

Joanna Kwiecień, Małgorzata Pawul

MODELOWANIE FUNKCJONOWANIA OBIEKTÓW GOSPODARKI ODPADAMI

Streszczenie. Jednym z głównych problemów ochrony środowiska jest prawidłowa gospodarka odpadami komunalnymi. Wymaga ona nie tylko odpowiednio dobranych metod przetwarzania i unieszkodliwiania odpadów, ale także prawidłowo zaprojektowanych obiektów infrastruktury związanej z gospodarką odpadami oraz systemów zbiórki i transportu odpadów do miejsca przeznaczenia. Rozwiązania powinny być skuteczne pod względem ochrony środowiska oraz efektywne ekonomicznie.

Celem pracy jest przedstawienie możliwości stworzenia modelu odzwierciedlającego funkcjonowanie wybranych obiektów infrastruktury gospodarki odpadami. W badaniach wykorzystano schemat zakładu gospodarki odpadami komunalnymi, w skład którego wchodzi m.in. sortownia odpadów, stacje demontażu odpadów wielkogabarytowych i elektrycznych. Do stworzenia modelu działania ww. obiektów można wykorzystać sieci kolejkowe z wieloma klasami zgłoszeń, których zastosowanie pozwala na wierne odzwierciedlenie realnej sytuacji oraz dokonanie oceny efektywności badanych obiektów.

Słowa kluczowe: gospodarka odpadami, sieci kolejkowe.

WSTĘP

Jednym z głównych problemów ochrony środowiska jest prawidłowa gospodarka odpadami. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym wzrasta ilość wytwarzanych odpadów komunalnych. Zgodnie z założeniami Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014 należy dążyć do ograniczenia ilości wytwarzanych odpadów. W tym celu w prowadzone są liczne akcje edukacyjne mające na celu podniesienie świadomości ekologicznej ludności. Jednak nawet najbardziej świadome społeczeństwo nie jest w stanie całkowicie uniknąć wytwarzania odpadów. Dlatego też bardzo ważne jest prawidłowe zaplanowanie postępowania z odpadami oraz odpowiednie zaprojektowanie zakładów zajmujących się wykorzystaniem i unieszkodliwianiem odpadów. Składowanie powinno być traktowane jako ostateczny, najmniej korzystny dla środowiska sposób postępowania z odpadami. Stworzenie takiego systemu gospodarki odpadami pozwoli m.in. na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych z obiektów gospodarki odpadami oraz oszczędność energii i zmniejszenie zużycia surowców poprzez wykorzystanie odpadów [5].

Joanna KWIECIEN – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Katedra Automatyki, kwiecień@agh.edu.pl
Małgorzata PAWUL – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, pawul@agh.edu.pl

Rozwój technologii pozwala wykorzystać większą część odpadów z gospodarstw domowych. Wymaga to jednak systemów postępowania od miejsc wytwarzania odpadów do ich przetwarzania. Są to m. in. systemy zbiórki i transportu odpadów, stacje przeładunkowe, sortownie, stacje demontażu odpadów wielkogabarytowych, zużytego sprzętu RTV i AGD, zakłady przeróbki biologicznej. Rozwiązania technologiczne powinny być skuteczne pod względem ochrony środowiska oraz efektywne ekonomicznie. Aby zapewnić efektywność ekonomiczną należy prawidłowo ocenić ilość odpadów dostarczaną do zakładu oraz zaplanować przepustowość zakładu. Należy wziąć pod uwagę zarówno koszty czasowego przechowywania odpadów oczekujących na przeróbkę, jak też koszty związane z wyłączeniem poszczególnych linii ze względu na chwilowy brak odpadów do przetworzenia.

Celowym rozwiązaniem staje się więc stworzenie takiego modelu obiektu gospodarki odpadami, który pozwoli ocenić i ewentualnie usprawnić jego funkcjonowanie. W tym celu wykorzystać można sieci kolejkowe, które znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach [2-4]. Pozwalają one bowiem na wierne odzwierciedlenie realnej sytuacji oraz dokonanie oceny efektywności badanych obiektów.

