

Krystian PAPIEROWSKI<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Cezary SZWED<sup>2</sup>

## USPRAWNIENIE PRODUKCJI MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH W CEGIELNI ABC

**Streszczenie:** Niniejsza praca dotyczy zagadnienia usprawniania procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach za pomocą symulacji komputerowej na przykładzie produkcji materiałów ceramicznych w cegielni ABC. Dokonano analizy procesu, stworzono model koncepcyjny i zbudowano model symulacyjny w programie Tecnomatix. Przeprowadzono cztery eksperymenty w celu usprawnienia procesu, dokonano analizy ekonomicznej jednego z rozwiązań i wyciągnięto wnioski.

**Słowa kluczowe:** usprawnianie procesów produkcyjnych, symulacja komputerowa, model symulacyjny, eksperymenty symulacyjne, produkcja cegieł, Tecnomatix PlantSimulation

## IMPROVING CERAMIC MATERIAL PRODUCTION IN THE BRICK FACTORY ABC

**Summary:** This work concerns the issue of improving production processes in enterprises using computer simulation on the example of the production of ceramic materials in the ABC brickyard. The process was analyzed, a conceptual model was created, and a simulation model was built in the Tecnomatix program. Four experiments were carried out to improve the process, an economic analysis of one solution was made and conclusions were drawn.

**Keywords:** improvement of production processes, computer simulation, simulation model, simulation experiments, brick production, Tecnomatix PlantSimulation

### 1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy zostanie przedstawiony problem usprawnienia procesu produkcyjnego z wykorzystaniem modelowania symulacyjnego. Przedmiotem rozważań będzie produkcja materiałów ceramicznych w cegielni ABC. Cegielnia zajmuje się głównie produkcją pustaków ceramicznych poryzowanych, o nazwie handlowej PORIZO, a także dystrybucją powstających tam materiałów budowlanych.

---

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Zarządzanie, Specjalność: Inżynieria Cyfrowa, krystian.papierowski.stud@pw.edu.pl

<sup>2</sup> dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Zarządzania, cezary.szwed@pw.edu.pl

Celem projektu będzie próba usprawnienia procesu produkcji cegieł. Obecnie w przedsiębiorstwie zaobserwowano występowanie przestoju, m.in., na stanowisku suszenia. W pracy będzie również podjęta próba identyfikacji i likwidacji wąskich gardeł. Zostanie zaproponowana możliwość zastąpienia maszyn innymi, bardziej wydajnymi, aby zwiększyć zdolność produkcyjną przedsiębiorstwa. Nadrzędnym celem jest zwiększenie zysku osiąganego przez przedsiębiorstwo dzięki wprowadzonym ulepszeniom. Prezentowane wyniki powstały w ramach Warsztatów projektowych modelowania systemów produkcyjnych na Wydziale Zarządzania Politechniki Warszawskiej.

## 2. Analiza literatury dotycząca rozwiązywanego problemu

Podstawowym pojęciem z zakresu zarządzania produkcją jest **proces produkcyjny**, czyli szereg działań, który prowadzi do powstania produktów (wyrobów lub usług) dla konsumentów. W badanym przedsiębiorstwie proces produkcyjny prowadzi do powstania gotowej cegły. Składa się on z kilku faz i etapów, na które składa się wiele pojedynczych czynności. Kolejnym ważnym aspektem jest **cykl produkcyjny**. Można go zdefiniować jako czas niezbędny do wykonania partii lub serii wyrobów, niezależnie od ich wielkości (Knosala, 2017, s.67). Istotna jest również znajomość pojęcia **możliwości produkcyjnych**. Termin ten oznacza liczbę i asortyment wyrobów, które są możliwe do wykonania w określonym czasie. Omawiana cegielnia jest w stanie produkować 12 300 cegieł w ciągu 7 dni. Kolejnym zagadnieniem, które będzie pomocne przy badanym procesie, jest **produkcja na zapas (ang. make to stock MTS)**. Przy takim rodzaju produkcji zamówienia realizowane są za pomocą zapasów, które znajdują się w magazynie. Natomiast zlecenia produkcyjne mają za zadanie uzupełnianie tych zapasów. Produkty mogą być wytwarzane przed przyjęciem zamówienia od klienta, uwzględniając przeprowadzone prognozy popytu (Knosala, 2017, s.85). Cały czas istnieje zapotrzebowanie na tradycyjne materiały budowlane, a firma w swojej ofercie posiada wiele rodzajów wyrobów. Rzadko zdarzają się indywidualne zamówienia, które wymagają specjalnej realizacji, tzw. **produkcja na zamówienie (ang. make to order MTO)**. Charakteryzuje się ona tym, że jest realizowana wyłącznie na indywidualne zamówienie klienta, a wyroby lub usługi dopasowywane są do jego potrzeb, a nie do prognoz popytu.

