzę, która może być wykorzystana do zwiększenia konkurencyjności przedsiębiorstwa. System Business Intelligence (BI) generuje standardowe raporty lub wylicza kluczowe wskaźniki efektywności działania przedsiębiorstwa (*ang. Key Performance Indicators*) na podstawie których stawia się hipotezy, po czym weryfikuje się je poprzez wykonywanie szczegółowych „przekrojów” danych. Do tego służą różnego rodzaju narzędzia analityczne (np. OLAP, data mining).

W zastosowaniu do procesów produkcyjnych należy oczekiwać wykorzystania wymienionych metod do :

- identyfikacji wąskich gardeł w produkcji, opóźnionych zleceń;
- badania dynamiki produkcji;
- porównywania wyników między wydziałami;
- monitorowania procesów produkcyjnych;
- monitorowania wydajności procesów produkcyjnych;
- automatyzowania decyzji operacyjnych;
- analizy wykorzystania środków transportu;
- analizy wykorzystania powierzchni magazynowych;
- automatyzacja decyzji o zamówieniach po przekroczeniu stanów minimalnych.

Powstające nowe koncepcje wykorzystania wymienionych w tej monografii innowacyjnych metod zmierzają do eliminacji człowieka ze strefy bezpośrednio produkcyjnej. Człowiek ma decydować i projektować koncepcyjnie nowe wyroby. Ma również określać sposób ich wytworzenia na zautomatyzowanych stanowiskach roboczych. Jednakże, nadzorowanie procesu wykonania, optymalizacja działań i kontrola wyników będą domeną algorytmów komputerowych. Algorytmy te będą miały, coraz częściej, wbudowane mechanizmy uczenia się i modyfikowania. Do uczenia potrzebny jest dostęp do wiedzy, który będzie możliwy po wprowadzeniu w większym zakresie wymiany informacji wprost między elementami procesu produkcyjnego, czyli Internetu rzeczy.

Literatura

- [1] Baldea M., Harjunoski I.: *Integrated production scheduling and process control: A systematic review*, Computers & Chemical Engineering, Volume 71, 4 December 2014, s. 377-390.

- [2] Cieplak T., Muryjas P.: *Introduction to Basic Integration of Measurement Devices with Cloud Computing Services*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 791, Wrzesień, 2015 s. 34-41.
- [3] Davis J., Edgar T., Porter J., Bernaden J., Sarli M., *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*, Computers and Chemical Engineering 47 (2012) 145-156
- [4] Dieter Uckelmamm, M.H. (2011). *Architecting The Internet of Things*. Berlin: Springer-Verlag.
- [5] Harjunkski I.: *Industrial perspectives on the deployment of scheduling solutions*. Computer Aided Chemical Engineering, Elsevier, Volume 37, 2015, s. 63-70.
- [6] Intel. (2015, 01, 09). *Developing Solutions for the Internet of Things*. Pobrano z lokalizacji Intel® products, solutions, and services: <http://www.intel.com/content/www/us/en/internet-of-things/white-papers/developing-solutions-for-iiot.html>
- [7] Isermann R.: *Information processing for mechatronic systems*, Robotic and Autonomous System 19 (1996) 1117-134.
- [8] Janiszewski A.: *Funkcjonalność informatycznych systemów zarządzania*, tom 1 i 2. PWN 2008
- [9] Lipski, J. (2013). *Diagnostyka procesów wytwarzania*. Lublin: Politechnika Lubelska.
- [10] Lipski J.: *Internet rzeczy w zastosowaniu do sterowania produkcją. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 2015, s. 755-766.
- [11] Monostori L.: *AI and machine learning techniques for managing complexity, changes and uncertainties in manufacturing*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 16 (2003) 277-291.
- [12] Ondemir O., Gupta S.M.: *Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach*. Computers in Industry, Volume 65, Issue 3, April 2014, s. 491-504.
- [13] Pizoń J., Lipski J.: *Manufacturing Process Support Using Artificial Intelligence*., Applied Mechanics and Materials, Vol. 791, Wrzesień, 2015, s. 89-95.
- [14] Pizoń J., *Koncepcja wdrożenia technologii „Internetu rzeczy” w systemie logistycznym przedsiębiorstwa*. Systemy Logistyczne Wojsk, nr 43, 2015.

IV. Innowacyjna technologia wytwarzania długich wałów o małej sztywności

Wprowadzenie

W wielu współczesnych maszynach, agregatach i przyrządach są stosowane bardzo dokładne części o małej sztywności. Ciągły wzrost ilości tego rodzaju elementów jest możliwy dzięki doskonaleniu metod obliczeń wytrzymałościowych, optymalizacji konstrukcji i kształtu części, obniżaniu ilości materiału potrzebnego do wytworzenia części i stale wzrastającej produkcji maszyn precyzyjnych.

Doświadczenia przemysłowe wytwarzania takich elementów w produkcji małoseryjnej i seryjnej pokazują, że tradycyjne sposoby obróbki stosowane w przypadku części sztywnych są mało efektywne przy wytwarzaniu wyrobów o małej sztywności. W praktyce przy ich wytwarzaniu są zaniżane parametry obróbki oraz jest stosowana operacja docierania ręcznego. Prowadzi to do zwiększenia praco- chłonności obróbki i nie gwarantuje wymaganej jakości wyrobów [12].

1. Obróbka tokarska wałów o małej sztywności

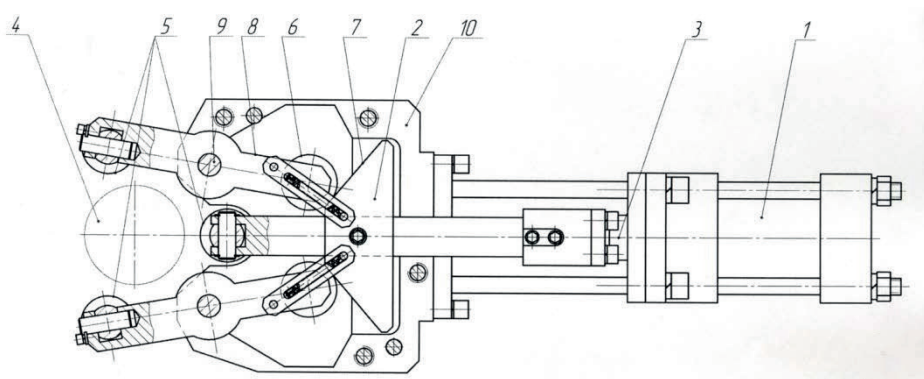
Półfabrykaty wałów o małej sztywności, przy obróbce tokarskiej są zwykle mocowane w uchwycie samoosiującym, z przesuwным kłem konika, przy zastosowaniu podtrzymki nastawianej. Brak współosiowości bazujących elementów układu technologicznego, może być przyczyną skrzywienia osi półfabrykatu podczas jego docisku, w kierunku osiowym, kłem konika. Przy obróbce tokarskiej, z powodu oddziaływania cieplnego i inercyjnego w układzie technologicznym, zwiększa się również ugięcie wału. Problem stabilizacji osi wału wymaga więc przeprowadzenia dodatkowych badań. Wysokie wymagania stawiane odnośnie odchyłek kształtu i rozmieszczenia powierzchni bazowych pod podtrzymki, powodują, że jest niezbędne ustawienie i wyregulowanie położenia półfabrykatu lub przetoczenie szyjki bazowej. Zmniejszenie wpływu niewyważenia półfabrykatu, na proces skrawania, wiąże się z koniecznością zmniejszenia parametrów obróbki.

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

Przy obróbce półfabrykatu o małej sztywności należy zmniejszyć jego ugięcie, a także zmniejszyć niewyważenie, obracającej się części oraz wyeliminować oddziaływanie sił, wywołanych dociskiem kła konika [9, 12, 13].

Na kształtowanie powierzchni przy toczeniu i roztaczaniu duży wpływ mają drgania elementów układu technologicznego. Przy tym makro- i mikrozarys powierzchni zależy od drgań poliharmonicznych, ze składową stochastyczną, będących funkcją powiązań przestrzennych i sztywności elementów układu technologicznego. Jeżeli drgania są stabilne i nie zmieniają się w procesie obróbki, zarys powierzchni jest regularny. Harmoniczne składowe drgań zarysu części są określane modami drgań. Przy czym każda z harmonik profilu (lub ich grupa) jest uwarunkowana oddzielną składową drgań, zależną od jakiegoś elementu układu technologicznego. Przy obróbce części o małej sztywności dominujący wpływ na dokładność obróbki ma przemieszczenie podukładu półfabrykat-podpory [2, 4, 6].

Zaprojektowano i wykonano stanowisko do tokarek, przeznaczone do stabilizacji osi części o małej sztywności w procesie obróbki. Podstawowym jego elementem jest podtrzymka samoosiująca o napędzie hydraulicznym [7, 10, 12], umożliwiająca centrowanie części bez wstępnego jej ustawiania. W celu zmniejszenia obciążenia oraz polepszenia charakterystyk dynamicznych układu technologicznego, wzdłużną oś korpusu podtrzymki wraz z napędem, zamocowano pod kątem α , który jest określany w funkcji parametrów geometrycznych noży, zarówno roztaczaka jak i narzędzi do obróbki zewnętrznej. Podtrzymka samocentrująca (PSH) umożliwia osiowanie części w procesie obróbki (rys. 1). Mechanizm wykonawczy w czasie skrawania działa w następujący sposób: przy doprowadzeniu czynnika roboczego (oleju) do cylindra napędu hydraulicznego 1, kopiał płaski 2, połączony z trzpieniem tłoka napędu 3, przemieszcza się w kierunku części obrabianej 4, a rolki robocze 5 (mogą być wykonane jako podwójne i mają dwa stopnie swobody: obrót względem osi własnej i osi obrotu 9 dźwigni 8) zaciskają lub zwalniają część poprzez styk rolek 6, ustalających położenie, względem powierzchni roboczej kopiału płaskiego.



Rys. 1. Podtrzymka samocentrująca

Podtrzymki są rozmieszczane wzdłuż wału tak, aby uzyskać jego równomierną sztywność, w funkcji ilorazu długości i średnic wału lub też podtrzymki są ustawiane w strefach przeciwwęzłów rozkładu wyższych podstawowych postaci drgań części. Podtrzymki samoosiujące hydrauliczne (PSH) są ustawiane w węzłach drgań zginających i działają tak, jak podpory o równej sztywności. Ciśnienie doprowadzane do PSH umożliwia zacisk części, a na PSH sterowanych, ustawianych na nieobrabianej w danym zabiegu powierzchni, działających w trybie tłumika, jest wytwarzane ciśnienie umożliwiające tłumienie drgań poprzecznych. W trakcie przemieszczania się wzdłużnego narzędzia, przełączenie PSH pracujących w trybie tłumików na tryb podpór o równomiernej sztywności (podtrzymek) jest realizowane za pomocą przełącznika, w funkcji drogi, przebytej przez wytaczadło (suport).

Powierzchnie oporowe wału, w miejscach ustawienia skrajnych podtrzymek, są wstępnie przetaczane. Umożliwia to zwiększenie dokładności obróbki i wyklucza dziedziczność technologiczną warunków zamocowania.

Tradycyjny sposób mocowania prowadzi do skrzywienia osi części i powstania naprężeń szczątkowych w materiale, które ulegają wzmocnieniu w wyniku odkształcenia plastycznego w czasie obróbki materiału.

Mechanizm wykonawczy podtrzymki pracuje w sposób następujący: przy doprowadzeniu czynnika roboczego (oleju) do cylindra hydraulicznego napędu 1, kopiał płaski 2, połączony z tłoczyskiem 3 napędu, przemieszczany jest na część obrabianą 4, a wałeczki robocze 5 (mogą być wykonane jako podwójne, o dwóch obrotowych stopniach swobody, odnośnie do osi własnej i osi obrotu) zaciskają lub zwalniają część w wyniku docisku wałeczków 6, do powierzchni roboczej 7, kopiału płaskiego. Powierzchnia robocza kopiału jest odpowiednio wykonana według linii krzywej, zbliżonej do łuku koła, w zależności od zakresu średnic obrabianej części. Jedna para wałeczków roboczych jest rozmieszczona na trzpieniu kopiału płaskiego, dwie pozostałe pary wałeczków są natomiast przymocowane do dźwigni 8. Obrót dźwigni, na końcach, której są rozmieszczone wałeczki robocze 5, jest wykonywany odnośnie do osi obrotu 9. Dźwignia jest zamocowana w korpusie 10 podtrzymki. Część 4 jest zaciskana wałeczkami, zgodnie z programem od kopiału. Zacisk wałeczków jest realizowany z siłą proporcjonalną do siły pochodzącej od napędu. Do odciążenia wałeczków i dźwigni, jak również polepszenia charakterystyk dynamicznych układu technologicznego, oś wzdłużna korpusu podtrzymki, razem z napędem, jest obrócona względem płaszczyzny poziomej o kąt, określany w funkcji kierunku składowej promieniowej siły skrawania, zależnego od parametrów geometrycznych zastosowanych narzędzi skrawających: noży wytaczadła, noży do toczenia zewnętrznego, wiertel. Podtrzymka, jako dodatkowa podpora, może być zastosowana do toczenia wewnętrznego i zewnętrznego. Liczba podtrzymek i ich rozmieszczenie wzdłuż półfabrykatu jest określane z warunku równej jego sztywności, w funkcji stosunku długości l i średnic części d . Powinien być przy

tym spełniony warunek $l/d < 5$. Podtrzymki są ustawiane w strefach powstawania, węzłach i przeciwwęzłach, podstawowych postaci drgań (od 2 do 5 harmonik).

