

WPŁYW LOGISTYKI ZAOPATRZENIA NA PROCES MODELOWANIA ZŁOŻONYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH W HUTNICTWIE

Obiektem badań jest walcownia taśm stalowych walcowanych na gorąco w Hucie ArcelorMittal Poland w Krakowie. W opracowaniu przedstawiono model logistycznego systemu walcowni, w którym uwzględniono typowe jego podsystemy, tzn. przepływu i składowania materiałów. Elementami systemu walcowni są urządzenia produkcyjne, transportowe, magazyny międzyoperacyjne i wyrobów gotowych. Logistyczne podejście wymaga m.in. minimalizowania czasu przejścia materiałów przez system, minimalizowania zapasów do produkcji oraz powinno wykazywać ograniczone zużycie energii i narzędzi produkcyjnych użytych do wytwarzania wyrobu finalnego. Zbudowany model powinien być podstawą do sformułowania logistycznego systemu walcowni taśm uwzględniając zarówno aspekty technologiczne, jak i ekonomiczne funkcjonowania badanej walcowni. Do realizacji zadania wykorzystano symulator przepływu materiałów Dosimis-3.

WSTĘP

Dzisiejsza globalna gospodarka wymusza na przedsiębiorstwach działania zmierzające do wzrostu efektywności, sprawności, płynności oraz przejrzystości procesów gospodarczych w obrębie przedsiębiorstwa, ale także całego łańcucha dostaw. Rynek wymaga od przedsiębiorcy kompleksowego spojrzenia na realizację procesów logistycznych. Logistyka odgrywa ważną, a często nawet decydującą rolę w rozwoju firm, sektorów gospodarki, regionów i całych krajów. W wielu zakładach produkcyjnych zwłaszcza w hutach stali krajów rozwiniętych przemysłowo coraz częściej stosowanym narzędziem w skutecznym zarządzaniu przedsiębiorstwem jest logistyka [1-2]. Produkcja hutnicza jest realizowana wieloetapowo. Struktura walcowni charakteryzuje się istnieniem dużej liczby stanowisk międzyoperacyjnych rozmieszczonych pomiędzy urządzeniami produkcyjnymi. Na składowiskach tych magazynowane są zapasy materiału i narzędzia potrzebne do zapewnienia ciągłości produkcji. Największy priorytet mają zamówienia o najdłuższej serii. Zmieniająca się sytuacja rynkowa zmusza producenta do realizacji każdego zamówienia w żądanym terminie. Oznacza to takie działanie systemu produkcyjnego i powiązanego z nim transportu wewnątrz-zakładowego, aby przepływ narzędzi i materiałów potrzebnych do realizacji produkcji w poszczególnych fazach był dostarczony wg zasady „just in time” [2]. Z tego powodu oszczędności należy szukać w skróceniu czasów przejścia materiału przez poszczególne podsystemy produkcyjne, racjonalnym zmniejszeniu rezerw materiałowych oraz właściwym doborze urządzeń produkcyjnych.

1. WPŁYW TRANSPORTU WEWNĄTRZAKŁADOWEGO NA GOSPODARKĘ NARZĘDZIOWĄ

Walcownie gorące taśm stalowych należą do końcowego fragmentu ciągu technologicznego hut. Specyfika ich produkcji leży w sferach: technologicznej i organizacyjnej [3]. Produkują one od kilkudziesięciu do kilkuset asortymentów taśm i blach. Różnorodność asortymentu, zarówno pod względem rodzajów wyrobów, gatunków stali, jak i wymiarów, powoduje, że istnieje wiele możliwych wariantów technologicznych realizacji poszczególnych zamówień [4].

Złożona struktura technologiczna produkcji oraz wymagania marketingowe powodują, że problem skutecznej gospodarki narzędziowej w walcowniach gorących taśm jest bardzo skomplikowany. Skutecznie realizowana gospodarka narzędziowa powinna przebiegać w oparciu o informacje z kompleksowo przetworzonych zamówień, zweryfikowanych o stopień ich wykonania i zawartość składów międzyoperacyjnych [5].

