

ANALIZA I OCENA MODERNIZACJI LINII PRODUKCYJNEJ DODATKÓW WSADOWYCH W PROCESIE ZAWIESINOWEGO WYTOPU MIEDZI

Roman KIELEC, Jacek WALNER

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę procesu produkcyjnego przygotowania dodatków wsadowych dla potrzeb technologicznych pieca elektrycznego oraz pieców konwertorowych z jednoczesnym wskazaniem propozycji jego usprawnień, zorientowanych na racjonalizację poszczególnych ciągów produkcyjnych i towarzyszącym ich procesów technologicznych.

Słowa kluczowe: racjonalizacja, linia produkcyjna, procesy technologiczne, dodatki wsadowe, wytop miedzi.

1. Wstęp

Przemysł górniczo-hutniczy miedzi stanowi jeden ze strategicznych filarów polskiej gospodarki. Z uwagi na swoje właściwości oraz stale wzrastające zapotrzebowanie rynku na miedź znajduje ona szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, potęgując jednocześnie ich rozwój.

Pamiętać jednak należy, że współczesne procesy produkcyjne charakteryzują się coraz to wyższym stopniem złożoności. Klienci wymagają wysokiej jakości oferowanych produktów, przy jednoczesnym zachowaniu ich jak najniższej ceny. Sytuacja taka powoduje wzrost znaczenia racjonalizacji procesów stosowanych w firmach i zakładach przemysłowych. W konsekwencji sprowadza się to do umiejętnego zarządzania przedsiębiorstwem i występującymi w nim procesami produkcyjnymi, zarządczymi, organizacyjnymi, itp.

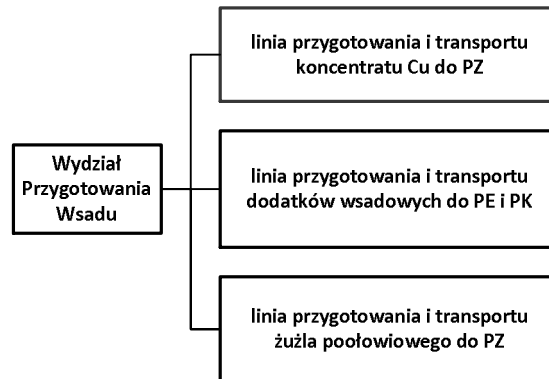
W zakładach przemysłowych takich jak KGHM „Polska Miedź” S.A. jednym ze strategicznych działań jest racjonalne wykorzystanie potencjału stosowanych maszyn i urządzeń a w konsekwencji całych ciągów i węzłów technologicznych. Osiąga się to poprzez optymalizację realizacji procesów produkcyjnych.

W pracy przeprowadzono analizę i ocenę procesu przygotowania i transportu dodatków wsadowych do pieca elektrycznego oraz pieców konwertorowych w Oddziale Huta Miedzi „Głogów-I” [4, 5]. Zaproponowano rozwiązania poprawiające rozważany proces produkcyjny w aspekcie zmniejszenia kosztów, skrócenia czasu realizacji inwestycji oraz zwiększenia funkcjonalności procesu.

2. Proces przygotowania i transportu dodatków wsadowych do pieca elektrycznego i pieców konwertorowych

Dla potrzeb przeprowadzenia analizy technologii produkcji miedzi w H.M. „Głogów - I” z wykorzystaniem pieca zawieszinowego przedstawiono strukturę Wydziału Przygotowania Wsadu (rys. 1.), który obejmuje:

- a) Przygotowanie i transport koncentratu Cu oraz żużła poolowiowego do pieca zawieszinowego (PZ),
- b) Przygotowanie i transport dodatków procesowych (wsadowych) do:
 - pieca elektrycznego (PE) (koks, kamień wapienny, żużel stały),
 - pieców konwertorowych (PK) (koks, kamień wapienny, piasek kwarcytowy).



Rys. 1. Struktura produkcji WPW
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Ze względu na zastosowanie pirometalurgii pieca zawieszinowego w procesie produkcyjnym HMG-I wyszczególnione powyżej materiały wsadowe wymagają odpowiedniego przygotowania do procesu w następującym zakresie [6, 7]:

- organizacji, przyjmowania dostaw oraz magazynowania dostarczonych materiałów – Magazyn Surowców,
- uzyskania odpowiedniej wilgotności poprzez suszenie (koks, kamień wapienny, piasek kwarcytowy) oraz magazynowania wysuszonych materiałów – Węzeł Suszenia Dodatków Wsadowych wraz z Magazynem Zapasu Dodatków Wsadowych,
- uzyskania wymaganego uziarnienia żużła stałego oraz jego magazynowania – Węzeł Kruszenia Żużła wraz z Magazynem Zapasu Żużła,
- podania przygotowanych dodatków wsadowych do pieca elektrycznego i pieców konwertorowych – ciągi podawania dodatków wsadowych.

