

Krzysztof SCHIFF\*

## STEROWANIE LOGISTYCZNE, MODEL I OPTYMALIZACJA SYSTEMU PRODUKCJI PRZY POMOCY SIECI KOLEJKOWYCH

### Streszczenie

W pracy zaprezentowano opracowany na bazie kolejek sieciowy model systemu produkcji jednej z małopolskich firm wytwarzających wanny z masażem, a także jego walidację oraz szereg badań symulacyjnych w oparciu o ten model dotyczących zwiększenia wielkości produkcji i wydajności systemu, optymalizacji parametrycznej modelu, dostosowania struktury systemu produkcji do wymaganej wielkości produkcji oraz wpływu usterek i absencji pracowników na wielkość produkcji.

**Słowa kluczowe:** sieci kolejkowe, system produkcji, zarządzanie, logistyka

### 1. WPROWADZENIE

Ocena efektywności i optymalizacja pracy systemów produkcyjnych są istotną częścią zarządzania logistycznego w firmie. Optymalizacja sieci kolejkowych ma przeważnie na celu uzyskanie jak najkrótszego średniego czasu przebywania zlecenia w systemie, ale może również brać pod uwagę inne cele optymalizacji [3, 4]. Jednym z nich może być minimalizacja kosztów osobowych w dziale produkcji. Sieci kolejkowe są narzędziem matematycznym służącym do analizy i optymalizacji pracy wielu rodzajów systemów, w których występują kolejki. W tej pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych nad systemem produkcji wanien z hydro-masażem małopolskiej firmy, w której zebrano i opracowano dane statystyczne potrzebne do opisu organizacji i działania systemu produkcyjnego. Model systemu produkcyjnego zbudowano w oprogramowaniu do badania działania sieci kolejkowych QMS [1], w którym również przeprowadzono badania symulacyjne dotyczące: walidacji zaproponowanego modelu, optymalizacji pracy systemu produkcyjnego, wpływu zmian parametrów systemu i wpływu zakłóceń na przebieg procesu produkcyjnego [2].

**Tabela 1. Lista czynności produkcyjnych i czasy ich wykonania.**

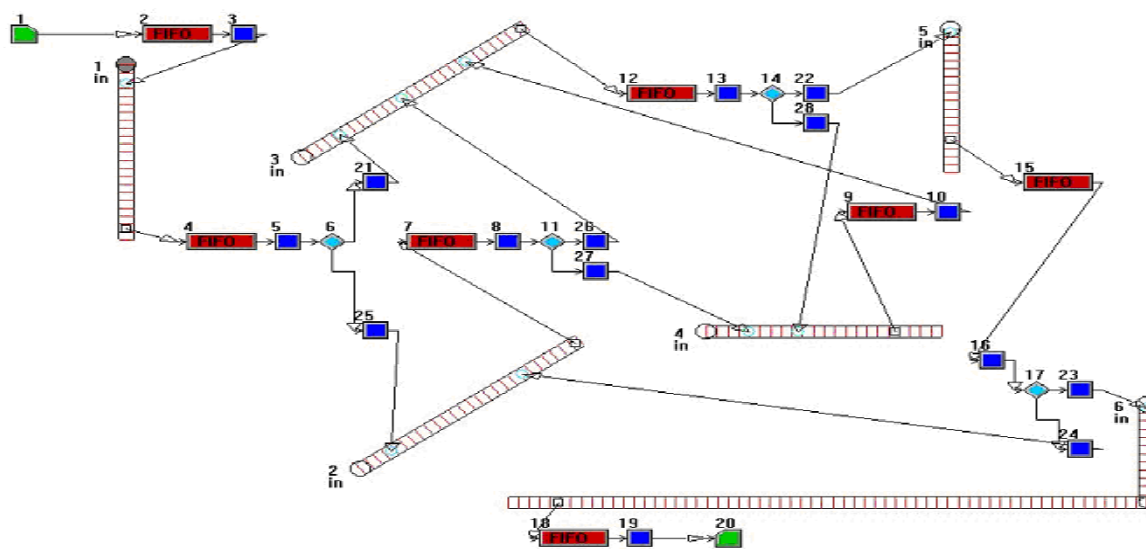
L.p.	Nazwa czynności	Długość wykonania czynności [min]
Stanowisko M1 (2,3)		
1	Transport wanien z magazynu	5-10
2	Rozładunek „surowych” wanien	5-10
3	Naniesienie punktów wiercenia	5-15
4	Wiercenie otworów w wannie	5-15
5	Montaż dysz	5-15
6	Montaż orurowania sytemu wodnego	10-20
7	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
8	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	45-95