Dobrze zorganizowany transport wewnątrzzakładowy ma za zadanie dostarczenie określonych rodzajów i ilości narzędzi, materiałów, półwyrobów lub wyrobów gotowych we właściwym czasie, w odpowiednie miejsca systemu produkcji. Złe zorganizowany transport wewnętrzny przyczynia się do powstania niskiego stopnia wykorzystania czasu pracy środków transportowych, wysokich kosztów transportu oraz niepełnego wykorzystania zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa. Z tego względu istotnym zagadnieniem jest modernizacja i nieustanne doskonalenie istniejącego transportu wewnętrznego, co uznawane jest obecnie za źródło znaczących ukrytych rezerw w działalności walcowni. Modele podsystemu transportu wewnętrznego nie poddają się na ogół matematycznym metodom analizy, co zmusza do stosowania technik symulacji [6]. Prowadzone badania symulacyjne pomagają w zorganizowaniu w walcowni systemu bezkolizyjnego i skutecznego transportu, a także pozwalają na wykrycie i uniknięcie występujących zakłóceń w procesie transportowym, m.in. np. opóźnień w dostawie narzędzi do agregatów produkcyjnych. Skutecznie realizowana gospodarka narzędziowa powinna przebiegać w oparciu o informacje z kompleksowo przetworzonych zamówień, zweryfikowanych o stopień ich wykonania i zawartość składów międzyoperacyjnych.

2. DOSIMIS-3 JAKO NARZĘDZIE MODELOWANIA

Zastosowanie technik symulacyjnych do rozwiązania złożonych problemów technologicznych w warunkach przemysłowych wymaga wydajnego narzędzia symulacyjnego, jak np. Dosimis-3. Jest to interaktywny, obiektowy symulator graficzny umożliwiający symulację procesów przepływu materiałów i systemów produkcyjnych w czasie dyskretnym [7], przez co staje się pomocny w podejmowaniu skutecznych decyzji technologicznych na poziomie operacyjnego planowania i przygotowania produkcji w danym przedsiębiorstwie. To program, który pozwala na śledzenie zachowania się urządzeń

„krok po kroku”, a co za tym idzie możliwości eliminacji wszelkich błędów oraz uzyskania wyników, niezbędnych do podejmowania określonych decyzji w zakresie wspomaganie procesów planowania produkcji. Na zbudowanym modelu można prowadzić badania systemu transportowo-magazynowego, współpracującego z przyjętym podsystemem produkcyjnym.

Na podstawie danych o czasach trwania przejść partii materiałów przez stanowiska produkcyjne, które określono podczas wykonanych pomiarów w walcowni oraz czasów trwania cykli pracy urządzeń produkcyjnych, przeprowadzona została analiza ruchu wszystkich partii materiału znajdujących się w badanej walcowni. Celem analizy jest obniżenie kosztów produkcji oraz usprawnienie procesu planowania i przygotowania produkcji. W modelu symulacyjnym wyznaczone są czasy, w których następuje zwolnienie urządzeń produkcyjnych, umożliwiające rozpoczęcie obsługi następnej partii. Kolejność przechodzenia partii materiału z magazynu do urządzenia produkcyjnego określa zasada FIFO (z ang. *First Input First Output* - pierwszy przybył - pierwszy wysłany) [2], choć możliwe jest wprowadzenie dowolnej innej zasady (np. priorytetów w zamówieniach). Do zamodelowania systemu konieczne jest posiadanie odpowiedniej bazy danych opisującej poszczególne elementy systemu (urządzenia produkcyjne, transportowe i składowiska). Są to m.in.:

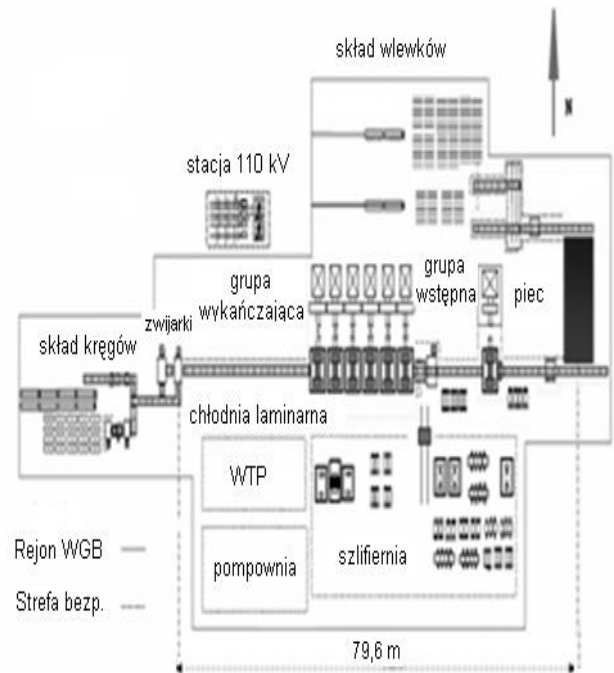
- czas transportu materiałów urządzeniami transportowymi (suwnice, podajniki),
- czas trwania operacji technologicznych,
- wymiary obiektów (długość dróg transportowych, pojemność magazynów),
- czasy przebrożeń urządzeń transportowych,
- czasy trwania zakłóceń w działaniu systemu.