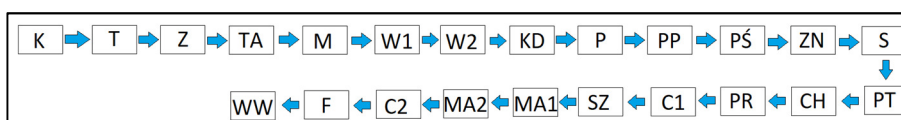
## 3. Opis procesu produkcyjnego

Badanym procesem jest produkcja materiałów ceramicznych oraz ich pakowanie. Na potrzeby projektu zostanie uproszczony model procesu i jako założenie zostanie przyjęta produkcja na zapas na skalę masową. Cegielnia pracuje 24 h na dobę w systemie 3-zmianowym po 8 godzin. Czas pracy jednego operatora przez 8 godzin jest pomniejszony o przysługującą mu przerwę obiadową, która trwa 30 minut i przerwy losowe. Celem realizacji procesu jest wyprodukowanie gotowej cegły zgodnie z wytycznymi, zawartymi w uprzednio opracowanej dokumentacji technologicznej. Jednostką produkcyjną, która jest przyjęta w tym procesie, to 1 wózek piecowy, który zawiera 300 cegieł. Proces technologiczny produkcji cegieł składa się z następujących etapów: sortowanie, formowanie, suszenie, wypalanie, rozładunek i szlifowanie, pakowanie.

Na każdym etapie produkcji wyroby poddawane są kontroli jakościowej i dopuszczane bądź nie do kolejnej fazy produkcji. Po pobraniu odpowiednich materiałów zostają one poddane mieszaniu wraz z procentowym udziałem gliny w cegle i odpadami z poprzedniej produkcji. Po dopuszczeniu do kolejnej fazy następuje formowanie mieszanki. Gdy uformowana mieszanka jest zgodna z dokumentacją i normami, następuje jej suszenie. Po tym etapie ponownie sprawdzana jest jakość wyrobu. Po dopuszczeniu do kolejnej fazy następuje wypalanie. Jeśli wypalona cegła spełnia kryteria jakościowe, zgodnie z dokumentacją i normami, następuje jej pakowanie. Stanowiska zlokalizowane są w różnych odległościach od siebie – czas transportu między nimi zajmuje średnio 3 minuty. Proces przeprowadzany jest z wykorzystaniem koparki (wywrotki), transportera, walców, koparki w dołowniku, miksera, pras ręcznych, prasy ślusarskiej, przecieraka, znakowarki, suszarni, wózków hartowanych z nasadami, pieców tunelowych, miejsca do chłodzenia, szlifierskich tarcz diamentowych, przesuwnic, chwytaków, manipulatorów, foliarki, folii, wózków widłowych oraz palet. Do wykonywania większości operacji na każdym etapie wyrobu cegły przypisanych jest maksymalnie 4 pracowników. W sumie nad produkcją cegły pracuje 14 pracowników w ciągu 1 zmiany.

