

**dr inż. Arkadiusz Kowalski**

Politechnika Wroclawska

**AUTOREFERAT**

Załącznik do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego  
w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn  
(w języku polskim)

**Wrocław, 2019 r.**

## Spis treści

1. Dane osobowe .....	3
2. Wykształcenie .....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu .....	3
4. Życiorys zawodowy .....	4
5. Osiągnięcie stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego .....	6
a. tytuł osiągnięcia naukowego .....	6
b. monografia .....	6
c. omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz ze wskazaniem potencjalnego ich wykorzystania .....	6
• uzasadnienie podjęcia tematu .....	6
• cel naukowy .....	7
– strategia „punkt wysypowy na środku okna” .....	10
– metoda ekonomicznie uzasadnionego doboru środków transportu, w funkcji odległości i ilości urobku planowanego do przetransportowania .....	12
– planowanie eksploatacji pola wydobywania, harmonogram prac górniczych oraz zapotrzebowanie na środki transportu .....	13
– model kosztów odstawy kołowej oparty na harmonogramie eksploatacji ....	14
– projektowanie rozmieszczenia punktów wysypowych, proponowany algorytm .....	17
– właściwa relacja wymiarów boków pola wydobywczego .....	19
– metodyka planowania efektywności wydobywania urobku dla komorowo-filarowych systemów eksploatacji .....	20
• osiągnięte wyniki .....	22
• potencjalne wykorzystanie wyników osiągnięcia .....	24
• podsumowanie dotyczące osiągnięcia naukowego, wpływ na dyscyplinę naukową .....	24
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i innych osiągnięć w zakresie dydaktyki, organizacji i popularyzacji nauki: .....	25
a. Charakterystyka działalności naukowo-badawczej przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych .....	25
b. Charakterystyka działalności naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych .....	27
c. Aktywny udział oraz organizacja międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych .....	32
d. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki .....	35
e. Działalność organizacyjna na uczelni .....	36
7. Dane bibliometryczne dorobku naukowego habilitanta .....	37

## 1. Dane osobowe

Imię i nazwisko Arkadiusz Kowalski  
Miejsce zatrudnienia Politechnika Wroclawska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji  
Produkcji  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
tel. (71) 320 30 54  
e-mail: [arkadiusz.kowalski@pwr.edu.pl](mailto:arkadiusz.kowalski@pwr.edu.pl)  
ORCID: 0000-0002-1676-3171

## 2. Wykształcenie

**Doktor nauk technicznych**, 2003 r., po ukończeniu dziennych studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji.

Temat pracy doktorskiej: „*Zastosowanie modeli makrokomponentów procesowych w symulacji systemów wytwórczych*”.

Promotor: prof. dr hab. inż. Edward Chlebus, recenzenci: prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak, prof. dr hab. inż. Tomasz Koch.

**Magister inżynier**, 1998 r., po ukończeniu dziennych studiów na kierunku Automatyka i Robotyka, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, specjalność: Systemy Produkcyjne.

Temat pracy magisterskiej: „*Analiza metod i systemów w planowaniu i sterowaniu produkcją*”. Promotor: prof. dr hab. inż. Edward Chlebus.

**Technik elektryk**, 1993 r., specjalność Maszyny i Aparaty Elektryczne. Matura w Technikum Energetycznym w Zespole Szkół Zawodowych nr 4 we Wrocławiu.

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

**Adiunkt**, od 1.10.2005 r., akt mianowania, Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji (dawniej Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji), Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska.

**Asystent naukowo-dydaktyczny**, 1.10.2002 do 30.09.2005 r., pełen etat, umowy na czas określony, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska.

**Asystent**, 1.10.2000 do 30.09.2001 r., ¼ etatu, umowa na czas określony, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska.

#### 4. Życiorys zawodowy

Urodziłem się 3 listopada 1973 roku we Wrocławiu. W 1993 roku ukończyłem Technikum Energetyczne w Zespole Szkół Zawodowych nr 4 we Wrocławiu. Po maturze rozpocząłem studia dzienne na kierunku Automatyka i Robotyka, specjalność Systemy Produkcyjne, realizowane na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Studia zakończyłem w wyniku bardzo dobrym, a moja praca magisterska „*Analiza metod i systemów w planowaniu i sterowaniu produkcją*” została wyróżniona w konkursie prac dyplomowych z dziedziny Mechaniki i Budowy Maszyn im. Prof. Romana Sobolskiego.

W październiku 1998 roku rozpocząłem studia doktoranckie w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji. W trakcie studiów doktoranckich prowadziłem badania związane z budową modeli symulacyjnych systemów produkcyjnych. W rozpatrywaniach tych szczególne zainteresowanie skupiłem na opracowaniu metody usprawniającej i standaryzującej sposób budowy modeli symulacyjnych systemów produkcyjnych charakteryzujących się dużą liczbą wytwarzanych wariantów wyrobów.

W październiku 2003 roku obroniłem pracę doktorską pt.: „*Zastosowanie modeli makrokomponentów procesowych w symulacji systemów wytwórczych*” i zostałem zatrudniony jako asystent naukowo-dydaktyczny w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. W kolejnym roku akademickim uzyskałem akt mianowania na stanowisko adiunkta. Obecnie jestem adiunktem w Katedrze Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji, powstałej w wyniku zmian organizacyjnych na Wydziale Mechanicznym.

Po obronie pracy doktorskiej w dalszym ciągu brałem czynny udział w pracach zespołu zajmującego się m.in. organizacją i zarządzaniem systemami produkcyjnymi oraz eksploatacją maszyn i urządzeń. Główny temat prowadzonych przez mnie badań związany był z rozmieszczaniem stanowisk roboczych (tzw. layout), zwiększenia stopnia wykorzystania różnego rodzaju zasobów w systemach produkcyjnych czy doбором zasobów koniecznych do realizacji założonego planu produkcji. Narzędziem do weryfikacji proponowanych rozwiązań i oszacowania efektów był najczęściej adekwatny model symulacyjny systemu produkcyjnego.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych zrealizowałem jako główny wykonawca zadania w 9 projektach badawczych, finansowanych z pozyskanych grantów NCBiR, funduszy europejskich lub bezpośrednio przez przedsiębiorstwa. Kierowałem również projektem pozyskanym bezpośrednio od przedsiębiorstwa Belini, producenta mebli kuchennych i łazienkowych. Dokumentacja przeprowadzonych prac badawczych i ekspertyz zawarta jest w 31 raportach wewnętrznych Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, które są opracowaniami niepublikacyjnymi, ale zawierają jednak dane źródłowe będące podstawą wielu moich artykułów naukowych.

Od 2005 roku prowadzę zajęcia dydaktyczne jako adiunkt na Wydziale Mechanicznym. Na chwilę obecną są to: Symulacja procesów produkcyjnych, Systemy informatyczne w zarządzaniu przedsiębiorstwem oraz Optymalizacja rozmieszczenia stanowisk roboczych w różnych formach (wykład, projekt, laboratorium). Jako kierownik laboratorium dydaktycznego „Planowanie i zarządzanie produkcją” organizuję i koordynuję pracę grupy

wykładowców. Mój autorski podręcznik akademicki „Forecasting and simulation of production processes” z 2011 roku jest wykorzystywany obecnie na specjalności Production Management w języku angielskim, na kierunku studiów Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Jako opiekun kierunku ZIP na trzech specjalnościach zajmuję się zatwierdzaniem tematów pracy dyplomowych, dbając m. in. o ich zgodność z kierunkiem dyplomowania. Od 2009 roku jestem członkiem Komisji Hospitacyjnej na kierunku ZIP na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.

Jestem promotorem 145 prac dyplomowych oraz recenzentem 171 prac magisterskich i inżynierskich. Jako sekretarz od 2013 roku biorę udział w pracach Komisji Dyplomowej na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn (studia w języku angielskim, 13 egzaminów dyplomowych). Byłem członkiem Rady Wydziału Mechanicznego, wybranym jako przedstawiciel nauczycieli akademickich niebędących profesorami i doktorami habilitowanymi w wyborach uzupełniających w 2016 roku, jak również członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej dla kierunku ZIP dla studiów stacjonarnych II stopnia.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych na mój dorobek naukowy składa się **39** publikacji z dyscypliny budowy i eksploatacji maszyn, **2** moje artykuły są zamieszczone w czasopismach znajdujących się w bazie **Journal Citation Reports** oraz **13** publikacji indeksowanych jest w bazie danych **Web of Science**, a **2** dalsze oczekują już tylko na wpisanie do bazy WoS. Sumaryczny **Impact Factor** dla tych publikacji zgodny z rokiem opublikowania to **1,563**. Liczba cytowań moich prac według bazy WoS wynosi **23** (bez uwzględnienia tzw. autocytowań). Indeks **Hirscha** według bazy WoS wynosi **3**.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych brałem udział w 29 konferencjach naukowych, w tym 12 zagranicznych objętych bazą danych Web of Science, 12 krajowych o zasięgu międzynarodowym i 3 krajowych. Podczas tych konferencji naukowych wygłosiłem 15 referatów. Uczestniczyłem w pracach organizacyjnych 22 międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych. Na rzecz konferencji WoS opracowałem 31 recenzji artykułów.

Od roku 2012 jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Oddział we Wrocławiu, od 2017 roku recenzentem czasopisma Applied Computer Science (ACS). Uczestniczyłem w szeregu szkoleń związanych z oprogramowaniem przeznaczonym do modelowania systemów produkcyjnych (Corporate Modeler, iGrafx Process oraz WITNESS) jak również z technikami opracowywania normatywów czasowych MTM-1 i MTM-UAS i zarządzania projektami PRINCE2.

W roku 2018 zakończyłem moje badania nad planowaniem efektywności wydobywania urobku i w roku 2019 wydałem monografię pt. „*Metodyka planowania efektywności wydobywania urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji*”, stanowiącą moje osiągnięcie i będącą podstawą wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Dodatkowo sporządziłem wykaz wszystkich osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjnych, a także w zakresie popularyzacji nauki, które zawarte są w załączniku nr 3.

## 5. Osiągnięcie stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego

### a. tytuł osiągnięcia naukowego

Tytułem osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) jest:

#### **Metodyka planowania efektywności wydobywania urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji**

Opracowaną metodykę przedstawiono w monografii o tym samym tytule.

### b. monografia

Arkadiusz Kowalski, *Metodyka planowania efektywności wydobywania urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji*, 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, ISBN 978-83-7493-072-7

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak (Politechnika Koszalińska), prof. dr hab. inż. Tadeusz Smolnicki (Politechnika Wroclawska).

### c. omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz ze wskazaniem potencjalnego ich wykorzystania

#### **Uzasadnienie podjęcia tematu**

Prowadzenie eksploatacji rudy miedzi w systemach komorowo-filarowych jest przedsięwzięciem trudnym i skomplikowanym, nawet dla doświadczonej kadry inżynierskiej, doskonale zorientowanej w sztuce górniczej. Właściwie wybrany system eksploatacji zapewnia możliwie pełną kontrolę masywu skalnego. Jedną z cech systemów komorowo-filarowych jest efektywne zabezpieczenie przestrzeni roboczej przez filary technologiczne oraz obudowę wykonaną w technice kotwiowej lub kotwiowo-linowej.

Podziemny transport kopalniany jest jedną z kluczowych operacji górniczych, obejmując przede wszystkim załadunek i odstawę pozyskanego urobku, transport skały płonnej, koniecznych materiałów, załogi oraz niezbędnych maszyn i urządzeń. Sprawny transport urobku jest warunkiem koniecznym, aczkolwiek nie wystarczającym, do zapewnienia realizacji całości procesów wydobywczych w zakładach górniczych. Prawidłowa eksploatacja maszyn i urządzeń do odstawy urobku decyduje w istotnym stopniu o poziomie zysków przedsiębiorstwa.

Do głównych elementów składowych systemu transportowego kopalni głębinowej należą: szyby wydobywcze, kolej podziemna, przenośniki taśmowe, różnego rodzaju zbiorniki, wywroty i punkty przeładunkowe oraz zbiór maszyn samojezdnych. Ładowarki i wozy odstawy, przeznaczone do załadunku i odstawy oponowej urobku, charakteryzują się mnogością rozwiązań konstrukcyjnych oraz różnymi gabarytami. W oczywisty sposób przekłada się to na liczbę typów tych samojezdnych maszyn, znaczną rozpiętość ich parametrów technicznych oraz różną kosztocłonność eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury z obszaru systemów eksploatacji maszyn i urządzeń wykorzystywanych do pozyskiwania i transportu urobku w kopalniach

głębinowych oraz modelowania systemów logistycznych stwierdziłem istnienie luk badawczych, wymagających dalszych prac:

- nie zostały opracowane modele wyznaczające odległość pokonywaną przez kołowe środki transportu urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji,
- brak metod synchronizacji uruchamiania punktów wyspowych umieszczonych nad przenośnikami taśmowymi z przemieszczającą się linią frontu wydobywania, na chwilę obecną czynność ta realizowana jest „intuicyjnie”, zgodnie z praktyką górniczą,
- zalecenia literaturowe odnośnie doboru ładowarek łyżkowych (lub zestawów ładowarka i współpracujące z nią wozy odstawy), w zależności od odległości na jaką ma być transportowany urobek, są rozbieżne,
- brakuje modeli obliczeniowych pozwalających na optymalizację kosztową czynności transportowych całego łańcucha logistycznego transportu urobku w kopalniach głębinowych,
- brak modeli obliczeniowych pozwalających na określenie zależności pomiędzy relacją wymiarów boków pola wydobywczego z kosztami transportu urobku odstawą kołową i taśmową.

### **Cel naukowy**

W oparciu o powyższe rozważania sformułowano cel naukowy, którym jest opracowanie podstaw metod:

- pozwalających na skrócenie dróg transportowych, pokonywanych przez środki transportu podczas eksploatacji złoża, dzięki właściwej z punktu widzenia całości procesów logistycznych strategii rozmieszczenia, uruchamiania oraz liczbie punktów wyspowych,
- doboru środków transportu, adekwatnych do realizowanego zadania transportowego.

W wielu kopalniach głębinowych, w których do urabiania wykorzystuje się materiały wybuchowe, a w szczególności w przypadku wydobywania rud miedzi i żelaza, technologie wydobywania bazują w całości na wykorzystaniu samojezdnych maszyn górniczych na podwoziach kołowych<sup>[1]</sup>. Do ładowania, ale także transportu urobionej rudy, stosuje się ładowarki samojezdne. Maszyny te podają urobek na środki transportu, do zasobników lub na składowisko. Do transportu urobku na dalsze odległości służą przegubowe wozy odstawcze.

Opisane są w literaturze rozważania dla ładowarek łyżkowych samodzielnie przewożących pozyskany urobek, można natknąć się tam na stwierdzenie, że zalecane odległości pomiędzy przodkami a punktami wyspowymi to 200–300 m<sup>[1]</sup>. W innych źródłach literaturowych można znaleźć informację, że zalecane odległości dla ładowarek łyżkowych to 60–600 m<sup>[2]</sup>. Jeden z wiodących producentów ładowarek (Sandvik AB) zamieszcza wykres produktywności w zależności od stopnia nachylenia podłoża, z którego można wywnioskować zalecaną odległość transportu: nie więcej niż 400 m. Wniosek: dostępne w literaturze zalecenia są rozbieżne i nieprecyzyjne. Dobór środków transportu nie jest więc

<sup>1</sup> Antoniak J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1990

<sup>2</sup> Hartman H., Mutmanský J.: Introductory Mining Engineering. John Wiley and Sons, New Jersey, 2002

sprawą trywialną, decyzje podjęte w tym obszarze niosą ze sobą duże i długotrwałe konsekwencje kosztowe.

Wozy odstawy lub ładowarki przewożą urobek do oddziałowych punktów przeładowniczych (tzw. punkt wysypowy), gdzie wysypywany jest bezpośrednio na kratę pełniącą rolę klasyfikatora. Dalej urobek dozowany jest na przenośnik taśmowy i transportowany w rejon podszybia i za pomocą szybów wydobywczych wywożony na powierzchnię. W kopalni głębinowej należy zwrócić szczególną uwagę na sposób projektowania systemu transportowego urobku, ponieważ determinuje on zdolność wydobywczą całego przedsiębiorstwa górniczego.