**Tabela 1. Lista czynności produkcyjnych i czasy ich wykonania – ciąg dalszy tabeli.**

L.p.	Nazwa czynności	Długość wykonania czynności [min]
Stanowisko E1 (4,5)		
9	Dobór i transport urządzeń	5
10	Dobór i transport stelaża	5
11	Dopasowanie stelaża do wymiaru wanny	10-25
12	Montaż stelaża do wanny	10-20
13	Wiercenie otworów i montaż podpór	10-20
14	Montaż urządzeń elektrycznych	10-25
15	Układanie trasy kablowej i łączenie	10-25
16	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
17	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	70-135
Stanowisko M2 (7,8)		
18	Dobór i transport urządzeń	5
19	Montaż urządzeń systemu powietrznego	20-40
20	Montaż orurowania systemu powietrznego	30-50
21	Montaż dysz systemu powietrznego	15-30
22	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
23	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	80-135
Stanowisko E2 (9,10)		
24	Dobór i transport urządzeń	5
25	Montaż urządzeń oświetlenia	40
26	Montaż czujników	10-20
27	Montaż podgrzewacza wody	0-20
28	Montaż sterowników	25-30
29	Układanie trasy kablowej i łączenie	25
30	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
31	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	115-150
Stanowisko KE (12,13)		
32	Montaż elementów wykończenia	20-70
33	Pomiar wytrzymałości elektrycznej	10
34	Pomiar rezystancji obwodu ochronnego	10
35	Wypełnienie protokołów pomiarowych	15
36	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
37	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	65-115
Stanowisko KS (15,18)		
38	Napełnienie wanny wodą	10
39	Kontrola systemu wg. Procedury	65-95
40	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
41	Transport do kolejnego stanowiska	4
	Suma czasów	85-115
Stanowisko PAK (16,19)		
42	Czyszczenie wyrobu	20
43	Suszenie wyrobu	15-30
44	Polerowanie i nabłyszczanie wyrobu	15-30
45	Pakowanie wyrobu	20
46	Montaż tablic informacyjnych i ostrzegawczych	10
47	Wypełnienie dokumentów produkcyjnych	6
48	Transport do magazynu głównego	4
	Suma czasów	90-120

## 2. MODEL SYSTEMU PRODUKCJI I JEGO WALIDACJA

Proces produkcyjny składa się z listy podstawowych czynności wykonywanych na poszczególnych stanowiskach montażowo-obróbczych. Dane statystyczne uzyskano przy wprowadzaniu w dziale produkcji małopolskiej firmy Systemu Zarządzania Jakością ISO 9001. Lista czynności oraz długość czasu wykonywania tych czynności zostały przedstawione w tabeli 1, w której również przedstawiono przydział czynności do poszczególnych stanowisk pracy. Każde stanowisko obsługuje jeden pracownik, który jest również odpowiedzialny za przetransportowanie półproduktu do kolejnego stanowiska. Każde zlecenie produkcyjne znajdujące się w systemie porusza się w nim na podstawie dokumentu produkcyjnego o nazwie „Paszport zlecenia” zawierającego sekwencję stanowisk do przebycia, przez które półprodukt przechodzi i przewidywany czas obsługi zlecenia produkcyjnego na każdym z tych stanowisk. Proces produkcyjny wanny z hydro-masażem składa się z czynności, które są wykonywane na stanowiskach montażowych. Sieć stanowisk montażowych przedstawiono na rysunku 1. Zlecenie produkcyjne na wannę może należeć do jednej z 15 klas zleceń różniących się między sobą liczbą stanowisk biorących udział w procesie wytwórczym, przez które zgłoszenie musi przejść oraz czasem obsługi poświęconym do wykonania określonych czynności na poszczególnych stanowiskach.