Do racjonalnego obciążenia wałeczków i dźwigni, a także polepszenia charakterystyk dynamicznych układu technologicznego, oś wzdłużna korpusu podtrzymki, pokrywająca się z osią jej maksymalnej sztywności razem z napędem obraca się o kąt α , określany w funkcji kierunku wypadkowej siły skrawania.

Mogą być dwa rodzaje działania podtrzymki: sztywny lub tłumiący, w zależności od charakteru i warunków obróbki (zgrubna lub wykończeniowa oraz stanu półfabrykatu).

Moment skręcający jest przekazywany na półfabrykat przez uchwyt zabierakowy, który może przemieszczać się w kierunku promieniowym w celu wyeliminowania nieokreśloności bazowania. Uchwyt ma mechanizm zabezpieczający, sztywne wzdłużne ustalenie wału z dwóch czoł, bez zamykania siłowego.

W stanie początkowym, przed procesem skrawania, wszystkie PSH działają jako tłumiki, oprócz tych, które znajdują się przy wrzecionie i koniku, działających w trybie podpór sztywnych. Jest to niezbędny warunek ustawienia osi części odnośnie do osi technologicznej obrabiarki. Powierzchnie oporowe wału w miejscach rozmieszczenia podtrzymek, są wstępnie nawalcowywane w celu skorygowania kształtu powierzchni bazowej.

W przypadku PSH, ustawianych względem powierzchni nieobrabianej, w danym zabiegu, jest określane ciśnienie, umożliwiające tłumienie drgań, przy czym, wraz z przemieszczaniem układu narzędziowego (wytaczadła, przy obróbce otworu lub noża, przy toczeniu powierzchni zewnętrznej) wzdłuż części przełączenie PSH tłumienia w tryb podpór sztywnych jest realizowane za pomocą przełącznika, w funkcji drogi przemieszczenia narzędzia, rejestrowanej przez czujnik. PSH, umieszczone w węzłach drgań zginających, mogą pracować jako podpory sztywne.

Przy skrawaniu, podpory między którymi jest umiejscowiona strefa skrawania, w celu stabilizacji osi półfabrykatu są przełączane w tryb podtrzymek sztywnych. Przy toczeniu powstają różne warianty połączenia podpór sztywnych i tłumiących: ich liczba może wynosić od 7 do 9, w zależności od długości części. Liczba kombinacji podpór sztywnych i tłumiących może być również większa. Przy zmianie kombinacji PSH ma miejsce przesunięcie częstotliwości własnej podukładu „półfabrykat – podpory”, w wyniku czego amplituda drgań półfabrykatu, w kierunku poprzecznym, zmienia się, co jest uwarunkowane zmianą współczynnika sztywności i tłumienia podukładu zredukowanego. Należy uwzględnić, że kształt osi sprężystej, obracającego się półfabrykatu, również przy tym ulega zniekształceniu, wraz ze zmianą energii kinetycznej, niewyważonych odcinków wału, przekazywanej do strefy skrawania. Z tego powodu amplituda drgań względnych (ADW) wzajemnie powiązanych podukładów „część-podpory „nóż-suport” również ulega zmianie. Prowadzi to do tego, że wzdłuż półfabrykatu można wyodrębnić strefy

o jednakowym charakterze błędów kształtu i położenia oraz mikrogeometrii, ale różniące się wzajemnie wraz z przejściem do kolejnej strefy.

Sterowanie procesem skrawania sprowadza się do sterowania częstotliwością zakłóceń, w funkcji zmieniających się częstotliwości własnych układu, poprzez zmianę parametrów obróbki lub sterowania ciśnieniem czynnika roboczego w PSH. Przy nowych kombinacjach podpór sztywnych i tłumiących częstotliwość własna podukładu zmieniała się minimalnie, stabilizując tym samym zredukowane współczynniki sztywności i tłumienia podukładu „półfabrykat – podpory”.

W celu uzasadnienia zastosowania różnych kombinacji podpór przeprowadzono analizę schematów ustawienia wałów, o małej sztywności na operacji tokarskiej w podtrzymkach stacjonarnych, przy różnych trybach pracy.

2. Dziedziczność technologiczna przy obróbce wałów i zalecana kolejność operacji

Badania technologii obróbki części typu „wał” pokazują złożony charakter ich odkształceń, we wszystkich fazach procesu technologicznego [3, 5, 12]. W związku z tym charakter rozkładu naprężeń, i powstających przy tym odkształceń, należy rozpatrywać z uwzględnieniem dziedziczności technologicznej od poprzednich operacji. Mechanizm odkształcenia części typu wał najbardziej pogładowo można zilustrować za pomocą modelowania prawidłowości dziedziczności z zastosowaniem teorii grafów [1, 11, 14].

2.1. Modelowanie prawidłowości dziedziczenia z zastosowaniem teorii grafów

Zastosowanie grafu zorientowanego daje możliwość przedstawienia kolejności obróbki wałów i charakteru wzajemnego związku badanych parametrów, na kluczowych etapach obróbki. Schemat stanu naprężeniowo – odkształceniowego wału na podstawowych etapach obróbki przedstawiono na rys 2. Przekazanie właściwości w kierunku od σ_i do γ_i oznaczono przez P , a odwrotny związek przez Q . Właściwości początkowe półfabrykatu oznaczone są przez A . Naprężenia i odkształcenia szczątkowe początkowo są oznaczone odpowiednio jako σ_0 i γ_0 . Właściwości końcowe gotowej części przez B i odpowiednio naprężenia σ_n i odkształcenia γ_n .

Naprężenia szczątkowe na i -tym etapie są określone zależnością [12, 14] :

$$\sigma_i = \sigma_0 - K\rho^2, \quad (1)$$

a odkształcenia jako:

$$\gamma_i = \frac{\sigma_0 a L^2}{2R^2 E} \quad (2)$$

gdzie L – długość wału między podporami, R – średnica wału, E – moduł Younga.

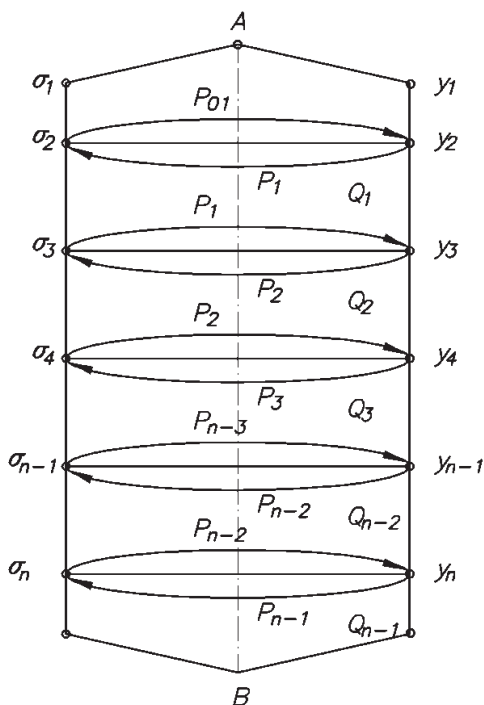
Po wykonaniu każdej operacji, w wyniku usunięcia nierównomiernego naddatku i rozkładu początkowych naprężeń szczątkowych, pojawiają się odkształcenia szczątkowe, odzwierciedlone na rysunku związkami $P_1, P_2, \dots, P_n$. W konsekwencji odkształcenia wału powodują zmianę naprężeń wypadkowych: pozostających po poprzednich operacjach i po usunięciu naddatku w bieżącej operacji:

$$\sigma_{wyp} = \sigma_{i-1} \pm \sigma_i. \quad (3)$$

W przypadku odkształceń:

$$\gamma_{wyp} = K\gamma_{i-1} \pm \gamma_i, \quad (4)$$

gdzie K – współczynnik zmniejszenia błędu.



Rys. 2. Graf – schemat obróbki wału

Zgodnie z właściwościami grafu zorientowanego, zależność liniową układu równań, w kolejnych operacjach określa się równaniami:

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= C_1\gamma_1, \\ \gamma_3 &= C_2\gamma_2 = C_1C_2\gamma_1, \\ \gamma_4 &= C_1C_2C_3\gamma_1, \\ \gamma_i &= C_1C_2C_3\dots C_{i-1}\gamma_1, \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie $C_1, C_2, C_3 \dots C_{i-1}$ – współczynniki odkształceń na różnych etapach obróbki.

W przypadku operacji obróbki mechanicznej, współczynniki dziedziczności są określane w wyniku obliczeń [9, 12]. Na przykład z (5) przy uwzględnieniu wyrażenia (2), otrzymano:

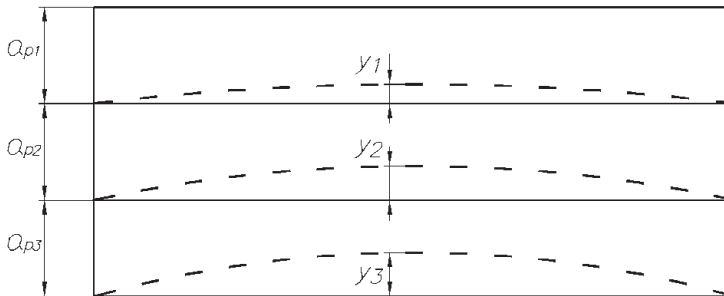
$$C_1 = \frac{y_2}{y_1} = \frac{\sigma_2 R_1^2}{\sigma_1 R_2^2}, \quad (6)$$

i odpowiednio:

$$C_i = \frac{y_{i+1}}{y_i} = \frac{\sigma_{i+1} R_i^2}{\sigma_i R_{i+1}^2} \quad (7)$$

Współczynniki dziedziczenia w wyrażeniach (6) i (7) precyzują błąd, powstały w poprzednich operacjach.

Współczynniki te na różnych etapach procesu technologicznego mogą być większe lub mniejsze od jedności. Na przykład przy wieloprzejęściowej obróbce (operacje tokarskie lub szlifierskie) wałów, o małej sztywności, współczynnik poprawkowy z reguły jest mniejszy od jedności.



Rys. 3. Schemat narastania niedokładności obróbki w kolejnych przejściach

Schemat powstawania niedokładności w czasie obróbki wieloprzejęściowej pokazano na rys. 3. Po pierwszym przejściu, z powodu odkształceń sprężystych półfabrykatu, nadatek rzeczywisty jest mniejszy od założonego o wielkość ε_1 . W drugim przejściu wielkość odkształcenia sprężystego wzrasta. W wyniku usunięcia nadatku w drugim przejściu, błąd kształtu ε_2 przewyższa ε_1 . W następnych przejściach następuje dalsze zwiększenie błędu początkowego. W czasie obróbki wałów względnie sztywnych, współczynnik zmniejszenia błędu początkowego po i -tym przejściu jest określany zależnością [12]:

$$K_i = \frac{(C_{F_p} \cdot f^{\gamma_n} \cdot HB^n)^i}{J_c^2} \quad (8)$$

gdzie:

C_F – stały współczynnik przy określonych warunkach obróbki,

f – posuw w i -tym przejściu,

γ_n – wskaźnik potęgi przy posuwie,

HB – twardość materiału półfabrykatu,

J_c – sztywność układu technologicznego.

Rozwiązanie zagadnienia opisanego wyrażeniem (7), po podstawieniu w miejsce współczynników $C_1, C_2, C_3 \dots C_{i-1}$ ich wartości, okazuje się dosyć pracochłonne w związku z dużą liczbą zmiennych i równań. Rozwiązuje się je metodą programowania liniowego. Procedura obliczeniowa składa się z kilku następujących po sobie kroków [4, 7, 12].

2.2. Przykład wpływu dziedziczności technologicznej w czasie wytwarzania części precyzyjnych

Dziedziczność technologiczna szczególnie jest widoczna w czasie wytwarzania części precyzyjnych. Jako przykład jej wpływu rozpatrzono technologię wytwarzania oprawek o podwyższonej niezawodności technologicznej z materiału X19NiCrMo4, w przypadku frezarek do nacinania uzębienia w produkcji seryjnej, w zakładach produkujących obrabiarki – rys. 4.

Wymagania stawiane oprawkom, względem osi kłów są następujące: odchylenie zewnętrznej powierzchni oprawki – 0,015 mm; odchylenie bazowej powierzchni czołowej – 0,005 mm; pochylenie stożka – 0,006 mm; odchylenie od prostopadłości – 0,075 mm; odchylenie od okrągłości – 0,006 mm; odchylenie od prostoliniowości – 0,004 mm.

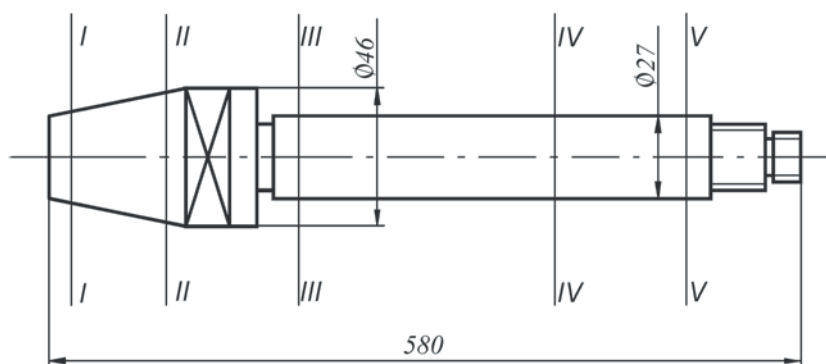
Istniejące procesy technologiczne obróbki oprawek zawierają operacje: wyżarzania izotermicznego; planowania czoła odkuwek, a następnie nakiełkowania, przy czym nakiełki są wykonywane po znakowaniu na roztaczarkach poziomych; zgrubnej obróbki tokarskiej wykonywanej przy zamocowaniu w uchwycie z podparciem tylnym kłem; obróbki cieplnej – wysokie odpuszczanie z późniejszym prostowaniem; obróbki kształtującej tokarskiej i frezarskiej z nadładkiem na obróbkę cieplną; nawęglania na głębokość 1,2 – 1,5 mm z późniejszym prostowaniem; powtórnego poprawienia nakiełków i obróbki powierzchni niepodlegających hartowaniu; obróbki cieplnej – hartowanie z następnym odpuszczaniem do twardości HRC 59-63; prostowania oprawek; poprawy nakiełków na tokarce;

szlifowania powierzchni obrotowych z pośrednimi operacjami starzenia termicznego. Po każdym starzeniu dokonywane jest docieranie nakiełków.