#### 4. Model koncepcyjny i model symulacyjny procesu

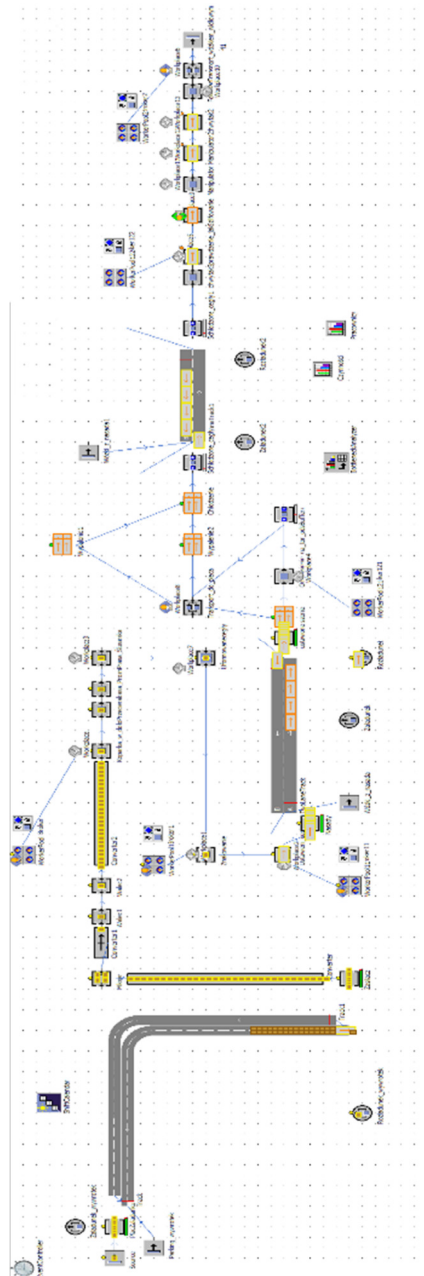
Rysunek 1. przedstawia model koncepcyjny procesu produkcji cegieł. Obiekty modelu występujące w procesie produkcji cegieł są następujące: K- koparka, T- transporter, Z- zasilacz, TA- taśmociąg, M- mikser, W1- walec 1, W2 - walec 2, KD-koparka w dołowniku, P- przecierak, PP- prasa próżniowa, PŚ- prasa ślusarska, ZN- znakowarka, WH- wózki hartowane z nasadą, S- suszarnia, PT- piec tunelowy, CH-miejsce do chłodzenia, PR- przesuwnica, C1-chwytnak 1, SZ- szlifierka, MA1-manipulator 1, MA2- manipulator 2, C2- chwytnak 2, F-foliarka, P-palety, WW- wózek widłowy, drogi transportowe wyrobu (→).



Rysunek 1. Model koncepcyjny procesu produkcji cegieł

Po wydobyciu gliny następuje jej zapakowanie na wywrotkę i transport do zasilacza. Gлина przechodzi przez kolejne urządzenia i stanowiska robocze za pomocą taśmociągu. Czynności są wykonywane szeregowo. Awaryjne na jakimkolwiek stanowisku wpływają na następujące po nim operacje. Jeśli zostanie wykryta nieprawidłowość, wyrób nie przechodzi na kolejne stanowisko i zakwalifikowany jest do odpadów, w wyniku czego następne stanowiska czekają na nowe wyroby do obróbki. Zapas występuje tylko po procesie suszenia, tuż przed wypałem. W cegielni znajduje się 20 wózków hartowanych z nasadą, które są używane od procesu suszenia, aż do podania ich na linię pakowania. Przemieszczają się w obie strony po przesuwnicę w określonym cyklu. Zapakowane cegły na palety czekają na transport przez wózki widłowe.

Model symulacyjny został zbudowany w oparciu o informacje uzyskane od firmy i przygotowany model koncepcyjny – Rysunek 2. Wykorzystano do tego oprogramowanie Tecnomatix Plant Simulation firmy Siemens (TPS). Umożliwia ono tworzenie modeli procesów produkcyjnych i prowadzenie eksperymentów symulacyjnych.



Rysunek 2. Model symulacyjny procesu produkcyjnego

W celu walidacji modelu, przeprowadzono symulację, w ramach której w ciągu zadanego okresu 7 dni uzyskano 41 wózków cegieł, co jest równe 12 300 ceglom i 205 paletom. Z informacji uzyskanych od firmy wynika, że wynik symulacji jest bardzo bliski do rzeczywistej tygodniowej produkcji w cegielni.