Cel pracy zakładał opracowanie modeli matematycznych i bazujących na nich komputerowych modeli symulacyjnych, przeznaczonych w dalszej perspektywie do opracowania tzw. ilościowej metody zarządzania transportem w kopalniach głębinowych. Określenie celów do badań umożliwiły obserwacje i dane zebrane podczas realizacji projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt.: „Adaptacja i implementacja metodologii Lean w kopalniach miedzi” w latach 2010–2013. Projekt ten obejmował m.in. modelowanie procesów wydobywczych w ZG Lubin z wykorzystaniem notacji BPMN, mapowanie strumienia wartości na wybranym Oddziale Wydobywczym, zastosowanie TPM w Komorze Maszyn Ciężkich, analizę i propozycję usprawnień obiegu dokumentacji wypełnianej przez shtygarów zmianowych czy budowę modeli przepływu urobku<sup>[3]</sup>.

Do rozważań dotyczących sposobów eksploatacji maszyn i urządzeń przeznaczonych do transportu urobku wybrano proces wydobywania rudy miedzi w kopalniach głębinowych, w których eksploatacja pola wydobywczego prowadzona jest systemem komorowo-filarowym z ugięciem stropu o symbolu J-UG. Jest on stosowany w kopalniach głębinowych rud miedzi KGHM Polska Miedź S.A., można nazwać go podstawowym systemem w ZG Lubin. J-UG stosowany jest dla złóż o miąższości do 3 m, dla obszarów poza filarami ochronnymi. System J-UG był podstawą do opracowania różnych jego odmian, co będzie ułatwiało przeniesienie wyników badań na kolejne wersje systemów eksploatacji.

Odległość do pokonania przez środki transportu podczas transportowania urobku dla etapu rozczinki opisałem jako iloczyn odległości do pokonania pomiędzy punktami załadunku dla poszczególnych przodków i rozładunku a liczbą kursów, które trzeba wykonać by wywieść urobek z odstrzelonych przodków. Czas realizacji tego zadania jest ograniczony do czasu trwania jednej zmiany – celem nadrzędnym jest zapewnienie odpowiedniego poziomu wydobywania. Odległość pomiędzy punktem wysypowym a punktem załadunku urobku  $d_{ij}$  znajdującym się na wcześniejszym skrzyżowaniu przecinki i korytarza wyraziłem wzorami:

$$d_{ij} = k_i + p_j \quad (1)$$

$$k_i = i(S_f + S_{ch}) + q \quad (2)$$

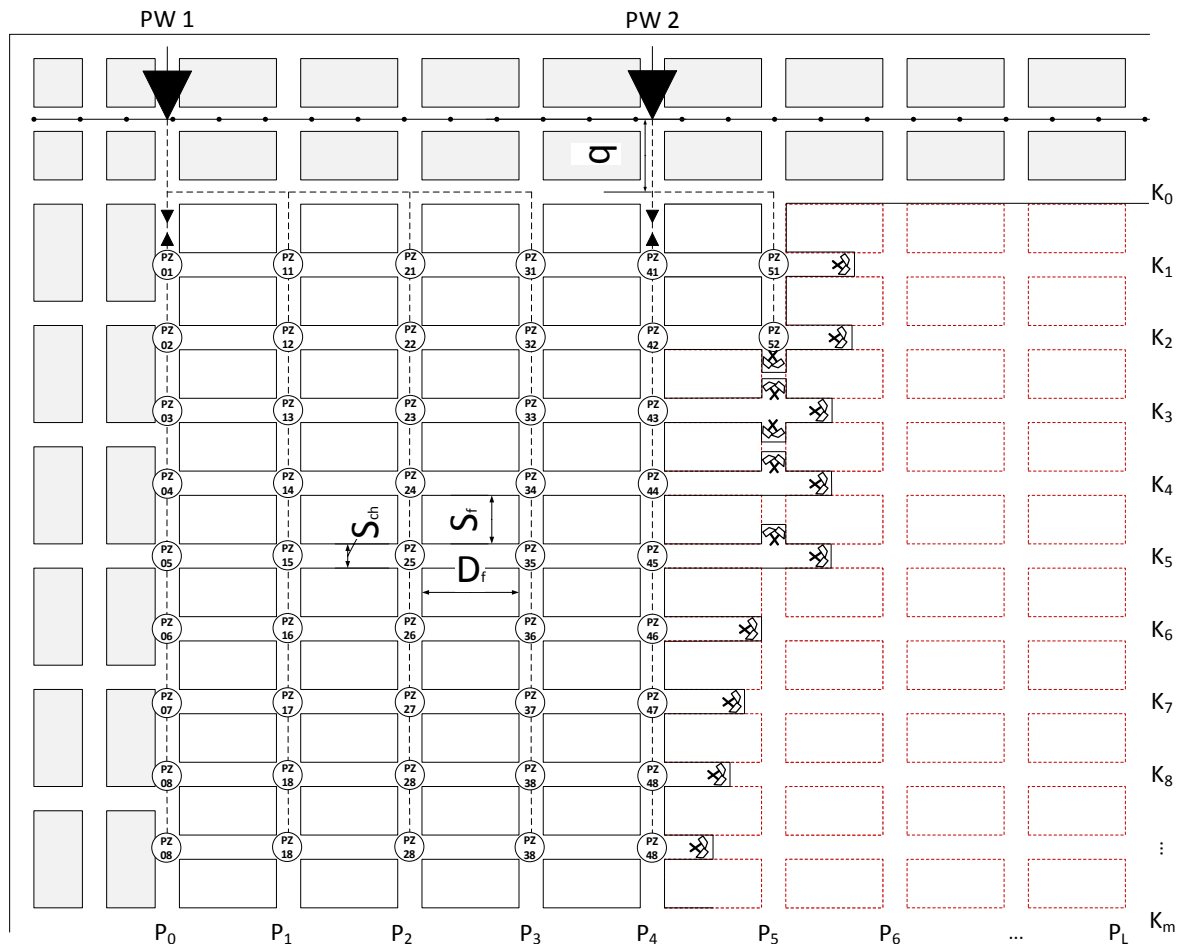
$$p_j = j(D_f + S_{ch}) \quad (3)$$

<sup>3</sup> Chlebus E. i inni: A new approach on implementing TPM in a mine – A case study. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 15, 4, s. 873–884, 2015



gdzie  $k_i$  – odległość w pionie [m], a  $p_j$  – odległość w poziomie [m], a  $q$  jest to odległość pomiędzy punktem wysypowym a początkiem pola eksploatacji [m] (wynikającą z faktu konturowania pola eksploatacji wiązką chodników, w których umieszcza się przenośnik taśmowy). Przez  $(k_i, p_j)$  oznaczono położenie punktu załadunku, gdzie  $i=0, \dots, m$  oraz  $j=0, \dots, l$ . Natomiast  $m+1$  oznacza liczbę korytarzy,  $l+1$  liczbę przecinek, dodanie w oznaczeniach jedynek jest konsekwencją przyjęcia oznaczenia  $P_0$  i  $K_0$  dla początkowej przecinki i korytarza,  $S_f$  – szerokość filara technologicznego [m],  $D_f$  – długość filara technologicznego [m],  $S_{ch}$  – szerokość chodnika [m].

Miejsca punktów załadunku, oznaczone umownie jako PZ, pokazałem na rys. 1, przy czym istotne jest że obejmują one całe pole eksploatacji. Następnie przez  $n, n_g, n_d, n_b, n_p$  oznaczyłem liczbę przejazdów po urobek i z urobkiem, pomiędzy punktem wysypowym PW a punktem załadunku PZ, z poszczególnych typów komór. Do wyliczeń objętości wyrobisk wykonywanych podczas etapu rozcinki, dla całego pola eksploatacji, zaproponowałem komory o kształcie „krzyża”. Dodatkowo konieczne okazało się opisanie pozostałej przy granicach pola przestrzeni za pomocą nazewnictwa: „dół” i „góra”, „lewa” i „prawa”. Zaproponowane kształty komór i przestrzeni reszt, po zsumowaniu, umożliwiają opisanie całkowitej objętości wyrobisk na etapie rozcinki, co było główną ideą takiego podziału.



Rys. 1. Schemat położenia punktów załadunku urobku PZ na etapie rozcinki

Liczba przejazdów środków transportu  $n, n_g, n_d, n_b, n_p$  zależy od objętości pozyskanego urobku, który można pozyskać z pojedynczego obszaru danego rodzaju oraz od objętości urobku, który może być transportowany jednorazowo. Punkty wysypowe są otwierane

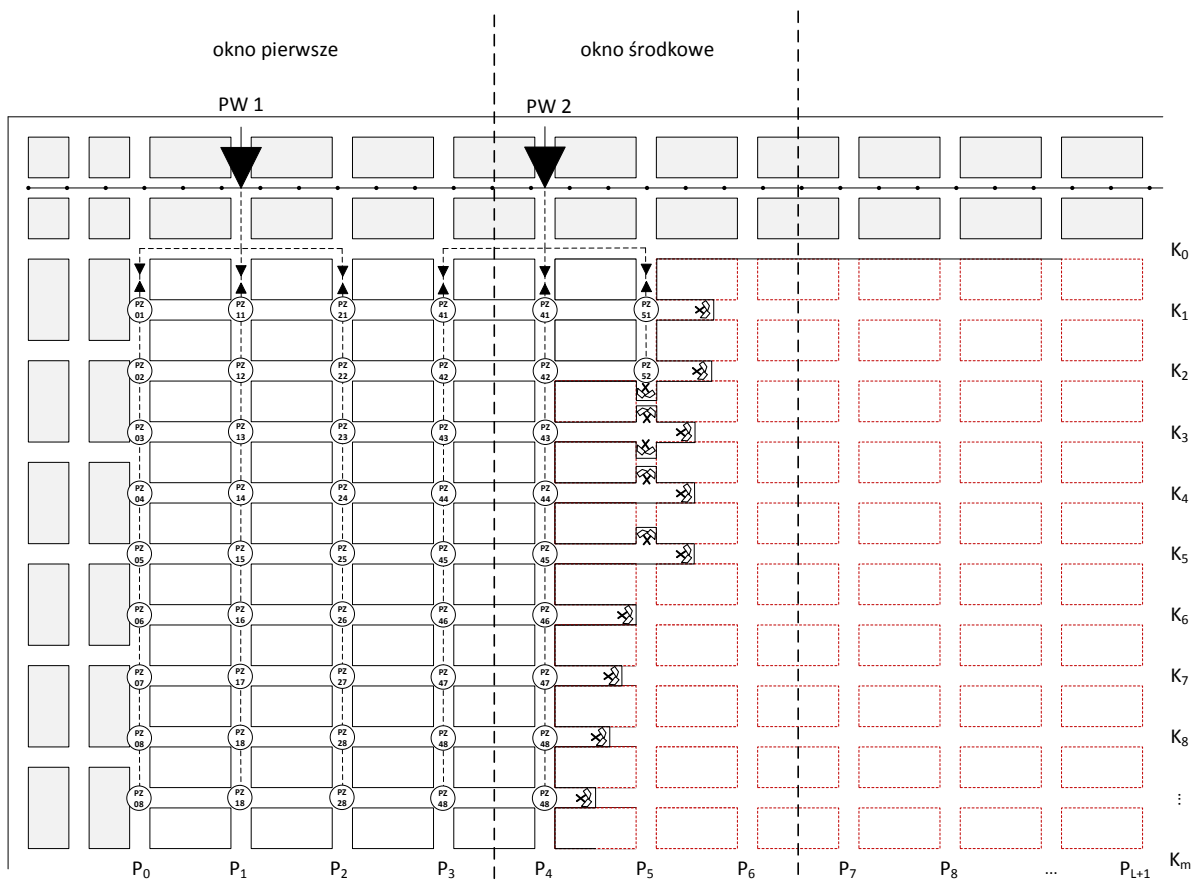
w synchronizacji z przemieszczaniem się linii frontu rozcinki, w naturalny sposób dzieląc pole eksploatacji na okna obliczeniowe.

Obecnie najczęściej stosowaną strategią jest uruchamianie kolejnych punktów wyspowych **na równi z linią frontu rozcinki**. Strategia ta wymaga oceny pod kątem pokonywanej drogi przez środki transportu. Zbadalem również inne możliwości synchronizacji uruchamiania punktów wyspowych względem przemieszczającej się linii frontu wydobywania. Stosowny model matematyczny, bazując jedynie na zmiennych geometrycznych charakteryzujący pole eksploatacji, powinien odwzorowywać prace prowadzone na etapie rozcinki oraz likwidacji.

Analiza sposobu budowy i uruchamiania punktów wyspowych przez kopalnie głębinowe stosujące różne odmiany systemów komorowo-filarowych doprowadziła do spostrzeżenia, że korzystniejsze ze względu na skrócenie drogi pokonywanej przez wozy odstawy z urobkiem, byłoby uruchamianie punktów wyspowych **przed linią frontu wydobywania**, w połowie umownego okna. Aby udowodnić to stwierdzenie, zostanie opisana wzorami pokonywana droga przez wozy odstawy, w przypadku proponowanej przez mnie nowej strategii.

#### *Strategia „punkt wyspowy na środku okna”*

Dla **etapu rozcinki**, w celu wyznaczenia odległości pokonywanych przez środki transportu, rozważania są prowadzone dla  $l$  nieparzystego w oknie obliczeniowym (liczba  $l+1$  przecinek w oknie obliczeniowym jest wtedy nieparzysta), możliwe jest wtedy umiejscowienie punktu wyspowego **symetrycznie** pod względem długości dróg transportowych w obie strony (rys. 2).



Rys. 2. Schemat transportu do punktu wyspowego PW 1 umieszczonego **przed linią frontu wydobywania**, dla etapu rozcinki

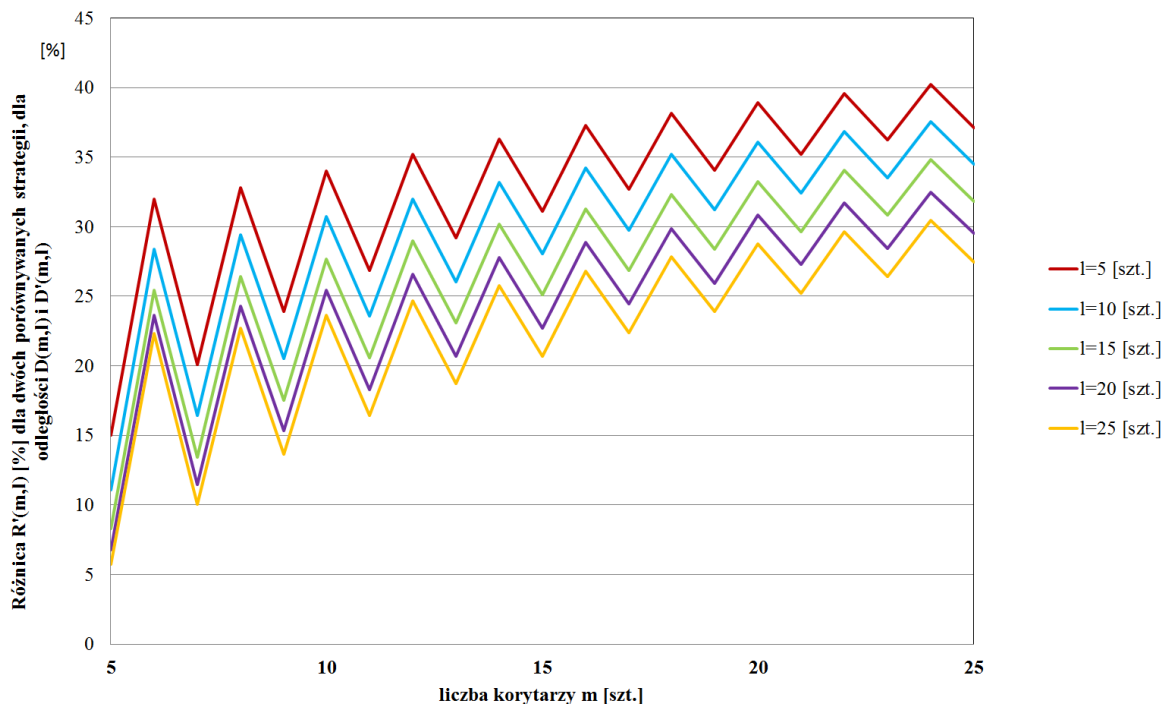
Aby porównać dwie strategie (punkt wysypowy na równi z linią frontu wydobywania oraz punkt wysypowy na środku okna) uruchamiania punktów wysypowych względem przemieszczającej się linii frontu wydobywania, zapisano funkcję zysk  $Z'(m, l)$  w zależności od liczby korytarzy i przecinek, gdzie zysk to **różnica** odległości do pokonania przez wozy odstawy urobku w porównaniu do proponowanej nowej strategii postępowania: punkt wysypowy w środku okna przed linią frontu wydobywania.

$$Z'(m, l) = \frac{D(m, l) - D'(m, l)}{D(m, l)} \quad (4)$$

Przez  $Z'(m, l)$  oznaczono różnicę względną dla pokonywanej odległości, która będzie wyrażona w procentach. Oszacowane korzyści przedstawiono na rys. 5, porównanie wykonano dla różnej liczby korytarzy  $m$  i przecinek  $l$ . Im większa liczba korytarzy i przecinek, a tym samym większe pole eksploatacji, tym korzyść polegająca na skróceniu drogi transportowej koniecznej do pokonania podczas transportu urobku jest większa.