Pomimo tak złożonej technologii, która zawiera do 45 operacji, jakość wytwarzanych opravek nie odpowiada stawianym wymaganiom. W celu określenia czynników, wpływających na końcową dokładność obróbki, przeprowadzono badania rzeczywistej dokładności w całym procesie technologicznym.

Podstawowym czynnikiem, określającym dokładność położenia, jest odchylenie powierzchni względem osi, a więc podstawowe badania polegały na pomiarze odchylenia powierzchni zewnętrznej oprawy względem osi kłków, po każdej operacji, a także na pomiarze dna rowka wpustowego. W sumie przebadano ponad 90 opravek.

Pomiary przeprowadzono w warunkach produkcyjnych, po ustawieniu elementu w kłach tokarki, za pomocą mikrometrów z dokładnością do 0,001 mm, w przekrojach, pokazanych na rys. 4. Każdą oprawkę analizowano oddzielnie i w przypadku każdej sporządzano tabelę błędów. Odchyłki od prostoliniowości powierzchni zewnętrznych, po obróbce rowka wpustowego, zapisywano w tabelach. Położenie dna rowka wpustowego określano za pomocą głębokościomierzy. Pomiar parametrów dokonywano po obróbce, a także po 2–3 dobach. Po każdej operacji, wykonywano pomiary tych samych parametrów, notowano oprzyrządowanie, narzędzia, naddatek, bazy technologiczne, parametry obróbki. Procesy technologiczne obróbki części typu „wał” zaczynają się od operacji toczenia powierzchni czołowych i nakiełkowania półfabrykatu. W zależności od rodzaju produkcji są realizowane na specjalnych frezarko-nakiełczarkach, poziomych roztaczarkach lub na zwykłych tokarkach.



Rys. 4. Przekroje, w których wykonano pomiary odchyłek opravek

Jak wykazały badania eksperymentalne, błąd osi nakiełków półfabrykatów, przy obróbce na frezarko-nakiełczarkach mieści się w przedziale 0, 2–0, 8 mm, w przypad-

ku wyrobów walcowanych i 1, 2-3 mm – w przypadku odkuwek. Błąd nakiełkowania na roztaczarkach poziomych wynosił: przy półfabrykatów walcowanych 1, 2-2 mm, a przy odkuwkach – 2,8-6 mm. Odpowiednio na tokarkach, w przypadku półfabrykatów walcowanych, wynosił 0, 3-1, 4 mm, a odkuwek – 2, 5-4, 7 mm. Przeciętny błąd nakiełkowania oprawek zawierał się w przedziale 2-2, 5 mm.

Po każdej operacji określano maksymalne odkształcenie każdej oprawki. Najczęściej występowało ono w przekroju IV–IV. Wyniki pomiarów wykazały, że odchyłki wymiarów serii oprawek w poszczególnych operacjach są niestabilne. Zgodnie z numerami operacji i ich nazwami z tab. 1. opracowano wykresy, np. przedstawiające rozkład odchyłek bicia promieniowego na podstawowych operacjach.

Tab. 1. *Bicie promieniowe oprawek po operacjach*

Nr operacji	Nazwa operacji	Zakres odchyłek [mm]
1.	Kucie	0,6 – 0,7
2.	Tokarska zgrubna	0,05 – 0,4
3.	Wysokie odpuszczanie	0,25 – 0,6
4.	Tokarska	0,03 – 0,1
5.	Nawęglanie	1,4 – 2,6
6.	Prostowanie	0,3 – 2,1
7.	Tokarska	0,002 – 0,05
8.	Frezerska	0,6 – 2,0
9.	Hartowanie	1,8 – 6,0
10.	Prostowanie	0,3 – 2,2
11.	Szlifowanie powierzchni obrotowych	0,04 – 0,06
12.	Ciepna i I starzenie	0,1 – 0,15
13.	Szlifowanie powierzchni obrotowych	0,03 – 0,05
14.	Ciepna i II starzenie	0,06 – 0,015
15.	Szlifowanie powierzchni obrotowych	0,001 – 0,005
16.	Po dwóch dobach	0,04 – 0,15

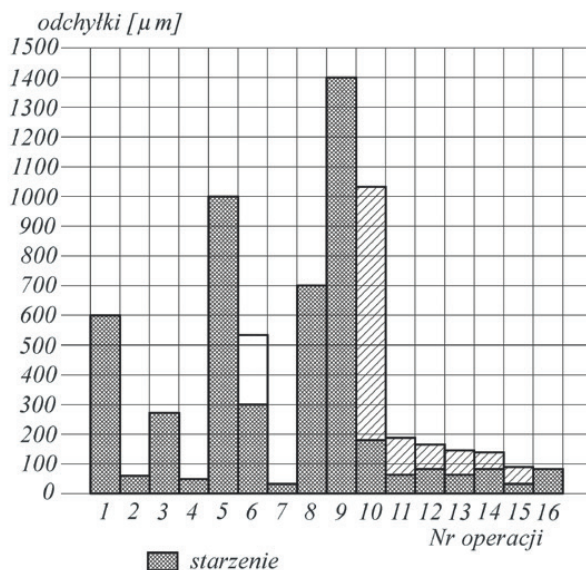
Z analizy otrzymanych wyników badań wynika, że największy błąd ostatecznie obrobionych oprawek występuje w wałach, które w czasie obróbki zgrubnej miały największy zakres zmian naddatku. Można to zademonstrować na dwóch przykładach:

Bicie 1 oprawka:

- po zgrubnej tokarskiej operacji 0,050 mm
- po wysokim odpuszczaniu 0,250 mm
- po operacji tokarskiej wykończeniowej 0,030 mm
- po nawęglaniu 1,400 mm
- po prostowaniu 0,250 mm

Bicie II oprawka:

- po zgrubnej tokarskiej operacji 0,400 mm
- po wysokim odpuszczaniu 0,600 mm
- po tokarskiej operacji wykończeniowej 0,100 mm
- po nawęglaniu 2,600 mm
- po prostowaniu 1,400 mm



Rys. 5. Ogólny charakter rozkładu odchylek bicia promieniowego na operacjach podstawowych

Przy próbie późniejszego prostowania, jedna oprawka pękła w przekroju IV–IV. Było to spowodowane różnicą wytrzymałości relaksacyjnej materiału oprawki. Jak wiadomo [6, 9], wytrzymałość relaksacyjna charakteryzuje się możliwie maksymalnymi naprężeniami, nie powodującymi w materiale odkształceń plastycznych. Przy obróbce półfabrykatów, z minimalnym zakresem zmian naddatku, dodatkowe momenty zginające nie mogą sprzyjać rozwojowi procesów relaksacyjnych; i odwrotnie, przy pojawieniu się dużych momentów zginających, związanych z rozkładem naprężeń w czasie obróbki oprawki, wytrzymałość relaksacyjna zostaje zaburzona i proces odkształcenia przebiega do momentu ustalenia się równowagi naprężeń. Na rys. 8 wyraźnie zauważa się kilka kolejnych etapów, składających się z obróbki mechanicznej i cieplnej oraz prostowania. Z przedstawionych wyników widać, że kolejność powstawania błędów na wszystkich etapach jest jednakowa: zmniejszenie błędów po obróbce mechanicznej, zwiększenie po obróbce cieplnej, zmniejszenie po prostowaniu, zwiększenie po starzeniu.

Wyniki badań eksperymentalnych wykazują, że opracowanie planu operacyjnego obróbki części o dużej dokładności, z kilkoma pośrednimi operacjami obróbki cieplnej, nie daje oczekiwanych efektów, ponieważ po pierwsze ma miejsce dziedziczenie błędów, otrzymanych w poprzednich operacjach, po drugie występuje wyraźna cykliczność w powstawaniu błędów, ograniczona operacjami: obróbki cieplnej, prostowania, poprawiania nakiełków i obróbki powierzchni zewnętrznych.

Po obróbce cieplnej powstają duże odchyłki bicia promieniowego. Prostowanie umożliwia poprawienie błędów, ponieważ następująca po prostowaniu obróbka mechaniczna zwiększa bicie oprawek. Wybiórcza kontrola bicia oprawek, dobę po prostowaniu wykazała, że zastosowanie prostowania nie daje oczekiwanych efektów.

W celu zwiększenia dokładności obróbki części typu „wał”, przez zmniejszenie ich odkształceń, konieczne jest w pierwszej kolejności zmniejszenie naddatku, w wyniku polepszenia jakości odkuwek, stosowanie nowoczesnych metod otrzymywania półfabrykatów: walcowanie poprzeczno – ukośne, matrycowanie. Przy obróbce mechanicznej jest zalecana określona kolejność operacji, w której występują operacje wykonywane na frezarko–nakiełczarkach, toczenie zgrubne wszystkich powierzchni, obróbka cieplna (hartowanie z następnym odpuszczaniem), szlifowanie i obróbka rowków wpustowych oraz ścięć. Przed obróbką rowków wpustowych należy przeprowadzić kontrolę dokładności kształtu powierzchni cylindrycznych i przy występowaniu odkształceń osi, obróbkę rowków należy wykonać na wypukłej stronie powierzchni. Ma to związek z tym, iż w czasie usuwania naddatku, kierunek odkształcenia jest taki, że obrobiona powierzchnia staje się wklęsła. Stosowanie pośrednich operacji cieplnych w celu usunięcia naprężeń szczątkowych w warstwie wierzchniej jest niecelowe, ponieważ błędy, spowodowane naprężeniami szczątkowymi w warstwach wierzchnich, w trakcie następnej obróbki, są mniejsze od błędów powstających w czasie poprawiania nakiełków. Podczas szlifowania powierzchni zahartowanych często zachodzi potrzeba usuwania większego naddatku, jeśli po hartowaniu następuje skrzywienie osi. Na przykład, w czasie szlifowania oprawek należy usunąć naddatek 1, 5 mm, jeśli bicie powierzchni szlifowanych osiąga wartość 0, 6 – 0, 7 mm.

Jak wiadomo, szlifowanie charakteryzuje się intensywnym wydzielaniem ciepła, które jest odprowadzane przez płyn chłodzący, co sprzyja powstawaniu dużych naprężeń szczątkowych.

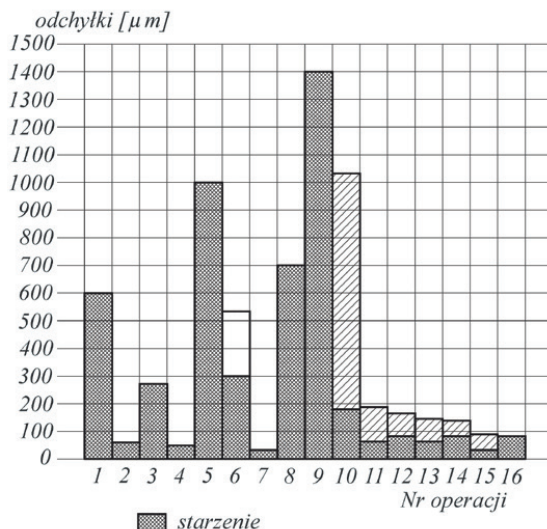
Celowe jest wstępne usunięcie naddatku z powierzchni zahartowanej, za pomocą ostrego narzędzia, wykonanego z najtwardszych materiałów. Dobrze nadają się do tego noże z płytkami U10S, H3 do obróbki wałów zahartowanych ze stali wysokostopowych. W trakcie obróbki ostrym narzędziem, temperatura w strefie skrawania jest 1, 5 – 2 razy niższa niż w czasie szlifowania i odpowiednio niższy jest poziom naprężeń szczątkowych. Naddatek w końcowej operacji szlifowania nie powinien być większy od 0, 3 – 0, 4 mm na średnicę.

W celu sprawdzenia przedstawionych zaleceń opracowano nową technologię, listę podstawowych operacji, którą wyszczególniono w tab. 2. Zgodnie z nią wykonano doświadczalną partię opravek. Badania dokładności wytwarzania opravek przeprowadzono analogicznie do opisanego.

Tab. 2. Wykaz operacji procesu technologicznego

Nr operacji	Nazwa operacji
1.	Kucie
2.	Toczenie zgrubne
3.	Ciepłna (wysokie odpuszczanie)
4.	Toczenie
5.	Nawęglanie
6.	Toczenie
7.	Frezowanie
8.	Ciepłna (hartowanie)
9.	Starzenie
10.	Szlifowanie powierzchni walcowych
11.	Szlifowanie powierzchni walcowych

Na rys. 6 przedstawiono wyniki pomiarów, z których wynika, że po pierwsze: nie występują cyklicznie powtarzające się strefy błędów, po drugie: ogólna niedokładność jest znacznie mniejsza nie tylko w końcowej, ale i w operacjach pośrednich.