## 5. Eksperymenty symulacyjne

Celem przeprowadzonych eksperymentów jest zwiększenie liczby produkowanych cegieł w okresie 7 dni, poprzez identyfikację wąskich gardeł i zaproponowanie działań usprawniających. W podstawowym modelu produkowanych jest 41 wózków piecowych, czyli 12 300 cegieł. Analizę wąskich gardeł przeprowadzono przy pomocy wbudowanego w program narzędzia Bottleneck Analyzer. Wąskie gardła, które występują w procesie to: Suszenie, Wypalenie1, Wypalenie2, Chłodzenie, Manipulator, Manipulator2, Transport wózkiem widłowym, Foliowanie, Transport do pieca, Chwytnak2, Odstawienie na tor odstawczy. Wyniki analizy pochodzące z programu TPS zaprezentowano na rysunku 3. Zakreślono stanowiska będące wąskimi gardłami procesu.

string	resource	working	set-up	waiting	blocked	poweringUpDown	disrupted	stopped	pause	sortCriteria
1	root.Converter	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	root.Converter1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	root.Converter2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	root.Suszenie	93.47	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.72
5	root.Wypalenie1	79.08	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.33
6	root.Wypalenie2	78.94	0.00	14.81	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.19
7	root.Chlodzenie	59.72	0.00	34.03	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	65.97
8	root.Szilfowanie	12.94	0.00	80.13	0.68	0.00	0.00	0.00	6.25	19.19
9	root.Walec2	4.34	0.00	0.06	89.35	0.00	0.00	0.00	6.25	10.59
10	root.Manipulator	4.27	0.00	89.48	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.52
11	root.Manipulator2	4.17	0.00	89.58	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.42
12	root.Transport wózkiem widlo...	4.07	0.00	89.68	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.32
13	root.Walec1	3.75	0.00	0.03	89.97	0.00	0.00	0.00	6.25	10.00
14	root.Foliowanie	3.08	0.00	90.67	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	9.33
15	root.chwytnak	1.79	0.00	84.82	7.14	0.00	0.00	0.00	6.25	8.04
16	root.Transport_do_pieca	1.75	0.00	92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	8.00
17	root.chwytnak2	1.63	0.00	92.12	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	7.88
18	root.Mikser	1.27	0.00	0.02	92.46	0.00	0.00	0.00	6.25	7.52
19	root.Ustawieni_cegieł_na_nasa...	0.91	0.00	2.11	90.72	0.00	0.00	0.00	6.25	7.16
20	root.Znakowanie	0.15	0.00	2.44	91.16	0.00	0.00	0.00	6.25	6.40
21	root.Prasa_Prozniowa	4.76	0.00	0.16	95.08	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76
22	root.Prasa_Slusarska	4.71	0.00	1.83	93.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71
23	root.Przecierak	3.85	0.00	0.77	95.38	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85
24	root.Koparka_w_dolowniku	1.94	0.00	5.62	92.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
25	root.Uformowaniecegły	0.93	0.00	2.62	96.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
26	root.Zaladunek_vyvrotek	0.34	0.00	99.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
27	root.TwoLaneTrack	0.32	0.00	99.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
28	root.Odstawienie_na_tor_odsta...	0.30	0.00	99.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

Rysunek 3. Analiza wąskich gardeł w podstawowym modelu

**Pierwszym eksperymentem** usprawniającym było zastąpienie chwytnaków i manipulatorów przez 2 roboty. Po przeprowadzeniu eksperymentu wyprodukowana ilość wózków z ceglami po 7 dniach pracy wynosi 43, a zatem zwiększyła się ona w stosunku do podstawowego modelu o 2 wózki piecowe, czyli 600 cegieł. Ponownie przeprowadzono analizę wąskich gardeł. Jej wyniki zawiera rysunek 4.