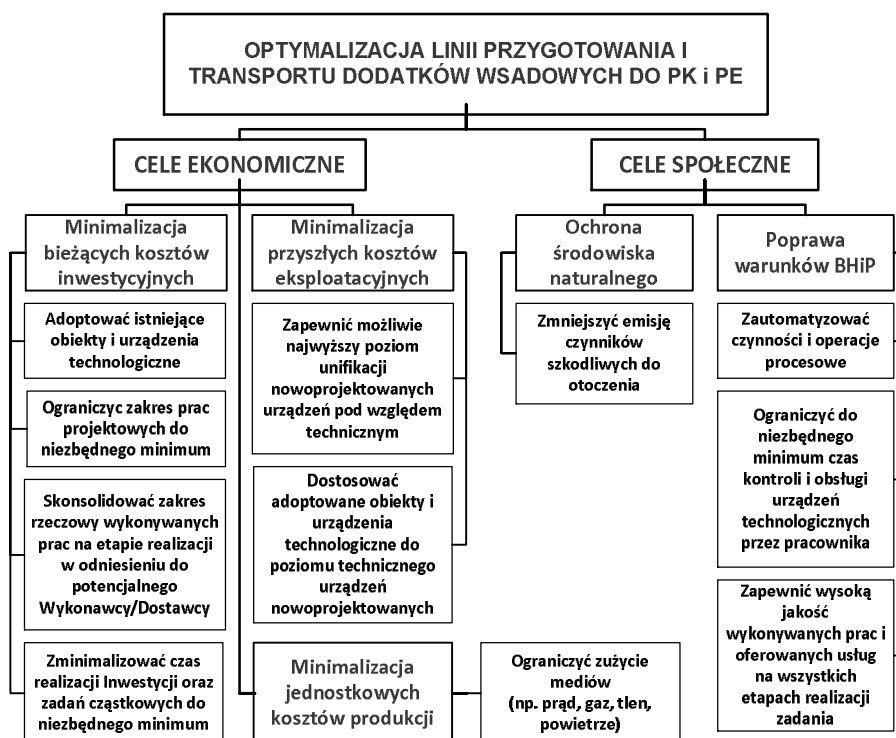
Szczegóły przeprowadzonej analizy przygotowania i transportu dodatków wsadowych do pieca elektrycznego i pieców konwertorowych z uwzględnieniem parku maszynowego opisano w pracy [8].

3. Analizy efektywności modernizacji ciągu technologicznego

3.1. Hierarchizacja celów

Modernizacja rozpatrywanego ciągu technologicznego obejmuje szeroki zakres tematyczno-rzeczowy . W każdym ze zdefiniowanych zakresów wyodrębniono cele pośrednie i cząstkowe. Poprzez równoległe określenie – dla poszczególnych celów

częstkowych - możliwego warunku ich spełnienia wykonano hierarchizację zdefiniowanych celów uzyskując jednocześnie ich przejrzystą i uporządkowaną strukturę. Metodyka takiego postępowania pozwoliła zbudować tzw.: „drzewo celów”, które przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Struktura celów
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Zaobserwowano, że nawet najstaranniej przeprowadzona analiza zadania, jakim jest optymalizacja linii przygotowania i transportu dodatków wsadowych do pieca elektrycznego i pieców konwertorowych oraz zbudowana w jej wyniku struktura celów – zwłaszcza przy tak dużym poziomie jego złożoności – nie zapewnia w 100% uniknięcia niekorzystnych oddziaływań pomiędzy poszczególnymi celami. Od charakteru zależności pomiędzy wyodrębnionymi celami zależy warunek możliwości ich osiągnięcia. Z tego też względu oszacowano charakter oddziaływań pomiędzy celami strukturalnymi. Wyniki tej analizy zestawiono w tab. 1.

Powyższa analiza ujawniła, że większość celów charakteryzuje się znaczącą niezależnością. Część z nich wspiera się wzajemnie a przewaga pozytywnych relacji pomiędzy poszczególnymi celami ułatwi ich osiągnięcie.

Niezaprzeczalnym faktem jest również występowanie konfliktów. Największym źródłem konfliktów jest adaptacja wykorzystywanych aktualnie obiektów i urządzeń technologicznych. Z jednej strony ich wykorzystanie w nowej technologii pieca zawieszinowego pozwoli ograniczyć duże nakłady inwestycyjne związane z zakupem nowych urządzeń, ale jednocześnie generować będzie wzrost kosztów inwestycyjnych w

Tab. 1. Analiza wzajemnych oddziaływań–cele strukturalne [opracowanie własne]

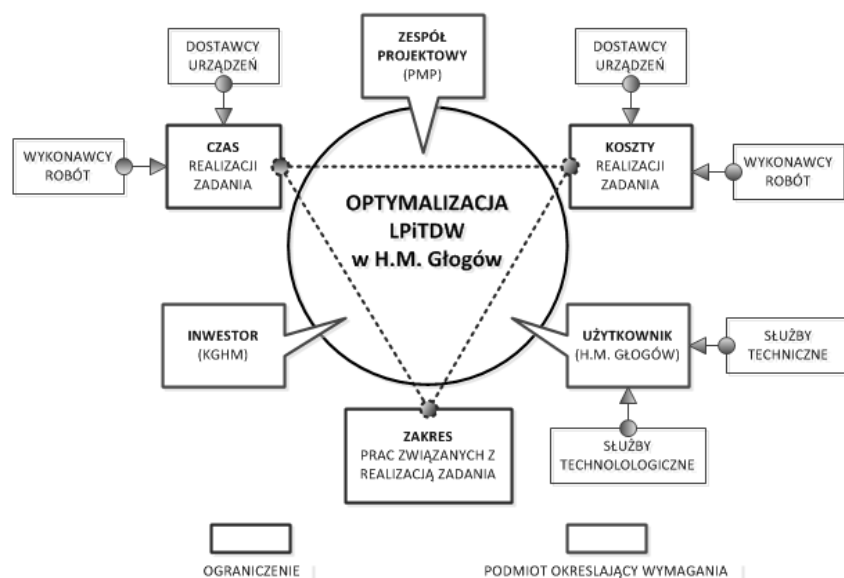
	CEL CZASTKOWY	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
C ₁	Adoptować istniejące obiekty i urządzenia technologiczne.	X	W	N	W	K	K	K	K	N	N	W
C ₂	Ograniczyć zakres prac projektowych do niezbędnego minimum.	-	X	N	W	K	K	N	K	N	N	N
C ₃	Skonsolidować zakres rzeczowy wykonywanych prac na etapie realizacji w odniesieniu do potencjalnego Wykonawcy lub Dostawcy.	-	-	X	W	W	W	N	N	N	W	N
C ₄	Zminimalizować czas realizacji Inwestycji oraz zadań cząstkowych do niezbędnego minimum.	-	-	-	X	N	K	N	N	N	K	N
C ₅	Zapewnić możliwie najwyższy poziom unifikacji nowoprojektowanych urządzeń pod względem technicznym.	-	-	-	-	X	W	N	N	W	W	W
C ₆	Dostosować adoptowane obiekty i urządzenia technologiczne do poziomu technicznego urządzeń nowoprojektowanych.	-	-	-	-	-	X	W	W	W	N	W
C ₇	Zmniejszyć emisje czynników szkodliwych do otoczenia.	-	-	-	-	-	-	X	W	N	N	W
C ₈	Zautomatyzować czynności i operacje procesowe.	-	-	-	-	-	-	-	X	W	N	W
C ₉	Ograniczyć do niezbędnego minimum czas kontroli i obsługi urządzeń technologicznych przez pracownika.	-	-	-	-	-	-	-	-	X	N	N
C ₁₀	Wymagać wysokiej jakości dostarczanych urządzeń oraz wykonywanych prac i oferowanych usług na wszystkich etapach realizacji zadania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	N
C ₁₁	Ograniczyć zużycie mediów (np. prąd, gaz, tlen, powietrze)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
N – niezależność; K – konflikt; W – wsparcie; X – zbieżność celów												