Rys. 6. Wyniki obmiarów próbnej partii opravek

Tab. 3. Wyniki pomiarów błędów rowków wpustowych

Strona wału	Odchylenia w przekrojach [mm]						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Wypukła	0,001	0,003	0,006	0,008	0,007	0,004	0
Wklęsła	0,005	0,065	0,195	0,205	0,156	0,070	0,015
Boczna	0,003	0,010	0,030	0,045	0,021	0,014	0,006

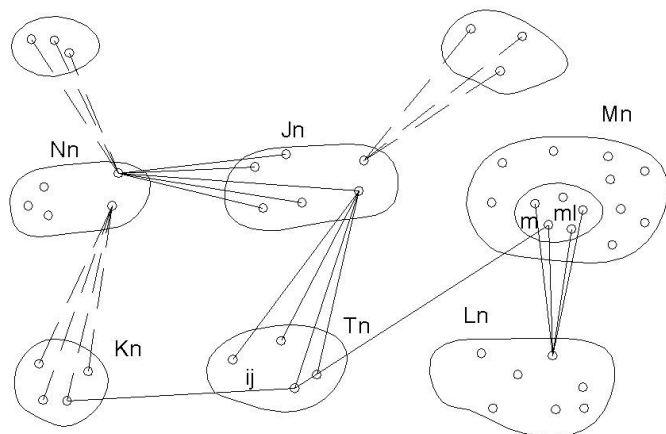
Przy obróbce rowków wpustowych uwzględniono przedstawione zalecenia i wypróbowane warianty rozmieszczenia rowków, w zależności od skrzywienia osi, powstającego w trakcie poprzednich operacji. Rowek wpustowy umieszczono w dwóch przekrojach: na stronach wypukłej i wklęsłej. Wyniki pomiarów błędów rowków wpustowych przedstawiono w tab. 3. Wynika z nich, że rozmieszczenie rowka wpustowego jest najbardziej pożądane na stronie wypukłej, wtedy błąd, powstający w operacjach poprzednich, ulega zmniejszeniu.

3. Kształtowanie struktury operacji procesu technologicznego obróbki wałów

Przy rozwiązaniu zagadnienia sterowania dokładnością obróbki szczegółowo przeanalizowano poszczególne operacje, do których opracowano odpowiednie zalecenia i środki sterowania automatycznego. Kompleksowe rozwiązanie zagadnienia sterowania dokładnością kształtowania wału, o małej sztywności jest utrudnione tym, że w następnych operacjach część dziedziczy i stopniowo gromadzi błędy z operacji poprzednich, które jest trudno ocenić. Jednym ze sposobów kompleksowego rozwiązania problemu sterowania dokładnością obróbki jest rozpatrywanie technologicznego procesu wytwarzania elementu, jako systemu jednolitego, łączącego zbiór podsystemów – operacji. W związku z tym problem optymalizacji może być rozwiązany poprzez określenie racjonalnych wartości sterujących parametrów technologicznych, a następnie zbudowanie odpowiedniej kolejności i struktury operacji w procesie technologicznym.

W istniejących dokumentach normatywnych dokładnie określono podstawowe pojęcia technologiczne: proces technologiczny, operacja, ustawienie, zabieg, przejście, uzbrojenie. Na podstawie metod matematycznych należy skonkretyzować podstawowe pojęcia, w przypadku produkcji małoseryjnej, kiedy są ustalone zestawy wyposażenia i narzędzi oraz asortyment części, które konieczne trzeba wykonać w określonym czasie. Przy tym jest analizowana obróbka N części na L obrabiarkach M narzędziami. Taki proces może być przedstawiany jako zestaw J kompleksów technologicznych I powierzchni, to znaczy zbiór, na którym określono relacje (związki wymiarowe między powierzchniami) (rys. 7) [12].

Jeżeli w przypadku zbioru powierzchni części są określone naddatki, z uwzględnieniem założonej na rysunku jakości oraz dokładności ich rozmieszczenia, i powstałemu w taki sposób zbiorowi powierzchni przypisane zostaną wierzchołki, a zbiorowi wiążących ich wymiarów żebra, to powstanie graf obróbki mechanicznej.



Rys. 7. Zbiór odwzorowań określających uzbrojenie

Powierzchnie, utworzone przez naddatki, odnoszące się do jakiejkolwiek powierzchni części i półfabrykatu, są nazywane kompleksem technologicznym powierzchni lub po prostu kompleksem technologicznym [8].

Każda powierzchnia i -tego kompleksu technologicznego, j -ej części jest obrabiana od odpowiedniego kompletu baz technologicznych $K \in K_n \subset K$ na l -ej obrabiarce m - narzędziem. Gdzie K_n – zbiór kompletów baz technologicznych n -tej części, K – zbiór kompletów baz N części. Zatem konkretne przejście można przedstawić następującym uporządkowanym zbiorem danych

$$P = \langle n, i, j, k, l, m, A, T, Z, v_o, f \rangle, \quad (9)$$

gdzie: A – wymiar międzyoperacyjny, T – tolerancja wymiaru A , Z – naddatek, v_o – prędkość skrawania, f – posuw.

W przejściu, określonym w taki sposób, można wyróżnić część strukturalną

$$\langle n, i, j, k, l, m \rangle \quad (10)$$

i parametryczną

$$\langle A, T, Z, v_o, f \rangle. \quad (11)$$

Część strukturalna przejścia jest określona na następujących zbiorach: I_n, J_n, K_n, L_n, M_n , gdzie indeks n wskazuje konkretną część.

Zabieg technologiczny jest uporządkowanym zbiorem przejść:

$$ZT = \langle P_1 \langle P_2 \langle \dots \rangle \rangle. \quad (12)$$

Ustawienie jest uporządkowanym zbiorem zabiegów technologicznych:

$$U = \langle ZT_1 < ZT_2 < \dots \rangle. \quad (13)$$

Operacja technologiczna jest uporządkowanym zbiorem ustawień:

$$OT = \langle U_1 < U_2 < \dots \rangle. \quad (14)$$

Proces technologiczny jest uporządkowanym zbiorem operacji technologicznych:

$$PT = \langle OT_1 < OT_2 < \dots \rangle. \quad (15)$$

Proces technologiczny składa się nie tylko z operacji technologicznych, zawiera również operacje kontrolne, transportowanie części itp. Do celów pracy w zupełności wystarczą przytoczone określenia, które można zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} PT &= \langle O_{PT}, R_1 \rangle, \\ OT &= \langle U_{OT}, R_2 \rangle, \\ U &= \langle ZT_U, R_3 \rangle, \\ ZT &= \langle P_Z, R_4 \rangle, \end{aligned} \quad (16)$$

gdzie: O_{PT} – zbiór operacji danego procesu technologicznego;
 U_{OT} – zbiór ustawień danej operacji;
 ZT_U – zbiór zabiegów danego ustawienia;
 P_Z – zbiór przejść danego zabiegu;
 R_1, R_2, R_3, R_4 – relacja kolejności operacji, ustawień, zabiegów i przejść w procesie technologicznym,
 $ZT \in ZT_U, U \in U_{OT}, OT \in O_{PT}$.

Na podstawie przedstawionych oznaczeń wprowadzono pojęcie struktury procesu technologicznego, określanej jako

$$SPT = \langle (((P_Z, R_4) R_3) R_2) R_1 \rangle \quad (17)$$

Kolejność przejść w procesie technologicznym, określana strukturą (12), jest nazywana trasą technologiczną, w odróżnieniu od procesu technologicznego, określonego strukturą (15), który zawiera zarówno część strukturalną, jak i parametryczną [4, 12].

Przyjęta powszechnie metodyka projektowania procesów technologicznych przewiduje: wybór i uzasadnienie metod otrzymywania półfabrykatu, obliczenia nadadatków na obróbkę, wybór baz technologicznych (do obróbki zgrubnej i wykończeniowej), określenie metod i kolejności obróbki; obliczenia dokładności z uwzględnieniem błędów bazowania, błędów obróbki (zużycie, stępienie, odkształcenie narzędzi, nierównomierna twardość, odkształcenia układu technologicznego itp.).

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano metody sterowania kształtowaniem stanu naprężeniowo-odkształceniowego, umożliwiające opracowywanie podstawowych zasad budowy procesów technologicznych obróbki wałów, gwarantujące minimalne odkształcenie powierzchni [12].

Zasady te w uzupełnieniu do ogólnie przyjętych powinny uwzględniać:

- wielkość następnego odkształcenia części, przy usunięciu nierównomierne-

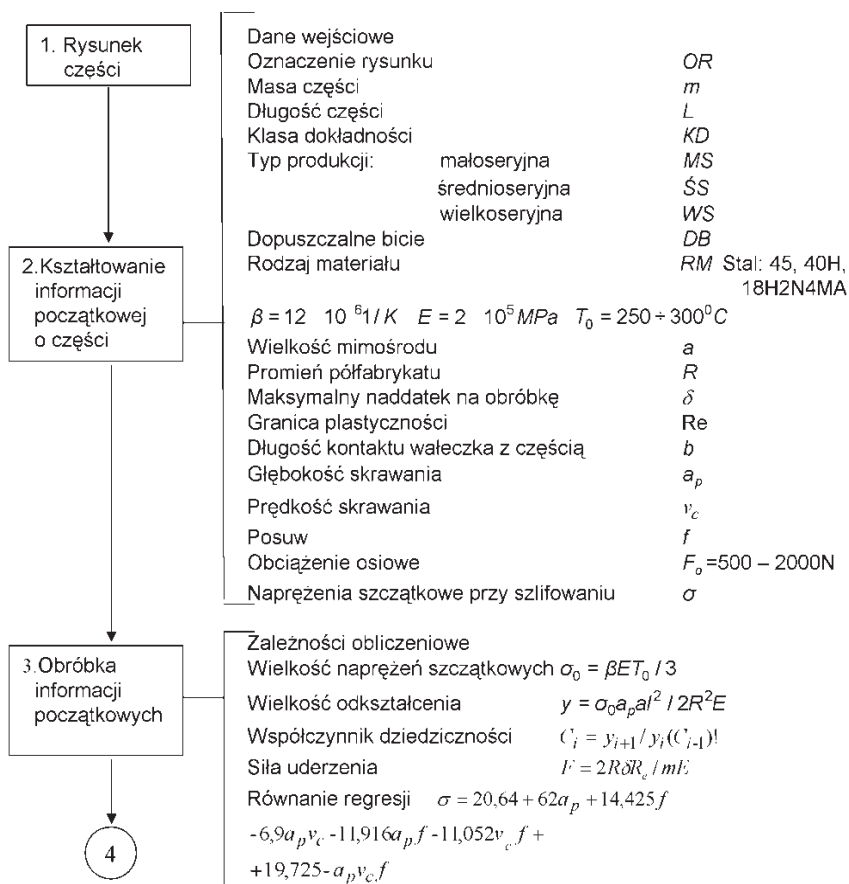
go naddatku; formuła obliczeniowa umożliwia przy opracowaniu technologii wybór metody nakiełkowania, gwarantującej uzyskanie dopuszczalnego błędu (mimośrodowości), wychodząc z dopuszczalnego błędu rozmieszczenia powierzchni, powstałych podczas operacji tokarskiej;

- optymalną kolejność operacji, przewidującą minimalną ilość powtarzających się cykli obróbkowych, z uwzględnieniem technologicznego dziedziczenia błędów;
- zalecenia odnośnie obniżenia odkształceń części przy ich obróbce: kompensacja niezrównoważonych naprężeń w procesie obróbki, optymalne rozmieszczenie rowków wpustowych i innych elementów konstrukcyjnych, w zależności od charakteru naprężeń szczątkowych w przekroju wału i kierunku skrzywienia osi, obciążenie obrabianej części siłą osiową, określenie dopuszczalnego błędu rozmieszczenia nakiełków.