Proponowany sposób wyznaczania momentu uruchamiania punktów wysypowych i ich synchronizacji względem linii wydobywania, testowałem na **platformie programistycznej R**. Analizie poddałem pole eksploatacji o następujących parametrach opisujących chodniki i filary technologiczne:  $S_{ch}=7$  m,  $D_f=15$  m,  $S_f=7,5$  m oraz średnią miąższością furty eksploatacyjnej  $h=3,02$  m. Odległość od początku pola wydobywania do punktu wysypowego  $q=36$  m, transport urobku realizowany jest za pomocą ładowarki o ładowności łyżki:  $V_{S,T}=4,88$  m<sup>3</sup>.

Wyliczony zysk dla pokonywanych odległości  $Z'(m, l)$  został zamieściłem na rys. 3. Dla pola eksploatacji o 20 korytarzach i 15 przecinkach różnica na korzyść proponowanej strategii została odczytana na poziomie  $Z'(20,15) \approx 27\%$ , przy 25 korytarzach i 20 przecinkach zysk został wyliczony na poziomie  $Z'(25,20) \approx 30\%$ .



Rys. 3. Porównanie zysku  $Z'(m, l)$  w pokonywanych odległościach transportowych  $D(m, l)$  dla różnych metod synchronizacji uruchamiania punktów wysypowych

Analizując rys. 3 można zauważyć, że wraz ze wzrostem liczby przecinek  $l$  zysk względny  $Z'(m, l)$  jest coraz mniejszy. Wynika to z faktu, że główna różnica pomiędzy metodami synchronizacji uruchamiania punktów wysypowych występuje dla odległości  $p_j$  w poziomie, składowa pionowa  $k_i$  odległości jest stała. Innymi słowy, zysk  $Z'(m, l)$  jest uzależniony od relacji boków pola eksploatacji (wyrażonej przez liczbę korytarzy i przecinek), im pole eksploatacji jest dłuższe i węższe tym zysk  $Z'(m, l)$  jest większy.

*Metoda ekonomicznie uzasadnionego doboru środków transportu, w funkcji odległości i ilości urobku planowanego do przetransportowania*

Transport urobku podczas eksploatacji pola wydobywania polega na przewożeniu określonej w planie wydobywania ilości (masy) urobku pomiędzy przodkami a punktem wysypowym. Podczas eksploatacji pola w systemie komorowo-filarowym mamy do czynienia ze zmieniającą się odległością pomiędzy poszczególnymi przodkami a punktem wysypowym, która zmienia się wraz z przesuwaną się linią frontu wydobywania. Zmieniająca się odległość połączona z wymogiem przetransportowania określonej ilości urobku powoduje trudność w odpowiedzi na pytanie: jakim środkiem transportu lub środkami zrealizować to zadanie w ekonomicznie uzasadniony sposób?

Nawet krótka obserwacja sposobu eksploatacji pola wydobywczego w systemie komorowo-filarowym nasuwa prosty w sumie wniosek: czynności transportowe odbywają się na odległościach podlegających wahaniom. Linia frontu uformowana w kształcie litery C przemieszcza się w ciągły sposób. Przemieszczanie to wynika z eksploatacji przodków we właściwej kolejności, tak by utrzymywać kształt litery C, korzystny ze względu na naprężenia w górotworze, przy przesuwanie linii frontu. Konsekwencją są zmieniające się odległości dla transportu urobku. Przy wymogu przetransportowania stałej ilości urobku, trudno oczekiwać do tak zdefiniowanego zadania, aby optymalny kosztowo był jeden konkretny model ładowarki czy zestaw ładowarka plus wóz odstawy (w całym zakresie odległości występujących przy eksploatacji pola).

Jedną z podstawowych zasad funkcjonowania kopalni jest wymóg dostarczania możliwie stałej ilości urobku do ZWR (Zakładu Przeróbki Rudy), wynika ona z ciągłego charakteru procesu wzbogacania rudy. Przekłada się to na wymóg, aby do punktów wysypowych dostarczać stałą ilość urobku z różnych odległości, zmieniających się wraz z przesuwaniami się linii frontu wydobywania. Aby osiągnąć ten cel pozostaje tylko jedna możliwość: organizacja transportu środkami o różnej wydajności lub z różną liczbą środków transportowych.

Najefektywniejszym kosztowo rodzajem transportu jest oczywiście zasób najtańszy, oznaczony zmienną  $Z_{opt}$ :

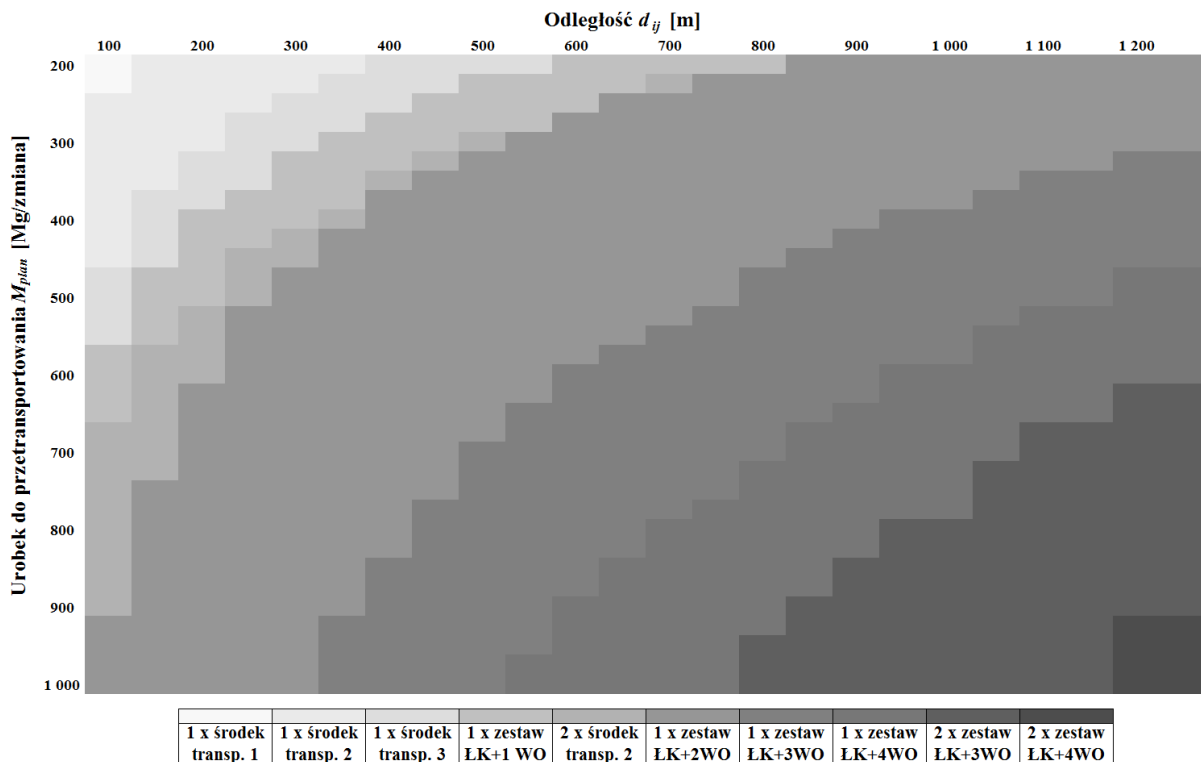
$$Z_{opt} = \arg \min_{z \in Z} K_{ij}(z) \quad (5)$$

gdzie przez  $Z$  oznaczono zbiór rodzajów środków transportowych,  $K_{ij}$  – całkowity koszt transportu pomiędzy punktem załadunku a punktem wysypowym w przeliczeniu na [zł/Mg].

Sama struktura kosztów jest uzależniona np. od specyfiki wzajemnych rozliczeń pomiędzy oddziałami w konkretnym zakładzie górniczym, dalsze uszczegółowianie nie wydaje się więc celowe. Za pomocą wzoru (5) ze wszystkich możliwych rozwiązań wybiera się rozwiązanie o najniższym koszcie realizacji czynności transportowej, dla zadanej ilości urobku i odległości.

Przeprowadzono stosowne obliczenia dla kilku wybranych rodzajów ładowarek i zestawów (ładowarka plus różna liczba wozów odstawczych, jeden model wozu odstawczego), określając koszt  $K_{ij}$  dla drogi  $d_{ij}$  z zakresu odległości do 1 250 m.

Aby zobrazować przedstawione wyliczenia, wyszukano optymalne rozwiązania dla różnych środków transportu (typoszereg ładowarek znaczącego ich producenta oraz zestawy ładowarka ŁK plus różna liczba wozów odstawy), biorąc pod uwagę różną ilość urobku na zmianę  $M_{plan}$  z zakresu 200–1 000 Mg oraz zmieniająca się odległości  $d_{ij}$ , w zakresie do 1 250 m. Założono, że transport urobku na dalsze odległości odbywa się najczęściej za pomocą przenośników taśmowych lub z wykorzystaniem transportu szynowego. Uzyskane wyniki prezentuje rys. 4, uwidocznione zostały na nim zakresy optymalnego kosztowo wykorzystania analizowanych środków transportu (wyznaczone dla określonego czasu efektywnego  $t_{ef}$ ).



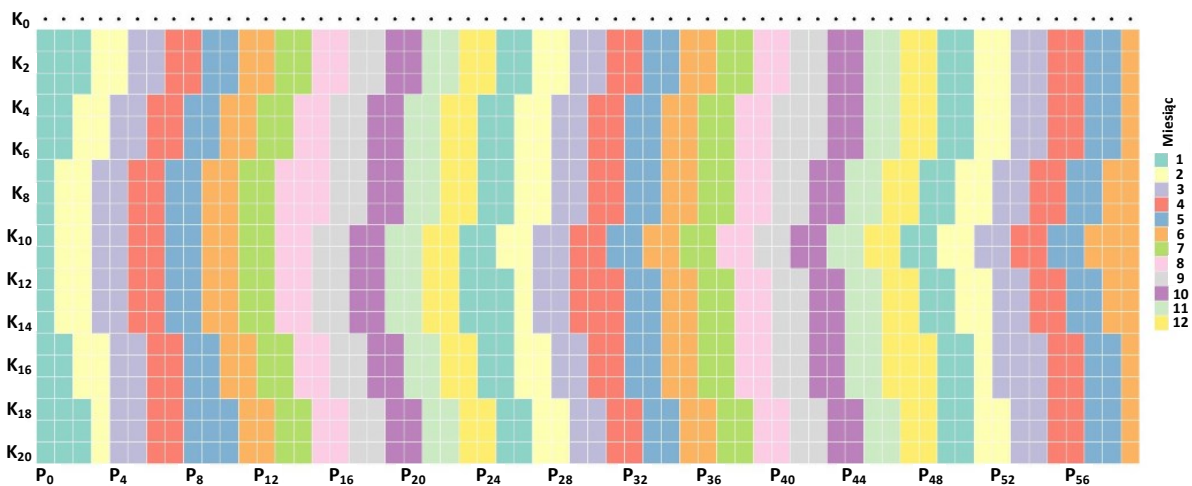
Rys. 4. Zakresy optymalnego kosztowo wykorzystania różnych środków transportowych w zależności od odległości do pokonania i ilości urobku przeznaczanego do transportu

Zakład górniczy w celu osiągnięcia optymalizacji kosztów czynności transportowych, sporządziłby powyższą analizę dla posiadanych przez siebie środków transportu. Następnie, do obsługi czynności transportowych realizowanych dla konkretnych przodków, kierowałby ładowarki i wozy odstawy wybrane wg proponowanej metody.

*Planowanie eksploatacji pola wydobywania, harmonogram prac górniczych oraz zapotrzebowanie na środki transportu*

Przygotowując projekt eksploatacji pola wydobywania, istotną kwestią jest możliwie precyzyjne określenie harmonogramu robót górniczych. Budowa harmonogramu jest podstawowym krokiem podczas organizacji robót górniczych, odbywa się wówczas rozmieszczenie w czasie i przestrzeni wykonywanych czynności w przodkach chodnikowych.

Główne założenie przy budowanie harmonogramu: zarówno procesy górnicze (usuwanie odspojonych brył skalnych, kotwienie, wiercenie otworów strzałowych, urabianie) jak i procesy transportowe (załadunek i odstawa) pozwalają na realizację określonego planu produkcji  $M_{plan}$ . Harmonogram reprezentowałby miesięczny postęp robót górniczych podczas etapu rozcinki i likwidacji. Dodatkowym wyzwaniem jest określenie kolejności eksploatowanych przodków. Kolejność eksploatowanych komór jest zgodna ze sztuką górnictwem i odwzorowuje linię frontu eksploatacji w kształcie litery C, którą stosuje się w systemach komorowo-filarowych. Opisałem proponowany algorytm budowy harmonogramu korzystając z pseudokodu, do modelowania symulacyjnego wykorzystano oprogramowanie R. Uzyskany możliwość wyznaczania harmonogramów prac górniczych w podziale na miesiące dla etapu rozcinki przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Harmonogram prowadzenia prac górniczych dla etapu rozcinki, pole eksploatacji posiada  $m=20$  korytarzy i  $L=60$  przeciek

#### *Model kosztów odstawy kołowej oparty na harmonogramie eksploatacji*

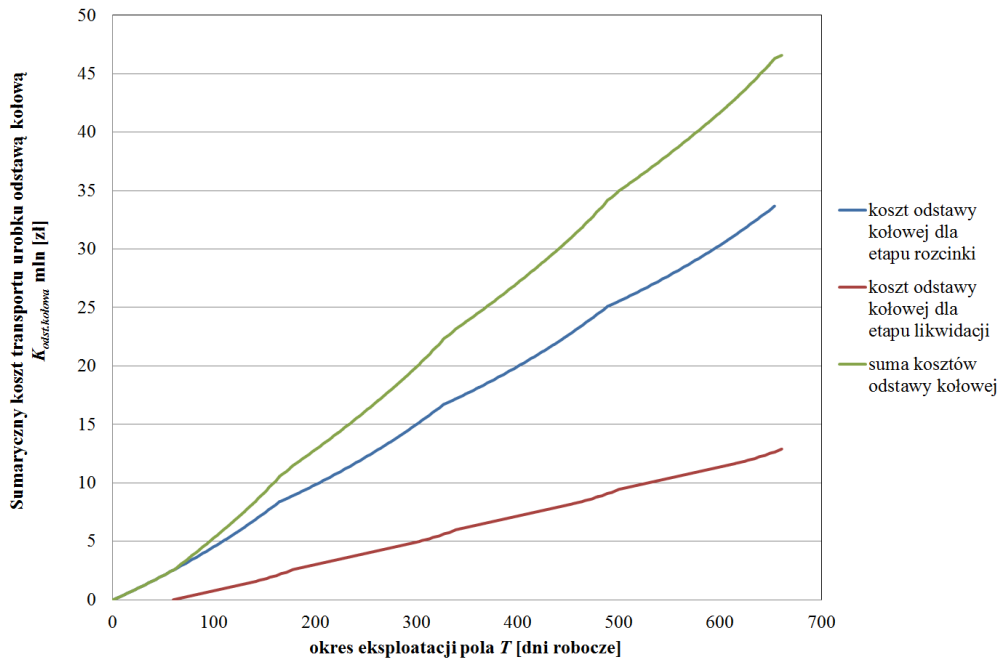
Bazując na harmonogramie prowadzenia robót górniczych dla etapów rozcinki i likwidacji dostrzeżono możliwość uzyskania sumy kosztów odstawy kołowej, poniesionych w czasie prowadzenia eksploatacji pola wydobywczego. W celu wykonania wykresu kosztów odstawy kołowej posłużono się algorytmami zaimplementowanymi w środowisku R oraz wymiarami pola eksploatacji przedstawionymi w poprzednich przykładach obliczeniowych, dla którego sporządzono już harmonogramy prowadzenia robót górniczych (rozpoczęcie rozcinki 01.01.2018, rozpoczęcie likwidacji 15.03.2018). Do celów transportu urobku wykorzystywano w modelu środek transportu 3 (ładownia łyżkowa wiodącego producenta), punkt wysypowy lokalizowano zgodnie z strategią na równi z linią frontu wydobywania. Do dyspozycji jest zawsze konieczna liczba środków transportu. Efekty przeprowadzonych kalkulacji przedstawia rys. 6.