**Rysunek 1. Sieć kolejkowa modelu systemu produkcji.**

Opis elementów występujących w sieci kolejkowej modelu systemu produkcji:

- 1 – blok generujący zlecenia napływające do systemu (wejście systemu)
- M2 – stanowisko złożone z kolejki 2 i serwera 3
- 1, 2, 3, 4, 5 i 6 in – przenośniki transportowe
- E2 – stanowisko złożone z kolejki 4 i serwera 5
- 6, 11, 14 i 17 - punkty rozgałęzienia (*Split point*)
- 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 i 28 – serwery puste o zerowym czasie obsługi służące do połączenia przenośnika i punktu rozgałęzienia, gdyż symulator QMS nie pozwala na bezpośrednie połączenie punktu rozgałęzienia i przenośnika
- KE- kolejka 12 i serwer 13
- M2 – kolejka 7 i serwer 8
- E2 – kolejka 9 i serwer 10
- KS – kolejka 15 i serwer 16

- PAK – kolejka 18 i serwer 19
- 20 – punkt spływu zleceń (wyjście z systemu)

Proces obsługi zleceń został zbadany na podstawie 2851 przypadków. Średni czas między przybyciami został obliczony i wynosi  $t_{sr} = 106$ [min]. Przykładowo na stanowisku **M1** wykonywane są czynności dotyczące wszystkich 15 klas zgłoszeń. Średnie czasy obsługi dla każdej klasy zostały zawarte w tabeli 2.

**Tabela 2. Średnie czasy obsługi zleceń dla poszczególnych klas na stanowisku M1**

Numer klasy	Liczba w klasie	Średni czas obsługi zgłoszenia w poszczególnej klasie [min]	Średni czas obsługi zgłoszeń [min]
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D=B*C</b>
1	75	45	3375
2	204	50	10200
3	47	50	2350
4	101	50	5050
5	353	55	19415
6	321	65	20865
7	198	70	13860
8	312	70	21840
9	328	70	22960
10	93	80	7440
11	59	80	4720
12	462	80	36960
13	30	90	2700
14	31	90	2790
15	237	95	22515

Po wprowadzeniu stosownych parametrów bloków kolejkowego modelu procesu produkcji i po przeprowadzeniu symulacji uzyskano wyniki, które przedstawiono w tabeli 3 dla okresu trwającego 15000 minut i w tabeli 4 dla okresu trwającego 30000 minut, w których poszczególne oznaczenia określają:

- Queue – numer kolejki
- Entries – ilość wejść klientów do kolejki
- Exit – ilość wyjść klientów z kolejki
- Min, Max – minimalna i maksymalna długość kolejki
- Av. Waiting time – średni czas oczekiwania klienta w kolejce
- Lost – ilość klientów, którzy zrezygnowali z obsługi
- Server – numer serwera
- Entries - ilość klientów obsługiwanych
- Served - ilość obsłużonych klientów
- Serv.time - całkowity czas pracy serwera
- Idle - czas przestoju serwera
- Idle % - % udział czasu przestoju serwera w całkowitym czasie pracy
- Lost - ilość klientów z przerwana obsługą
- Terminal point entries - ilość obsłużonych klientów
- Total cost - całkowity czas pracy serwerów

Z tabel 3 i 4 wynika, że liczba obsłużonych klientów należących do klas 9-15 jest liczbą obsłużonych klientów w serwerze 10, dla klas 5-8 jest różnicą pomiędzy klientami obsłużonymi w serwerach 8 i 10, zaś dla klas 1-4 jest różnicą pomiędzy klientami obsłużonymi w serwerach 5 i 8, liczba wykrytych usterek na stanowisku KE jest liczbą obsłużonych klientów w serwerze 28, zaś na stanowisku KS w serwerze 24.