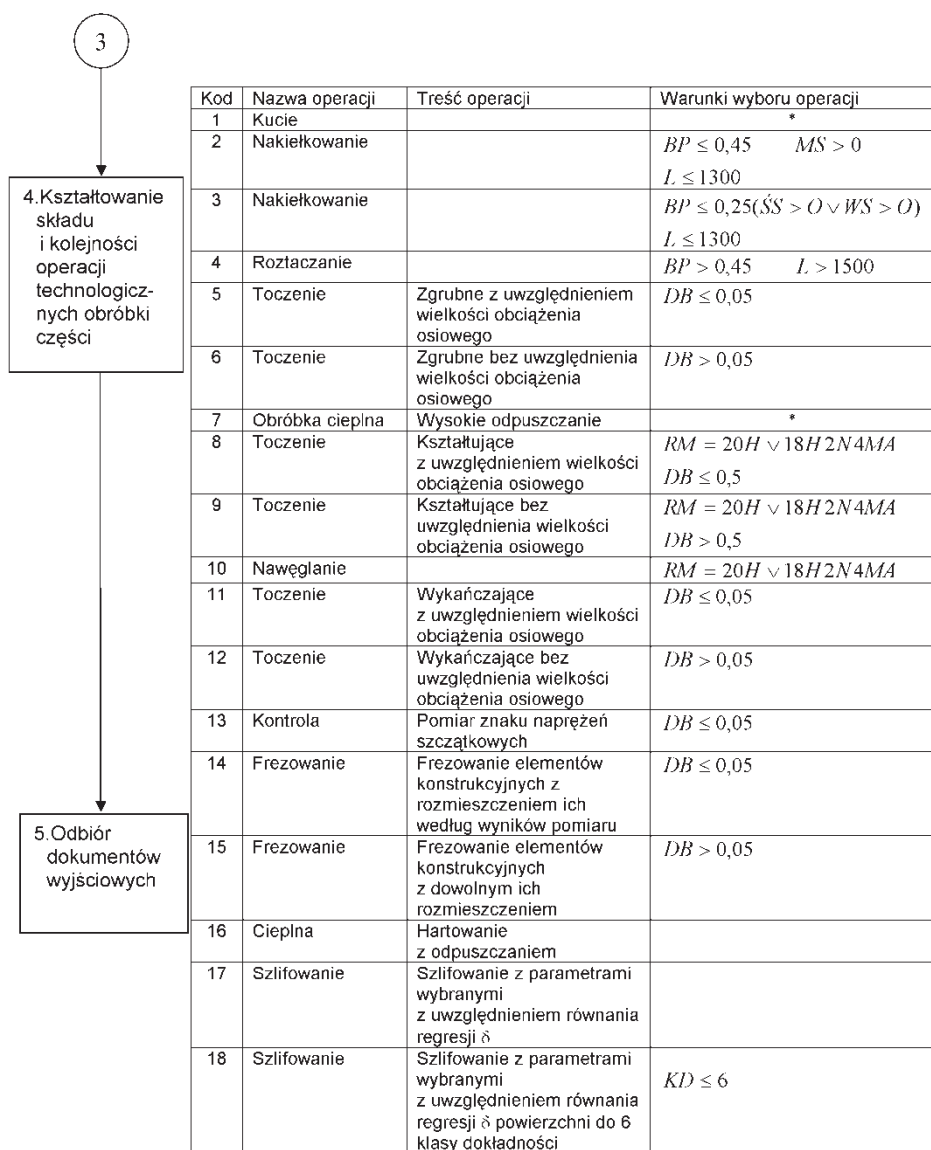
Otrzymano równanie regresji, określające wpływ podstawowych parametrów, przy szlifowaniu stali X19NiCrMo4, na naprężenia szczątkowe oraz jakość powierzchni obróbki części typu ciało obrotowe.

Po określeniu informacji wyjściowej jest ona przetwarzana z uwzględnieniem zależności obliczeniowych i zaleceń, w wyniku, czego kształtowany jest ciąg marszrutowy, gwarantujący optymalny skład operacji.

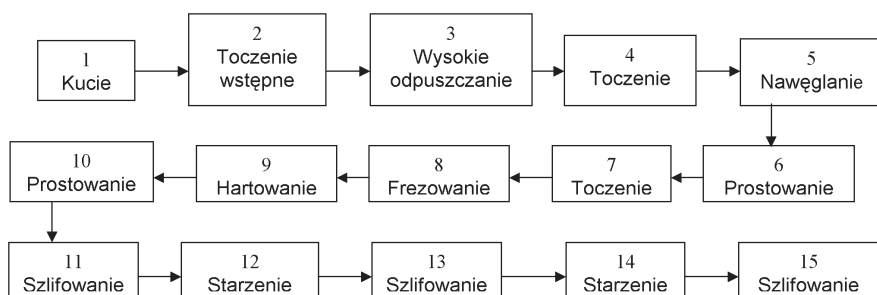
Jako przykład wykorzystania metodyki na rys. 8 i rys. 9 przedstawiono dwa warianty technologii obróbki wałów: bazowy i zalecany, zgodnie ze schematem blokowym (rys. 9). Wariant bazowy zawiera 15 podstawowych operacji: 5 obróbki cieplnej, 3 odpuszczania i 2 prostowania. Technologia bazowa nie przewiduje żadnych przedsięwzięć umożliwiających obniżenie odkształceń, ponieważ w każdym cyklu obróbki powstają nowe odkształcenia.



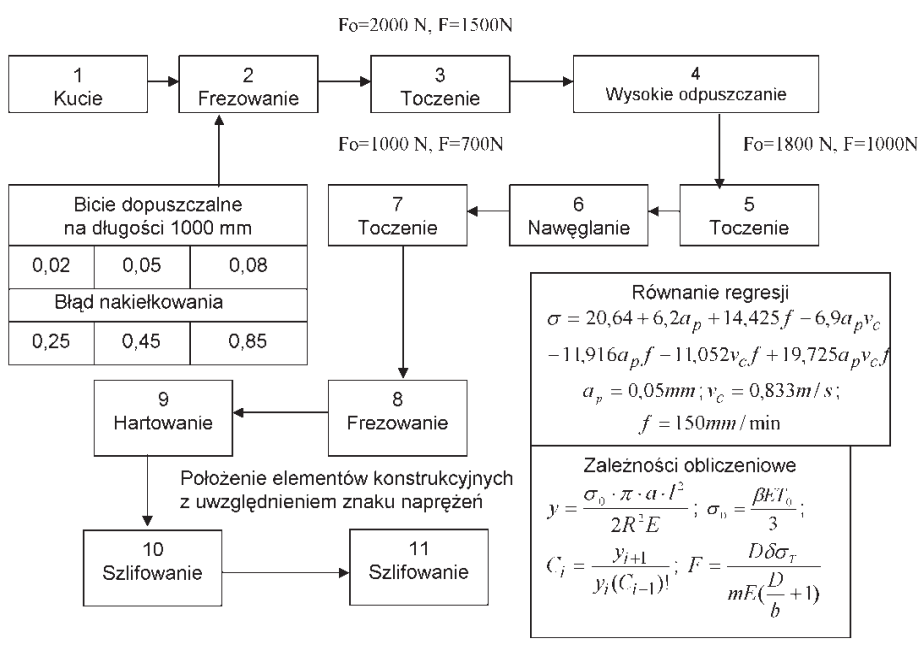
Rys. 8. Schemat uogólniony kształtowania trasy technologicznej obróbki części obrotowych



Rys. 8 Schemat uogólniony kształtowania trasy technologicznej obróbki części obrotowych – c.d.



Rys. 9. Realizacja metodyki – wariant bazowy



Rys. 10. Realizacja metodyki – wariant zalecany

Metodyka projektowania procesu technologicznego, z uwzględnieniem odkształcenia wałów, umożliwia: zmniejszenie liczby cykli w wyniku zastosowania nowych rozwiązań technicznych, zwiększenie dokładności obróbki z jednoczesnym obniżeniem pracochłonności i polepszeniem jakości warstwy wierzchniej.

Zmniejszenie odkształcenia, w wyniku obniżenia technologicznych naprężeń szczałkowych, umożliwia zmniejszenie liczby operacji technologicznych, zwiększenie wydajności oraz niezawodności eksploatacyjnej wyrobu gotowego.

Badania technologii wytwarzania części o dużej dokładności pokazały, że błędy obróbki przy tradycyjnej kolejności operacji powstają z określoną cyklicznością. Każdy cykl składa się z operacji skrawania, obróbki cieplnej, prostowania i sezonowania. Po realizacji cyklu powstaje nowy rozkład błędów, związanych z biciem promieniowym. Występuje tak zwana dziedziczność technologiczna błędów położenia powierzchni, określana współczynnikami dziedziczności. Otrzymano zależności, określające błędy w końcowej obróbce związane z odkształceniem. W przedłożonej nowej kolejności obróbki oprawek o dużej dokładności, nie ma wielu, niezbędnych w konwencjonalnych procesach, operacji cieplnych.

Rowki wpustowe powinny być rozmieszczone na stronie wypukłej. Przestrzeganie tych zaleceń umożliwia zmniejszenie błędów, powstających w poprzednich operacjach procesu technologicznego.

Literatura

- [1] Cardi A. A., Firpi H.A, Bement M.T., Liang S.Y. *Workpiece dynamic analysis and prediction during chatter of turning process*. Mechanical Systems and Signal Processing 22 (2008) 1481-1494.
- [2] Cieniuszek W., Świć A.: *Analiza porównawcza badań teoretycznych i eksperymentalnych sterowania dokładnością szlifowania wałków o małej sztywności*. Problemi tekhniki. Nauchno-virobochnyyj zhurnal № 2, 2004, s. 239-242.
- [3] Cieniuszek W., Świć A.: *Wpływ podatności układu technologicznego na dokładność kształtu wałków o małej sztywności przy szlifowaniu*. Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Vol. 12, 2003, technika, s. 18-26.
- [4] Draczow A., Taranenko G., Taranenko W., Hałas W., Świć A.: *Sterowanie obróbką wibracyjną wałów długowymiarowych*. Pomiary. Automatyka. Robotyka. Miesięcznik naukowo – techniczny nr 2, 2009, s. 132-138.
- [5] Draczow A., Taranenko G., Taranenko W., Hałas W., Świć A.: *Sterowanie układem dynamicznym obróbki części osiowosymetrycznych o małej sztywności*. Pomiary. Automatyka. Robotyka. Miesięcznik naukowo – techniczny nr 2, 2009, s. 125-131.
- [6] Drachev A., Taranenko G., Taranenko V., Świć A.: *Sposob termomekhanicheskoy obrabotki nezhestkikh dlinnomernykh valov. Modern technologies, quality, restructuring*. Kishinev 2009.
- [7] Halas W., Taranenko V., Swic A., Taranenko G.: *Designing structure of operations of technological process of machining shafts in CIM considering the technological inheritance*. Preprints 9th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS'08) Szczecin, Poland 2008, s. 245–250.

- [8] Halas W., Taranenko V., Swic A., Taranenko G.: *The technological inheritance for shafts processing and recommended order of operations*. Acta Mechanica Slovaca, Journal published by Faculty of Mechanical Engineering, the Technical University in Kosice, Kosice, 2–A, 2008, Ročník 12. pp. 249–257.
- [9] Halas W., Taranenko V., Swic A., Taranenko G.: *Investigation of influence of grinding regimes on surface tension state* N.T. Nguyen et al. (Eds.): IEA/AIE 2008, LNAI 5027, pp. 749–756, 2008. © Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2008.
- [10] Halas W., Taranenko W., Świć A.: *Kształtowanie struktury operacji procesu technologicznego obróbki wałów w CIM*. Przegląd Mechaniczny Nr 5S, 2007, s. 62–65.
- [11] Ratchev S., Liu S., Huang W., Becker A.A. *A flexible force model for end milling of low-rigidity parts*. Journal of Materials Processing Technology. Proceedings of the International Conference in Advances in Materials and Processing Technologies. 2004; 153–154: 134–138.
- [12] Świć A.: *Technologia obróbki wałów o małej sztywności*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2009.
- [13] Świć A., Taranenko W. *Adaptive control of machining accuracy of axial-symmetrical low-rigidity parts in elastic-deformable state*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2012; no 3, vol. 14: 215–221.
- [14] Świć A., Zubrzycki J., Taranenko W. *Modelling and systemic analysis of models of dynamic systems of shaft machining*. Applied Mechanics and Materials Vol. 282 (2013) pp 211–220.
- [15] Wilson R.J. *Wprowadzenie do teorii grafów*. Warszawa: PWN, 2012.

V. Zastosowanie logiki rozmytej w budowie systemów wspomagających projektowanie procesów technologicznych

Wprowadzenie

Wiele działań projektanta procesów technologicznych ma charakter przybliżony. To przybliżenie, zwane również niepewnością, rozumie się jako brak pełnej informacji do podjęcia rozpatrywanej decyzji. Opracowanie reprezentacji wiedzy technologicznej o problemach rozwiązywanych w sposób przybliżony, a następnie jej zapis w bazie wiedzy pozwala na utworzenie systemu wspomagania decyzji, który może zastąpić w wielu przypadkach działania technologa. W budowie systemu stosowana jest logika rozmyta, której podstawą są funkcje przynależności zbiorów oraz przybliżone reguły wnioskowania. Reguły te mają ogólną budowę podobną do następującego wyrażenia: *jeżeli x jest niskie i y jest wysokie to z jest średnie*, gdzie: x i y są zmiennymi wejściowymi, a z - zmienną wyjściową, natomiast *niski, średni, wysoki* są funkcjami zdefiniowanymi za pomocą zbiorów rozmytych.

Technologiczne przygotowanie produkcji elementów maszyn polega na wyborze właściwego wariantu technologicznego ze względu na przyjęte kryteria decyzyjne. Typowym zadaniem w tym obszarze jest analiza następującego problemu: *jakie operacje, w jakiej kolejności i za pomocą jakich środków technologicznych należy wykonać, aby otrzymać gotowy wyrób przy spełnieniu warunków dotyczących dokładności wymiarowo-kształtowej, jakości powierzchni oraz minimalizacji kosztów produkcji*. Etapy przygotowania produkcji wymagają odpowiednich zbiorów informacji, opisujących możliwe rozwiązania problemów decyzyjnych. Zastosowanie systemu wspomagania decyzji jest korzystne w przypadku, gdy należy wybrać rozwiązanie spośród kilku, prawie równorzędnych wariantów rozwiązań. Wówczas w procesie wnioskowania dochodzi się do konkretnego, jednego rozwiązania problemu decyzyjnego [1].

Znanych jest wiele sposobów przedstawiania przybliżenia stwierdzeń i reguł wnioskowania. W przedstawianym rozdziale pracy do opracowania reprezentacji wiedzy zastosowano koncepcję zbiorów rozmytych oraz stopnie możliwości i pewności dla stwierdzeń opartych na tych zbiorach. Należy zauważyć, że wybór

¹ Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów, Politechnika Opolska.

szczegółowej metody logiki rozmytej do opracowania elementów bazy wiedzy nie ma decydującego wpływu na końcowy wynik pracy systemu, pod warunkiem, że proces pozyskiwania wiedzy przeprowadzony zostanie w sposób odpowiedni do przyjętej metody.