NOWOCZESNY MODEL GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI

Wskaźnik nagromadzenia odpadów w Polsce wynosi 316 kg/mieszkańca (dane dla 2009 roku) [6]. Odpady odebrane od mieszkańców trafiają w większości na składowiska. Wśród celów głównych określonych w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami 2014 znalazły się m. in.: „utrzymanie tendencji oddzielenia wzrostu ilości wytwarzanych odpadów od wzrostu gospodarczego kraju wyrażonego w PKB”, co jest zgodne z hierarchią polityki odpadowej oraz „zmniejszenie ilości odpadów kierowanych na składowiska odpadów” [5]. KPGO zakłada zmniejszenie do 2014 roku masy składowanych odpadów komunalnych do maksymalnego poziomu 60%. Realizacja tych celów wymaga podniesienia świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz rozwinięcia infrastruktury gospodarki odpadami, w szczególności instalacji do odzysku i unieszkodliwiania odpadów innego niż składowanie [5]. Konieczne jest także zorganizowanie skutecznych systemów selektywnej zbiórki odpadów, w tym niebezpiecznych oraz rozwinięcie efektywnego systemu transportu [7].

Elementy infrastruktury konieczne w nowoczesnym modelu gospodarki odpadami to m.in.: stacje przeładunkowe, sortownie odpadów zmieszanych i selektywnie zbieranych, stacje demontażu odpadów wielkogabarytowych, zużytego sprzętu RTV i AGD, zakłady przeróbki biologicznej, zakłady termicznego unieszkodliwiania odpadów. Składowanie odpadów jest najmniej korzystnym dla środowiska sposobem unieszkodliwiania odpadów. Stanowi ono zagrożenie dla jakości wód, powietrza atmosferycznego, powoduje degradację terenu. Podczas składowania tracone są także surowce wtórne [8].

Odległości pomiędzy punktami odbioru odpadów, a instalacjami do ich odzysku lub unieszkodliwiania, są często duże. W związku z tym transport odpadów

samochodami o małej ładowności jest nieekonomiczny. Stacje przeładunkowe są to obiekty pośrednie pomiędzy miejscem odbioru odpadów, a miejscem docelowym ich wykorzystania lub unieszkodliwiania. W stacjach takich odbywa się przeładunek odpadów z samochodów o małej ładowności do samochodów lub innych środków transportu o większej ładowności. Przeładunek pozwala ograniczyć koszty transportu odpadów w przypadku ich przewożenia na duże odległości [1].

Przy planowaniu stacji przeładunkowej należy wziąć pod uwagę nie tylko ilość wytwarzanych odpadów i odległości pomiędzy punktami docelowymi, ale także czasy przejazdu pomiędzy tymi punktami. W aglomeracjach miejskich, przy dużej ilości wytwarzanych odpadów i dużym natężeniu ruchu korzystne z punktu widzenia ekonomicznego może być wprowadzenie przeładunku odpadów do dużych kontenerów, pomimo stosunkowo małych odległości [1].

W stacji przeładunkowej oprócz samego procesu przeładunku odpady mogą być również czasowo magazynowane oraz zagęszczane. W tym przypadku odpady dowożone do stacji rozładowywane są do bunkrów, a następnie zagęszczane i załadowywane do kontenerów. Istnieje kilka możliwych rozwiązań technologicznych procesu zagęszczania odpadów [10].

W niektórych stacjach przeładunkowych możliwe jest także indywidualne dostarczanie odpadów przez mieszkańców. Taka stacja powinna być wyposażona w osobną wagę i punkt wyładunku odpadów, a także kasę [1].

Przeładunkowi odpadów towarzyszyć mogą także inne procesy, np. wydzielanie surowców wtórnych z odpadów. Sortowaniu podlegać mogą zarówno odpady zmieszane, jak i selektywnie zbierane. Pamiętać należy, że surowiec uzyskany z odpadów selektywnie zbieranych jest czystszy i wyższej jakości niż surowiec pozyskany z odpadów zmieszanych. W procesie wydzielenia surowców wtórnych stosuje się rozdrabnianie odpadów w rozdrabniarkach, kruszarkach, młynach, elektromagnetyczne wydzielanie metali żelaznych, dekomerowe wydzielanie metali nieżelaznych, segregację balistyczną i powietrzną, separację optyczną, termiczną, flotację a także segregację ręczną [8]. Wyszortowane surowce wtórne trafiają następnie do zakładów zajmujących się ich przetwórstwem i produkcją nowych wyrobów użytkowych.