**Tabela 3. Wyniki dla czasu symulacji 15000 minut**

Queue	Entries	exits	Min	Max	Av.waiting time	Lost
2	137	137	0	1	15,24	0
4	136	136	0	1	26,5	0
7	119	119	0	2	34,59	0
9	69	69	0	2	50,86	0
12	142	142	0	4	69,45	0
15	135	135	0	2	55,97	0
18	130	130	0	3	62,84	0
Server	Entries	served	serv.time	idle	idle%	Lost
3	137	136	9385.051	5614.949	37,43	0
5	136	135	9385.051	1851.965	12,35	0
8	119	118	11551.779	3448.221	22,99	0
10	69	68	9305.025	5694.975	37,97	0
13	142	141	12249.125	2750.875	18,34	0
16	134	133	13023.005	1976.995	13,18	0
19	130	129	13316.945	1683.055	11,22	0
21	19	19	0,287	14999.713	100	0
22	135	135	2,036	14997.964	99,99	0
23	130	130	1,959	14998.041	100	0
24	3	3	0,045	14999.955	99,99	0
25	116	116	1,749	14998.251	100	0
26	55	55	0,830	14999.170	100	0
27	63	63	0,949	14999.051	100	0
28	6	6	0,090	14999.910	100	0
Terminal point entries	129					
Total cost	82838,96					

**Tabela 4. Wyniki dla czasu symulacji 30000 minut**

Queue	Entries	exits	Min	Max	Av.waiting time	lost
2	282	282	0	2	17,62	0
4	281	281	0	3	43,28	0
7	254	253	0	2	39,21	0
9	137	137	0	2	52,74	0
12	302	302	0	4	86,39	0
15	287	283	0	4	87,97	0
18	273	272	0	3	76,86	0
Server	entries	served	Serv.time	idle	idle%	lost
3	282	281	19210,470	10789,530	35,97	0
5	281	281	27281,471	2718,529	9,06	0
8	253	252	25411,598	4588,402	15,29	0
10	137	137	18560,131	11439,869	38,13	0
13	302	301	25823,072	4176,928	13,92	0
16	283	282	27508,503	2491,497	8,30	0
19	272	271	27859,169	2140,831	7,14	0
21	36	36	1,085	29998,915	100	0
22	287	287	8,653	29991,347	99,97	0
23	273	273	8,230	29991,770	99,97	0
24	9	9	0,271	29999,729	100	0
25	245	245	7,385	29992,615	99,98	0
26	129	129	3,889	29996,111	99,99	0
27	123	123	3,709	29996,291	99,99	0
28	14	14	0,421	29999,579	100	0
Terminal point entries	271					
Total cost	173459,41					

W tabeli 6 zostało zamieszczone zestawienie wyników symulacji dla czasów 15000 i 30000 minut, z którego to zestawienia wynika, że wydłużenie czasu symulacji do 30000 minut, czyli zwiększenie czasu symulacji o 100% w stosunku do 15000 minut powoduje zwiększenie liczby obsłużonych zgłoszeń o 110%. Wynika z tego, że przy dalszych badaniach należy brać pod uwagę wpływ na wyniki symulacji przedział czasu, w którym system pracuje w warunkach niedociążenia. Z porównania wyników symulacji dla czasów 15000 minut i 30000 minut wynika, że system pracuje w stanie pełnego obciążenia po upływie około 6000 minut. W pierwszym okresie 6000 minut początkowa zerowa długość kolejek przy serwerach jest wypełniana.

**Tabela 5. Wartości początkowe kolejek.**

Numer kolejki	Długość początkowa
2	1
4	3
7	2
9	2
12	2
15	2
18	3

W celu wyeliminowania wpływu pracy systemu w okresie niedociążenia na wyniki uzyskiwane podczas symulacji zostanie wykonana stosowna modyfikacja parametrów sieciowego modelu kolejkowego systemu produkcyjnego polegająca na wprowadzeniu początkowych długości kolejek, czyli stanu początkowego systemu różnego od stanu zerowego. Pozwoli to na wyeliminowanie fazy przejściowej zwanej rozruchem systemu. Wartości początkowych kolejek przedstawiono w tabeli 5, a wyniki symulacji w tabeli 7.