object	real	real	real	real	real	real	real	real	real	real
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
string	resource	working	set-up	waiting	blocked	poweringUpDown	disrupted	stopped	pause	sortCriteria
1	root.Converter	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	root.Converter1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	root.Converter2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	root.Suszenie	93.47	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.72
5	root.Wypalenie1	79.08	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.33
6	root.Wypalenie2	78.94	0.00	14.81	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.19
7	root.Chłodzenie	59.72	0.00	34.03	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	65.97
8	root.Szifowanie	13.27	0.00	80.36	0.11	0.00	0.00	0.00	6.25	19.52
9	root.Robot2	8.13	0.00	85.63	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	14.38
10	root.Walec2	4.34	0.00	0.06	89.35	0.00	0.00	0.00	6.25	10.59
11	root.Transport_wózkiem_widlo...	4.27	0.00	89.48	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.52
12	root.Robot1	4.02	0.00	85.42	4.31	0.00	0.00	0.00	6.25	10.27
13	root.Walec1	3.75	0.00	0.03	89.97	0.00	0.00	0.00	6.25	10.00
14	root.Foliowanie	3.23	0.00	90.52	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	9.48
15	root.Transport_do_pieca	1.75	0.00	92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	8.00
16	root.Mikser	1.27	0.00	0.02	92.46	0.00	0.00	0.00	6.25	7.52
17	root.Ustawieni_cegieł_na_nasa...	0.91	0.00	2.11	90.72	0.00	0.00	0.00	6.25	7.16
18	root.Znakowanie	0.15	0.00	2.44	91.16	0.00	0.00	0.00	6.25	6.40
19	root.Prasa_Prozniowa	4.76	0.00	0.16	95.08	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76
20	root.Prasa_Slusarska	4.71	0.00	1.83	93.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71
21	root.Przecierak	3.85	0.00	0.77	95.38	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85
22	root.Koparka_w_dolowniku	1.94	0.00	5.62	92.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
23	root.Uformowaniecegły	0.93	0.00	2.62	96.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
24	root.Zaladunek_wyvrotek	0.34	0.00	99.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
25	root.TwoLaneTrack	0.32	0.00	99.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
26	root.Odstawienie_na_tor_odsta...	0.30	0.00	99.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

Rysunek 4. Analiza wąskich gardła po pierwszym eksperymencie

Wąskie gardła występują teraz na stanowiskach: Suszenie, Wypalenie1, Wypalenie2, Chłodzenie, Robot2, Transport wózkiem widłowym, Foliowanie, Transport do pieca, Odstawienie na tor odstawczy. Okazało się, że po zastąpieniu stanowisk, na jednym z nich, a mianowicie na Robocie 2, pojawiło się wąskie gardło.

**Drugi eksperyment** polegał na zmianie metody foliowania ze zgrzewania na foliowanie kapturowe. Czas pracy stanowiska Foliowanie w strefie pakowania uległ skróceniu. Liczba wyprodukowanych wyrobów nie zmieniła się i wynosiła nadal 41 wózków piecowych po 7 dniach pracy. Brak zwiększenia produkcji, mimo skrócenia czasu pracy stanowiska, wynikał z przyjęcia, że w zadanym okresie mogą być produkowane tylko pełne wózki piecowe. Wąskie gardła nie zmieniły się w stosunku do poprzedniego eksperymentu – rysunek 5.

string	resource	working	set-up	waiting	blocked	poweringUpDown	disrupted	stopped	pause	sortCriteria
1	root.Converter	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	root.Converter1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	root.Converter2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	root.Suszenie	93.47	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.72
5	root.Wypalenie1	79.08	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.33
6	root.Wypalenie2	78.94	0.00	14.81	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.19
7	root.Chłodzenie	59.72	0.00	34.03	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	65.97
8	root.Szifowanie	13.00	0.00	80.40	0.36	0.00	0.00	0.00	6.25	19.25
9	root.Walec2	4.34	0.00	0.06	89.35	0.00	0.00	0.00	6.25	10.59
10	root.Manipulator	4.27	0.00	89.48	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.52
11	root.Manipulator2	4.17	0.00	89.58	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.42
12	root.Transport_wózkiem_widlo...	3.82	0.00	89.93	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	10.07
13	root.Walec1	3.75	0.00	0.03	89.97	0.00	0.00	0.00	6.25	10.00
14	root.chwytnak	1.79	0.00	84.80	7.09	0.00	0.00	0.00	6.25	8.04
15	root.Transport_do_pieca	1.75	0.00	92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	8.00
16	root.chwytnak2	1.63	0.00	92.12	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	7.88
17	root.Mikser	1.27	0.00	0.02	92.46	0.00	0.00	0.00	6.25	7.52
18	root.Ustawieni_cegieł_na_nasa...	0.91	0.00	2.11	90.72	0.00	0.00	0.00	6.25	7.16
19	root.Foliowanie	0.71	0.00	93.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	6.96
20	root.Znakowanie	0.15	0.00	2.44	91.16	0.00	0.00	0.00	6.25	6.40
21	root.Prasa_Prozniowa	4.76	0.00	0.16	95.08	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76
22	root.Prasa_Slusarska	4.71	0.00	1.83	93.45	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71
23	root.Przecierak	3.85	0.00	0.77	95.38	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85
24	root.Koparka_w_dolowniku	1.94	0.00	5.62	92.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
25	root.Uformowaniecegły	0.93	0.00	2.62	96.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
26	root.Zaladunek_wyvrotek	0.34	0.00	99.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
27	root.TwoLaneTrack	0.32	0.00	99.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
28	root.Odstawienie_na_tor_odsta...	0.30	0.00	99.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