Dysponując modelem kosztów eksploatacji, zyskujemy jeszcze jedno narzędzie do porównania skuteczności strategii synchronizacji linii frontu wydobywania z udostępnianiem kolejnych punktów wysypowych:

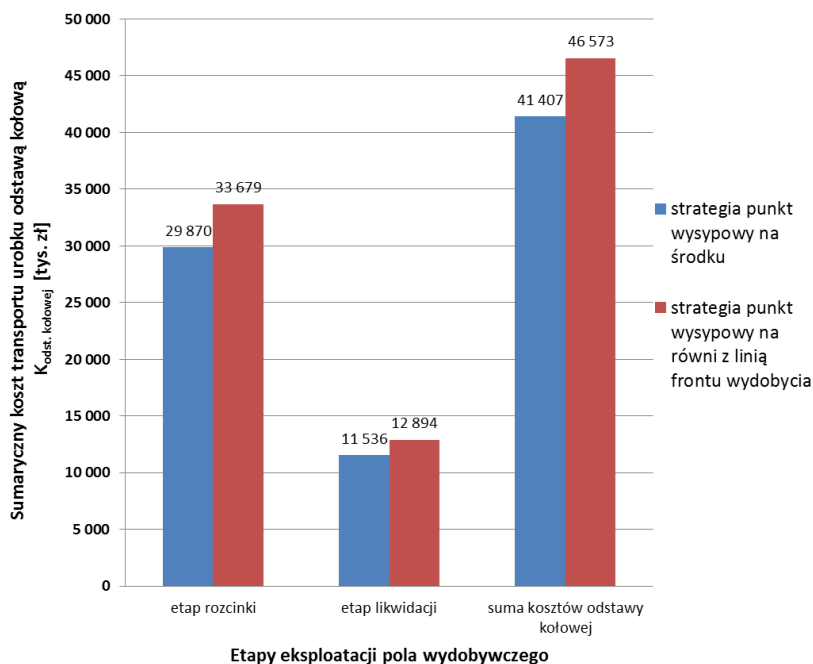
- strategia „punkt wysypowy na równi z linią frontu wydobywania”,
- strategia „punkt wysypowy na środku okna”.

Przedstawione dotychczas porównania dotyczyły sumarycznej drogi  $D(m, L)$  i  $D'(m, L)$  pokonywanej przez środki transportu w różnych strategiach synchronizacji linii frontu wydobywania z uruchamianymi punktami wysypowymi. Porównanie sumarycznych kosztów transportu

odstawy kołowej dla strategii  $K_{odst.kołowa}$  punkt wysypowy na równi z linią frontu wydobywania oraz proponowanej strategii „punkt wysypowy na środku okna”, w skali eksploatacji pola wydobywczego, przedstawia rys. 7.



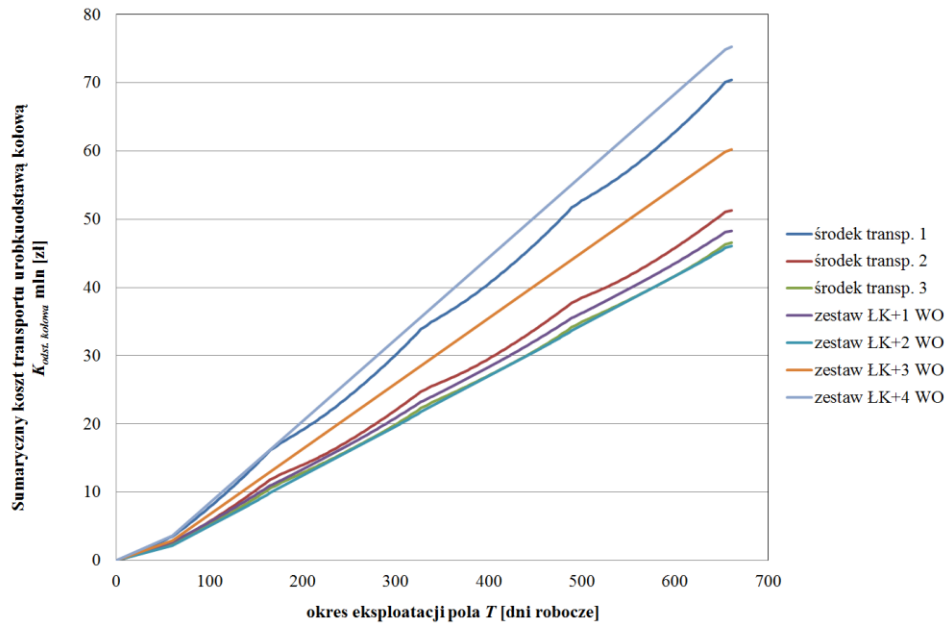
Rys. 6. Kształtowanie się kosztów odstawy kołowej  $K_{odst.kołowa}$  w czasie trwania eksploatacji pola wydobywczego



Rys. 7. Koszty odstawy kołowej dla różnych strategii synchronizacji linii frontu wydobywania z punktami wysypowymi

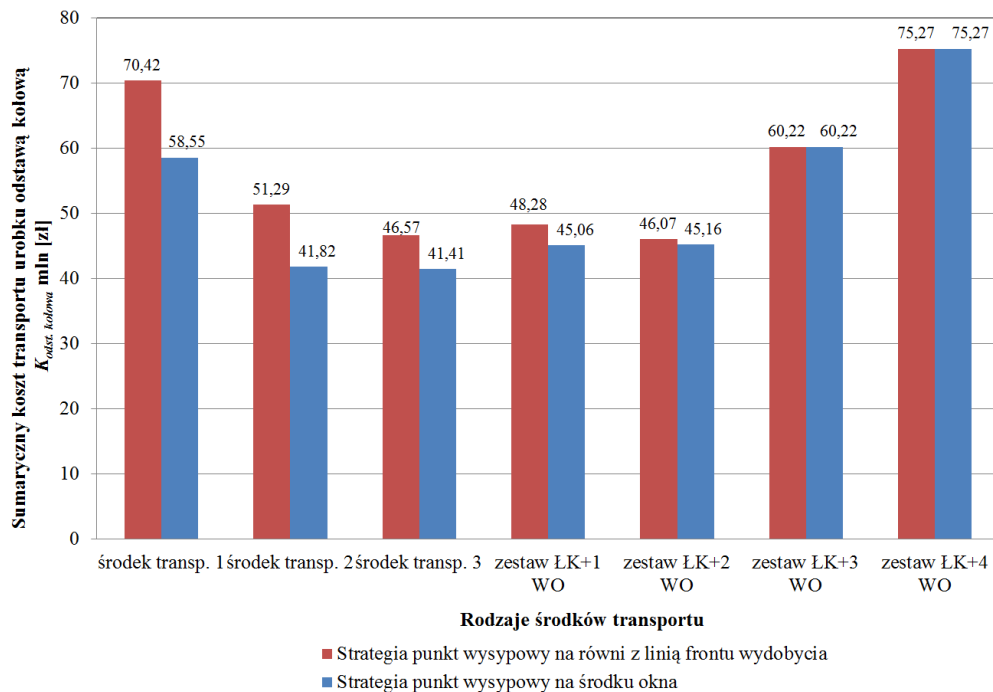
W analizowanym przypadku typowego pola wydobywczego różnica w kosztach transportu odstawą kołową dla etapu rozczinki  $K_{Rodst.kołowa}$  wynosi 11,3%. Dla etapu likwidacji  $K_{Lodst.kołowa}$  różnica ta sięga 10,5%. Koszty odstawy kołowej  $K_{odst.kołowa}$  podczas prowadzenia eksploatacji zależą niewątpliwie od środka transportu, przeznaczonego do przewożenia urobku. Dysponując

modelem kosztów eksploatacji pola wydobywczego określiłem jaki rodzaj środka transportu najlepiej pasuje do konkretnego pola wydobywczego. Wyniki porównania zebrano na rys. 8.



Rys. 8. Sumaryczny koszt odstawy kołowej  $K_{odst.kolowa}$  wyznaczony dla różnych środków transportu

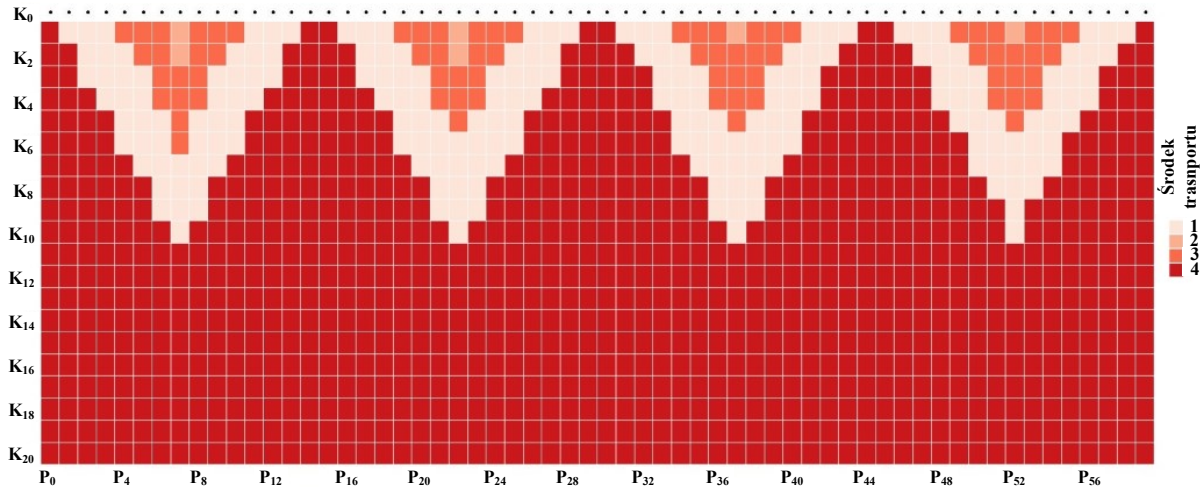
Porównanie kosztów odstawy dla różnych środków transportu przy dwóch prezentowanych strategii synchronizacji linii frontu wydobywania z udostępnianiem kolejnych punktów wysypowych pozwala stwierdzić, w konsekwencji skrócenia koniecznej do pokonania drogi, najlepiej dopasowanym środkiem transportu dla analizowanego pola jest tym razem środek transportu 3, co przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Porównanie kosztów odstawy  $K_{odst.kolowa}$  dla różnych środków transportu przy dwóch prezentowanych strategiach synchronizacji linii frontu



Połączenie strategii synchronizacji linii frontu wydobywania, polegającej na uruchamianiu punktów wyspowych przed linią frontu tym razem z **ciągłym** doбором optymalnego środka transportu, pozwoliło na znalezienie najkorzystniejszego kosztowo rozwiązania dla czynności transportowych  $K_{odst. kołowa} = 32,12$  mln zł. Wizualizację efektów metody ciągłego doboru środków transportu przedstawia rys. 10, dla etapu rozczinki.



Rys. 10. Dobór środków transportu dla etapu rozczinki, strategia „punkt wyspowy na środku okna”

Pod pojęciem **ciągły** dobór należy rozumieć prowadzenie stosownych wyliczeń na najlepszy środek transportu na aktualnie pokonywanej odległości i ilości urobku z możliwie największą częstotliwością, umożliwiającą wymianę środków transportu. Ładowarki i wozy odstawy zjeżdżają do Komory Maszyn Ciężkich (KMC) co dwie zmiany, na czynności serwisowe, tankowanie i naprawy. Jest to dogodny moment, aby od nowa przydzielić im kolejne zadania transportowe, dopasowując dostępne na KMC środki transportowe do nowych zadań.

#### *Projektowanie rozmieszczenia punktów wyspowych – proponowany algorytm*

Do kolejnego czynnika wpływającego na koszty transportu urobku, poza wymiarami geometrycznymi pola wydobywczego, metodami synchronizacji uruchamiania punktów wyspowych na przenośnikach taśmowych wraz z przemieszczaniem się linii frontu wydobywania, czy doбором odpowiedniego środka transportu, zaliczyć **można umiejscowienie i liczbę punktów wyspowych** na przenośniku taśmowym. Intuicyjnie można założyć, że rozmieszczenie równomierne punktów wyspowych w skali całego pola wydobywania powinno skutkować skróceniem dróg transportowych dla odstawy kołowej. Również im więcej punktów wyspowych na przenośniku taśmowym, tym bardziej skraca się droga dla odstawy kołowej. Zmniejszenie kosztów odstawy kołowej skutkuje jednak wzrostem kosztów odstawy taśmowej (koniecznej jest wykonanie większej liczby punktów wyspowych oraz przedłużanie przenośnika taśmowego).

Zapisano funkcję celu, przy pomocy której wyznaczona zostanie optymalna liczba okien  $o$ , co można wyrazić wzorem na minimum całkowitego kosztu odstawy urobku  $K_{odst. urobku}$ :

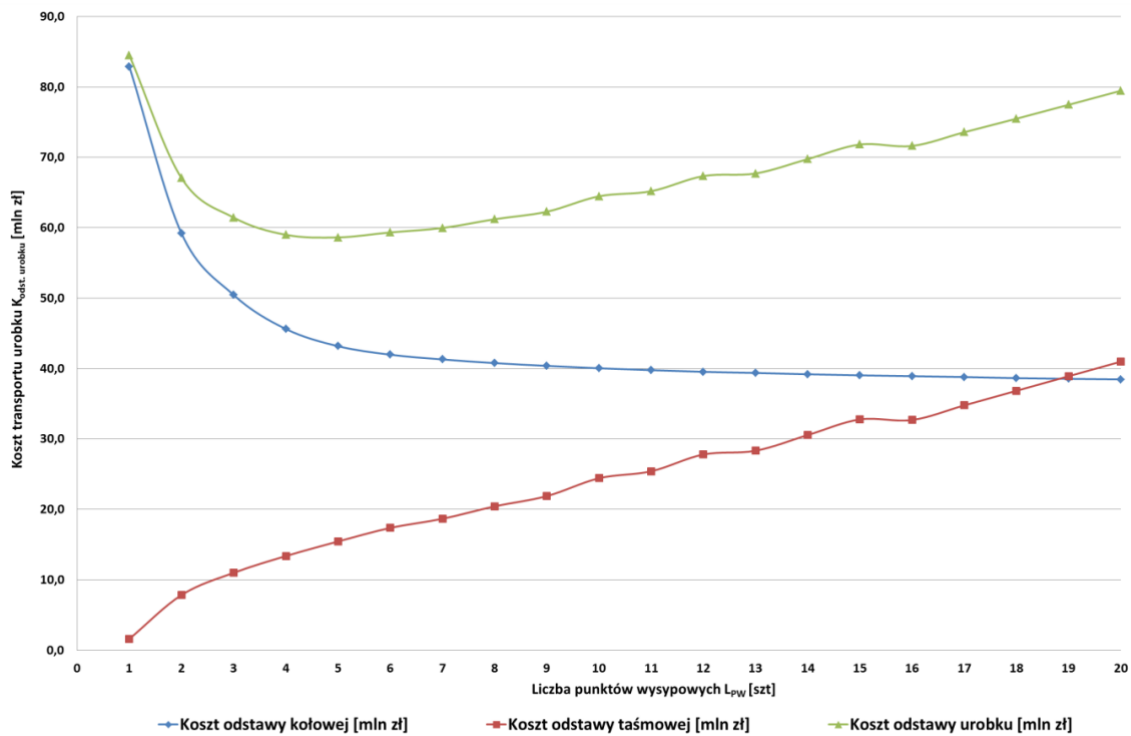
$$O_{opt} = \arg \min_{o \in \{1, \dots, L\}} K_{odst. urobku}(o) \quad (6)$$

gdzie  $O_{opt}$  jest liczbą punktów wyspowych dla której koszty odstawy urobku  $K_{odst. urobku}$  są minimalne.

Należy znaleźć minimum globalne kosztów odstawy kołowej  $K_{odst. kołowa}$  oraz odstawy taśmowej  $K_{odst. taśmowa}$ , a tym samym optymalne rozmieszczenie punktów wyspowych nad przenośnikiem taśmowym. W tym celu istnieje potrzeba określenia kosztów odstawy taśmowej  $K_{odst. taśmowa}$  i zastosowania wyznaczonej zależności w modelu kosztów transportu urobku.

W celu poszukiwań minimum całkowitego kosztu odstawy urobku  $K_{odst. urobku}$  należy wykorzystać różną liczbę punktów wyspowych  $o$ , co jest tożsame z różną liczbą okien obliczeniowych, zakładając że punkty wyspowe rozkładają się równomiernie na całej długości pola wydobywczego.