**Tabela 6. Porównanie wyników symulacji dla czasów 15000 i 30000 minut.**

Kolejki			
Queue	Zgłoszenia 15000 [min]	Zgłoszenia 30000 [min]	Różnica %
2	137	282	106%
4	136	281	107%
7	119	253	113%
9	69	137	99%
12	142	302	113%
15	135	283	110%
18	130	272	109%
Serwery			
Server	Obsłużone 15000 [min]	Obsłużone 30000 [min]	Różnica %
3	136	281	107%
5	135	281	108%
8	118	252	114%
10	68	137	101%
13	141	301	113%
16	133	282	112%
19	129	271	110%

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 7 zaobserwować można, że po ustaleniu początkowych długości kolejek wydłużenie czasu symulacji do 30000 minut nie powoduje zmiany tempa obsługi zgłoszeń. Zbudowany i testowany model sieci

produkcyjnej po wyeliminowaniu fazy przejściowej tak zwanej rozruchowej wykazał wyniki zgodne z rzeczywistymi uzyskanymi w drodze pomiarów statystycznych wykonanych w ramach prac nad systemem jakości.

**Tabela 7. Wyniki symulacji dla 15000 i 30000 minut z początkowymi kolejkami.**

Wyniki dla kolejek			
Queue	Zgłoszenia 15000 [min]	Zgłoszenia 30000 [min]	Różnica %
2	141	282	100%
4	140	281	101%
7	127	253	99%
9	69	137	99%
12	150	302	101%
15	142	283	99%
18	137	272	99%
Wyniki dla serwerów			
Server	Obsłużone 15000 [min]	Obsłużone 30000 [min]	Różnica %
3	140	281	101%
5	139	281	102%
8	126	252	100%
10	68	137	101%
13	150	301	101%
16	142	282	99%
19	136	271	99%

### 3. BADANIA SYMULACYJNE SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Po walidacji modelu systemu produkcyjnego, model może służyć do badań symulacyjnych, których celem jest optymalizacja parametryczna modelu o zadanej strukturze w celu zwiększenia wielkości produkcji bez zmiany struktury modelu, optymalizacja strukturalna i parametryczna modelu w celu zwiększenia zdolności produkcyjnych systemu, badanie wpływu występowania usterek wytwarzanego produktu, a także wpływu absencji pracowników na stanowiskach pracy na wielkość produkcji.

#### Wąskie gardła i balansowanie obciążenia

Na średni czas przebywania zlecenia w systemie produkcyjnym w sposób najbardziej istotny mają wpływ tak zwane "wąskie gardła". Optymalizacja pracy sieci produkcyjnej polega na identyfikacji wąskich gardeł i likwidacji ich poprzez wprowadzenie stosownych zmian w systemie. Ze względu na to, że system pracuje w rzeczywistych warunkach przy występowaniu ograniczeń czasowych wynikających z procesu produkcyjnego ważne jest ustalenie maksymalnego strumienia zleceń, który system jest w stanie obsłużyć bez zmiany parametrów stanowisk obsługi.

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 8 można stwierdzić, że aby w systemie nie tworzyły się kolejki o „niedozwolonej długości” (przekraczającej 4 miejsca), pojawianie się zleceń w systemie nie może odbywać się częściej niż co 100 minut, co ma wpływ na ustalanie terminów realizacji zleceń i w związku z tym natężenie strumienia zgłoszeń może wzrosnąć jedynie o 6,36 % w stosunku do obecnego. Każdorazowe skrócenie tego okresu czasu powoduje tworzenie się kolejek dłuższych niż cztery miejsca przeznaczone na magazynowanie półproduktów. Zbyt duża liczba zmagazynowanych półproduktów w systemie produkcyjnym nie jest wskazana ze względu na zbyt duże zaangażowanie kapitału

obrotowego, co ma negatywny wpływ na wynik finansowy firmy. Wąskimi gardłami są w tym przypadku stanowiska obsługi KS i PAK. Można również zaobserwować, że stanowisko M1 jest zdecydowanie niedociążone.