Wśród odpadów komunalnych szczególną grupę stanowią odpady wielkogabarytowe. Powinny być one selektywnie zbierane i dostarczane do zakładów demontażu, gdzie są rozdrabniane i rozdzielane na frakcje (drewno, odpady tekstylne, metale i inne).

Wraz z rozwojem gospodarczym wzrasta nie tylko ilość odpadów, ale także stają się one coraz bardziej uciążliwe dla środowiska. W strumieniu odpadów komunalnych wzrasta udział odpadów niebezpiecznych. Są to m. in. baterie, akumulatory, opakowania po chemikaliach, przeterminowane lekarstwa, sprzęt RTV i AGD. Bardzo ważne jest, aby odpady te nie trafiały do kontenerów na odpady zmieszane, dlatego wprowadzono różne mechanizmy zbiórki odpadów niebezpiecznych.

Zużyty sprzęt AGD i RTV można oddać w sklepie przy zakupie nowego lub do punktu zbiórki odpadów niebezpiecznych. Coraz częściej gminy organizują również zbiórki odpadów elektrycznych. Odpady te składają się głównie z metali, tworzyw

sztucznych i szkła, które stanowią około 88% masy tych odpadów. Pozostała część to drewno, papier, płyty z włókna (razem ok. 9%) oraz elementy elektryczne lub elektroniczne (do 3%) [1].

Odpady elektryczne powinny trafiać do specjalistycznych zakładów demontażu. W pierwszym etapie odpady te są demontowane ręcznie na składniki takie jak: metale żelazne, metale nieżelazne, tworzywa sztuczne z obudów, guma, drewno, lampy kineskopowe, kable, baterie, układy scalone, substancje szkodliwe. Następnie odpady mogą być poddawane dalszym procesom obróbki mechanicznej, chemicznej lub termicznej, dostosowanym do ich rodzaju. Efektem procesu demontażu odpadów elektrycznych jest wydzielenie surowców wtórnych, metali żelaznych i nieżelaznych oraz szkła, m.in. zawierającego ołów, stront i bar [1].

Szczególną grupą w strumieniu odpadów komunalnych są odpady organiczne. Stanowią one znaczny udział całej masy odpadów i powinny być poddawane procesom biologicznej przeróbki. Zgodnie z „Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach” do 31 grudnia 2013 deponowanie na składowiskach odpadów ulegających biodegradacji powinno zostać ograniczone do poziomu 50% masy odpadów biodegradowalnych wytworzonych w 1995 roku. Zaś do końca 2020 roku wartość ta powinna stanowić nie więcej niż 35% w stosunku do roku 1995 [9].

Odpady, które nie mogły zostać wykorzystane jako surowce, mogą być poddawane procesom termicznego unieszkodliwiania. Najczęściej stosowaną metodą termicznego unieszkodliwiania odpadów jest ich spalanie. Pozwala ono na pozyskanie energii z odpadów. Uzyskuje się również redukcję masy odpadów (do ok. 35% masy początkowej) oraz ich objętości (do ok. 10% objętości początkowej).

MODEL ZAKŁADU GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI

Nowoczesne zakłady gospodarki odpadami powinny być dostosowane technologicznie do rodzaju przetwarzanych odpadów, jak również powinny posiadać odpowiednią przepustowość pozwalającą na przetworzenie lub unieszkodliwienie wymaganej ilości odpadów. W celu oceny i usprawnienia funkcjonowania wyżej wymienionych obiektów można zastosować teorię kolejek. Pozwala ona na charakterystykę procesu obsługi, w tym wypadku procesu przetwarzania lub unieszkodliwiania odpadów, oraz umożliwia optymalizację struktury obiektu, a tym samym pozwala na sprawną organizację obsługi.