Analiza wartości kosztów odstawy kołowej i taśmowej urobku pozwala na powiązanie  $K_{odst. urobku}$  z liczbą punktów wyspowych PW, co przekłada się na odległość pomiędzy punktami wyspowymi. Znając liczbę przecinek  $l$  w oknie obliczeniowym oraz wymiary chodników  $S_{ch}$  i filarów technologicznych  $D_f$ , nie jest problemem wyliczenie odległości pomiędzy punktami wyspowymi w każdym z analizowanych przypadków. Zebrane wartości kosztów  $K_{odst. urobku}$  dla różnej liczby punktów wyspowych posłużyły następnie do wykonania rys. 11.



Rys. 11. Wartości kosztów odstawy kołowej  $K_{odst. kołowa}$  i odstawy taśmowej  $K_{odst. taśmowa}$  w zależności od liczby punktów wyspowych

Na rys. 11 można zaobserwować kształtowanie się kosztów odstawy kołowej  $K_{odst. kołowa}$  i odstawy taśmowej  $K_{odst. taśmowa}$ . Widoczne jest również minimum globalne dla  $K_{odst. urobku}$  przy liczbie punktów wyspowych  $L_{PW}=5$ . Wahania kosztów odstawy taśmowej  $K_{odst. taśmowa}$  wynikają z braku podzielności bez reszty liczby przecinek  $L$  przez liczbę punktów wyspowych PW, w konsekwencji do obliczeń wykorzystywano więc ostatnie okna obliczeniowe o większych (ewentualnie mniejszych) wymiarach.

Na rys. 11 można dopatrzeć się analogii do modelu Wilsona (wg wzoru Harrisa<sup>[4, 5, 6]</sup>). Jego idea umożliwia wyznaczenie optymalnej wielkości partii dostawy, tak aby przy rosnących liniowo kosztach utrzymania zapasów (zależnych od liczby magazynów) i malejącym kosztem zamawiania (wraz w wielkością zamówienia) wyznaczyć minimum całkowitego kosztu utrzymania zapasów. Na rys. 14 odpowiednikiem całkowitego kosztu zapasów jest koszt odstawy urobku, osiągający swoje minimum w przy określonej liczbie punktów wysypowych, a dalsze zwiększanie liczby punktów wysypowych nie prowadzi do spadku sumarycznego kosztu odstawy urobku.

*Właściwa relacja wymiarów boków pola wydobywczego*

W tym miejscu nasuwa się pytanie, czy istnieje relacja wymiarów boków  $m:L$  pola wydobywczego, dla których suma kosztów odstawy kołowej i taśmowej jest najmniejsza?

Aby takie porównanie było możliwe, należy do porównania wybrać pola wydobywcze o stałej powierzchni i miąższości furty eksploatacyjnej  $h$ , co gwarantuje pozyskanie stałej ilości urobku. Tylko w takim przypadku do transportu przewidziana będzie ta sama masa urobku. Warunek ten można zapisać jako:

$$mL = \text{const} \quad (7)$$

Poszukiwania rozwiązania optymalnej relacji boków  $m:L$  pola wydobywczego można zapisać wyrażeniem:

$$m:L_{opt} = \arg \min_{mL = \text{const}} K_{odst. \text{ urobku}}(m, L) \quad (8)$$

Dla wzorów (7) i (8) przeprowadzono obliczenia w środowisku R, uwzględniając tym samym warunek stałej powierzchni pola wydobywczego, badane pola wydobywcze charakteryzują stałymi parametrami geometrycznymi. Do zadań transportowych wydelegowano środek transportu nr 3. Dla każdego przypadku wyznaczano optymalną liczbę okien  $O_{opt}$ .

Z modelu obliczeniowego zebrano uzyskane wartości całkowitego kosztu odstawy urobku  $K_{odst. \text{ urobku}}$  w zależności od relacji boków  $m:L$ . Do analizy wybrano pola wydobywcze o następujących relacjach  $m:L$  dla boków: 4:300, 5:240, 6:200, 8:150, 10:120, 12:100, 15:80, 16:75, 20:60, 24:50, 25:48, 30:40, 40:30, 48:25, 50:24, 60:20, 75:16, 80:15, 100:12, 120:10, 150:8, 200:6, 240:5, 300:4. Wszystkie te pola wydobywcze spełniają warunek (7) o stałej powierzchni, co umożliwia ich bezpośrednie porównanie.

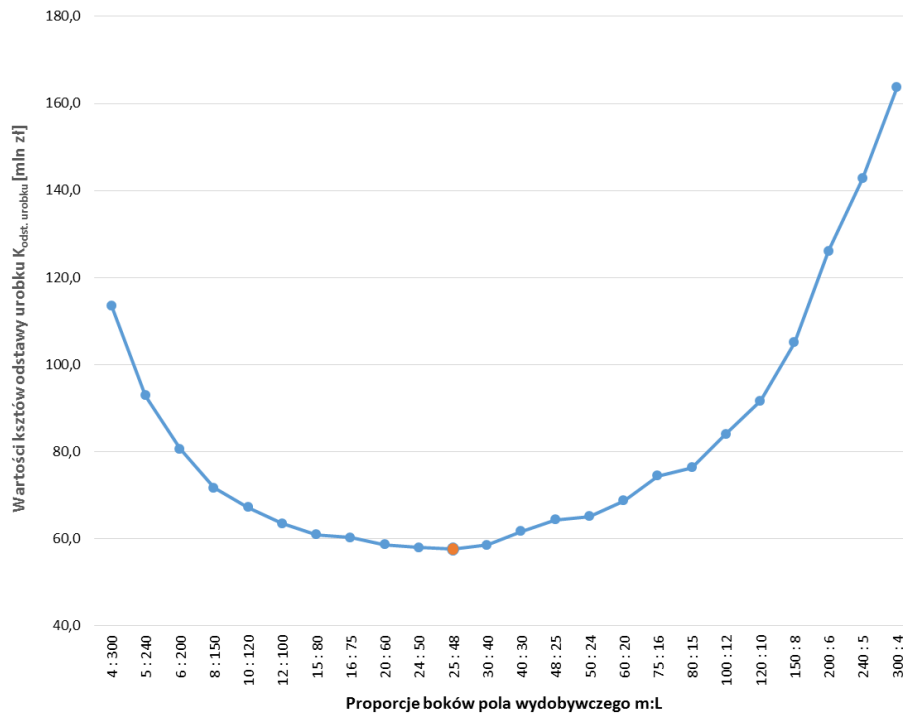
Zgodnie z oczekiwaniem, z rys. 12 wynika, że rzeczywiście istnieje relacja boków  $m:L$  pola wydobywczego, dla którego całkowitego kosztu odstawy urobku  $K_{odst. \text{ urobku}}$  osiąga globalne minimum, które należy uznać za optymalne rozwiązanie. Odczytana wartość relacji boków, dla rozpatrywanych warunków, przy której osiągnięto minimalny całkowity koszt odstawy urobku, to  $m:L=25:48$ . Należy bezwzględnie pamiętać, że prezentowane rozwiązanie zostało wyznaczone dla określonych warunków, a w szczególności danych o kosztach eksploatacji związanych

<sup>4</sup> Czaplicki, J.M.: Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations. CRC Press, 2008

<sup>5</sup> Battini, D. et al.: A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications. International Journal of Production Economics. 149, s. 145–153, 2014

<sup>6</sup> Zhao, Q.-H. et al.: Model and algorithm of an inventory problem with the consideration of transportation cost. Computers & Industrial Engineering. 46, 2, s. 389–397 2004

z konkretnymi ładowarkami łyżkowymi i przenośnikami taśmowymi (wraz z punktami wysypowymi).



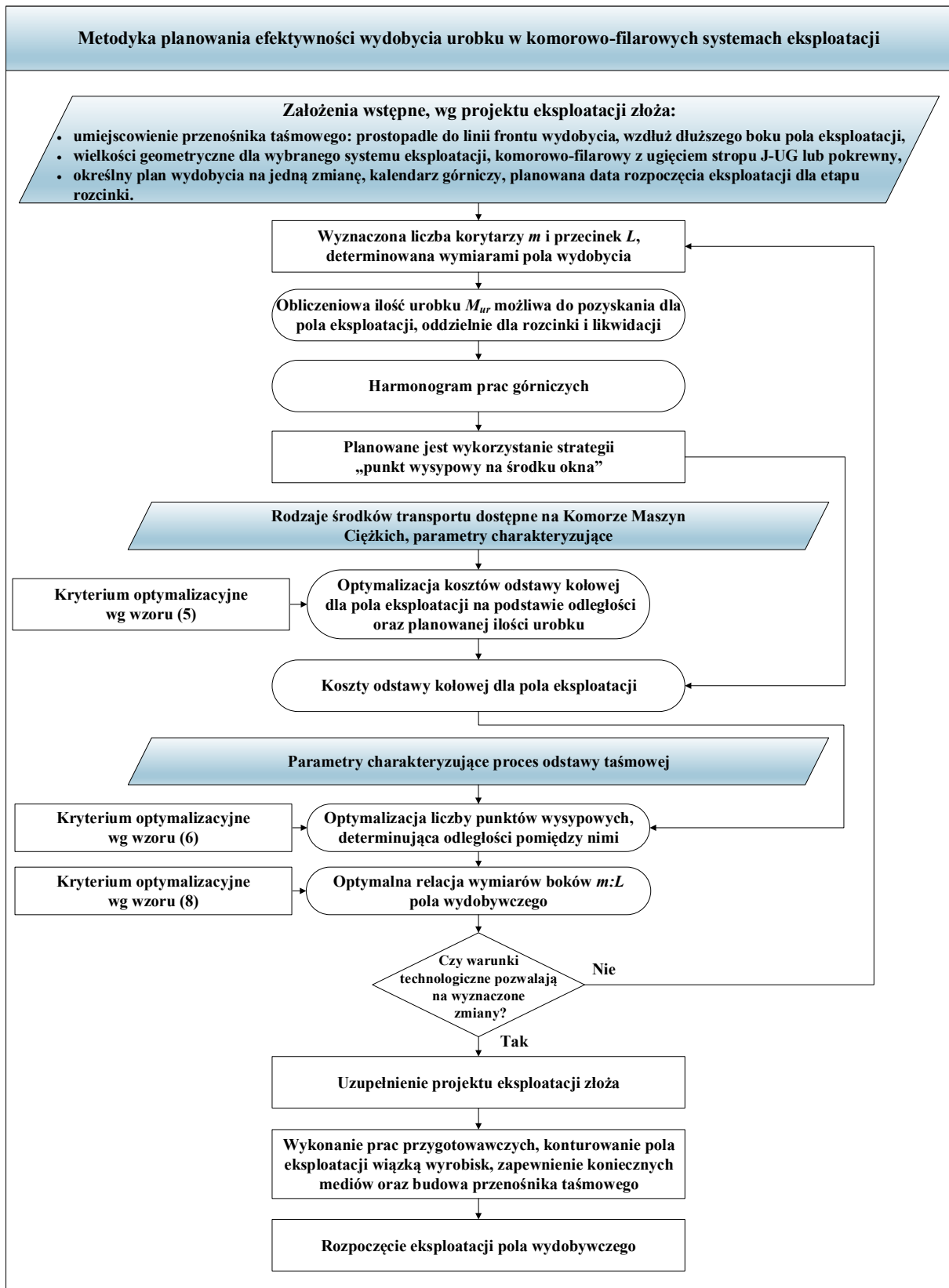
Rys. 12. Wartości całkowitego kosztu odstawy urobku  $K_{odst. urobku}$  w zależności od relacji boków pola wydobywczego  $m:L$

Proponowana metoda umożliwia zatem wyznaczenie **właściwej relacji boków pola wydobywczego**, przy której  $K_{odst. urobku}$  osiąga globalne minimum. Co ważne, obliczenia te można przeprowadzić już na etapie projektowania eksploatacji złoża, gdy znane są jego wymiary geometryczne i planowane rodzaje środków transportu urobku.

*Metodyka planowania efektywności wydobywania urobku dla komorowo-filarowych systemów eksploatacji*

Proponowane metody synchronizacji rozmieszczania punktów wysypowych wg strategii „punkt wysypowy na środku okna”, doboru środków transportu urobku oraz algorytmu rozmieszczania punktów wysypowych w optymalnej odległości od siebie, powinny być wykorzystane podczas opracowywania projektu eksploatacji złoża. Schemat proponowanej metodyki ukazuje rys. 13.

Po zebraniu założeń wstępnych dla nowoprojektowanego pola eksploatacji przystępuje się do określenia jego charakterystyki, uwarunkowań powierzchniowych, a na tej podstawie doboru systemu eksploatacji. Następnie opracowuje się schematy dróg ucieczkowych, sposobu przewietrzania czy zabezpieczeń przed występującymi zagrożeniami. Kolejnym etapem jest opracowanie schematów zasilania w energię oraz układu rurociągów wodnych, przeciwpożarowych, sprężonego powietrza czy podsadzkowych. Możliwe jest również podjęcie decyzji odnośnie umiejscowienia przenośnika taśmowego oraz schematu rozmieszczenia filarów ochronnych. W tym momencie wyznacza się również wielkości geometryczne charakteryzujące złoża: szerokość i długość filara technologicznego, szerokość wyrobisk, natomiast liczba korytarzy i przecinek wynika z wymiarów pola.



Rys. 13. Schemat metodyki planowania efektywności wydobycia urobku

W kalendarzu górniczym dostępne są informacje o liczbie sobót roboczych i tzw. „czarnych niedziel” oraz dacie rozpoczęcia etapu rozcinki i określonym systemie zmianowym. Można więc wyznaczyć – w ujęciu miesięcznym – harmonogram postępów prac górniczych. Na dalszych

etapach przystępuje się do doboru rodzaju i typów maszyn, urządzeń, instalacji, materiałów oraz środków strzałowych i sprzętu strzałowego, przewidzianych do zastosowania w wyrobiskach górniczych. W celu skrócenia sumarycznej drogi pokonywanej przez środki odstawy kołowej podczas transportu urobku należy zastosować zaproponowaną strategię „punkt wysypowy na środku okna”, co wpływa na schemat rozmieszczenia punktów wysypowych.

Do obsługi projektowanego pola wydobywczego przewidziany jest określony oddział górniczy, co determinuje zestaw dostępnych różnego typu ładowarek łyżkowych i wozów odstawy, zebranych w Komorze Maszyn Ciężkich. Dla tego zbioru maszyn należy przeprowadzić wybór najefektywniejszego kosztowo rodzaju środka transportu w zależności od odległości i planowanej ilości urobku, wg kryterium optymalizacyjnego (5). Ponieważ oddział górniczy eksploatuje najczęściej trzy pola jednocześnie, konsekwencją jest konieczność podziału dostępnego w KMC zbioru maszyn górniczych na trzy części.

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie liczby punktów wysypowych, umieszczanych nad przenośnikiem taśmowym. Ich liczba zdefiniuje odległość pomiędzy nimi, wynikającą z liczby przecinek pomiędzy punktami wysypowymi. Do tego celu przydatne będzie kryterium optymalizacyjne wg wyrażenia (6), wykorzystujące sumę kosztów odstawy kołowej i taśmowej. Zaprojektowane w ten sposób punkty wysypowe, tzn. ich umiejscowienie, może być wykonane z odpowiednim wyprzedzeniem. Przygotowanie miejsc pod punkty wysypowe odpowiednio wcześniej ułatwi odpowiednią synchronizację momentu ich otwierania względem przemieszczającej się linii frontu wydobywania rozczinki. Ma to szczególne znaczenie w przypadku konieczności zwiększenia poziomu wydobywania z danego pola eksploatacji. Z kolei wykonanie wszystkich punktów wysypowych wraz z przenośnikiem taśmowym, na etapie konturowania pola wydobywczego wiązką wyrobisk, byłoby niepotrzebnym zamrażaniem kapitału zakładu górniczego.

Po optymalizacji liczby punktów wysypowych możliwe jest sprawdzenie czy zaproponowana relacja boków  $m:L$  pola wydobywczego jest najkorzystniejsza pod kątem kosztów odstawy urobku, na podstawie kryterium zapisanego we wzorze (8). Istotne są tutaj jednak ograniczenia technologiczne wynikające z ukształtowania górotworu, występowania uskoku złoże czy obszarów zrobów z wyeksploatowanych już złożeń. Nie zawsze będzie więc możliwe zaprojektowanie pól o optymalnej kosztowo relacji wymiarów boków  $m:L$ .

Realizacja wydobywania urobku wg projektu eksploatacji złoże, uzupełnione o obliczenia na podstawie metod i algorytmów składających się na proponowaną metodykę planowania efektywności wydobywania urobku dla komorowo-filarowych systemów eksploatacji, pozwoli na uzyskanie wymiernych oszczędności finansowych. Sposób organizacji kopalni w kilkanaście oddziałów górniczych, funkcjonujących równolegle na oddzielnych polach złożeń rud, ułatwia zastosowanie proponowanych metod i algorytmów obliczeniowych dla całej kopalni. Po dopasowaniu modelu matematycznego na pokonywaną sumaryczną drogę podczas odstawy urobku do warunków grubych i cienkich złożeń eksploatowanych systemem komorowo-filarowym, będzie można zastosować opracowane podejście w kopalniach o wymienionych charakterystykach złożeń.