**Tabela 8 Wyniki dla średniego okresu przybyć zleceń do systemu - 100 minut.**

Queue	Entries	exits	Min	Max	Av.waiting time	lost
2	150	149	0	1	15,97	0
4	149	148	0	2	57,69	0
7	137	136	0	4	87,18	0
9	71	71	0	2	43,99	0
12	152	149	0	4	77,65	0
15	147	144	0	4	188	0
18	136	135	0	4	156,3	0
Server	entries	served	serv.time	idle	idle%	lost
3	149	149	10226,247	4773,753	31,83	0
5	148	147	14202,217	797,783	5,32	0
8	136	135	13408,036	1591,964	10,61	0
10	71	70	9499,055	5500,945	36,67	0
13	149	148	12776,231	2223,769	14,83	0
16	144	143	14001,157	998,843	6,66	0
19	135	134	13823,020	1176,980	7,85	0
21	17	17	0,256	14999,744	100,00	0
22	147	147	2,217	14997,783	99,99	0
23	136	136	2,050	14997,950	99,99	0
24	7	7	0,106	14999,894	100,00	0
25	130	130	1,960	14998,040	99,99	0
26	65	65	0,979	14999,021	99,99	0
27	70	70	1,055	14998,945	99,99	0
28	1	1	0,015	14999,985	100,00	0
Terminal point entries	134					
Total cost	88861,96					

W wyniku przeprowadzenia balansowania obciążenia stanowisk pracy uzyskano nowe wartości średnich czasów obsługi, które przedstawiono w tabeli 9.

**Tabela 9. Średnie czasy obsługi przed i po zmianie obciążenia stanowisk pracy**

Element	Przed zmianą [min]	Po zmianie [min]	Różnica [min]
A	B	C	D=C-B
Serwer 3	69	95	26
Serwer 5	97	96	-1
Serwer 8	100	97	-3
Serwer 10	135	132	-3
Serwer 13	89	80	-9
Serwer 16	98	93	-5
Serwer 19	103	98	-5
Suma czasów	691	691	0

Po wprowadzeniu zmian okazało się, że minimalny okres pojawiania się zleceń wynosi 98 minut bez tworzenia się nadmiernych kolejek. Wyniki wskazują, że zmiany w obciążeniach stanowisk spowodowały wzrost wydajności systemu produkcyjnego. Poprzez sukcesywne usuwanie „wąskich gardeł” i balansowanie obciążeń stanowisk pracy udało się zwiększyć wielkość produkcji o 9,3%. Wzrosła przy tym wydajność pracy na poszczególnych stanowiskach pracy. Uzyskano wzrost wydajności systemu produkcyjnego bez zmiany struktury systemu.



## Skokowa zmiana liczby zleceń

Odpowiedź na pytanie czy firma może przyjąć duże zlecenie jest istotne ze względu na wynik ekonomiczny zarządzania i z tego powodu ma duże znaczenie praktyczne.

W celu uzyskania odpowiedzi na powyższe pytanie średni okres czasu pomiędzy przybyciami zgłoszeń do systemu został skrócony o 20 %, a wyniki symulacji przedstawiono w tabeli 10, z których wynika, że „wąskimi gardłami” są stanowiska E1 , KE oraz PAK.

Badania symulacyjne przy balansowaniu obciążeń wykazały, że w celu podołania zwiększonej obsłudze o 20% bez utraty tworzenia się nadmiernych kolejek przy stanowiskach pracy należy zmienić strukturę systemu produkcji poprzez utworzenie dodatkowego stanowiska pracy. W tym momencie winna zostać podjęta decyzja albo o zwiększeniu zaangażowania kapitału obrotowego w produkcji albo o stworzeniu dodatkowego stanowiska pracy oraz zatrudnieniu dodatkowej osoby na tym stanowisku i oczywiście przy podjęciu tej decyzji winien decydować rachunek ekonomiczny.

**Tabela 10. Wyniki symulacji przy wzroście o 20% liczby zleceń (utrata zleceń) - 15000 min.**

Queue	entries	Exits	Min	Max	Av.waiting time	lost
2	176	176	0	1	14,09	0
4	155	151	0	4	320,8	0
7	130	129	0	2	41,9	0
9	67	67	0	4	95,96	0
12	154	152	0	4	103,5	1
15	144	142	0	3	96,91	0
18	137	136	0	4	200,4	3
Server	entries	Served	serv.time	idle	idle%	lost
3	176,000	175,000	12116,638	2883,362	19,22	0
5	151,000	150,000	14568,261	431,739	2,88	0
8	129,000	128,000	12859,930	2140,070	14,27	0
10	67,000	66,000	8954,995	6045,005	40,30	0
13	152,000	151,000	12864,277	2135,723	14,24	0
16	142,000	141,000	13594,125	1405,875	9,37	0
19	136,000	135,000	13992,035	1007,965	6,72	0
Terminal point entries	135					
Total cost	89896,26					

## Wpływ usterek na zdolności produkcyjne

Badaniu symulacyjnemu podlegało występowanie usterek elektrycznych i usterek związanych ze szczelnością. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można wnioskować, że system produkcyjny będzie pracował bez utraty zdolności produkcyjnych do momentu, gdy poziom usterek wykrywanych na stanowisku KE nie przekroczy 13% i do momentu, gdy poziom występowania usterek związanych ze szczelnością nie przekroczy 5%.