obrębie prac projektowych i modernizacyjnych. Powodować może również wydłużenie czasu realizacji zadań cząstkowych. Wspomniany wzrost kosztów związany jest bezpośrednio z koniecznością dostosowania starych urządzeń do poziomu technicznego urządzeń nowo zabudowanych [1]. Z kolei wyrównanie poziomu technicznego pozytywnie wpłynie na poprawę funkcjonalności technologicznej rozpatrywanej linii produkcyjnej. Na podstawie charakteru powyższych oddziaływań stwierdzono, że występujący konflikt celów jest konfliktem słabym, gdyż przy niewielkim nakładzie finansowym możliwe jest zastosowanie rozwiązań technicznych łagodzących w/w konflikty do akceptowalnego minimum.

3.2. Analiza wymagań i ograniczeń

Osiągnięcie zdefiniowanych celów a tym samym możliwość realizacji rozpatrywanego zadania: „Modernizacji Linii Przygotowania i Transportu Dodatków Wsadowych do Pieców Konwertorowych i Pieca Elektrycznego” uzależniona jest od wielu czynników. Do najważniejszych z nich zaliczyć należy:

- ograniczenia (czas, koszty, zakres realizacji zadania),
- wymagania (inwestor, użytkownik, zespół projektowy).



Rys. 3. Czynniki oraz podmioty oddziaływujące na proces racjonalizacji LPiTDW w H.M. „Głogów-I”

Źródło: Opracowanie na podstawie pracy [2]

Wśród uczestników (inwestor, użytkownik oraz zespół projektowy) przeprowadzono ankietę, której wyniki zestawiono w tab. 2.

Określone na rys. 3. ograniczenia tworzą równoważny „trójkąt zależności”. Zmieniając np. zakres prac koniecznych do wykonania zadań cząstkowych, wywieramy natychmiastowy wpływ na ostateczne koszty realizacji zadania głównego. Wpływ ten może mieć pozytywne znaczenie dla obniżenia kosztów lub też negatywne – dla ich zwiększenia. Wprowadzona w zakresie realizacji zadania mogą i oddziałują najczęściej na czas jego wykonania – skrócenie lub wydłużenie okresu realizacji. Charakter tych oddziaływań uzależniony jest od rangi poszczególnych wymagań oraz ich spójności z narzuconymi często ograniczeniami.

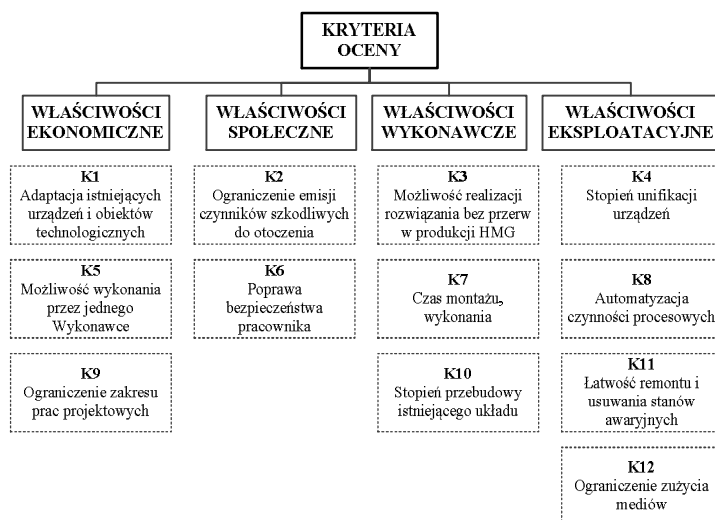
Na podstawie przyjętego w tab. 2. systemu wartościowania oczekiwań uczestników ankiety, określono cechę dla każdego ze zgrupowanych wymagań. Uzyskany w ten sposób stopień ich ważności pozwolił na opracowanie różnorodnych wariantów rozwiązań przedstawionych w dalszej części pracy.

Przyjęto, że ocena oraz wybór rozwiązania najlepszego z możliwych oparte zostanie m.in. na metodzie oceny wagowej. Z tego też względu, na bazie wykonanych już analiz, zidentyfikowano ostateczne kryteria oceny (rys. 4).