1. Charakterystyka wybranych elementów logiki rozmytej

1.1. Zbiory rozmyte

Zbiory rozmyte służą do formalnego określania pojęć nieostrych, nieprecyzyjnych, wieloznacznych itp. Załóżmy, że istnieje pewien uniwersalny stały zbiór X nazywany przestrzenią. Zbiór rozmyty elementów tej przestrzeni jest zbiorem, w którym nie ma dokładnej granicy między elementami tego zbioru i pozostałymi elementami przestrzeni X . Zakładając, że zbiór A jest zbiorem rozmytym w przestrzeni X , można przedstawić ten zbiór w postaci uporządkowanych par elementów, a mianowicie [2]:

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X \quad (1)$$

gdzie: $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$

Funkcja μ_A jest funkcją przynależności, a jej wartość $\mu_A(x)$ jest stopniem przynależności x do zbioru rozmytego A : od nieprzynależności ($\mu_A(x)=0$), przez przynależność cząstkową ($0 < \mu_A(x) < 1$) do całkowitej przynależności ($\mu_A(x)=1$). W zbiorach rozmytych przejście od przynależności do nieprzynależności ma charakter stopniowy, w odróżnieniu od zbioru konwencjonalnego, gdzie występuje zmiana skokowa.

1.2. Stopień możliwości i stopień pewności w zbiorach rozmytych

Dla pary zbiorów rozmytych A i F zawartych w skończonej przestrzeni X , można określić stopień możliwości Π stwierdzenia, że zbiór A zawiera element rozmyty o wartości F . Związek ten jest dany wzorem [3]:

$$\Pi(A / F) = \sup_x [\min(A(x), F(x))] \quad (2)$$

Równocześnie można zinterpretować pojęcie stopnia pewności N . Jest on określony za pomocą miary braku możliwości stwierdzenia, że zbiór rozmyty zawiera element rozmyty o wartości F . Można to zapisać za pomocą wzoru [3]:

$$N(A/F) = 1 - \Pi(\bar{A}/F) \quad (3)$$

Zbiór rozmyty F może być rozpatrywany jako rozmyty element w przestrzeni X , czyli np. jako niedokładnie określona wartość zmiennej (np. liczba rozmyta).

2. Analiza wyboru wariantów technologicznych ze względu na koszty wytwarzania

W opracowaniu systemu wspomagającego projektowanie procesów technologicznych przyjmuje się etapy decyzyjne, które są związane z doбором działań wytwórczych, mających na celu stopniowe zwiększanie dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotom produkcji. W poszczególnych etapach ustalane są problemy decyzyjne właściwe dla postawionego celu cząstkowego. Dzięki temu możliwe jest określenie zasobów wiedzy potrzebnych do rozwiązania danego problemu, a następnie ich uporządkowanie według przyjętej metody budowy systemu. Proces rozwiązywania problemów decyzyjnych wymaga utworzenia dopuszczalnych wariantów rozwiązań z punktu widzenia możliwości technologicznych systemu wytwarzania oraz minimalizacji kosztów produkcji. Uwzględniając stopień szczegółowości opisu struktury procesu technologicznego warianty technologiczne tworzone są na następujących poziomach:

- poziom I – warianty materiałów wejściowych,
- poziom II – warianty operacji technologicznych,
- poziom III – warianty stanowisk technologicznych,
- poziom IV – warianty zabiegów technologicznych,
- poziom V – warianty oprzyrządowania technologicznego.

Warianty poziomu I zależą od rodzaju materiałów wejściowych z których mogą być produkowane elementy maszyn. Warianty poziomu II zależą od ustalenia typu produkcji, od jednostkowej, poprzez seryjną, aż do masowej. Na poziomie III zróżnicowanie wariantów wynika z analizy możliwości wytwórczych parku maszynowego danego przedsiębiorstwa i określenia, na jakich stanowiskach można przeprowadzić daną operację. Poziomy IV i V zależne są od struktury operacji technologicznych oraz wyposażenia technologicznego. W przedsiębiorstwach występują z reguły dla danych operacji zbiory zabiegów technologicznych, stąd liczba możliwych do zastosowania wariantów rozwiązań jest mniejsza. Warianty poziomu V ustalane są na podstawie opracowania zestawu dopuszczalnych narzędzi skrawających, przyrządów i uchwytów obróbkowych stosowanych na danym stanowisku technologicznym.

Porównanie wariantów technologicznych możliwych do zastosowania w procesie wytwórczym określonych elementów maszyn powinno być poprzedzone

obliczeniami kosztów wytwarzania w aspekcie wielkości produkcji. Składniki tych kosztów można podzielić na stałe (niezależne od wielkości produkcji) oraz zmienne. Ogólnie koszt wariantu technologicznego jest wyznaczany z następującego wzoru:

$$K_W = K_{PP} + n \cdot K_J \quad (4)$$

gdzie: K_{PP} – koszt przygotowania produkcji,
 K_J – koszt jednostkowy produkowanych elementów,
 n – wielkość produkcji wyrażona np. liczbą sztuk.

W przypadku projektowania nowego procesu technologicznego dla serii produkcyjnej składniki kosztu jednostkowego produkcji można podzielić ze względu na ich zmienność w funkcji liczności serii części. Wobec tego koszt jednostkowy w poszczególnych wariantach technologicznych może zostać obliczony z następującego wzoru:

$$K_J = \frac{K_1}{s} + \frac{K_2}{z} + K_3 \quad (5)$$

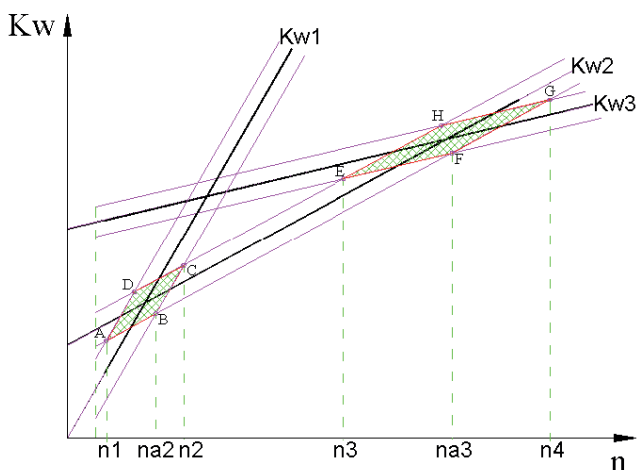
gdzie: K_1 – koszt przygotowania produkcji serii części,
 K_2 – koszt przygotowania produkcji serii produkcyjnej,
 K_3 – koszt obróbki,
 s – liczność serii części,
 z – liczność serii produkcyjnej.

Występują duże trudności interpretacyjne w przypadku analizy większej liczby wariantów technologicznych. W celu ułatwienia wyboru wariantu o najmniejszym koszcie wytwarzania sporządzane są wykresy zmienności kosztów w zależności od wielkości produkcji. Graficzna prezentacja jest korzystna, gdyż pozwala porównywać warianty ze sobą i wybrać najlepszy spośród nich w zależności od zakresu wielkości produkcji.

3. Zastosowanie logiki rozmytej dla wyboru wariantów technologicznych

Wiele składników kosztów wytwarzania elementów maszyn zależy nie tylko od wielkości produkcji, ale także od innych czynników, np. czasu. Przykładem tutaj może być chociażby stopień zużycia obrabiarki, która jest używana w ciągłej produkcji wybranych elementów maszyn. Stopień ten może znacznie wpływać na

koszt użytkowania stanowiska technologicznego, szczególnie w długich okresach czasu. W takich przypadkach koszty wytwarzania są trudne do ustalenia, a ich dokładna wartość jest nawet niemożliwa do obliczenia. Uwzględniając tę zmienność przyjęto założenie, że koszty te są określane z pewną dokładnością (przybliżeniem), tzn. przyjmowany jest pewien przedział wartości kosztów, określający ich wartość maksymalną i minimalną. Na rys. 1 przedstawiono przebieg zmienności kosztów wytwarzania K_w dla wyboru wariantu technologicznego z trzech możliwych wariantów produkcji elementów maszyn. Wartości graniczne kosztów uzyskano poprzez poprowadzenie równoległych linii do prostej obrazującej wartość funkcji K_w . Odległości pomiędzy liniami zależą od poziomu dokładności wyznaczenia kosztów wytwarzania.



Rys. 1. Wykres zmienności kosztów wytwarzania dla wariantów technologicznych

Na rys. 1 widać, że dla dokładnych wartości kosztów wytwarzania mamy jednoznaczny wybór wariantu. Punkty przecięcia wykresów określają przedziały wielkości produkcji dla wyboru danego wariantu według kryterium minimalizacji kosztów wytwarzania. Jeżeli jednak zostaną uwzględnione założenia o kosztach przybliżonych, wówczas pojawia się trudność z jednoznacznością wyboru wariantu. Założone przedziały dokładności kosztów widoczne na rys. 1 wpływają na powstawanie obszarów niejednoznaczności wyboru wariantów. Są to obszary wyznaczone przez punkty równoległoboków, a mianowicie:

- równoległobok ABCD stanowi obszar, który jest wspólną częścią przedziałów zmienności kosztów wariantów 1 i 2 w zakresie wielkości produkcji (n_1, n_2),
- równoległobok EFGH stanowi obszar wspólny dla przedziałów zmienności kosztów wariantów 2 i 3 w zakresie wielkości produkcji (n_3, n_4).

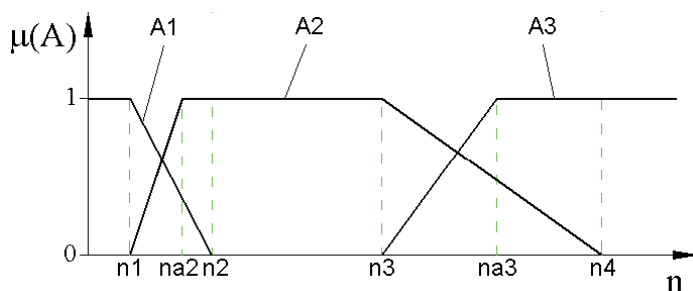
W tych obszarach występują jednakowe wartości kosztów wytwarzania dla różnych wariantów technologicznych. Powstaje więc problem, który wariant wybrać do realizacji produkcji. W tym przypadku pomocne stają się elementy logiki rozmytej, wprowadzone w procesie wnioskowania o warunkach stosowności danego wariantu. Zastosowano przy tym zbiory rozmyte dla wybranych wariantów technologicznych oraz stwierdzenia orzekające o trafności wyboru wariantu.

3.1. Opracowanie zbiorów rozmytych

Na podstawie analizy zmienności kosztów (rys. 1) zostały opracowane zbiory rozmyte, przedstawiające wielkości produkcji elementów maszyn wytwarzanych w różnych wariantach technologicznych. Utworzono następujące zbiory rozmyte:

- A1 – wielkość produkcji elementu wytwarzanego w pierwszym wariantcie,
- A2 – wielkość produkcji elementu wytwarzanego w drugim wariantcie,
- A3 – wielkość produkcji elementu wytwarzanego w trzecim wariantcie.

Każdy ze zbiorów jest zdefiniowany przez funkcję przynależności $\mu(A)$, której wartość zależy od liczby n produkowanych elementów. Wykresy funkcji przynależności dla przyjętych zbiorów rozmytych wariantów technologicznych przedstawiono na rys. 2.



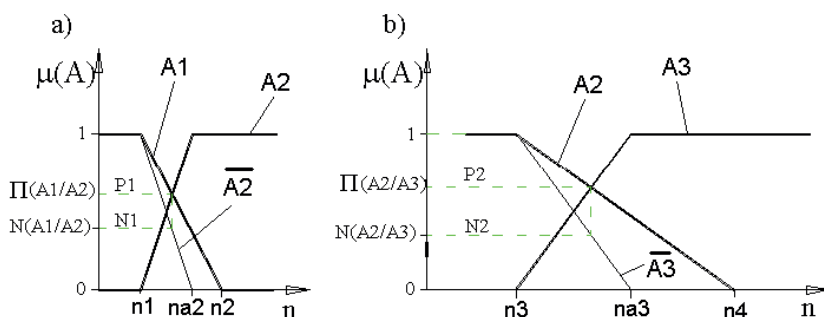
Rys. 2. Wykresy funkcji przynależności zbiorów rozmytych dla wariantów technologicznych

Wartość funkcji przynależności określa przedziały liczbowe charakteryzujące przynależność elementu do zbioru, w tym przypadku liczby produkowanych elementów. Wykresy funkcji $\mu(A)$ przedstawione na rys. 2 pozwalają stwierdzić, że dla liczby produkowanych elementów w przedziałach: mniejszej od n_1 , pomiędzy n_2 i n_3 oraz większych od n_4 wartość funkcji $\mu(A)$ wynosi 1, czyli element należy całkowicie do zbioru. Z tego można wnioskować o jednoznaczności wyboru wariantu technologicznego. W przedziałach: pomiędzy n_1 i n_2 oraz n_3 i n_4 wartość funkcji $\mu(A)$ jest mniejsza od 1, wobec tego przynależność elementu jest częściowa. Wybór wariantu nie jest już jednoznacznie określony, a więc należy przyjąć odpowiednie stwierdzenia orzekające o trafności wyboru.

3.2. Wyznaczenie stopni możliwości i stopni pewności stwierdzeń

Wybór wariantu rozwiązania w obszarach niejednoznaczności odbywa się na podstawie przyjęcia stwierdzenia zakładającego możliwość i pewność wyboru danego wariantu. Stwierdzenie to może być związane np. z oceną możliwości wytwórczych i wydajności różnych obrabiarek, w przypadku wariantów stanowisk technologicznych, albo też z porównaniem postaci konstrukcyjnej danego wariantu materiału wejściowego z postacią konstrukcyjną gotowego elementu. Ważne jest przy tym, aby stwierdzenie to zawierało elementy wspólne dla wszystkich wariantów oraz było istotne z punktu widzenia ważności podejmowanych decyzji [4]. Niezmierna przy tym jest pomoc ekspertów, projektantów procesów technologicznych, którzy mogą wprost takie stwierdzenia sformułować oraz określić warunki ich stosowalności.