Jedną z istotniejszych wielkości opisujących działanie systemu jest współczynnik wykorzystania urządzeń technologicznych oraz zajętość urządzeń produkcyjnych i transportowych. Zintegrowane z procesami zarządzania modelowanie symulacyjne systemów ułatwia i pomaga racjonalizować podejmowane decyzje, przyczyniając się tym samym do lepszego wykorzystania posiadanych w przedsiębiorstwie zasobów i zwiększenia wydajności systemu. Dużym udogodnieniem programu jest podgląd działania modelu. Można tego dokonać podczas wykonywania animacji. Takie działanie pozwala wyeliminować błędy spowodowane nieprawidłowym doбором priorytetów wyjść i wejść do modelu, co może powodować blokadę symulacji mimo wprowadzenia prawidłowych danych [7]. Pozwala także na przeanalizowanie stanu w jakim znajduje się materiał, tj. czy jest on transportowany, obrabiany, czy też czeka na realizację procesu transportu lub obróbki.

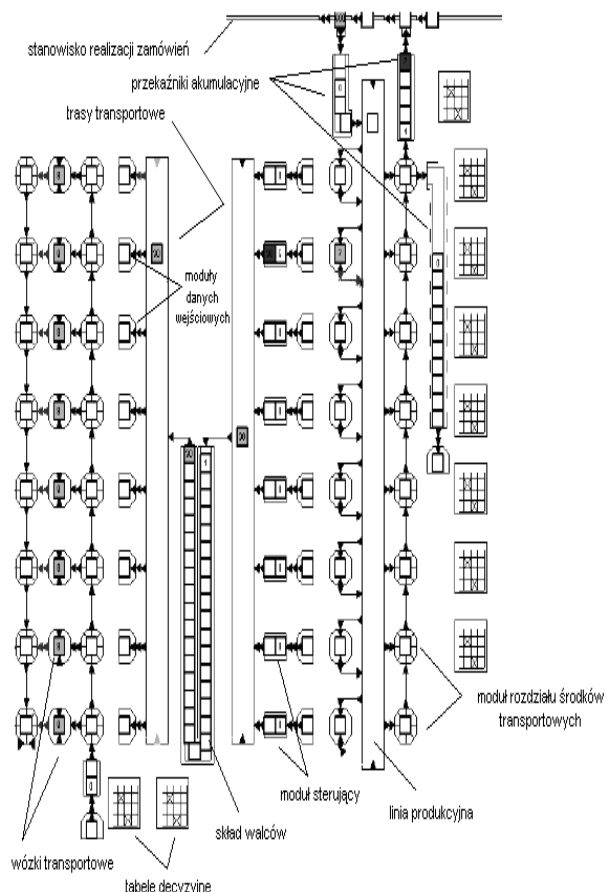
3. MODELOWANIE SYSTEMU TRANSPORTU TECHNOLOGICZNEGO

Do zbudowania modelu komputerowego systemu transportowego potrzebna jest znajomość struktury obiektu, w tym przypadku analizowanej walcowni. Schemat jej struktury pozwala na wyszczególnienie wzajemnych powiązań między poszczególnymi urządzeniami. Przedstawienie systemu w formie schematu pozwala na dokładniejsze poznanie relacji, a tym samym ułatwia wykonanie modelu. Rozplanowanie urządzeń walcowni taśm stalowych na gorąco pokazano na rysunku 1.

Schemat struktury podsystemu dla przykładu na linii narzędziownia-zespół kłatek wykańczających walcowni taśm wykonany na podstawie rzeczywistego planu pokazanego na rys. 1, w symulatorze graficznym Dosimis-3 przedstawiono na rys. 2.