Tab. 2. Lista wymagań i ich hierarchizacja [opracowanie własne]

WYNIK ANKIETY – ZESTAWIENIE WYMAGAŃ		KRYTERIA	ANKIETOWAN Y	INWESTOR	UŻYTKOWNIK	WYKONAWCA/ DOSTAWCA	ZESPÓŁ PROJEKTOWY	PUNKTACJA	CECHA
ENERGIA	Wysoka sprawność zastosowanych napędów	⊗	Δ	⊗	Δ	6	M		
	Ujednolicony zakres zasilania urządzeń	√	Δ	⊗	√	13	P		
	Napęd elektryczny i/lub pneumatyczny	⊗	Δ	⊗	⊗	3	M		
	Małe zapotrzebowanie mocy zastosowanych urządzeń	√	Δ	⊗	√	13	P		
MATERIAŁY	Ogólnodostępność na rynku	Δ	Δ	√	Δ	14	P		
	Niska cena	√	Δ	Δ	Δ	14	P		
	Jakość gwarantowana wg. norm	⊗	Δ	Δ	√	11	P		
	Łatwość obróbki	⊗	⊗	√	⊗	5	M		
ERGONOMIA	Automatyzacja czynności procesowych	Δ	√	Δ	√	16	B		
	Łatwa, szybka i prosta obsługa	⊗	√	Δ	Δ	11	P		
	Zastosowanie elementów znormalizowanych	√	Δ	√	√	18	B		
	Ograniczona do niezbędnego minimum obsługa i konserwacja	Δ	√	Δ	Δ	14	P		
	Łatwy dostęp do wszystkich/elementów konstrukcyjnych	Δ	Δ	⊗	Δ	9	P		
MONTAŻ	Bez zbędnych kalibracji i nastaw (prosty i szybki)	⊗	Δ	√	Δ	11	P		
	Zwarta budowa elementów konstrukcyjnych	⊗	⊗	Δ	Δ	6	M		
	Możliwość realizacji rozwiązania bez przerw w produkcji	√	√	Δ	√	18	B		
	Mała liczba podzespołów i elementów konstrukcyjnych	⊗	Δ	√	⊗	8	M		
EKSPLOATACJA	Niski wskaźnik emisji czynników szkodliwych (np. hałas)	√	√	⊗	√	15	B		
	Adaptacja istniejących obiektów technologicznych	√	√	Δ	√	18	B		
	Wysoka trwałość konstrukcji	Δ	Δ	√	√	16	B		
	Możliwość pracy w środowisku zapyłonym	⊗	√	Δ	Δ	11	P		
	Poprawa bezpieczeństwa pracownika	√	√	⊗	√	15	B		
	Poprawa funkcjonalności procesu	√	√	⊗	√	15	B		
	Niezawodność działania w warunkach eksploatacyjnych	Δ	√	Δ	√	16	B		
	Odporność na działanie opadów atmosferycznych	Δ	Δ	Δ	Δ	12	P		
	Długi okres gwarancji (okres między remontowy Huty)	√	√	⊗	√	15	B		
SERWIS	Minimalna ilość przeglądów i remontów	⊗	√	Δ	Δ	11	P		
	Możliwość naprawy własnymi środkami (SUR-u)	⊗	√	Δ	Δ	11	P		
	Szybka naprawa stanów awaryjnych	Δ	√	Δ	Δ	14	P		
	Niskie koszty wdrożenia i/lub realizacji rozwiązania	√	√	⊗	√	15	B		
KOSZTY	Krótki czas realizacji	√	√	√	√	20	B		
	Niskie koszty eksploatacji rozwiązania	√	√	⊗	√	15	B		
	Generowanie oszczędności w przy zastosowaniu rozwiązania	√	√	⊗	√	15	B		
	⊗ - (brak zdania) - 0 [pkt] Δ - (akceptowane) - 3 [pkt] √ - (bardzo ważne) - 5 [pkt]								
B – bezwzględnie konieczne (≥15 punktów), P – pożądane (od 9 do 14 punktów), M – małoistotne (≤ 8 punktów)									

Dla każdego ze zidentyfikowanych kryteriów oceny określono rangę poprzez wyznaczenie współczynników wagowych. Zestawienie obliczonych wartości przedstawia tab. 3.



Rys. 4. Kryteria oceny [opracowanie własne]

Przedstawione na rys. 4. kryteria stanowią ostateczne wytyczne, co do przyszłej oceny i wyboru rozwiązań optymalnych.

Wartości liczbowe poszczególnych współczynników wagi przedstawiono w tab. 3. Obliczono je poprzez stworzenie macierzy określającej zależności występujące pomiędzy przyjętymi kryteriami oceny.

Tab. 3. Współczynniki wagi [opracowanie własne]

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	Punktacja	Udział [%]	Wspól. Wagi
K1	X	-	+	-	0	0	+	-	+	+	-	0	32	10,00	0,10
K2	+	X	0	0	0	+	0	+	0	+	-	+	28	8,75	0,09
K3	-	0	X	0	-	-	+	-	0	+	0	0	22	6,88	0,07
K4	+	0	0	X	+	-	+	-	-	+	+	0	34	10,63	0,11
K5	0	0	+	-	X	0	+	0	0	0	-	-	19	5,94	0,06
K6	0	-	+	+	0	X	-	+	0	-	-	0	27	8,44	0,08
K7	-	0	-	-	-	+	X	0	0	+	0	0	22	6,88	0,07
K8	+	-	+	+	0	-	0	X	+	+	-	+	39	12,19	0,12
K9	-	0	0	+	0	0	0	-	X	+	0	0	16	5,00	0,05
K10	-	-	-	-	0	+	-	-	-	X	-	+	34	10,63	0,11
K11	+	+	0	-	+	+	0	+	0	+	X	0	33	10,31	0,10
K12	0	-	0	0	+	0	0	-	0	-	0	X	14	4,38	0,04
"- " - duża zależność kryteriów - 5 [pkt]												RAZEM	320	100 %	1
"- " - mała zależność kryteriów - 3 [pkt]															
"0" - brak zależności kryteriów - 0 [pkt]															

Pomiędzy zdefiniowanymi kryteriami oceny istnieją pewne zależności. Każdej z cech określających te zależności przypisano określone wartości punktowe. Skumulowana

wartość punktów, jaką obliczono dla każdego z przyjętych kryteriów oceny posłużyła do wyznaczenia współczynników procentowych, a udział procentowy każdego z kryteriów jednoznacznie określił tzw. współczynnik wagi. Jak widać współczynniki te osiągnęły różne wartości liczbowe, co świadczy o randze danego kryterium w ocenie rozwiązań.