Dla przyjętych stwierdzeń ustalane są wartości stopni możliwości i stopni pewności, które można wyznaczyć metodami analitycznymi i graficznymi. Na rys. 3 zamieszczono przykład zastosowania metody graficznej znajdowania wartości stopni stwierdzeń, związane z opracowanymi funkcjami przynależności zbiorów rozmytych z rys. 2.



Rys. 3. Graficzne wyznaczenie stopni możliwości i pewności stwierdzeń dla wyboru: a) wariantu drugiego, b) wariantu trzeciego

Na rys. 3a widać, że w przedziale (n_1, n_2) występują dwa warianty możliwe do wyboru. Na podstawie ustaleń ważności tych wariantów przyjęto, że bardziej preferowany jest wariant drugi wobec tego przyjęto stwierdzenie o możliwości i pewności tego wyboru. Wyznaczono stopnie możliwości i pewności tego stwierdzenia, które wynoszą odpowiednio:

$$\Pi(A_1/A_2) = P1 \quad (6)$$

$$N(A_1/A_2) = N1 \quad (7)$$

W przedziale (n_3 , n_4) możliwe do wyboru są także dwa warianty, przy czym tutaj preferowany jest wariant trzeci (rys. 3b). W tym przypadku stwierdzenie orzekające o możliwości i pewności wyboru jest związane z tym wariantem. Wartości stopni stwierdzenia o wyborze wariantu trzeciego wynoszą odpowiednio:

$$\Pi(A_2/A_3) = P_2 \quad (8)$$

$$N(A_2/A_3) = N_2 \quad (9)$$

Wyznaczone wartości stopni możliwości i pewności stwierdzeń zostają zastosowane w budowie regułowej reprezentacji wiedzy systemu wspomagającego projektowanie procesów technologicznych.

4. Opracowanie regułowej reprezentacji wiedzy dla wyboru wariantów technologicznych

Budowa systemu wspomagania decyzji wymaga opracowania metody reprezentacji wiedzy, której podstawą są reguły wnioskowania. Reguły te przedstawiają zależności pomiędzy przesłankami i konkluzjami rozpatrywanych problemów decyzyjnych. Analiza przesłanek reguł, w tym przypadku przedziałów liczbowych produkowanych elementów maszyn, zadecydowała o następującym ogólnym podziale reguł wnioskowania:

- reguły dokładne – są budowane dla przedziałów wielkości produkcji, w których można jednoznacznie wybrać wariant technologiczny, który stanowi konkluzję reguły,
- reguły przybliżone – dotyczą obszarów niejednoznaczności wyboru wariantów, konkluzja tych reguł składa się z kilku wariantów rozwiązań.

Ogólna postać dokładnych reguł projektowania przedstawia się następująco:

Jeżeli <liczba produkowanych elementów> **to** <zastosować wariant n >

Przykładem reguły dokładnej jest następująca formuła (zgodnie z rys. 1):

Jeżeli liczba produkowanych elementów jest równa lub większa od n_2
i równa lub mniejsza od n_3 **to** zastosować wariant 2

Reguły przybliżone dla opracowanej reprezentacji wiedzy mają następującą budowę:

Jeżeli <liczba produkowanych elementów>
i <stwierdzenie o możliwości i pewności wyboru wariantu>
to <zastosować wariant n >

W części przesłankowej tych reguł zamieszczono stwierdzenie orzekające o porównaniu wariantów technologicznych względem wybranego parametru. Porównanie to decyduje o wyborze określonego wariantu. Zapis tego stwierdzenia zawiera parę liczb $\langle N, P \rangle$, gdzie N jest wartością stopnia pewności, zaś P – wartością stopnia możliwości stwierdzeń, które zostały wcześniej wyznaczone według metody przedstawionej w punkcie 3.2. W celu zbadania, czy dane stwierdzenie jest spełnione zastosowano tzw. stałe lingwistyczne. Przykładowy zbiór stałych lingwistycznych oraz odpowiadające mu wartości stopni możliwości i pewności został przedstawiony w tabeli 1.

Tab. 1. Przykładowy zbiór stałych lingwistycznych

Nazwa stałej lingwistycznej	Stopnie możliwości i pewności stwierdzeń
na pewno tak	$\langle 1 \ 1 \rangle$
prawie tak	$\langle a \ 1 \rangle$
raczej tak	$\langle b \ 1 \rangle$
raczej nie	$\langle 0 \ 1-b \rangle$
prawie nie	$\langle 0 \ 1-a \rangle$
na pewno nie	$\langle 0 \ 0 \rangle$

Wyznaczone wartości stopni możliwości i pewności stwierdzeń oraz porównanie ich ze stałymi lingwistycznymi umożliwia zapis przybliżonych reguł wnioskowania. Wprowadzone w nich zakresy liczbowe produkowanych elementów odpowiadają zakresom liczbowym obszarów niejednoznaczności wyboru przedstawionych na rys. 1. Przykładami reguł przybliżonych są następujące formuły:

Jeżeli liczba produkowanych elementów jest większa od n_3
i jest mniejsza od n_4
i stwierdzenie raczej nie decyduje o wyborze wariantu 3
to zastosować wariant 2

Jeżeli liczba produkowanych elementów jest większa od n_3
i jest mniejsza od n_4
i stwierdzenie prawie decyduje o wyborze wariantu 3
to zastosować wariant 3

5. Opracowanie reprezentacji wiedzy w diagnostyce eksploatacyjnej w oparciu o elementy logiki rozmytej

Branża metalowa zmieniła się mocno w ostatnich latach. Jedną z najbardziej znaczących zmian, jest tendencja do optymalizacji kosztów produkcji z równoczesnym dążeniem do poprawy jakości produktu i skracania czasu wytworzenia wyrobu. Organizacje produkcyjne, szczególnie z sektora małych i średnich przedsiębiorstw funkcjonujących głównie w charakterze poddostawców, aby sprostać tym tendencjom, poszukują obszarów z potencjałem optymalizacyjnym. Zbiorem możliwych zmian, jest przestrzeń skupiająca się wokół niezawodności eksploatacyjnej systemu produkcyjnego. Poziom niezawodności eksploatacyjnej organizacji produkcji przedsiębiorstwa, kształtowany jest przez niezawodność wszystkich elementów składowych obiektu oraz ich dużej złożoności.

Oszacowanie wartości niezawodności organizacji jest trudne, należy więc niezawodność rozpatrywać indywidualnie ze względu na specyfikę systemu produkcyjnego. W przypadku sektora metalowego, zbiór możliwych zmian, należy przyjąć niezawodność układu OUPN (obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie). Pożądane jest opracowanie niezawodnego i efektywnego systemu diagnozy, monitorowania i predykcji, który umożliwi wydłużenie okresu jego niezawodnej pracy [5]. W sektorze metalowym, ściślej w obszarze obróbki skrawaniem, w celu zwiększenia poziomu niezawodności, wykorzystuje się różnego rodzaju systemy diagnostyczno-monitorujące [6].

Koncepcja systemów diagnostyki, monitorowania i predykcji stanu procesu obróbczego, zyskała duże znaczenie w przemyśle wytwórczym (szczególnie w procesach obróbczych realizowanych na obrabiarkach CNC czy centrach obróbczych). Pierwsze układy diagnostyczno-monitorujące powstały w latach 80 ubiegłego wieku, lecz zaledwie 29% producentów obrabiarek i 38% ich użytkowników była zadowolonych z tych rozwiązań [7]. Okazało się, że większość zainstalowanych układów przestaje być wykorzystywana przed upływem roku [8].

Trend budowy obrabiarek CNC, jako elastyczne centra obróbcze bez nadzoru, również zwiększa zapotrzebowanie na efektywne systemy diagnostyczno-monitorujące, głównie w obszarze decyzyjnym – przerwanie lub kontynuowanie procesu obróbczego. Podjęcie prawidłowej decyzji, jest procesem trudnym, lecz koniecznym. Trudność wynika z faktu złożoności, uwidaczniającej się w dużej ilości czynników zakłócających proces obróbczy. Do czynników utrudniających poprawną ocenę niezawodności procesu obróbki, należy zaliczyć bodźce zakłócające, związane z podstawowymi elementami stanu układu OUPN. Należy, więc dokonać analizy i oceny niezawodności poszczególnych elementów lokalnego układu.

Klasyczna ocena niezawodności elementarnego układu OUPN, oparta jest na wnioskowaniu w zbiorze dwustanowym, np. urządzenie sprawne lub niesprawne

do kontynuowania procesu obróbki, ostre lub zużyte narzędzie skrawające. Podejście to, jest bardzo szeroko rozpowszechnione (np. [9-12]), a sygnał eksploatacyjny uzyskuje się poprzez pomiar zjawiska w sposób pośredni (np. emisja akustyczna, siły skrawania czy wibroakustyka) lub bezpośredni (np. metody optyczne). Otrzymany w ten sposób sygnał eksploatacyjny jest poddany analizie (czasowej lub częstotliwościowej, kurtozy widmowej) a następnie ocenie. Przypisanie do jednego z dwu stanów odbywa się na podstawie spełnienia lub nie kryterium zgodności wybranych parametrów z ich wzorcowym zakresem określonym przez konstruktora lub technologa. Na tej podstawie jest podejmowana decyzja o przerwaniu lub kontynuowaniu realizacji procesu obróbczego. Metoda ta sprawdza się przy procesach prostych, gdzie tolerancja błędu decyzji jest duża a pośrednie stany niezawodności układu są pomijane. Ponadto, przypisanie jednego ze stanów z punktu widzenia ekonomii procesu obróbki jest metodą mało efektywną.

Wraz z postępem sprzętowym a także wzrostem wymagań dokładności wyrobów, coraz większy udział w procesach obróbczych mają procesy złożone. To w tych procesach, istotną rolę w zbiorze potencjalnych wartości optymalizacji odgrywają pośrednie stany niezawodności elementów układu. Ponieważ stosowanie metod klasycznych w procesach złożonych jest niewielkie, dlatego też dokonano opracowania nowych technik i metod, opartych na elementach sztucznej inteligencji. Obiecującą metodą w opracowaniu reprezentacji wiedzy stanów rozmytych niezawodności elementów układu jest technika logiki rozmytej.

W obszarach procesów złożonych, podstawą do opracowania reprezentacji wiedzy w logice rozmytej są reguły wnioskowania, które dotyczą prognozowania stanu niezawodności układu OUPN. W oparciu o zawarte we wstępie opracowania wiadomości teoretyczne i przeprowadzone badania (szczegółowe informacje prowadzonych badań można znaleźć w opracowaniach [13, 14]), dokonano podziału reguł wnioskowania w systemie diagnostycznym, na:

- reguły dokładne („zdolny” lub „niezdolny”) – budowane dla przedziałów wielkości, w których można dokładnie określić stan elementu układu OUPN, co prowadzi do podjęcia jednoznacznej decyzji,
- reguły przybliżone (stany pośrednie, „częściowo zdolny”) – budowane dla obszarów niejednoznaczności wyboru, tzn. w których nie można jednoznacznie stwierdzić, w jakim stanie znajduje się poszczególny element układu OUPN. W takim przypadku występuje więcej wariantów możliwych do wyboru.

Zasady podejmowania decyzji, oparto o wnioskowanie diagnostyczne, które uwzględnia kryteria ekonomii wytwarzania oraz minimalizuje ryzyko przerw w produkcji.