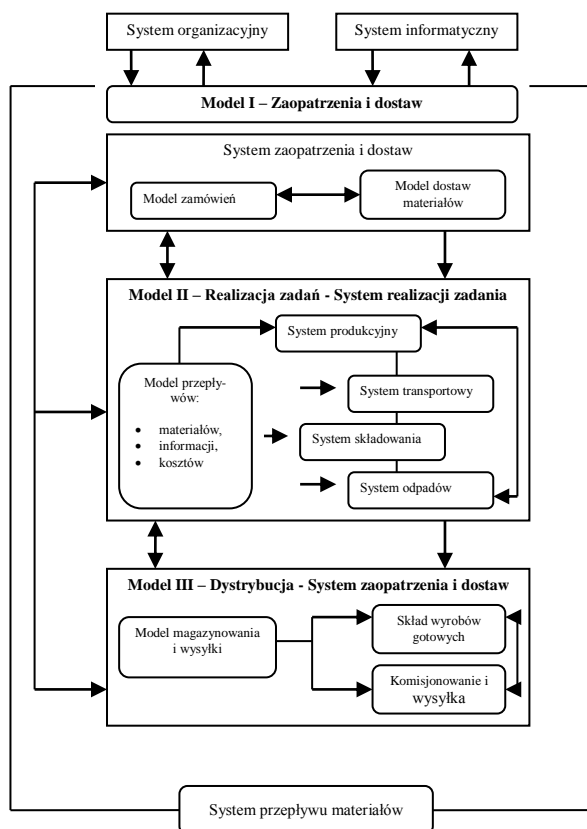


Rys. 1. Schemat walcowni taśm stalowych walcowanych na gorąco [8]



Rys. 2. Model logistycznego systemu na linii narzędziownia - zespół kłatek wykańczających

Budowa modelu opiera się o istniejący w analizowanej walcowni system przepływu materiałów, opisany w postaci modelu logistycznego systemu walcowni pokazanego na rysunku 3.



Rys. 3. Model logistycznego systemu walcowni taśm stalowych na gorąco [2]

Model ten obejmuje następujące systemy logistyczne [9-11]:

1. Zaopatrzenia - system zamówień oraz dostaw materiałów wsadowych i narzędzi, obejmujący m.in.: sposób pozyskiwania zamówień na produkcję określonych wyrobów, oczekiwany czas wykonania zamówienia, strukturę dostaw narzędzi, surowców i półwyrobów potrzebnych do produkcji wyrobów, charakterystykę urządzeń odbiorczo-przeładunkowych i niezbędnych składowisk.
2. Realizacji zadania produkcyjnego - system dotyczący: produkcji, transportu, składowania i powtórnego zagospodarowania odpadów. W odniesieniu do przepływu materiałów powinien uwzględniać m.in.:
 - w systemie produkcyjnym: technologię produkcji (relację między urządzeniami), charakterystyki urządzeń produkcyjnych (czas przetwarzania materiału, czas przebudów, terminy remontów, niezawodność działania) i przepływ materiałów (części zamiennie),
 - w systemie transportowym: rodzaje urządzeń i ich parametry techniczne, cykle transportowe dla przyjętej struktury dróg transportowych oraz charakterystyki eksploatacyjne urządzeń,
 - systemie składowania: rodzaje składowisk (materiałów do produkcji, części zamiennych), charakterystyki składowisk (pojemność, sposób składowania),
3. Dystrybucji - system magazynowania, komisjonowania i wysyłki wyrobów. Powinien on obejmować m.in.: składowanie, pojemność magazynów, charakterystykę urządzeń, sposób wysyłki, tj. rodzaj, termin wysyłki itp.

Podstawowe relacje między elementami systemu walcowni taśm stalowych na gorąco wynikają z procesu przepływu materiałów oraz z określenia czasu realizacji zadania logistycznego. Model ten

został wykorzystany do sterowania przepływem materiałów w danej walcowni w celu racjonalnego wykorzystania urządzeń produkcyjnych i transportowych, a także do wyznaczenia czasu realizacji zamówień i kosztów wytworzenia wyrobu gotowego. Zbudowany model może stać się pomocny przy modernizacji systemu, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane do odpowiedniego doboru parametrów technologicznych i transportowych pozwalających usprawnić przepływ materiału w walcowni.