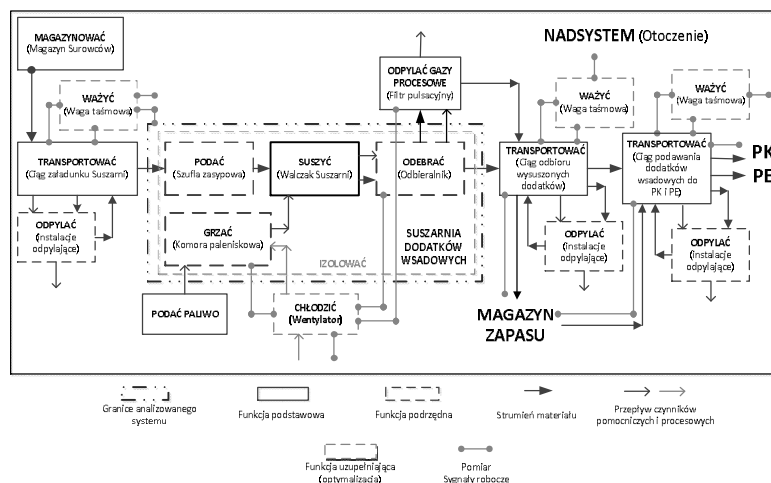
3.3. Analiza funkcji procesu

W oparciu o złożoność rozpatrywanego procesu technologicznego tj. „Przygotowanie i transport dodatków wsadowych do Pieców Konwertorowych i Pieca Elektrycznego” oraz jego strukturę wyodrębniono następujące główne funkcje procesowe:

- **Suszenie** dodatków wsadowych tj. koksu, piasku kwarcytowego oraz kamienia wapiennego,
- **Kruszenie** żużla stałego z Oczyszczalni Kadzi,
- **Transport** przygotowanych dodatków wsadowych poprzez poszczególne ciągi transportowe do pieca elektrycznego i pieców konwertorowych.

Uwzględniając powiązania pomiędzy w/w funkcjami głównymi sporządzono schematy blokowe (patrz rys. 5, 6 oraz 7). Odzworowują one poszczególne funkcje technologiczne rozpatrywanego systemu produkcyjnego w ujęciu „nadsystemu” (otoczenia zewnętrznego).

Za pomocą bloków określono poszczególne funkcje proste rozpatrywanej części procesu produkcyjnego (suszenie + transport). Każdemu z bloków przypisano istniejące i eksploatowane obecnie środki techniczne, przy użyciu, których dana funkcja jest realizowana. Przedstawione moduły wyjściowe rozbudowano także o dodatkowe funkcje operacyjne w procesie produkcyjnym.

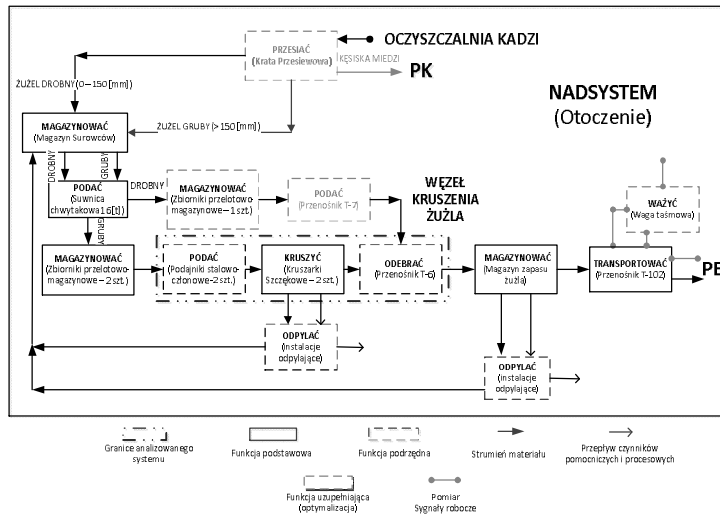


Rys. 5. Struktura funkcji „suszenie + transport” modernizacja [opracowanie własne]

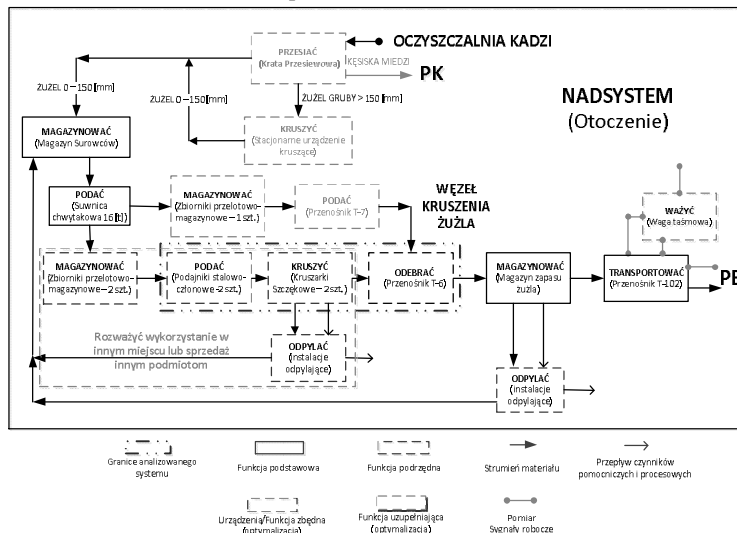
Jak widać na rys. 5. w podstawowy funkcjonalny schemat blokowy wprowadzono trzy funkcje uzupełniające: „ważyć”, „chłodzić” oraz „suszyć”. Rozwiązanie to przedstawia propozycję optymalizacji funkcji: „suszenie + transport”. Funkcję operacyjną „ważyć” zastosowano trzykrotnie – dla każdego z ciągów transportowych oddzielnie. Przedstawienie strumienia przepływu czynników pomocniczych i procesowych oraz sprzężeń sygnałowych