W celu zwiększenia trafności decyzji, opracowano również zbiory rozmyte dla stanu niezawodności poszczególnych elementów lokalnego układu obróbczego. Dokonano analizy w czterech obszarach układu: niezawodności obrabiarki,

uchwytu, przedmiotu obrabianego i narzędzia skrawającego. Opracowane dla poniższego przykładu reguły dokładne i przybliżone przedstawiają się następująco:

a) dla stanu obrabiarki:

- R1: JEŻELI amplituda sygnału eksploatacyjnego jest mniejsza lub równa 0,15 [mm] TO obrabiarka jest sprawna i można kontynuować proces obróbczy
- R2: JEŻELI amplituda sygnału eksploatacyjnego jest równa lub większa od 0,9 [mm] TO obrabiarka nie jest sprawna i należy przerwać proces obróbczy
- R3: JEŻELI amplituda sygnału eksploatacyjnego jest większa od 0,15 [mm] i mniejsza od 0,9 i przebieg sygnału jest prawie podobny do sygnału wzorcowego [mm] TO obrabiarka jest sprawna i można kontynuować proces obróbczy
- R4: JEŻELI amplituda sygnału eksploatacyjnego jest większa od 0,15 [mm] i mniejsza od 0,9 i przebieg sygnału nie jest raczej podobny do sygnału wzorcowego [mm] TO obrabiarka jest uszkodzona i należy przerwać proces obróbczy

b) dla stanu uchwytu:

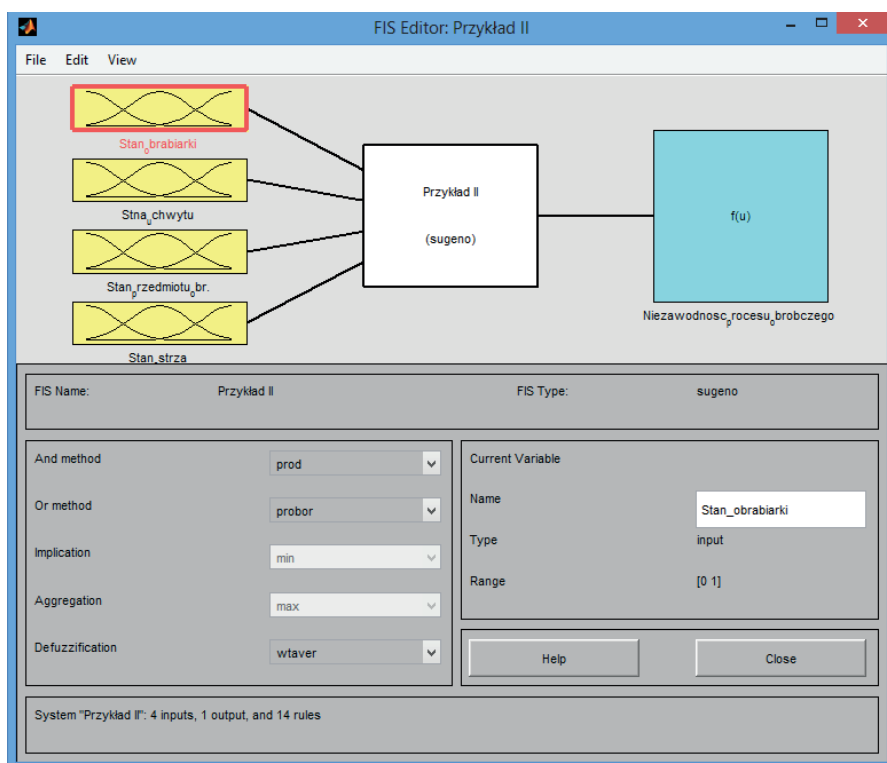
- R1: JEŻELI wartość błędu pozycjonowania przedmiotu obrabianego w uchwycie jest mniejsza lub równa 0,05 [mm] TO uchwyt jest sprawny i można kontynuować proces obróbczy
- R2: JEŻELI wartość błędu pozycjonowania przedmiotu obrabianego w uchwycie jest równa lub większa od 1 [mm] TO uchwyt nie jest sprawny i należy przerwać proces obróbczy
- R3: JEŻELI wartość błędu pozycjonowania przedmiotu obrabianego w uchwycie jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 1 [mm] TO uchwyt jest sprawny i można kontynuować proces obróbczy
- R4: JEŻELI wartość błędu pozycjonowania przedmiotu obrabianego w uchwycie jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 1 [mm] TO uchwyt nie jest sprawny i należy przerwać proces obróbczy

c) dla stanu powierzchni obrabianej:

- R1: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest mniejsza lub równa 0,05 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest prawidłowa i można kontynuować proces obróbczy
- R2: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest równa lub większa od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej nie jest prawidłowa i należy przerwać proces obróbczy
- R3: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest prawidłowa i można kontynuować proces obróbczy

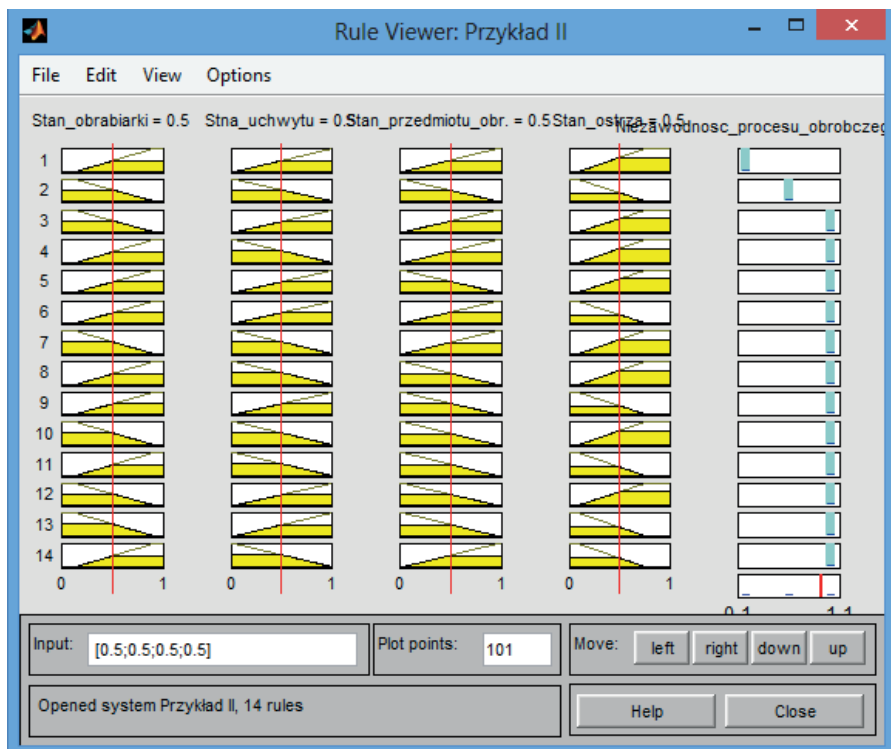
- R4: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest uszkodzona i należy przerwać proces obróbczy
- d) dla stanu ostrza skrawającego:
- R1: JEŻELI amplituda sygnału jest mniejsza lub równa 0,1 [mm] TO ostrze jest prawidłowe i można kontynuować proces obróbczy
- R2: JEŻELI amplituda sygnału jest równa lub większa od 0,75 [mm] TO ostrze jest uszkodzone i należy przerwać proces obróbczy
- R3: JEŻELI amplituda sygnału jest większa od 0,1 [mm] i mniejsza od 0,75 [mm] i przebieg sygnału jest prawie podobny do sygnału wzorcowego TO ostrze jest prawidłowe i można kontynuować proces obróbczy
- R4: JEŻELI amplituda sygnału jest większa od 0,1 [mm] i mniejsza od 0,75 [mm] i przebieg sygnału nie jest raczej podobny do sygnału wzorcowego TO ostrze jest uszkodzone i należy przerwać proces obróbczy

Na podstawie tak określonych reguł wnioskowania dokonano implementacji w środowisku Matlab w pakiecie Fuzzy Logic Toolbox (rys. 4).



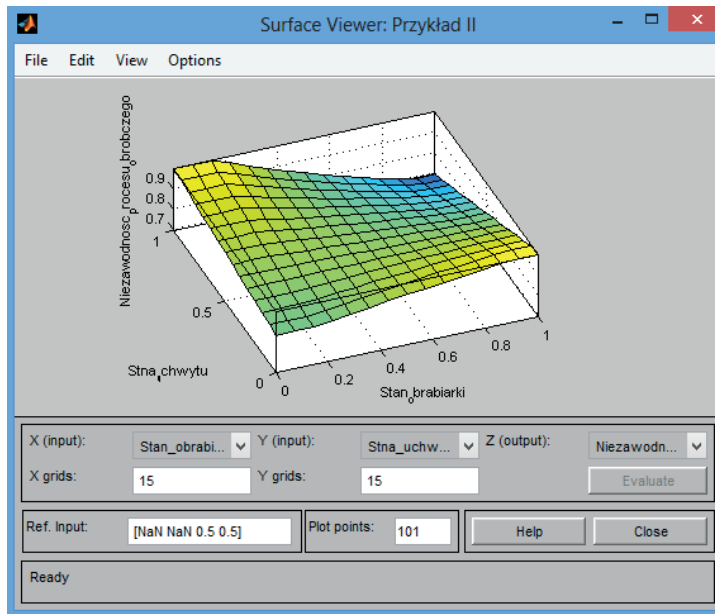
Rys. 4. System logiki rozmytej dla przykładu Przykład II.fis

Wynik wnioskowania dla każdej z reguł i końcowy przebieg wyostrzania przedstawiono na rysunku 5. Rysunek 6 przedstawia trójwymiarowy wykres wpływu poszczególnych wejść na rezultat wnioskowania.

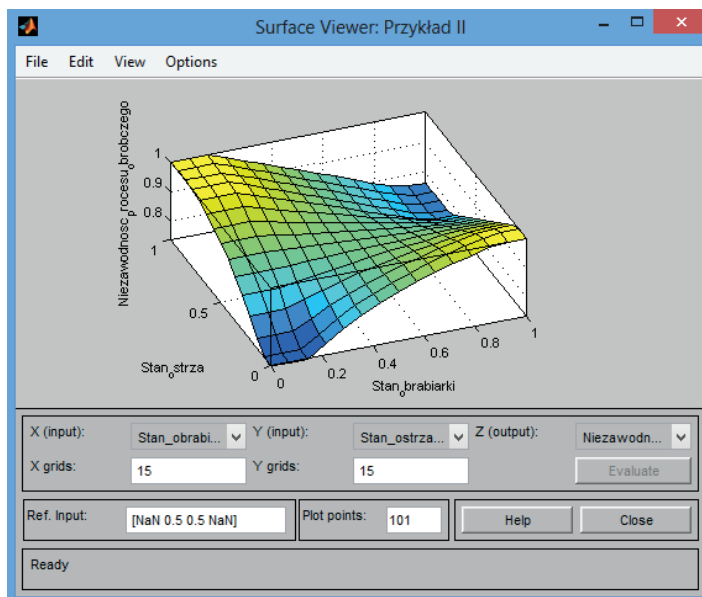


Rys. 5. Przebieg wyostrzania dla każdej z reguł

a)



b)



Rys. 6. Graficzna reprezentacja wnioskowania dla wybranych elementów niezawodności układu obróbczego: a) dla stanu obrabiarki i uchwytu, b) dla obrabiarki i ostrza skrawającego

Reprezentacja wiedzy w diagnostyce eksploatacyjnej w oparciu o elementy logiki rozmytej przedstawiono w programie Matlab. Zastosowanie zaawansowanych technik informatycznych pozwala skrócić czas analizy i na prezentację wyników wnioskowania w sposób graficzny. Podjęcie decyzji o zakończeniu lub kontynuowaniu procesu obróbki na podstawie określonych zbiorów niejednoznaczności, jest obciążona niewielkim błędem. Trafność decyzji pozwala na optymalne wykorzystanie poszczególnych elementów procesu obróbczego.

6. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione możliwości elementów logiki rozmytej mogą znaleźć zastosowanie w rozwiązywaniu wielu zadań z dziedziny projektowania procesów technologicznych. Podstawą jest prawidłowy dobór wariantów technologicznych oraz ich uporządkowanie pod względem ważności. Istotnym problemem jest też prawidłowe zdefiniowanie zbiorów rozmytych oraz odpowiednie wyznaczenie funkcji przynależności. Starannie powinno się też określić obszary niejednoznaczności wyboru, a tym samym ustalić składniki kosztów wytwarzania, aby przedziały ich zmienności nie były zbyt szerokie.

Podstawową zaletą prezentowanej metody jest to, że uwzględnia ona wielowariantowość rozwiązań, oddając w pełni istotę przybliżenia rozwiązywania problemów decyzyjnych w obszarze projektowania procesów technologicznych elementów maszyn.

Inny obszar zastosowania elementów logiki rozmytej przedstawia przykład drugi opracowania. Zbiory niejednoznaczności wyboru wykorzystano w systemach diagnostyczno-monitorujących proces produkcji. Przedstawione reguły wnioskowania stanowią reprezentację wiedzy o stanie procesu wytwórczego i mogą być z powodzeniem stosowane w opracowaniu reprezentacji wiedzy dla systemu wspomagającego. Elementy logiki rozmytej w sposób jednoznaczny pozwalają na podjęcie decyzji o przerwaniu lub kontynuowaniu obróbki w obszarach niejednoznaczności. Należy przyjąć, że produkcja oparta na układach diagnostyczno-monitorujących system obróbczy z wykorzystaniem elementów logiki rozmytej, jest bardzo przydatna do osiągnięcia wysokiego poziomu niezawodności.

Literatura

- [1] Paszek A., Wittbrodt P., *The method of building a knowledge management system in a manufacturing company*, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, Vol. VII, No. 1/2015, pp. 47-52.

- [2] Kacprzyk J., *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa, 1986.
- [3] Yager R., Filev D., *Essential of fuzzy modelling and control*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [4] Paszek A., Wittbrodt P., *Application of decision tables in technological knowledge representation*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 791/2015, pp. 18-25.
- [5] Boothroyd G., Knight A. W., *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1989.
- [6] Novak A., Wiklund H., *Reliability of tool-wear monitoring*, Annals of the CIRP 42 (1), pp. 63-66, 1992.
- [7] Ketteler G., *Analysis of Requirements for Monitoring Systems*. Proc. of the Second Int. Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Leuven, Belgium, pp. 721-725, 1999.
- [8] Jemielniak K., *Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawaniem*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [9] Du R., Elbestawi M.A., Wu S.M.: *Automated monitoring of manufacturing processes*, Part 1: monitoring methods. Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry, 117, 2, pp. 121-132, 1995.
- [10] Li X., Dong S., Venuvinod P. K., *Hybrid Learning for Tool Wear Monitoring*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 16, pp. 303 – 307, 2000.
- [11] Li X., Venuvinod P.K., Chen M.K., *Feed cutting force estimation from current measurement with hybrid learning*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 16, pp. 859-862, 2000.
- [12] Li X.: *A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42, 2, pp. 157-165, 2002.
- [13] Wittbrodt P.: *Life and Wear of Monolithic Carbide Mills*. Maintenance And Reliability, 3, 2005.
- [14] Wittbrodt P.: *Spherical carbide cutters natural wear during milling process*. Przegląd Mechaniczny, 6, 200.