4. PROGRAM BADAŃ

Dane wejściowe wykorzystane do symulacji przepływu materiałów zostały zebrane podczas badań rzeczywistego systemu produkcji [8]. Identyfikacji poddano tylko te parametry pracy agregatów produkcyjnych i transportowych, które decydują o przepływie materiału pomiędzy urządzeniami i składowiskami. Program przeprowadzonych badań symulacyjnych obejmował: symulację działania systemu produkcyjnego, którego struktura i atrybuty odpowiadają strukturze oraz atrybutom systemu realnego. Symulacje były prowadzone na urządzeniach i agregatach produkcyjnych będących na wyposażeniu walcowni, począwszy od pieca przez walcarki zespołu wstępnego i wykańczającego, aż po zwijarki. Dane do budowy modelu generowane były zgodnie z tabl. 1, uwidaczniającą historyczne dane dotyczące okresu trwania losowych 50-ciu kampanii walcowniczych zrealizowanych w walcowni w latach 2016 i 2017. Dane te dostarczają kluczowych informacji, o ilości i typie wlewków będących buforem wejścia do danego modelu.

Tab. 1. Przykładowa kampania walcownicza realizowana przez walcownię [8]

Lp	Nr kampanii	Liczba wlewków
0	1	3
1	1	3
2	2	2
3	2	2
4	2	10
5	3	2
6	4	3
7	5	29
8	6	5
9	6	12
10	7	11
11	7	3
12	8	4
13	8	1
14	9	3
15	10	3
16	11	2
17	12	10
18	13	2
19	14	4
20	15	6

Jako parametry wejściowe do analizy przyjęto następujące charakterystyki urządzeń technologicznych i transportowych [8]:

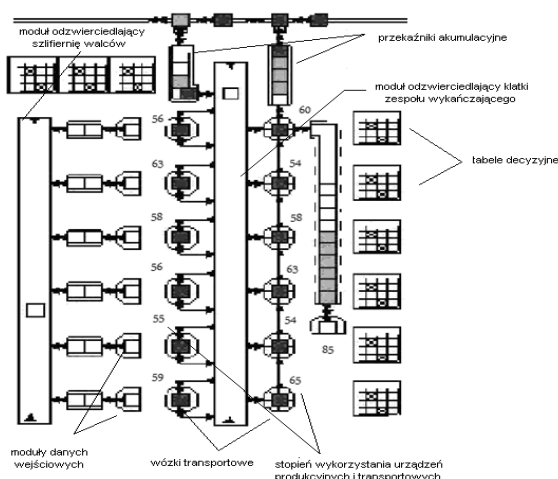
1. Piec grzewczy pokroczny:
 - czas wygrzewania wlewków: 180 minut,
 - wydajność pieca: 450 Mg/h,
 - temperatura maksymalna wyładunku wlewków: 1250 °C.
2. Klatka wstępna:
 - prędkość walcowania: 0-6,5 m/s,
 - długość końcowa pasma: 90 m,
 - liczba przepustów: 7,
 - długość drogi transportowej: L = 20 m.
3. Zespół klatek wykańczających:
 - prędkość walcowania: 20,40 m/s,

- długość drogi transportowej: $L = 12$ m.
- 4. Chłodnia laminarna:
 - długość drogi transportowej: $L = 112,5$ m,
 - prędkość samotoku chłodni: $0,4$ m/s.
- 5. Zwijarki:
 - prędkość zwijania: $21,76$ m/s,
 - długość drogi transportowej: $L = 8$ m.
- 6. Magazyn kręgów:
 - pojemność magazynu: 2000 Mg,
 - liczba suwnic: 2 ,
 - prędkość jazdy mostu $m_v = 0,7-1,5$ m/s,
 - długość drogi transportowej $L = 15$ m.

Pozostałe parametry technologiczne i transportowe odzwierciedlają rzeczywiste warunki przemysłowe panujące w analizowanej walcowni. Do badania wybrano tylko parametry linii technologicznej mające decydujący wpływ na działanie podsystemu produkcyjnego i transportowego.

5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W wyniku przeprowadzonych symulacji, otrzymano wartości wykorzystania i zajętości procentowej poszczególnych elementów wchodzących w skład systemu produkcyjnego. Średnią zajętość procentową elementów podsystemu pokazano na rysunku 4, z którego wynika, że wykorzystanie agregatu produkcyjnego dla produkcji na poziomie $2,4$ mln Mg/rok wynosi ok. $63,4$ %.