roboczych oraz pomiarowych pomiędzy analizowanym systemem a jego otoczeniem zewnętrznym daje pełnowartościowy obraz racjonalizacji.

Postępując analogicznie dla złożenia funkcji: „kruszenie + transport” możliwe było wygenerowanie alternatywnych modułów funkcjonalnych, odzwierciedlających jednocześnie proponowane warianty optymalizacji (rys. 6, 7).



Rys. 6. Struktura funkcji „kruszenie + transport” modernizacja – wariant 1 [opracowanie własne]



Rys. 7. Struktura funkcji „kruszenie + transport” modernizacja – wariant 2 [opracowanie własne]

4. Ocena proponowanych zmian

Przeprowadzenie punktowej oceny wagowej poszczególnych rozwiązań wymagało zastosowania zdefiniowanych na rys. 4 kryteriów oceny i przypisanych im

współczynników wagi oraz określenia zakresu wartościowania. Przyjęty zakres punktacji waha się w granicach od 1 do 10, gdzie „1” jest najniższym a „10” najwyższym stopniem spełnienia wymagań i ograniczeń zestawionych w tab. 2.

Wyniki przeprowadzonej oceny przedstawiono w tab. 4. oraz 5. Dla każdego z rozpatrywanych rozwiązań iloczynny poszczególnych szeregów liczbowych określają wskaźniki oceny. Suma uzyskanych w ten sposób wartości liczbowych identyfikuje wyższość jednego wariantu nad pozostałymi. Świadczy to o tym, że alternatywa rozwiązania o najwyższej uzyskanej liczbie punktów jest rozwiązaniem najlepszym z możliwych.

Tab. 4. Ocena wagowa proponowanych zmian i rozwiązań technicznych [opracowanie własne]

	Pkt. 6.1. Wykorzystanie przenośnika taśmowego T-134						Pkt. 6.2. Zmiana sposobu odbioru wibracyjnych 5-1, 5-14, 5-1b na wybieracze taśmowe.						Pkt. 6.3. Zmiana układu zasilania Suzzarni Dodatków Władowych.						Pkt. 6.4. Rozwiązanie z transportu pneumatycznego piasku - modernizacja przenośnika taśmowego T-130						Pkt. 6.5. Zmiana lokalizacji przenośnika taśmowego T-103								
	KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1					
	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P			
Adaptacja istniejących urządzeń i obiektów technologicznych	0.1	10	1.00	0.1	10	1.00	0.1	4	0.40	0.1	4	0.40	0.1	8	0.80	0.1	8	0.80	0.1	8	0.80	0.1	6	0.60	0.1	6	0.60	0.1	7	0.70	0.1	2	0.20
Ograniczenie emisji czynników szkodliwych do otoczenia	0.09	5	0.45	0.09	5	0.45	0.09	5	0.45	0.09	8	0.72	0.09	6	0.54	0.09	6	0.54	0.09	6	0.54	0.09	4	0.36	0.09	4	0.36	0.09	4	0.36	0.09	4	0.36
Możliwość realizacji rozwiązania bez przerwy w produkcji HMG	0.07	3	0.21	0.07	10	0.70	0.07	5	0.35	0.07	5	0.35	0.07	4	0.28	0.07	6	0.42	0.07	10	0.70	0.07	5	0.35	0.07	5	0.35	0.07	2	0.14	0.07	10	0.70
Stopień unifikacji urządzeń	0.11	8	0.88	0.11	8	0.88	0.11	3	0.33	0.11	6	0.66	0.11	5	0.55	0.11	5	0.55	0.11	2	0.22	0.11	8	0.88	0.11	5	0.55	0.11	5	0.55			
Możliwość wykonania przez Jednego Wykonawcę	0.06	6	0.36	0.06	6	0.36	0.06	7	0.42	0.06	7	0.42	0.06	7	0.42	0.06	9	0.54	0.06	4	0.24	0.06	7	0.42	0.06	6	0.36	0.06	6	0.36			
Poprawa bezpieczeństwa pracownika	0.08	5	0.40	0.08	8	0.64	0.08	6	0.48	0.08	8	0.64	0.08	4	0.32	0.08	4	0.32	0.08	5	0.40	0.08	3	0.24	0.08	4	0.32	0.08	4	0.32			
Czas montażu, wykonania	0.07	5	0.35	0.07	10	0.70	0.07	4	0.28	0.07	7	0.49	0.07	5	0.35	0.07	3	0.21	0.07	8	0.56	0.07	2	0.14	0.07	6	0.42	0.07	5	0.35			
Automatyzacja czynności procesowych	0.12	4	0.48	0.12	4	0.48	0.12	6	0.72	0.12	6	0.72	0.12	6	0.72	0.12	6	0.72	0.12	6	0.72	0.12	7	0.84	0.12	7	0.84	0.12	2	0.24			
Ograniczenie zakresu prac projektowych	0.05	3	0.15	0.05	6	0.30	0.05	4	0.20	0.05	6	0.30	0.05	6	0.30	0.05	2	0.10	0.05	4	0.20	0.05	4	0.20	0.05	10	0.50	0.05	7	0.35			
Stopień przebudowy istniejącego układu	0.11	5	0.55	0.11	5	0.55	0.11	8	0.88	0.11	5	0.55	0.11	8	0.88	0.11	5	0.55	0.11	10	1.10	0.11	5	0.55	0.11	8	0.88	0.11	6	0.66			
Łatwość montażu i usuwania stanów awaryjnych	0.1	3	0.30	0.1	8	0.80	0.1	3	0.30	0.1	6	0.60	0.1	8	0.80	0.1	2	0.20	0.1	5	0.50	0.1	4	0.40	0.1	9	0.90	0.1	3	0.30			
Ograniczenie zużycia mediów	0.04	4	0.16	0.04	6	0.24	0.04	6	0.24	0.04	2	0.08	0.04	6	0.24	0.04	4	0.16	0.04	3	0.12	0.04	2	0.08	0.04	10	0.40	0.04	8	0.32			
SUMA	1	62	4,86	1	86	7,10	1	61	5,05	1	73	5,93	1	73	6,20	1	58	4,99	1	79	6,73	1	48	4,22	1	83	6,49	1	59	4,65			