### **Osiągnięte wyniki**

Zaprezentowane w monografii wyniki multidyscyplinarnych prac naukowo-badawczych, dotyczące transportu urobku odstawą oponową oraz rozmieszczania punktów wysypowych nad

biegnącym wzdłuż pola wydobywania przenośnikiem taśmowym, pozwalają na spojrzenie na całość procesów logistycznych przypisanych do pola wydobywczego, jak również na kluczowe miejsca powstawania kosztów. Realizacja cząstkowych zadań badawczych pozwoliła na zaproponowanie metodyki planowania efektywności wydobywania urobku dla komorowo-filarowych systemów eksploatacji, a jej efektem jest osiągnięcie następujących celów:

1. prezentacja stanu wiedzy w obszarze systemów logistycznych w kopalniach głębinowych. Przegląd literatury wykazał brak wskazówek (opartych na regułach matematycznych), w jaki sposób synchronizować w czasie uruchamianie punktów wysypowych względem przemieszczającej linii frontu, co jest szczególnie ważne przy linii frontu wydobywania prostopadłej do przenośnika taśmowego. Ponadto stwierdzono rozbieżne zalecenia odnośnie odległości, na jakich powinien być transportowany urobek przez poszczególne rodzaje ładówek i zestawy środków transportowych, składających się z ładowarki oraz różnej liczby wozów odstawy;
2. wykonano model matematyczny wyznaczający sumaryczną drogę pokonywaną przez środki transportu podczas eksploatacji pola wydobywczego, uwzględniając dwie fazy występujące dla systemu komorowo-filarowego z ugięciem stropu: rozcięcie i likwidację;
3. zaproponowano metodę synchronizacji rozmieszczenia punktów wysypowych „punkt wysypowy na środku okna” względem linii frontu wydobywania. Aby ocenić jej efektywność dokonano analizy porównawczej (modele matematyczne w środowisku programistycznym R) do obecnie stosowanych metod, która wykazała potencjał znacznej redukcji pokonywanej drogi, przez środki transportu podczas eksploatacji złoża. **Oszacowany efekt zmniejszenia drogi pokonywanej przez środki transportu wynosi 20÷30%;**
4. opracowano model matematyczny umożliwiający dobór konkretnego typu ładowarki lub zastawu ładowarka plus wozy odstawy dla zadanej odległości transportu i ilości urobku w czasie jednej zmiany. Kryterium doboru jest koszt transportu, jak również wyznaczono zakresy odległości optymalnego wykorzystania różnych środków transportowych (rys. 6), przy określonych całkowitych kosztach ich funkcjonowania;
5. wykonano narzędzie informatyczne do harmonogramowania eksploatacji złoża, które umożliwia całościową analizę kosztów transportu przy różnych wariantach czasowych uruchamiania punktów wysypowych oraz wykorzystaniu różnych środków transportu, przy jego pomocy możliwe jest dobranie optymalnej kosztowo struktury wykorzystywanych środków transportu. Narzędzie to pozwoliło na oszacowanie sumarycznych, możliwych do osiągnięcia korzyści finansowych z proponowanej metodyki. **Oszacowany efekt doboru konkretnego środka transportu na podstawie modelu matematycznego (wg pkt. 4) to ograniczenie o 25% kosztów transportu urobku w obrębie pola eksploatacji;**
6. opracowano algorytm umożliwiający wyznaczenie zalecanych odległości pomiędzy punktami wysypowymi obsługującymi pole wydobywcze, tak aby sumaryczny koszt odstawy oponowej i przenośnikiem taśmowym był jak najmniejszy;
7. zaproponowano algorytm służący do wyznaczania zalecanych proporcji wymiarów boków pola wydobywczego, tak aby sumaryczny koszt odstawy oponowej i taśmowej możliwie minimalny, przy wykorzystaniu ustalonej, optymalnej kosztowo liczby punktów wysypowych urobku.

## Potencjalne wykorzystanie wyników osiągnięcia

W obecnej chwili kopalnie głębinowe na całym świecie prowadzą eksploatację jednocześnie setek pól wydobywczych rud metali nieszlachetnych czy związków potasu i soli kamiennej za pomocą systemu komorowo-filarowego, co przekłada się na dużą wartość użytkową opracowanej metodyki. Prezentowane metody planowania i optymalizacji transportu urobku można wykorzystać do projektowania rozmieszczenia punktów wysypowych, doboru środków transportu oraz wymiarów pól wydobywczych, tak aby już na tym etapie świadomie kształtować koszty odstawy kołowej i taśmowej w całym łańcuchu logistycznym.

Przedstawione w pracy rozważania adresowane są przede wszystkim do kierownictwa zakładów górniczych (Kierowników Działu Robót Górniczych i Kierowników Ruchu Działu Górniczego, Nadsztygarów Górniczych oraz Zawiadowców), ponieważ osoby te kierują całokształtem dołowych robót górniczych kopalni, m. in. poprzez opracowywanie kompleksowych projektów eksploatacji złóż czy planów ruchu. Proponowana metodyka, uzupełniona o dedykowane oprogramowanie, byłaby ważnym elementem cyfryzacji kopalni głębinowej (tzw. inteligentnej kopalni), wspierając tak pożądane zarządzanie procesowe w cyklu PDCA (zaplanuj, wykonaj, sprawdź, popraw, ang. Plan-Do-Check-Act) na etapie planowania eksploatacji. Na etapie sprawdzania możliwa byłaby również weryfikacja sposobu realizacji procesów wydobywczych, przy współpracy ze zdalną diagnostyką maszyn, otwierając w ten sposób kolejne możliwości do dalszego usprawniania procesów górniczych.

## Podsumowanie dotyczące osiągnięcia naukowego, wpływ na dyscyplinę naukową

Reasumując, głównym efektem prowadzonych przez mnie prac naukowo-badawczych związanych z planowaniem eksploatacji samojezdnych maszyn górniczych wykorzystywanych w kopalniach głębinowych jest:

- opis matematyczny sumarycznej drogi pokonywanej przez środki transportu podczas eksploatacji pola wydobywczego, w komorowo-filarowych systemach eksploatacji z ugięciem stropu, którego dotychczas brakowało w dostępnej literaturze,
- metoda synchronizacji rozmieszczenia punktów wysypowych „punkt wysypowy na środku okna” względem linii frontu wydobywania, dotychczas funkcjonuje w komorowo-filarowych systemach eksploatacji odmienna praktyka górnicza,
- metoda doboru konkretnego typu ładowarki lub zestawów ładowarka plus różna liczba wozów odstawy, dla zadanej odległości transportu i ilości urobku zaplanowanej do transportu podczas jednej zmiany roboczej, której go celem jest redukcja całościowych kosztów transportu. Jak wykazano w dotychczasowej literaturze przedmiotu zalecenia odnośnie doboru ładowarek były rozbieżne i nie uwzględniały zestawów maszyn;
- algorytm umożliwiający wyznaczenie optymalnej kosztowo liczby punktów wysypowych urobku, tak aby sumaryczny koszt odstawy oponowej i przenośnikiem taśmowym był możliwie najmniejszy. Na tej podstawie określono charakter zależności liczby punktów wysypowych a kosztem odstawy urobku oraz zauważono analogię badanego zjawiska do modelu optymalnej wielkości partii dostawy Wilsona;
- algorytm przeznaczony do wyznaczania zalecanych proporcji wymiarów boków pola wydobywczego, w którym kryterium optymalizacyjnym jest sumaryczny koszt odstawy oponowej i taśmowej.



Opracowane modele matematyczne, metody i algorytmy składają się na metodykę planowania i podniesienia efektywności wydobywania urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji. Metodyka ta jest przygotowywana do wdrożenia przy opracowywaniu kompleksowych projektów eksploatacji złóż i planów ruchu przez kierownictwo zakładów górniczych.

Zaprezentowane wyniki prac wyznaczają kierunki dalszych badań naukowych, które mogą dotyczyć:

- opracowania modeli matematycznych pokonywanej drogi dla odstawy kołowej w złożach o dużej miąższości oraz cienkowarstwowych,
- metod doboru środków transportu kołowego w kopalniach głębinowych, bazujących nie tylko na ich kosztach eksploatacji, ale również bazujących na innych kryteriach, związanych m.in. z czynnikami wpływającymi na ochronę środowiska naturalnego (np. zawartością tlenu węgla, tlenków azotu i siarki w spalinach samojezdnych wozów górniczych),
- opracowania modeli kosztów eksploatacji pola, po uwzględnieniu kosztocłonności pozostałych operacji górniczych, na tej podstawie możliwe będą badania zależności pomiędzy wymiarami filarów technologicznych a efektywnością prowadzenia eksploatacji.

## **6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych i innych osiągnięć w zakresie dydaktyki, organizacji i popularyzacji nauki**

### **a. Charakterystyka działalności naukowo-badawczej przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych**

Podczas realizacji studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej moje prace naukowo-badawcze związane były z eksploatacją maszyn i urządzeń oraz szeroko rozumianą organizacją systemów produkcyjnych, w tym projektowaniem i reorganizacją rozmieszczenia stanowisk roboczych dla produkcji seryjnej. W celu oceny proponowanych rozwiązań, uzyskanych na podstawie zastosowania matematycznych metod optymalizacji rozmieszczenia stanowisk roboczych (metodą trójkątów Schmigalli oraz CORELAP), budowałem modele symulacyjne analizowanych systemów produkcyjnych. Potrzeba taka wynikała z faktu, że przy uwzględnieniu ograniczeń technologicznych zaprojektowany layout odbiega często w znacznym stopniu od optymalnego, teoretycznego rozwiązania. Model symulacyjny umożliwia również analizę innych aspektów analizowanej linii produkcyjnej, np. równomierności obciążenia stanowisk roboczych, zapobiegając w ten sposób wystąpieniu zjawiska „wąskiego gardła”.

Pierwsze prace badawcze w tym obszarze dotyczyły linii produkcyjnej dwóch rodzajów zwrotnic autobusowych w ZS „Jelcz” S.A. Kluczowym aspektem w projekcie było uwzględnienie specyfiki modelowanych operacji technologicznych, których nie można rozpatrywać w oderwaniu od rodzaju środków transportu międzyoperacyjnego. Budowano modele symulacyjne badanego systemu produkcyjnego, do tego celu wykorzystano pakiet symulacyjny ProModel. Przeprowadzono walidację modelu, porównując czas potrzeby na realizację zlecenia produkcyjnego otrzymany z modelu symulacyjnego z rzeczywistymi parametrami wydajnościowymi linii produkcyjnej. Przeprowadzono eksperymenty optymalizacyjne z różną wielkością partii produkcyjnej (wykorzystywano oprogramowanie SimRunner), wykorzystując jako kryteria maksymalne wykorzystanie pracowników

i obrabiarek oraz minimalny średni czas przebywania przedmiotów w systemie produkcyjnym. Efekty tych prac zawarto w artykule [załącznik 3: II.E.1] i zaprezentowano na konferencji Automatyzacja produkcji w 2000 roku [załącznik 3: II.L.2]. W kolejnej pracy dotyczącej linii produkcyjnej zwrotnic autobusowych badano wpływ kolejności partii produkcyjnych w planie produkcji na czas realizacji zlecenia produkcyjnego [załącznik 3: II.E.8], prezentacja odbyła się na konferencji Modern Trends in Manufacturing [załącznik 3: II.L.4] w 2002 roku.

Dostrzeżono potrzebę opracowania metody budowy modeli symulacyjnych skracającej czas potrzebnego na ich budowę, dotychczas do 70% czasu podczas realizacji projektów z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych poświęcano na zbieranie danych i budowę modeli. Pomysł na udoskonalenie dotychczasowych metod oparto na wprowadzeniu obiektów typu „czarna skrzynka” (nazwanych w pracy doktorskiej „makrokomponentami”), reprezentujących grupę stanowisk czy rodzin wyrobów w taki sposób, aby zapewnić dostateczną szczegółowość i dokładność wyników uzyskanych na podstawie modelu. Dodatkowo na zagadnienia związane z automatyzacją pozyskiwania danych do budowy modeli symulacyjnych pozyskałem w KBN grant promotorski [załącznik 3: II.J.3]. Sposobnością do testowania opracowywanej metody budowy modeli symulacyjnych były dwa (realizowane równolegle) projekty pozyskane bezpośrednio z zakładów przemysłowych, w których byłem głównym wykonawcą:

- *„Dobór liczby środków transportu oraz analiza natężenia przepływu materiałów na drogach transportowych dla nowoprojektowanego rozmieszczenia stanowisk roboczych”*, Robert Bosch Układy Hamulcowe w Mirkowie, data zakończenia 2001 r. [załącznik 3: III.L.1],
- *„Opracowanie i optymalizacja layoutu oraz analiza przepływu materiału i marszrut transportowych w rozbudowywanej fabryce GKN”*, GKN Driveline Polska w Oleśnicy, data zakończenia 2002 r. [załącznik 3: III.L.2].

Obydwa projekty związane były dopasowaniem parku maszynowego do zwiększonego planu produkcji, opracowaniem nowego rozmieszczenia stanowisk roboczych z uwzględnieniem wymogu skrócenia dróg transportowych oraz wykorzystania jak najmniejszej powierzchni hali produkcyjnej. Przedsiębiorstwo Bosch Układy Hamulcowe przenosiło swoją fabrykę do nowej lokalizacji, była to okazja do rozwinięcia zagadnień związanych z relokacją linii produkcyjnej. Z kolei przedsiębiorstwo GKN Oleśnica aby sprostać nowym zamówieniom klientów powiększało powierzchnię hali produkcyjnej o 100% oraz czyniło starania aby podnieść poziom wykorzystania maszyn i urządzeń, przywiązując znaczą wagę do poziomu wskaźnika Overall Equipment Effectiveness (OEE). Do realizacji każdego z tych zadań projektowych wykorzystywano narzędzia symulacyjne budując adekwatne modele, wykorzystując je do weryfikacji opracowanych rozwiązań. Efekty tych prac zawarto czasopiśmie Zarządzanie Przedsiębiorstwem oraz w artykułach konferencyjnych [załącznik 3: II.E.3-II.E.5 oraz II.E.9 i E.II.10]. Zweryfikowano pozytywnie zaproponowaną metodę budowy modeli symulacyjnych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem „czarnych skrzynek”. Wyniki prac prezentowano na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych: Manufacturing '01, Zintegrowany rozwój produktu i procesów

produkcyjnych, Modern Trends in Manufacturing oraz Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling & Simulation [załącznik 3: II.L.3, II.L.6, II.L.9 i III.B.1].

Drugim obszarem zainteresowań naukowych był sposób zapisu danych o produkcji oparty o procesowo zorientowaną strukturę wyrobu. Przeanalizowano wpływ sposobu zapisu danych o wyrobie na planowanie prac projektowych w konstrukcji i technologii, procesach logistycznych, gospodarce materiałowej i magazynowej. Zaproponowano wykorzystanie modelu struktury produktu jako podstawy do projektowania wielofunkcyjnych systemów informatycznych [załącznik 3: II.E.2], wyniki badań zaprezentowano na konferencji Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie [załącznik 3: II.L.1].

Bazując na doświadczeniach zebranych podczas realizacji projektów związanych z projektowaniem i doбором parku maszynowego, podczas których budowano modele systemów produkcyjnych, dokonano porównania wykorzystywanych metod (metoda planowania zdarzeń, przeglądu i wyboru działań oraz interakcji procesów) i narzędzi symulacyjnych [załącznik 3: II.E.7]. Wyniki prac przedstawiono na VI Szkola Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji [załącznik 3: II.L.5]. Zdobyte doświadczenie wykorzystano przy kolejnym projekcie, rozpoczętym w 2003 roku, dotyczącym zaprojektowania parku maszynowego dla linii produkcyjnej wózka wagonu towarowego w przedsiębiorstwie Bamardier Transportation, budowano modele symulacyjne systemu produkcyjnego w celu minimalizacji odległości pokonywanej przez wytwarzane wyroby, wstępne wyniki zawarto i zaprezentowano w artykule [załącznik 3: II.E.6] na konferencji Zintegrowany rozwój produktu i procesów produkcyjnych [załącznik 3: II.L.8].

W 2003 roku w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej obroniłem pracę doktorską pod tytułem „Zastosowanie modeli makrokomponentów procesowych w symulacji systemów wytwórczych”. Wyniki prac badawczych związanych z realizacją pracy doktorskiej podsumowano w publikacji dotyczącej opracowanego sposobu budowy modeli symulacyjnych systemów produkcyjnych w artykule konferencyjnym [załącznik 3: II.E.11], który zaprezentowano na konferencji Modern Trends in Manufacturing [załącznik 3: II.L.9].