W dalszej części pracy rozważany będzie teoretyczny model zakładu gospodarki odpadami komunalnymi, przyjmującego zmieszane odpady komunalne (33 tys. Mg/rok), odpady wielkogabarytowe (10 tys. Mg/rok), zużyty sprzęt RTV i AGD (4200 Mg/rok) oraz odpady zawierające azbest (2100 Mg/rok). Odpady dowożone do zakładu są najpierw ważone, a następnie trafiają do odpowiedniej komórki. Komunalne odpady zmieszane w całości trafiają do sortowni odpadów zmieszanych. Wydzielone surowce wtórne są następnie czasowo przechowywane w boksach i wywożone do zakładów zajmujących się ich wykorzystaniem. Pozostała część odpadów komunalnych, w tym odpady organiczne wywożone są na składowisko. Zakładana przepustowość sortowni to 36 tys. Mg/rok. Odpady wielkogabarytowe przywożone do zakładu poddawane są rozdrobieniu

i wydzieleniu surowców wtórnych w stacji demontażu. Zakładana przepustowość stacji demontażu to 10 tys. Mg/rok. W ramach zakładu działa również stacja demontażu odpadów RTV i AGD o przepustowości 4400 Mg/rok. Po zakończeniu procesu demontażu, zarówno elementy odpadów wielkogabarytowych jak i elektrycznych są przewożone do zakładów zajmujących się ich dalszą przeróbką lub unieszkodliwianiem. Kolejnym obiektem na terenie omawianego zakładu jest plac do czasowego gromadzenia odpadów zawierających azbest. Odpady te, po zgromadzeniu większej ich ilości są przewożone na składowisko odpadów niebezpiecznych. Odpady zawierające azbest są przechowywane w omawianym zakładzie średnio przez okres 20 dni.

SIECI KOLEJKOWE

Przedstawiony w poprzednim rozdziale system gospodarki odpadami można modelować wykorzystując sieci kolejkowe, które stanowią zbiór powiązanych ze sobą systemów kolejkowych. Istnieje kilka rodzajów sieci kolejkowych. W każdym z nich po uzyskaniu obsługi w systemie kolejkowym, zgłoszenie przechodzi z pewnym prawdopodobieństwem do następnego systemu. W zależności od całkowitej liczby zgłoszeń można wyróżnić otwarte, zamknięte i mieszane sieci kolejkowe, natomiast w zależności od liczby klas dzielimy je na jednoklasowe i wieloklasowe. Przy projektowaniu sieci kolejkowych należy określić liczbę i typ systemów wchodzących w jej skład, liczbę kanałów obsługi w poszczególnych systemach i liczbę klas zgłoszeń. W omawianym przypadku do modelowania systemu gospodarki odpadami wykorzystano sieci kolejkowe BCMP, których nazwa pochodzi od nazwisk ich twórców – Basketta, Chandy, Muntza, Palacios [2, 3]. Charakteryzują się one tym, że może w nich przebywać jednocześnie wiele zgłoszeń należących do różnych klas. Ponadto zgłoszenie może zmienić przynależność do klasy w trakcie przebywania wewnątrz sieci, zaś rozkład czasów obsługi zgłoszeń nie musi być opisany rozkładem wykładniczym. Modelują one również różne dyscypliny likwidacji kolejki. Systemy występujące w sieciach BCMP można podzielić na 4 typy: FIFO (ang. *first input, first output*), PS (ang. *processor sharing*), IS (ang. *infinite server*), LIFO-PR (ang. *last input, first output with preemption*). Dokładny opis sieci kolejkowych można znaleźć w [2, 3].

Modelem, który najlepiej odzwierciedla rozważaną sytuację jest sieć otwarta BCMP składająca się z systemów kolejowych $M/M/m/FIFO/\infty$ (typ FIFO wg klasyfikacji BCMP) i $M/M/\infty$ (typ IS). Ogólna notacja systemów kolejkowych jest postaci $X/Y/m/d/l$, gdzie X oznacza symbol rozkładu wejściowego strumienia zgłoszeń (symbol M to poissonowski rozkład przybyć), Y określa rozkład czasów obsługi zgłoszeń (symbol M to wykładniczy rozkład czasów obsługi), m to liczba kanałów obsługi, d przedstawia dyscyplinę likwidacji kolejki, l jest rozmiarem systemu. W systemach $M/M/m/FIFO/\infty$ zgłoszenia przybywają więc zgodnie z rozkładem Poissona, a czas obsługi zgłoszeń podlega rozkładowi wykładniczemu. Są to systemy z m -kanałami obsługi, dyscypliną kolejki typu FIFO (pierwszy przychodzi, pierwszy obsłużony) i nieograniczonym oczekiwaniem. System taki może znajdować się w stanach z kolejką, jeśli liczba zgłoszeń jest większa od liczby