Rys. 4. Stopień wykorzystania urządzeń produkcyjnych i transportowych zespołu wykańczającego, %

Walcarki wykańczające mają decydujące znaczenie na zajętość średnią wszystkich urządzeń transportowych w systemie. Należy podkreślić, że dla zdolności produkcyjnej walcowni istnieją jeszcze pewne rezerwy transportowe w analizowanym podsystemie. Analizując diagram stanów urządzeń, zwrócono uwagę na występujące mikroprzestoje urządzeń transportowych, określone w pracy [12-17]. Znajdują one swoje odbicie w kilkuminutowych przestojach agregatu produkcyjnego, których wyeliminowanie pozwoliłoby na zwiększenie wartości produkcji do poziomu $70-80$ Mg/m-c. Dokonać tego można poprzez zmianę miejsca postoju wózków transportujących osprzęt hutniczy (walce) do zabudowy w rejon klatek wykańczających, bez konieczności integracji w technologię produkcji. W chwili obecnej wózki transportowe oczekują w narzędziowni obok szlifierni walców. Gdy występuje konieczność zabudowy walców, np. z tytułu nieplanowanych przestojów muszą one przejechać przez całą długość hali produkcyjnej, pobrać odpowiedni typ i gatu-

nek walca i dostarczyć go na linię produkcyjną. Powoduje to wystąpienie kilkuminutowych przerw w pracy ciągu technologicznego. Gdyby przemieścić je na postój w pobliżu klatek walcarek zespołu wstępnego i wykańczającego wraz z załadunkiem zapasowych walców, znacznie skróciłby się czas przejazdu.

Przeprowadzono symulację zachowania się systemu transportowego dla zmienionej lokalizacji stanowiska wózków transportowych. W wyniku symulacji stwierdzono, że obciążenie agregatu produkcyjnego wynosi 97 %. Zajętość procentowa wzrosła również dla wózków transportujących narzędzia, tj. walce hutnicze. Porównując wartości symulacji bez uwzględnienia czasów na dostarczenie narzędzi można zauważyć poprawę wykorzystania efektywnego czasu pracy agregatu produkcyjnego z początkowych $63,4$ % do $84,7$ %.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można również na potrzeby walcowni opracować różne typy raportów produkcyjnych, obejmujące m.in.: sprawozdania z obrotu walcami w czasie eksploatacji, protokoły wycofania walców z eksploatacji, sprawozdanie kwartalne – zawierające informacje z rotacji hutniczego sprzętu technologicznego oraz zapotrzebowania, sprawozdania tygodniowe obejmujące parametry zużycia walców itp. Opracowane raporty mogą służyć kierownictwu walcowni do kontroli kosztów produkcji. Możliwość uzyskania z systemu na bieżąco informacji o produkcji, wskaźniku zużycia walców, aktualnym stanie walców i ich osprzętu, typie walca, nr walca itp., ułatwia podejmowanie decyzji przy planowaniu produkcji całego ciągu technologicznego, umożliwia skuteczne prowadzenie gospodarki magazynowej walców oraz stanowi bieżący nadzór nad wskaźnikiem zużycia walców w kg/Mg produkcji.

PODSUMOWANIE

Wykonana w pracy analiza i symulacje przepływu materiału w walcowni taśm stalowych na gorąco pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zastosowanie teorii systemów pozwala na dokładne rozpoznanie relacji między poszczególnymi urządzeniami transportowymi. Dzięki temu łatwiejsze jest dokonanie poprawnej identyfikacji istniejącego systemu produkcyjnego.
2. Istniejący w walcowni system transportowy zaprojektowany jest z dużym nadmiarem możliwości wykonawczych, czego efektem jest niepełne, bo na poziomie 33 %, wykorzystanie środków transportowych.
3. Wydłużenie czasu trwania cykli urządzeń transportowych o 22 % powoduje zwiększenie współczynnika wykorzystania tychże urządzeń.
4. Zastosowanie symulatora Dosimis-3 pozwala na zintegrowane modelowanie zakłóceń i awarii występujących w czasie pracy systemów, co ułatwia i pomaga optymalizować podejmowane decyzje, przyczyniając się tym samym do lepszego wykorzystania posiadanych w przedsiębiorstwie zasobów i zwiększenia wydajności procesu.
5. Zbudowany model może być podstawą do opracowania logistycznego systemu walcowni, tj. systemu obejmującego: przepływ narzędzi w walcowni, przepływ informacji i kosztów oraz przepływ decyzji.