Średnia indywidualnego udziału w publikowanych pracach [załącznik 3: II.E.1-II.E.11] przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych wynosi 64,5%.

#### **b. Charakterystyka działalności naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych**

Od 2003 roku, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, kontynuowałem prace naukowo-badawcze skupiając się przede wszystkim na następujących obszarach:

- metodach budowy modeli symulacyjnych oraz ich zastosowanie w projektowaniu parku maszynowego i reorganizacji systemów produkcyjnych,
- modelowaniu zakłóceń w procesach produkcyjnych i określaniu czynników ryzyka,
- sposobach doboru parku maszynowego do potrzeb wynikających z planów produkcji oraz sposobów rozmieszczania stanowisk pracy,
- metodach automatyzacji importu danych na potrzeby budowy modeli symulacyjnych,
- budowie i zastosowaniu modeli symulacyjnych na potrzeby przemysłu wydobywczego,
- możliwościach zastosowania sieci neuronowych do sterowania produkcją.

Praktyczną sposobność do prowadzenia dalszych prac badawczych dotyczących **metod budowy modeli symulacyjnych oraz ich zastosowania w projektowaniu parku maszynowego i reorganizacji systemów produkcyjnych** miałem (jako główny wykonawca) podczas realizacji projektu (pozyskanego jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych) na zamówienie przedsiębiorstwa Bombardier Transportation [załącznik 3: III.L.3] pt.: „*Wariantowa symulacja uruchomienia programu produkcji ram wózków w latach 2004-2005 w fabryce Bombardier Transportation (Zakład Wózków)*”. Głównym celem było wykonanie projektu parku maszynowego dopasowanego do zwiększonej 5-krotnie skali produkcji oraz opracowanie layoutu wzorcowej linii produkcyjnej, do weryfikacji proponowanych rozwiązań zbudowałem kilka modeli symulacyjnych projektowanej linii produkcyjnej ramy wózka. W 2004 roku zakończyłem realizację projektu badawczego własnego „*Optymalizacja procesu wytwórczego na podstawie procesowo zorientowanej struktury produktu*” [załącznik 3: II.J.3], związanego z opracowaniem metody szybszego i ustandaryzowanego sposobu budowania modeli symulacyjnych systemów produkcyjnych opartych na zasadzie „czarnych skrzynek”.

Skupiłem się następnie na problematyce sposobów realizacji projektów z zastosowaniem modeli symulacyjnych, proponując zalecenia do poszczególnych jego faz, tj.: definiowania problemu, projekcie badania, projekcie pojęciowym modelu, formułowania danych wejściowych, założeń i procesu definicji, budowy modelu, korekty i akceptacja modelu symulacyjnego, przeprowadzania eksperymentów na modelu, sporządzenia dokumentacji, prezentacji wyników oraz zapewnienia trwałości. Efekty prac zawarłem w publikacji [załącznik 3: II.E.12] i przedstawiłem na konferencji Automatyzacja Produkcji [załącznik 3: II.L.10]. Miałem możliwość zastosować narzędzia symulacyjne w projektowaniu i reorganizacji systemów produkcyjnych m.in. przy optymalizacji kosztowej gniazd montażowych półosi samochodowych, weryfikacji czasów cyklu w procesie wytwarzania skutera elektrycznego czy podnoszeniu wydajności produkcji krążników do przenośników taśmowych. Wyniki prac z tego obszaru zostały opublikowane w artykułach w czasopiśmie Zarządzanie Przedsiębiorstwem [załącznik 3: II.E.15], publikacjach konferencyjnych [załącznik 3: II.E.16, II.E.18, II.E.28, II.E.33, II.E.39, II.E.41, II.E.42]. Zostały one zaprezentowane na konferencjach New Trends in Simulation [załącznik 3: II.L.11], Hradec Economic Days [załącznik 3: II.L.15, II.L.24], Computer Information Systems and Industrial Management [załącznik 3: III.B.4], Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji [załącznik 3: III.B.13], Economics and Management Innovations [załącznik 3: III.B.11] oraz Engineering for Rural Development [załącznik 3: III.B.14]. Część opublikowanych prac w tym obszarze [np. załącznik 3: II.E.15] była zrealizowana ramach Wirtualnego Instytutu Usług Symulacyjnych dla Produkcji „SIM-SERV” [załącznik 3: III.E.3].

Kolejne prace badawcze prowadziłem od 2004 roku z obszaru **modelowania zakłóceń w procesach produkcyjnych i określaniu czynników ryzyka**. Za podstawę badań posłużyły dane zebrane podczas realizacji projektu w Bombardier Transportation, do czynników ryzyka zaliczono awarie maszyn, błędy jakościowe, przestoje środków transportu oraz opóźnienia dostaw od poddostawców, wyniki prac opublikowałem w artykułach (załącznik 3: II.E.17, E.II.21) oraz zaprezentowałem na konferencjach Rozwój Systemów Wytwarzania – Oczekiwania Przemysłu [załącznik 3: II.L.14] i Automatyzacja Procesów Dyskretnych [załącznik 3: II.L.17]. Na tej podstawie dokonałem również porównania możliwości

funkcjonalnych wykorzystywanego oprogramowania (ProModel, iGrafx Process, Dosimis 3) w artykule (załącznik 3: II.E.14) zaprezentowanym na konferencji New Trends in Simulation [załącznik 3: II.L.11].

W 2008 roku pracowałem przy wykonaniu opracowania na zamówienie przedsiębiorstwa MERCUS „*Usprawnienie procesu produkcyjnego wiązek elektrycznych*” [załącznik 3: III.L.4], głównym celem projektu było opracowanie nowego layoutu stanowisk roboczych, weryfikację nowego rozwiązania przeprowadzono z wykorzystaniem stosownego modelu symulacyjnego, osiągnięto około 30% redukcję zapotrzebowania na powierzchnię hali produkcyjnej. Uwzględniano przy budowie modeli symulacyjnych czynniki ryzyka związane z awariami i przestojami maszyn, brakami jakościowymi oraz nadmierną rotacją pracowników. Efekty prowadzonych prac zawiera artykuł zaprezentowany na konferencji Hybrid Artificial Intelligent Systems, który wybrano do publikacji w numerze specjalnym czasopisma Polish Journal of Environmental Studies z Impact Factor 0,947 [załącznik 3: II.A.1]. Publikowałem również w czasopiśmie Gospodarka Materiałowa & Logistyka [załącznik 3: E.II.22]. Określano również czynniki ryzyka dla produkcji typu jednostkowego, wynik badań zawarto w artykule konferencyjnym [załącznik 3: E.II.20] prezentowanym na konferencji Information Systems Architecture and Technology [załącznik 3: III.B.2].

Następnie realizowałem prace badawcze z obszaru **sposobów doboru parku maszynowego do potrzeb wynikających z planów produkcji oraz sposobów rozmieszczania stanowisk pracy**. Zagadnienie to jest szczególnie istotne dla systemów produkcyjnych w warunkach zmiennego popytu (z uwagi na zmienne obciążenie maszyn i „wędrujące” wąskie gardło), w takich warunkach rynkowych funkcjonują np. producenci mebli skrzyniowych. Wyniki tych prac przedstawiłem w artykule [załącznik 3: II.E.27] na konferencji Hybrid Artificial Intelligent Systems w 2012 roku [załącznik 3: II.L.20].

Ekonomicznie uzasadniony dobór parku maszynowego w oparciu o prognozowane plany produkcyjne był również przedmiotem moich zainteresowań w pracy [załącznik 3: II.E.43]. Następnie różnego rodzaju wskaźniki produktywności (np. OEE) wykorzystywałem do oceny stopnia wykorzystania parku maszynowego po wprowadzeniu w nich usprawnień: prace konferencyjne [załącznik 3: II.E.46 i II.E.47], prezentowane odpowiednio na Modern Technologies in Industrial Engineering [załącznik 3: III.B.15] i Hradec Economics Days [załącznik 3: III.B.16]. W swoich zainteresowaniach naukowych nie ograniczałem się tylko metod i technik rozmieszczenia stanowisk roboczych w obrębie wydziałów produkcyjnych (tj. metoda trójkątów Schmigalli oraz metoda ścieżki krytycznej), interesowałem się również relokacją całych linii produkcyjnych pomiędzy poszczególnymi fabrykami, w pracy opublikowanej w czasopiśmie Topics in Intelligent of Computing and Industry Design [załącznik 3: II.E.35]) zawarłem techniczne uwarunkowania przeniesienia i ponownego uruchomienia produkcji na liniach produkcyjnych w przemyśle motoryzacyjnym.

Kolejne prace ukierunkowane były na **metody automatyzacji importu danych na potrzeby budowy modeli symulacyjnych** systemów produkcyjnych. Prace te wynikały z potrzeby skrócenia czasu potrzebnego na ten etap projektu z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych oraz uniezależnienia adekwatności modelu symulacyjnego od umiejętności i doświadczenia projektanta. Efekty prac nad automatyzacją pozyskiwania danych z systemów klasy ERP zaprezentowano w artykule [załącznik 3: II.E.24], przedstawionym na konferencji Hybrid Artificial Intelligent Systems [załącznik 3: II.L.18] w 2011 roku,

proponując ideę systemu agentowego zdolnego do niezależnego gromadzenia i aktualizowania wymaganych informacji.

System wieloagentowy wykorzystałem ponownie do prac nad modelowaniem systemów wydobywczych w kopalniach głębinowych, za względu na łatwość sterowania własnościami agentów i możliwości ich dopasowania do charakteru procesów wydobywczych (np. wykorzystywania do operacji technologicznych różnego rodzaju samojezdnych maszyn i urządzeń) w komorowo-filarowych systemach eksploatacji. Wyniki prac zaprezentowałem w artykule [załącznik 3: II.E.38] na konferencji Practical Applications of Agent and Multi-Agent Systems (załącznik 3: III.B.10).

Kontynuowałem prace badawcze związane z **budową i zastosowaniem modeli symulacyjnych**, tym razem **na potrzeby przemysłu wydobywczego**. Podstawą tych prac był pozyskany w 2013 r. z NCBiR projekt rozwojowy pt.: „*Adaptacja i implementacja metodologii Lean w kopalniach miedzi*” [załącznik 3: II.J.6], co dało mi możliwość zapoznania się ze specyfiką procesów wydobywczych w kopalniach głębinowych, realizowanych według komorowo-filarowych systemów eksploatacji.

W celu określania zasobów koniecznych do realizacji procesu ładowania i odstawy urobku rudy miedzi za pomocą samojezdnych maszyn górniczych budowałem modele symulacyjne prac na polu wydobywczym, realizowane według komorowo-filarowych systemów eksploatacji. Wybrany kryterium optymalizacyjnym był koszt odstawy urobku prowadzony za pomocą kilku rodzajów ładowarek, modele budowano za pomocą arkusza kalkulacyjnego MS Excel, osiągniętym efektem była możliwość wyboru najefektywniejszego kosztowo typu ładowarki łyżkowej. Wyniki prac prezentowano na konferencji XII Szkoła Eksploatacji Podziemnej [załącznik 3: III.B.3] oraz opublikowano w czasopiśmie Wiadomości Górnicze [załącznik 3: E.II.29 i E.II.30]. Efekty prac związanych z adaptacją poszczególnych technik i metod do warunków przemysłu wydobywczego zaprezentowano na konferencji XIII Szkoła Eksploatacji Podziemnej [załącznik 3: III.B.5 i III.B.6] i udokumentowano w pracach [załącznik 3: E.II.31 i II.E.34] oraz na Kongresie Górnictwa Węgla Brunatnego (artykuł [załącznik 3: II.E.32]).

Szczególnie przydatne w przemyśle górniczym okazało się Mapowanie Strumienia Wartości (VSM), metoda 5S, oraz metodyka KAIZEN i system zgłaszania sugestii pracowniczych. Poprawę poziomu niezawodności samojezdnych maszyn górniczych umożliwiła natomiast metoda Total Productive Maintenance (TPM). Analizowano również stabilność procesu ładowania i odstawy urobku rudy miedzi za pomocą kart kontrolnych Shewharta, co pozwoliło na potwierdzenie ich przydatności w przemyśle górniczym, efekty prac opublikowano w czasopiśmie Systems: Journal Of Transdisciplinary Systems Sciences [załącznik 3: E.II.26]

Dalsze prace badawcze w tym obszarze doprowadziły do opracowania „*Metodyki planowania efektywności wydobywania urobku w komorowo-filarowych systemach eksploatacji*” zawartej w autorskiej monografii [załącznik 3: I.B.1]. Napisałem również artykuł znajdujący się obecnie w trakcie recenzji: Arkadiusz Kowalski, Edward Chlebus, *Economically grounded selection of transport means for ore winning*, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, RPA, ISSN: 2225-6253, Impact Factor 0,221.

Ostatni z obszarów badawczych, które rozwijałem, związany jest z **możliwościami zastosowania sieci neuronowych do sterowania produkcją**. Prowadzone od 2016 r. prace

pt.: „Opracowanie innowacyjnego, customizowanego systemu produkcji i magazynowania, sterowanego poprzez sieci neuronowe (...)” [załącznik 3: III.F.1] realizowane były na zlecenie przedsiębiorstwa BELINI, wytwarzającego meble kuchenne i łazienkowe. Głównym efektem projektu było wykonanie layoutu hali produkcyjnej z uwzględnieniem uwarunkowań technologicznych produkcji mebli, budowane plany produkcyjne były oceniane przez wielowarstwową sieć neuronową, tak aby uwzględnić m.in. sezonowe zmiany popytu. Zbudowałem model symulacyjny służący do oceny i weryfikacji wariantów rozwiązań, uwzględniono w nim typy mebli wybrane przy pomocy sita Glenday’a. Efektem było istotne skrócenie czasu realizacji zleceń produkcyjnych, uzyskane poprzez innowacyjny system komisjonowania mebli wchodzących w skład zamówienia klienta. Wyniki prac zostały opublikowane w czasopiśmie *Drvna Industrija*, Impact Factor 0,616 [załącznik 3: II.A.2] w 2018 roku.

Ponownie sieci neuronowe wykorzystałem po zaproponowaniu sterowania procesem wytwarzania izolatorów ceramicznych. Specyfika wytwarzania masy ceramicznej, uwzględniająca 30% zawartość masy świeżej oraz 70% zawartość masy zwrotnej, sporządzanej z odpadów, utrudniała określenie frakcji tlenku glinu w masie przeznaczanej w danej chwili do produkcji izolatorów. Również wolne tempo wymiany składników (raz w tygodniu) w całości masy powodowało, że efekt ewentualnych korekt we frakcji uziarnienia tlenku glinu jest znacznie oddalony w czasie, a przez to trudny do uchwycenia. Istotą problemu było dostrzeżenie korelacji wielkości uziarnienia tlenków glinu  $Al_2O_3$  a liczbą wad jakościowych w procesie produkcyjnym izolatorów ceramicznych. Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie algorytmu wspomagającego sterowanie zawartością frakcji w masie lejnjej ukierunkowane na minimalizację poziomu braków, wyniki badań opublikowano w artykule [załącznik 3: II.E.40] i zaprezentowano na konferencji *Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications* [załącznik 3: III.B.9] w 2016 roku.

Poza głównym obszarem badawczym prowadziłem prace naukowe dotyczące zastosowania narzędzi symulacyjnych do weryfikacji proponowanych usprawnień systemów produkcyjnych wynikających z filozofii Lean Management [załącznik 3: E.II.25], praca przedstawiona na konferencji *Production Engineering, Innovations and Technologies of the Future* [załącznik 3: E.II.25]; wprowadzaniu zasad jakości i wbudowywaniu ich w procesy produkcyjne w przemyśle samochodowym [załącznik 3: II.E.36], praca zaprezentowana na konferencji *International Business Information Management Association* [załącznik 3: II.L.22]; segmentacji klientów przedsiębiorstw produkcyjnych w związku z jakością ich obsługi [załącznik 3: II.E.44], wyniki badań przedstawiono na konferencji *Hradec Economic Days* [załącznik 3: II.L.25] oraz modelowania procesów w notacji BPMN [załącznik 3: II.E.37], praca przedstawiona na konferencji *International Business Information Management Association* [załącznik 3: II.L.23]. Interesowałem się również modelami kosztów operacji technologicznych w technologiach przyrostowych (*Rapid Prototyping and Manufacturing*) [załącznik 3: II.E.45], efekty opublikowane zostały na konferencji *Manufacturing 2017* [załącznik 3: III.B.12].