Tab. 5. Ocena wagowa proponowanych zmian i rozwiązań technicznych [opracowanie własne]

	Pkt. 6.6. Zabudowa węg taśmowych na przenośnikach taśmowych T-101, T-102, T-134 i 5-5						Pkt. 6.7. Zmiana trasy galerii przenośników Ciaga Podawania Dodatków Władowych do PK						Pkt. 6.8. Zmiana przenośnika taśmowego S-4 na przenośnik zgrzebłowy.						Pkt. 6.9. Kruszenie i przesiewanie żużla stałego na Oczyszczalni Kald						Pkt. 6.10. Modernizacja Suzzarni Dodatków Władowych					
	KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1			KONCEPCJA			PROPOZYCJA 1		
	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P	W	P	W/P
Adaptacja istniejących urządzeń i obiektów technologicznych	0.1	3	0.30	0.1	3	0.30	0.1	4	0.40	0.1	8	0.80	0.1	6	0.60	0.1	6	0.60	0.1	5	0.50	0.1	9	0.90	0.1	5	0.50	0.1	7	0.70
Ograniczenie emisji czynników szkodliwych do otoczenia	0.09	5	0.45	0.09	5	0.45	0.09	3	0.27	0.09	3	0.27	0.09	2	0.18	0.09	2	0.18	0.09	7	0.63	0.09	5	0.45	0.09	5	0.45	0.09	6	0.54
Możliwość realizacji rozwiązania bez przerwy w produkcji HMG	0.07	7	0.49	0.07	4	0.28	0.07	2	0.14	0.07	6	0.42	0.07	5	0.35	0.07	5	0.35	0.07	8	0.56	0.07	8	0.56	0.07	4	0.28	0.07	6	0.42
Stopień unifikacji urządzeń	0.11	4	0.44	0.11	6	0.66	0.11	8	0.88	0.11	8	0.88	0.11	7	0.77	0.11	3	0.33	0.11	7	0.77	0.11	7	0.77	0.11	5	0.55	0.11	5	0.55
Możliwość wykonania przez Jednego Wykonawcę	0.06	2	0.12	0.06	2	0.12	0.06	5	0.30	0.06	5	0.30	0.06	4	0.24	0.06	4	0.24	0.06	8	0.48	0.06	8	0.48	0.06	6	0.36	0.06	3	0.18
Poprawa bezpieczeństwa pracownika	0.08	3	0.24	0.08	8	0.64	0.08	6	0.48	0.08	6	0.48	0.08	3	0.24	0.08	4	0.32	0.08	5	0.40	0.08	7	0.56	0.08	6	0.48	0.08	5	0.40
Czas montażu, wykonania	0.07	8	0.56	0.07	6	0.42	0.07	5	0.35	0.07	10	0.70	0.07	6	0.42	0.07	6	0.42	0.07	8	0.56	0.07	7	0.49	0.07	6	0.42	0.07	9	0.63
Automatyzacja czynności procesowych	0.12	1	0.12	0.12	10	1.20	0.12	2	0.24	0.12	6	0.72	0.12	4	0.48	0.12	6	0.72	0.12	4	0.48	0.12	4	0.48	0.12	5	0.60	0.12	4	0.48
Ograniczenie zakresu prac projektowych	0.05	7	0.35	0.05	5	0.25	0.05	5	0.25	0.05	8	0.40	0.05	3	0.15	0.05	5	0.25	0.05	7	0.35	0.05	5	0.25	0.05	2	0.10	0.05	7	0.35
Stopień przebudowy istniejącego układu	0.11	7	0.77	0.11	5	0.55	0.11	5	0.55	0.11	8	0.88	0.11	3	0.33	0.11	5	0.55	0.11	10	1.10	0.11	8	0.88	0.11	6	0.66	0.11	7	0.77
Łatwość montażu i usuwania stanów awaryjnych	0.1	7	0.70	0.1	5	0.50	0.1	2	0.20	0.1	2	0.20	0.1	8	0.80	0.1	5	0.50	0.1	4	0.40	0.1	8	0.80	0.1	6	0.60	0.1	6	0.60
Ograniczenie zużycia mediów	0.04	8	0.32	0.04	4	0.16	0.04	3	0.12	0.04	7	0.28	0.04	7	0.28	0.04	5	0.20	0.04	8	0.32	0.04	8	0.32	0.04	7	0.28	0.04	5	0.20
SUMA	1	62	4,86	1	63	5,53	1	50	4,18	1	77	6,33	1	58	4,84	1	56	4,66	1	80	6,67	1	84	6,94	1	66	5,44	1	75	6,08

We wskazanych tabelach oceny (tab. 4. oraz 5) zebrane zostały wszystkie zaproponowane warianty rozwiązań, spośród których należało dokonać wyboru. Pod każdym z rozpatrywanych wariantów zgrupowano kolumny, w których dla każdego z kryteriów określono wartości liczbowe dla następujących parametrów oceny wagowej:

- Współczynnik wagi, „W”, jaki został przypisany poszczególnym kryteriom w początkowym etapie pracy. Im większa jest waga, tym większe jest znaczenie kryterium dla całkowitej oceny danego rozwiązania.