BIBLIOGRAFIA

1. Bukowski L., Karkula M., *Transport wewnątrzzakładowy - symulacja z wykorzystaniem pakietu DOSIMI-3*, „Logistyka” 1999, nr 6.

2. Niekurzak M., *Zastosowanie metod symulacji do skrócenia cyklu walcowania taśm stalowych z wykorzystaniem modelu zużycia walców*, Praca doktorska, AGH, Kraków 2012.
3. Zasadzień M., Mazurkiewicz J., Szala J.: *Eksploracja a zużycie walców*, „Hutnik - Wiadomości hutnicze” 2004, nr 12.
4. Turczyn S., *Inżynieria wytwarzania płaskich wyrobów walcowanych na gorąco*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowe – Dydaktyczne, Kraków 2008.
5. Michłowicz E., *Modelowanie logistycznego systemu transportowego w walcowni zimnej blach*, Zeszyty Naukowe AGH, „Elektrotechnika”, T.14, z.4, Kraków 1995.
6. Kisiel P., Machnik R.: *Wykorzystanie symulatora DOSIMIS-3 do optymalizacji przepływu materiałów w małym i średnim przedsiębiorstwie*, „Logistyka” 2007, nr 5.
7. Dwiliński L., *Wstęp do logistyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
8. *Walcownia Taśm na Gorąco. Materiały Huty ArcelorMittal Poland w Krakowie* (nie publikowane).
9. Krzyżaniak S., *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2003.
10. Bendkowski J., Radziejowska G., *Logistyka zaopatrzenia w procesach dystrybucji*, Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
11. Kalmat Z., *Logistyka w hutnictwie*, „Hutnik - Wiadomości hutnicze” 2002, nr 11.
12. Karkula M., *Modelowanie i symulacja procesów logistycznych*, Rozprawy Monografie, Kraków 2013.
13. Kubiński W., Kubińska - Kaleta E., Niekurzak M., *Wpływ planowania produkcji na zużycie narzędzi w walcowni taśm stalowych na gorąco*, Aspekty inżynierii produkcji (pod redakcją Piotra Łebkowskiego), Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
14. Michłowicz E., *Modelowanie logistycznego systemu w walcowni blach karoseryjnych*, Problemy Maszyn Roboczych, 2000, z. 15.
15. Kornaszewski M., Kałuża S.: *System O-BAHN. AUTOBUSY* Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6 (196). Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM, Radom 2016.
16. Talar J., *Komputerowy model wspomaganie operacyjnych decyzji technologicznych w walcowni zimnej*, Praca doktorska AGH, Kraków 2003.
17. Wojtynek L., *Podejście systemowe w zarządzaniu przedsiębiorstwem hutniczym*, „Hutnik - Wiadomości hutnicze” 2013, nr 12.

The influence of logistics of supplies on the process of modeling of combined transport systems in method

The object of the study is to strip mill hot-rolled steel mill in Huta ArcelorMittal Poland in Cracow. The paper presents a model rolling mill logistic system which incorporates the characteristic of its subsystems: the movement and storage of materials. System components are mill production equipment, transportation, storage interop and finished products. Logistic approach requires inter alia: minimizing the transition time of materials through the system, minimizing inventories to production and should have reduced energy consumption and production tools used to manufacture the final product. For the model should be the basis to formulate the logistic system of strip mill, taking into account both the technological and economical operation of the test mill. To accomplish the task of material flow simulator was used Dosimis-3.

Autorzy:

dr inż. **Mariusz Niekurzak** – AGH Akademia Górniczo - Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, ul. Gramatyka 10, 30-067 Kraków, e-mail: mniekurz@zarz.agh.edu.pl

dr inż. **Ewa Kubińska-Jabcoń** – AGH Akademia Górniczo - Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, ul. Gramatyka 10, 30-067 Kraków,

JEL: O18 DOI: 10.24136/atest.2018.234

Data zgłoszenia: 2018.05.28 Data akceptacji: 2018.06.15