Rysunek 5. Analiza wąskich gardła po drugim eksperymencie

**Trzecim eksperymentem** było zasymulowanie wystąpienia awarii maszyn. Wykorzystano do tego dane z przedsiębiorstwa. Maksymalna zdolność produkcyjna uległa zmniejszeniu do 40 wózków piecowych, co dopowiada sytuacji rzeczywistej, po wystąpieniu awarii. Wyniki w zakresie wąskich gardeł zawiera rysunek 6. Wyeliminowano wąskie gardła ze stanowisk Manipulator i Manipulator2.

string	resource	working	set-up	waiting	blocked	poweringUpDown	disrupted	stopped	pause	sortCriteria
1	root_Converter	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	root_Converter1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	root_Converter2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	root_Suszenie	93.11	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.36
5	root_Wypalenie1	74.80	0.00	14.33	0.00	0.00	4.63	0.00	6.25	85.67
6	root_Wypalenie2	78.56	0.00	15.19	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	84.81
7	root_Chlodzenie	59.83	0.00	29.49	0.00	0.00	4.42	0.00	6.25	70.51
8	root_Szilfowanie	12.50	0.00	81.04	0.21	0.00	0.00	0.00	6.25	18.75
9	root_Transport_wozkiem_widlo...	3.97	0.00	84.77	0.00	0.00	5.01	0.00	6.25	15.23
10	root_Walec1	3.75	0.00	0.00	84.78	0.00	5.22	0.00	6.25	15.22
11	root_chwytek2	1.59	0.00	87.22	0.00	0.00	4.94	0.00	6.25	12.78
12	root_Ustawieni_cegielel_na_nasa...	0.91	0.00	2.28	85.85	0.00	4.71	0.00	6.25	11.87
13	root_Walec2	4.34	0.00	1.10	88.31	0.00	0.00	0.00	6.25	10.59
14	root_Manipulator	4.07	0.00	89.25	0.43	0.00	0.00	0.00	6.25	10.32
15	root_Manipulator2	4.06	0.00	89.20	0.49	0.00	0.00	0.00	6.25	10.31
16	root_Prasa_Proznowia	4.76	0.00	0.61	89.69	0.00	4.94	0.00	0.00	9.70
17	root_Foliowanie	3.01	0.00	90.74	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	9.26
18	root_Przecierak	3.85	0.00	2.05	89.17	0.00	4.94	0.00	0.00	8.78
19	root_chwytek	1.75	0.00	90.19	1.81	0.00	0.00	0.00	6.25	8.00
20	root_Transport_do_pieca	1.73	0.00	92.02	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	7.98
21	root_Mikser	1.27	0.00	0.02	92.45	0.00	0.00	0.00	6.25	7.52
22	root_Koparka_w_dolowniku	1.94	0.00	5.18	87.55	0.00	5.32	0.00	0.00	7.27
23	root_Znakowanie	0.15	0.00	2.80	90.80	0.00	0.00	0.00	6.25	6.40
24	root_Sprawdzanie_jakosci	0.10	0.00	94.24	0.61	0.00	5.04	0.00	0.00	5.15
25	root_Odstawienie_na_tor_odsta...	0.30	0.00	94.90	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	5.10

Rysunek 6. Analiza wąskich gardeł po trzecim eksperymencie

**Czwartym eksperymentem** było dodanie kolejnego stanowiska Suszenia (kolejnej suszarni). Maksymalna zdolność produkcyjna wzrosła do 65 wózków piecowych. Po czwartym eksperymencie, dla określenia zakresu eliminacji wąskich gardeł ponownie użyto narzędzia Bottleneck Analyzer. Wyniki zawiera rysunek 7. Po czwartym eksperymencie wąskie gardła występują na stanowiskach: Suszenie, Suszenie 2, Wypalenie1, Wypalenie2, Chłodzenie, Transport wózkami widłowym, Foliowanie, Chwytek2. Nastąpiła eliminacja wąskich gardeł ze stanowisk: Manipulator, Manipulator 2, Odstawienie Na Tor Odstawczy, Transport do pieca. Jest to bardzo duża poprawa, jednak należy mieć na uwadze koszty takiej zmiany.