Przekroczenie tych poziomów powoduje powstawanie „wąskich gardeł”, a więc spadek wielkości produkcji i wzrost zaangażowanego w produkcję kapitału obrotowego w stosunku do wielkości produkcji.

## Absencje pracowników na stanowiskach pracy

Przeprowadzone badania symulacyjne dotyczą absencji jednego pracownika w dziale produkcji kolejno na każdym stanowisku pracy, a wyniki badań przedstawiono w tabeli 11, z których wynika, że największy spadek produkcji występuje przy absencji na stanowisku E2. Nie badano wpływu absencji równocześnie na kilku stanowiskach pracy, gdyż liczba przypadków symulacji rośnie tutaj w sposób kombinatoryczny.

Tabela 11. Średnie czasy obsługi zgłoszeń na poszczególnych stanowiskach

Elementu	Średni czas obsługi - brak absencji [min]	Średnie czasy obsługi przy absencji [min]						
		M1	E1	M2	E2	KE	KS	PAK
Serwer 3 – M1	69	0,0	85,2	85,7	91,5	83,8	85,3	86,2
Serwer 5 – E1	97	108,5	0,0	113,7	119,5	111,8	113,3	114,2
Serwer 8 – M2	100	111,5	116,2	0,0	122,5	114,8	116,3	117,2
Serwer 10 – E2	135	146,5	151,2	151,7	0,0	149,8	151,3	152,2
Serwer 13 – KE	89	100,5	105,2	105,7	111,5	0,0	105,3	106,2
Serwer 16 – KS	98	109,5	114,2	114,7	120,5	112,8	0,0	115,2
Serwer 19 – PAK	103	114,5	119,2	119,7	125,5	117,8	119,3	0,0
Wielkość produkcji	129	118	117	112	108	115	113	113
% spadek produkcji	0%	-9%	-9%	-13%	-16%	-11%	-12%	-12%

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Ze względu na ograniczenia objętościowe artykułu nie przedstawiono w nim wszystkich wyników badań symulacyjnych. Otrzymany kolejkowy model systemu produkcji posłużył do optymalizacji i oceny efektywności pracy systemu sterowania produkcji wanien z hydro-masażem.

Pomimo tego, że zebranie i opracowanie danych statystycznych wykorzystanych do zamodelowania sieci kolejkowej jest bardzo czasochłonne, to jednak symulacja zachowania się systemu i analiza otrzymanych w ten sposób wyników pozwala w bardzo krótkim czasie podjąć decyzję i w odpowiedni sposób dokonać sterowania przepływem strumienia zgłoszeń przez system kolejkowy.

#### LITERATURA

- [1] Raczyński M.: *Help QMS* – Raczyński Consulting Co. 2004.
- [2] Wilkosz R.: *Modelowanie sieciami kolejkowymi*, Praca inżynierska, Politechnika Krakowska, Kraków 2007.
- [3] Robertazzi T.: *System Queueing Theory and Performance Evaluation*, Springer Verlagen, New Jork, 1995.
- [4] Molga M., Smutnicki C.: *Modelowanie, analiza i optymalizacja systemów kompletowania*, Automatyka 2005, tom 9, zeszyt 1-2.

## LOGISTIC CONTROL, MODELING AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION SYSTEM USING QUEUEING NETWORKS

#### Abstract

In this work model of production system using queueing networks is presented based on one of firms in Malopolska, which produces jacuzzi. This model was validated and was used in many tests in order to increase volume of production, effectiveness of production system, in parametrical optimization of production system and adaptation of structure of production system to desired volume of production and also in tests, in which the influence of machine defects and personal absence on volume of production.

**Keywords:** queueing networks, production systems, management, logistic