- b) Wartość oceny „P”, która wyraża to, w jakim stopniu dany wariant spełnia cele częściowe, czyli kryteria oceny.
- c) Wartość iloczynu $W \cdot P$, – czyli spełnienie celów z uwzględnieniem wag (pomnożenie oceny przez współczynnik wagi).

Wskaźnik całkowitego spełnienia pojedynczego celu częściowego jest sumą poszczególnych iloczynów w obrębie danego wariantu. Dla każdego z analizowanych rozwiązań wariant z najwyższą oceną całościową uważany jest za najlepszy.

5. Podsumowanie i wnioski

Realizacja niniejszego opracowania w całości odnosi się do rzeczywistych problemów oraz niedoskonałości analizowanego procesu produkcyjnego. Wynikiem końcowym przeprowadzonych działań jest niewątpliwie osiągnięcie celów sformułowanych w początkowym etapie pracy.

Dla wybranych rozwiązań analizowanego obszaru rachunek kosztów uwidacznia znaczące oszczędności finansowe. Dotyczą one zarówno kosztów inwestycyjnych, jak również produkcyjnych. Szczegółową analizę kosztów zawarto w pracy [8].

Osiągnięcie wykazanych wyników finansowych, jako składnika analizy końcowej nie byłoby jednak możliwe bez analizy wstępnej, na którą złożyły się:

- analiza oraz strukturyzacja celów,
- analiza wymagań i ograniczeń,
- analiza funkcji procesu.

Hierarchizacja celów w początkowym etapie pracy wytyczyła główne kierunki przyszłych działań, mających na celu wielokryterialną modernizację rozpatrywanego procesu produkcyjnego.

Znaczący wpływ na podjęte działania operacyjne tj.: tworzenie, ocenę oraz wybór wariantów rozwiązań do realizacji miała analiza wymagań i ograniczeń. W jej wyniku zebrano i uporządkowano oczekiwania Inwestora, przyszłego Użytkownika oraz Zespołu Projektowego. Działanie takie pozwoliło uniknąć błędnych decyzji oraz straty czasu na tworzenie wadliwych koncepcji dla osiągnięcia zdefiniowanych wcześniej celów. Przyczyniło się także do właściwego rozpoznania oraz ograniczenia potencjalnych problemów w późniejszej fazie tworzenia wariantów rozwiązań.

Równie pomocna w działaniach operacyjnych dla optymalizacji analizowanego procesu produkcyjnego okazała się analiza funkcji składowych procesu. W jej wyniku rozbudowano moduły funkcjonalne głównych węzłów produkcyjnych. Ideą zastosowanej analizy było funkcjonalne rozpatrywanie elementów analizowanego procesu produkcyjnego tzn.: określenie, „co jest realizowane” z jednoczesnym uwzględnieniem kolejnych kroków przebiegu procesu (np.: przepływ materiału, strumień czynników procesowych, itp.). Dzięki temu określenie sposobu realizacji danej funkcji w sensie technicznym tzn.: „jak” względnie, „czym” będzie ona realizowana w rzeczywistości, ograniczone zostało do funkcji prostych. Znacząco ułatwiło poszukiwanie i wskazanie rozwiązania.

Literatura

1. J. M. Juran, F. M., Gryna Juran's Quality Control Handbook, New York, (1998).
2. Więznowski A., Sosnowski M., Szlachetka P.: Analiza i optymalizacja procesów produkcyjnych i usług. Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław, (2007).

3. Materiały wewnętrzne firmy: Koncepcja Programowo Przestrzenna – Projekt Modernizacji Pirometalurgii w H.M. „Głogów – I”. Bipromet S.A., Katowice, (2008).
4. Materiały wewnętrzne firmy: Instrukcja technologiczna HMG/IT/P1/01 - Technologia przygotowania wsadu do pieców szybowych. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, (2009).
5. Materiały wewnętrzne firmy: Instrukcja technologiczna HMG/IT/P21/01- Przygotowanie wsadu do pieca zawieszinowego i materiałów pomocniczych do pieca elektrycznego i konwertorów. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, (2010). 35
6. Materiały wewnętrzne firmy: Instrukcja technologiczna HMG/IT/P23/01 – Odmiedziowanie żużla zawieszinowego w piecu elektrycznym. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice, (2010).
7. Materiały wewnętrzne firmy: Instrukcja technologiczna HMG/IT/P23/02 - Konwertorowanie stopu Cu-Pb-Fe. KGHM Oddział H.M. Głogów, Żukowice (2010)
8. J. Walner: Optymalizacja linii produkcyjnej przygotowania dodatków wsadowych w Hucie Miedzi „Głogów – I”, praca dyplomowa II stopnia, Zielona Góra 2013

Dr inż. Roman KIELEC
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją
Uniwersytet Zielonogórski
65-001 Zielona Góra, ul. Licelana 9 tel./fax.: 504070243
e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl

Mgr inż. Jacek WALNER
KGHM Polska Miedź S.A.
ul. Żukowicka 1
67-231 Żukowice
tel./fax.: 783476304
e-mail: j.walner@kghm.pl