string	resource	working	set-up	waiting	blocked	poweringUpDown	disrupted	stopped	pause	sortCriteria
1	root_Converter	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	root_Converter1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3	root_Converter2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	root_Suszenie	93.47	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.72
5	root_Suszenie2	93.40	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	99.65
6	root_Wypalenie1	79.08	0.00	14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.33
7	root_Wypalenie2	79.01	0.00	14.74	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.26
8	root_Chlodzenie	61.66	0.00	32.09	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	67.91
9	root_Szilfowanie	20.08	0.00	72.70	0.97	0.00	0.00	0.00	6.25	26.33
10	root_Walec2	6.67	0.00	0.06	87.02	0.00	0.00	0.00	6.25	12.92
11	root_Manipulator	6.65	0.00	86.26	0.84	0.00	0.00	0.00	6.25	12.90
12	root_Manipulator2	6.55	0.00	87.08	0.13	0.00	0.00	0.00	6.25	12.80
13	root_Transport_wozkiem_widlo...	6.45	0.00	87.30	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	12.70
14	root_Walec1	5.24	0.00	0.03	87.97	0.00	0.00	0.00	6.25	11.99
15	root_Foliowanie	4.89	0.00	88.86	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	11.14
16	root_Transport_do_pieca	3.13	0.00	48.97	41.65	0.00	0.00	0.00	6.25	9.38
17	root_chwytek	2.78	0.00	71.02	19.95	0.00	0.00	0.00	6.25	9.03
18	root_chwytek2	2.58	0.00	91.17	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	8.83

Rysunek 7. Analiza wąskich gardeł po czwartym eksperymencie

### **Ocena proponowanych usprawnień**

Z informacji od przedsiębiorstwa wynika, że przeorganizowanie procesu i dodanie pracowników jest niemożliwe ze względu na technologię procesu, więc pozostała tylko wymiana, modernizacja lub dodanie kolejnych maszyn, w celu skrócenia czasu trwania operacji. Zakup dwóch robotów i wprowadzenie ich na linię produkcyjną skutkowało pozytywnymi efektami (wzrost liczby produkowanych cegieł, zmniejszeniem liczby uszkodzonych cegieł itp.). Podjęcie decyzji dotyczącej zakupu 2 robotów i zastąpienie nimi 2 chwytaków i 2 manipulatorów podyktowane było również koniecznością zmniejszenia liczby uszkodzonych cegieł w tym miejscu procesu i przyspieszenia wykonywanych operacji w strefie pakowania. Pozostałe wykonane eksperymenty wskazują na to, że jest jeszcze kilka innych możliwości usprawnień. Warto zauważyć, że wąskie gardła występują w miejscach, w których operacje wykonywane są automatycznie, a głównym celem w procesie jest ich punktowe wyeliminowanie. Warto również dokładnie przeanalizować możliwość wprowadzenia kolejnej suszarni. Jeśli chodzi o zmianę metody foliowania, to takie usprawnienie może również okazać się korzystne, mimo braku wyraźnych zmian w tym eksperymencie. Zmniejszenie liczby uszkodzonych cegieł podczas metody zgrzewania, może zwiększyć zaufanie klientów do przedsiębiorstwa, zmniejszyć liczbę reklamacji i odpadów produkcyjnych w formie uszkodzonych cegieł. Warto zauważyć, że foliowanie znajduje się pod koniec procesu produkcji cegieł, więc przeszły one już cały cykl operacji, zużyły potrzebny czas na ich obróbkę i wykorzystały energię, więc wadliwe sztuki przekładają się wprost na utratę korzyści ze sprzedaży.

### **6. Analiza ekonomiczna wybranych usprawnień**

Proponowane usprawnienia zostały wstępnie przeanalizowane pod względem ekonomicznym, z określeniem wartości bieżącej netto (NPV). Ze względu na ograniczoną liczbę danych z przedsiębiorstwa, pełna analiza ekonomiczna została przeprowadzona dla eksperymentu pierwszego. Całkowity koszt zakupu i konserwacji obu robotów wynosi łącznie 1 764 500 zł, a roczny przychód po uwzględnieniu dodatkowej ilości cegieł wynosi 900 000 zł. Tabela 1. zawiera kalkulację przepływów pieniężnych.