Średnia indywidualnego udziału w pracach wykonanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych I.E.1 i I.E.2 oraz II.E.12-II.E.48 według załącznika 3 wynosi 57,2%.

**c. Aktywny udział oraz organizacja międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych**

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych brałem aktywny udział, wygłaszając 10 referatów na 8 konferencjach naukowych:

1. Komputerowo zintegrowane zarządzanie. III Konferencja, Zakopane, 10-12 stycznia 2000 r.,
2. Automatyzacja produkcji 2000. Wiedza-technika-postęp, Wrocław, 7-8 grudnia 2000 r.,
3. Manufacturing '01, Współczesne problemy wytwarzania, Poznań, 8-9 listopada 2001 r.,
4. Modern Trends in Manufacturing. First International CAMT Conference, Wrocław, 7-8 luty 2002 r.,
5. VI Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Jurata, 13-17 maja 2002 r.,
6. Zintegrowany rozwój produktu i procesów produkcyjnych, Wrocław, 21-22 listopada 2002 r.,
7. Modern Trends in Manufacturing. Second International CAMT Conference, Wrocław, 20-21 luty 2003 r.,
8. The International Workshop on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling & Simulation, HMS 2003, Riga, Latvia, 18-20 września 2003 r.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych brałem udział w 29 konferencjach naukowych, w tym 14 zagranicznych, 12 krajowych o zasięgu międzynarodowym oraz 3 krajowych. Wśród tych konferencji 12 było uwzględnionych w bazie danych Web of Science (WoS). Podczas tych konferencji naukowych wygłosiłem 15 referatów:

1. Automatyzacja produkcji (AP). Nauka-Wiedza-Innowacje, Wrocław, 11-12 grudnia 2003 r.,
2. New Trends in System Simulation (NETSS), Krnov, Czechy, 25-26 lutego 2004 r.,
3. Rapid Production. Innovation-Knowledge-Industry, Wrocław, 29 września-1 października 2004 r.,
4. New Trends in System Simulation (NETSS), Krnov, Czechy, 22-23 lutego 2005 r.,
5. Rozwój Systemów Wytwarzania. Oczekiwania przemysłu. Wrocław, 22-23 września 2005 r.,
6. Hradec Economic Days (HED), University of Hradec Králové, Hradec Králové, Czechy, 5-6 lutego 2008 r.,
7. Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS), Salamanca, Hiszpania, WoS, 10-12 czerwca 2009 r.,
8. 31th International Conference Information Systems Architecture and Technology, Szklarska Poręba, 19-21 września 2010 r.
9. XVII Krajowa Konferencja Automatyzacji Procesów Dyskretnych, Zakopane, 22-25 września 2010 r.
10. Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS), Wrocław, Polska, WoS, 23-25 maja 2011 r.,
11. Production Engineering. Innovations and Technologies of the Future, Wrocław, 30 czerwca-1 lipca 2011 r.,
12. Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS), Salamanca, Hiszpania, WoS, 28-30 marca 2012 r.,



13. XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 18-22 lutego 2013 r.,
14. Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM), Kraków, Polska, WoS, 25-27 września 2013 r.,
15. XXIII Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 24-28 lutego 2014 r.,
16. VIII Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego, Bełchatów, 7-9 kwietnia 2014 r.,
17. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Zakopane, 25 lutego-1 marca 2016 r.,
18. Wyzwania Eksploatacji i Utrzymania Ruchu Systemów Technicznych, Kazimierz Dolny, 19-20 września 2016 r.,
19. Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO), San Sebastián, Hiszpania, WoS, 19-21 października 2016 r.,
20. International Business Information Management Association Conference (IBIMA), Madryt, Hiszpania, WoS, 8-9 listopada 2016 r.,
21. Hradec Economic Days (HED), University of Hradec Králové, Hradec Králové, Czechy, WoS, 31 stycznia i 1 luty 2017 r.,
22. Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS), Porto, Portugalia, WoS, 21-23 czerwca 2017 r.,
23. 2nd International Conference on Economics and Management Innovations (ICEMI 2017), Bangkok, Tajlandia, 15-16 lipca 2017 r.,
24. Manufacturing 2017, Poznań, WoS, 24-26 października 2017 r.,
25. Hradec Economic Days (HED), University of Hradec Králové, Hradec Králové, Czechy, WoS, 30-31 stycznia 2018 r.,
26. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Zakopane 25-27 luty 2018 r.,
27. Engineering for Rural Development (ERDev), Jelgava, Litwa, WoS, 23-25 maja 2018 r.,
28. Modern Technologies in Industrial Engineering (ModTech), Constanta, Rumunia, WoS, 13-16 czerwca 2018 r.,
29. Hradec Economic Days (HED), University of Hradec Králové, Hradec Králové, Czechy, WoS, 5-6 luty 2019 r.

Od 2003 roku aktywnie uczestniczyłem w organizacji 22 konferencji krajowych i zagranicznych, pełniąc następujące funkcje:

1. członka komitetu technicznego krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych:
  - Automatykacja produkcji (AP). Nauka-Wiedza-Innowacje, Wrocław, 11-12 grudnia 2003 r.,
  - Rapid Production. Innovation-Knowledge-Industry, Wrocław, 29 września-1 października 2004 r.,
  - Inżynieria Produkcji (IP). Wiedza-Wizja-Programy ramowe, Wrocław, 7-8 grudnia 2006 r.,
  - Inżynieria Produkcji (IP). Innowacje i Technologie Przyszłości. Wrocław, 30 czerwca-1 lipca 2011 r.,
2. członka komitetu organizacyjnego międzynarodowych oraz krajowych konferencji naukowych:

- The 4th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Salamanca, Hiszpania, 2009, napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 6th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Wrocław, Polska, 23-25 maja 2011 r., napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 7th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Salamanca, Hiszpania, 28-30 marca 2012 r., napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 8th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Salamanca, Hiszpania, 28-30 marca 2013, napisałem 1 recenzję artykułu,
- The 9th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Salamanca, Hiszpania, 11-13 czerwca 2014, napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 10th International Conference on SOCO (Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications), 15-17 czerwca 2015, Burgos, Hiszpania, napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 10th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Bilbao, Hiszpania, 22-24 czerwca 2015, napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 11th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Sewilla, Hiszpania, 18-20 kwietnia 2016, , napisałem 3 recenzje artykułów,
- The 28th IBIMA (International Business Information Management Association Conference), Madryt, Hiszpania, 9-10 listopada 2016 r., napisałem 1 recenzję artykułu,
- The 12th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), La Rioja, Hiszpania, 21-23 czerwca 2017 r., napisałem 3 recenzje artykułów,
- The 31st IBIMA (International Business Information Management Association Conference), Mediolan, Włochy, 25-26 kwietnia 2018 r., napisałem 1 recenzję artykułu,
- The 13th International Conference on HAIS (Hybrid Artificial Intelligent Systems), Oviedo, Hiszpania, 22-23 czerwca 2018 r., napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 17th International Scientific Conference on ERDev (Engineering for Rural Development), Jelgava, Litwa, 23-25 maja 2018 r., napisałem 1 recenzję artykułu,
- The 16th HED (Hradec Economic Days), Hradec Králové, Czechy, 30-31 stycznia 2018 r., napisałem 3 recenzje artykułów,
- The 32rd IBIMA (International Business Information Management Association Conference), Sewilla, Hiszpania, 15-16 listopada 2018 r., napisałem 1 recenzję artykułu,
- The 17th HED (Hradec Economic Days), Hradec Králové, Czechy, 5-6 lutego 2019 r., napisałem 2 recenzje artykułów,
- The 33rd IBIMA (International Business Information Management Association Conference), Granada, Hiszpania, 10-11 kwietnia 2019 r., napisałem 1 recenzję artykułu.

W sumie na rzecz konferencji WoS opracowałem 31 recenzji artykułów. Jedna z moich recenzji artykułu konferencyjnego została wyróżniona certyfikatem doskonałości przez International Business Information Management Association. Byłem również członkiem

komitetu technicznego konferencji *MANUFUTURE* 2011 (West and East Europe in Global High Added Value Manufacturing), które odbyło się w 2011 roku we Wrocławiu, podczas Prezydencji Polski w Radzie Unii Europejskiej.

#### **d. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki**

Od czasu rozpoczęcia studiów doktoranckich w 2000 r., a następnie zatrudnienia na stanowisku asystenta na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej, prowadziłem zajęcia laboratoryjne i ćwiczenia projektowe z następujących przedmiotów dla kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych:

1. Zarządzanie produkcją i usługami I, zajęcia laboratoryjne,
2. Zintegrowane systemy zarządzania (do realizacji zajęć wykorzystywałem oprogramowanie klasy ERP: IFS Application), zajęcia laboratoryjne,
3. Symulacja procesów produkcyjnych (do realizacji zajęć wykorzystywałem oprogramowanie: ProModel), ćwiczenia projektowe,
4. Organizacja i projektowanie procesów produkcyjnych, ćwiczenia projektowe.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w 2003 r. oraz zatrudnieniu na stanowisku adiunkta na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej prowadziłem następujące wykłady i ćwiczenia projektowe na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych, kierunek ZIP:

1. Factory Layout Planning, wykład i ćwiczenia projektowe, w latach 2011-2015,
2. Forecasting and Simulation of Production Processes, (wykorzystywane oprogramowanie: ProModel), wykład i projekt, w latach 2011-2015,
3. Systemy informatyczne w zarządzaniu przedsiębiorstwem (oprogramowanie klasy ERP: IFS Applications), wykład i ćwiczenia projektowe,
4. Optymalizacja rozmieszczenia stanowisk roboczych, wykład i ćwiczenia projektowe,
5. Symulacja procesów produkcyjnych (wykorzystywane oprogramowanie: ProModel), ćwiczenia projektowe (wykład do 2015 r.),
6. Symulacja Lean Management (kurs oparty na grze symulacyjnej, opracowany na podstawie szkoleń Toyoty i University of Kentucky).

Opracowałem programy nauczania (tzw. sylabusy) do następujących przedmiotów (jak również prezentacje do wykładów oraz materiały do prowadzenia projektów): Factory Layout Planning, Forecasting and Simulation of Production Processes, Systemy informatyczne w zarządzaniu przedsiębiorstwem, Optymalizacja rozmieszczenia stanowisk roboczych oraz Symulacja procesów produkcyjnych. Liczbę zrealizowanych na Politechnice Wrocławskiej godzin dydaktycznych prezentuje tabela 1.

Na bazie zbieranych doświadczeń z obszaru metod budowy modeli symulacyjnych oraz ich zastosowania w projektowaniu parku maszynowego i reorganizacji systemów produkcyjnych napisałem w 2011 roku podręcznik dydaktyczny „*Forecasting and simulation of production processes*” [załącznik 3: E.II.23].

Pracowałem również w zespole ekspertów nad hierarchizacją czynników kształtujących rozwój kadr dla przemysłu maszynowego w Polsce, wynikiem była publikacja [załącznik 3: II.E.19]. Dla czasopisma Applied Computer Science (ACS) opracowałem 6 recenzji.

Tabela 1. Liczba godzin dydaktycznych zrealizowanych na Politechnice Wrocławskiej

Rok akademicki	Liczba godzin dydaktycznych w roku akademickiego [h]	Współczynnik wykonania pensum dydaktycznego
2009/10	515	2,5
2010/11	498	2,4
2011/12	236	1,1
2012/13	664	2,8
2013/14	646	2,7
2014/15	1 001	4,2
2015/16	618	2,6
2016/17	589	2,5
2017/18	550	2,3

Do osiągnięć w zakresie popularyzacji nauki zaliczam również organizację i prowadzenie różnego rodzaju międzynarodowych spotkań i warsztatów:

- Niemiecko-Polskie Spotkanie Współpracy, współorganizator: Brücke-Osteuropa, Stowarzyszenie Współpracy Gospodarczej i Technologicznej ze Wschodnią Europą, Wrocław, 12-15 maja 2004 r.,
- Warsztaty SIM-SERV, Symulacja komputerowa w procesowym zarządzaniu produkcją, 14 lipca 2004 r.,
- ETP ManuFuture, Workshop we Wrocławiu, 10 czerwca 2005 r.

Jestem promotorem 145 prac dyplomowych oraz dodatkowo recenzentem 171 prac magisterskich i inżynierskich.

#### e. Działalność organizacyjna na uczelni

W ramach działalności organizacyjnej prowadzonej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej pełniłem następujące funkcje:

- kierownika Laboratorium Dydaktycznego „Planowanie i zarządzanie produkcją”, od 2000 r.,
- sekretarza Wydziałowej Komisji Dyplomowej dla kierunku ZIP oraz MBM (ang.), od 2013 r., w sumie uczestniczyłem w 18 egzaminach dyplomowych,
- członka Wydziałowej Komisji Hospitacyjnej dla kierunku ZIP, od roku 2012 r.,
- członka Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej dla kierunku ZIP dla studiów stacjonarnych II stopnia, w 2014 r.,
- członka Rady Wydziału Mechanicznego, wybranego jako przedstawiciel nauczycieli akademickich niebędących profesorami i doktorami habilitowanymi (wybory uzupełniające), w 2016 r.,
- opiekuna trzech kierunków na studiach Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, studia stacjonarne I stopnia: Wrocław i Wałbrzych oraz dla studiów stacjonarnych II stopnia, specjalność Organizacja Produkcji, Wrocław.

## 7. Dane bibliometryczne dorobku naukowego habilitanta

Zestawienie dorobku z punktacją MNiSW wg roku ukazania się publikacji, powstałego podczas prowadzonych przeze mnie prac naukowo-badawczych, przedstawione zostało w tabeli 2. Sumaryczne zestawienie kryteriów osiągnięć wnioskodawcy, wg Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 01.09.2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, wykonane na podstawie załącznika 3, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Dorobek naukowy w okresie przed i po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Rodzaj pracy		Liczba prac	
		przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych	po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych
Artykuły naukowe ogółem	Krajowe	10	14
	Zagraniczne	1	19
Artykuły z listy filadelfijskiej		0	2
Podręczniki, skrypty		0	1
Monografie		0	1
Rozdziały w książkach i monografiach		0	7
Pozostałe publikacje naukowe	Krajowe	0	5
	Zagraniczne	1	1
Referaty zagraniczne i krajowe		10	25
Projekty badawcze (bad. stosowane)		2	4
Projekty celowe, rozwojowe, wdrożeniowe		1	5
Patenty		0	0
Cytowania wg bazy Web of Science		0	23
Wskaźnik Hirscha wg bazy Web of Science:		0	3
Inne ważne wskaźniki:			
Punkty MNiSW:		57	349
Punkty MNiSW po uwzględnieniu wkładu własnego habilitanta:		36,7	201,6
Cytowania wg bazy Google Scholar:		0	28
Wskaźnik Hirscha wg bazy Google Scholar:		0	3

Tabela 3. Sumaryczne zestawienie kryteriów osiągnięć wnioskodawcy

l.p.	Kryterium według §3 p.4, §4 i §5	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora
1	2	3	4
1.	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	brak	tak (2)
2.	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	tak (2)	tak (6)
3.	Udzielone patenty: a) międzynarodowe b) krajowe	brak	brak
4.	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	brak	brak
5.	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	tak (11)	tak (37)
6.	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	tak (5)	tak (31)
7.	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:	brak	tak (1,563)
8.	Liczba cytowani publikacji według bazy Web of Science (WoS):	brak	tak (23)
9.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	brak	tak (3)
10.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	brak	brak
10.B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	brak tak (2)	brak tak (4)
11.	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	brak	brak
12.	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	brak tak (9)	tak (13) tak (2)
13.	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	tak (1)	tak (4)
14.	Aktywny udział w konferencjach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	tak (1) brak	tak (14) brak
15.	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	brak	tak (19) tak (3)
16.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	brak	tak (1)
17.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	tak (1)	tak (3)
18.	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z: a) naukowcami z innych ośrodków polskich, b) naukowcami z ośrodków zagranicznych, c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	brak	brak brak tak (1)

1	2	3	4
19.	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	brak	brak
20.A	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	brak	brak
20.B	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	brak	tak (1) brak
21.	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	tak (1)	tak (5)
22.	Opieka naukowa nad studentami	brak	brak
23.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze: a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	brak	brak
24.	Stáže w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagranicznych b) krajowych	tak (1) brak	brak
25.	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	tak	tak (2)
26.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	brak	tak (1)
27.	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	brak	brak
28.	Recenzowanie publikacji w czasopiśmie: a) międzynarodowych b) krajowych	brak	tak (6) brak
29.	Inne osiągnięcia	brak	tak (2)
Łącznie liczba spełnionych kryteriów:		22 z 31	

Wrocław, 5 kwietnia 2019 r.

.....  
*A. Kowalski*  
 .....  
 dr inż. Arkadiusz Kowalski