Tabela 1. Kalkulacja przepływów pieniężnych dla eksperymentu 1

		0	1	2	3	4
A	Nakłady inwestycyjne w zł	- 1 764 500	0	0	0	0
B	Wzrost przychodów netto w zł	900 000	900 000	900 000	900 000	900 000
C	Koszty zmienne w zł	230 370	240 000	235 000	233 000	238 000
D	Koszty stałe w zł	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000
E	W tym amortyzacja w zł	352 900	352 900	352 900	352 900	352 900
F	Wynik operacyjny w zł (B-C-D)	269 630	260 000	265 000	267 000	262 000
G	Podatek dochodowy w zł (19% x F)	51 229,7	49 400	50 350	50 730	49 780
H	Wynik netto w zł (F-G)	218 400,7	210 600	214 650	216 270	212 220
I	Przepływy pieniężne netto w zł (A + H + E)	- 1 193 199,3	563 500	567 550	569 170	565 120

Przy wykonywaniu analizy ekonomicznej skorzystano ze wzorów na zdyskontowany czas zwrotu nakładów DPBT (*ang.* Dynamic Pay Back Time), wartość bieżącą netto NPV oraz wewnętrzną stopę zwrotu IRR (Wrzosek, 2008). Wyniki zawiera Tabela 2. Realizacja tego projektu jest opłacalna i w rozważanym okresie koszt zakupu nowego robota zostanie zwrócony, a przedsiębiorstwo osiągnie zysk w wysokości 227 023, 02 zł. Wymagana stopa zwrotu (0,2) nie przekracza wartości IRR (wewnętrznej stopy zwrotu).

Tabela 2. Wartość wskaźników ekonomicznych dla eksperymentu 1.

Wskaźnik	Wartość
DPBT	3,0005 lat
NPV	227 023, 02 zł
IRR	0,32

## 7. Podsumowanie

Projekt modelowania systemów produkcyjnych w Cegielni ABC został zrealizowany zgodnie z założeniami. W ramach projektu udało się wypracować różne rozwiązania problemów występujących w procesie produkcji cegieł. Przeprowadzono cztery eksperymenty, a dla jednego z nich zaprezentowano analizę ekonomiczną. Wnioski z przeprowadzonych analiz wskazują, że przedsiębiorstwo powinno się skupić przede wszystkim na eliminacji wąskich gardeł. Przy podejmowaniu decyzji o zakupie nowych urządzeń należy przeprowadzić wnikliwe analizy rynku odnośnie ich parametrów. Praca potwierdza zasadność wykorzystywania w usprawnianiu

procesów produkcyjnych podejścia wykorzystującego modelowanie symulacyjne. Takie podejście pozwala na elastyczne poszukiwanie usprawnień, ich weryfikację bez konieczności angażowania zasobów przedsiębiorstw i uniknięcie ryzyk związanych z prowadzeniem eksperymentów w rzeczywistym systemie produkcyjnym.

## LITERATURA

1. JAJUGA, K., JAJUGA T.: Inwestycje, PWN, Warszawa 2015.
2. KNOSALA, R.: Inżynieria produkcji: kompendium wiedzy, OWPW, Warszawa 2017.
3. KNOSALA, R.: Ocena ryzyka wdrażania innowacji, PWE, Warszawa 2018.
4. KOSIERADZKA, A.: Podstawy zarządzania produkcją, OWPW, Warszawa 2008.
5. WRZOSEK S.: Ocena efektywności inwestycji, UE, Wrocław 2008
6. Serwis internetowy Encyklopedia Zarządzania-NPV, <https://mfiles.pl/pl/index.php/NPV>, 21.05.2019.
7. Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych, <http://www.zn.dmf.put.poznan.pl/content/006/ciszak.pdf>, 19.05.2019.
8. Symulacja przebiegu procesów produkcyjnych w systemach przepływów w oparciu o oprogramowanie Technomatix Plant Simulation, [http://ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2016/T2/t2\\_0780.pdf](http://ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2016/T2/t2_0780.pdf), 23.05.2019.