kanałów obsługi, w przeciwnym przypadku system jest w stanach bez kolejki – zgłoszenia obsługiwane są natychmiast po przybyciu do systemu. W przypadku typu FIFO rozkład czasów obsługi wszystkich klas jest identyczny i wykładniczy. System jest stabilny, jeśli spełniony jest warunek ergodyczności $\lambda < m\mu$. W systemie kolejkowym M/M/∞ czas obsługi podlega również rozkładowi wykładniczemu, a wejściowy strumień zgłoszeń opisany jest rozkładem Poissona. W systemie tym istnieje jednak nieograniczona liczba kanałów obsługi, a więc zgłoszenia nie czekają w kolejce na obsługę. W przypadku typu IS zgłoszenia różnych klas mogą mieć inne wymagania odnośnie obsługi. Jednym z parametrów systemu kolejkowego jest względna intensywność obsługi ρ wyrażona jako stosunek średniego natężenia strumienia zgłoszeń λ do parametru rozkładu czasu obsługi zgłoszenia μ [2-4].

Wielkościami charakteryzującymi sieć kolejkową są: średnie liczby zgłoszeń w kolejce i systemie oraz średnie czasy przebywania zgłoszeń w kolejce i systemie.

Średnią liczbę zgłoszeń w systemie umieszczonym w sieci otwartej składającej się z N systemów i R klas można wyrazić za pomocą zależności [2]:

$$\bar{K}_{ir} = \begin{cases} m_i \rho_{ir} + \bar{Q}_{ir} = m_i \rho_{ir} + \frac{\rho_{ir}}{1 - \rho_i} \cdot \frac{(m_i \rho_i)^{m_i}}{m_i! (1 - \rho_i)} \cdot \frac{1}{\sum_{k_i=0}^{m_i-1} \frac{(m_i \rho_i)^{k_i}}{k_i!} + \frac{(m_i \rho_i)^{m_i}}{m_i!}} \cdot \frac{1}{1 - \rho_i}, & \text{Typ FIFO} \\ \frac{\lambda_{ir}}{\mu_{ir}}, & \text{Typ IS} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

- m_i – liczba kanałów obsługi w systemie i ($i = 1, \dots, N$),
- μ_{ir} – współczynnik obsługi klasy r ($r = 1, \dots, R$) w systemie i ,
- λ_{ir} – współczynnik strumienia zgłoszeń klasy r w systemie i ,
- ρ_{ir} – względna intensywność obsługi klasy r w systemie i , $\rho_{ir} = \lambda_{ir} / (m_i \mu_{ir})$,
- ρ_i – względna intensywność obsługi zgłoszeń w systemie i , $\rho_i = \lambda_i / (m_i \mu_i)$,
- \bar{Q}_{ir} – liczba zgłoszeń klasy r w kolejce systemu i .

Średnia liczba zgłoszeń w systemie M/M/m/FIFO/∞ składa się z liczby zgłoszeń w trakcie obsługi i średniej liczby zgłoszeń w kolejce.

Współczynnik strumienia zgłoszeń klasy r w systemie i , umieszczonym w sieci otwartej, jest sumą strumienia zgłoszeń klasy r przybywającego z zewnątrz $\lambda_{we,ir}$ oraz łącznego strumienia zgłoszeń klasy r pochodzącego od innych systemów (wyliczony z prawdopodobieństw przejść między systemami $p_{js,ir}$):

$$\lambda_{ir} = \lambda_{we,ir} + \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^R \lambda_{js} p_{js,ir} \quad (2)$$

Średni czasy oczekiwania w kolejce \bar{W}_{ir} oraz przebywania zgłoszenia w systemie \bar{T}_{ir} można wyznaczyć korzystając z reguły Little'a:

$$\bar{W}_{ir} = \frac{\bar{Q}_{ir}}{\lambda_{ir}}, \quad \bar{T}_{ir} = \frac{\bar{K}_{ir}}{\lambda_{ir}} \quad (3)$$

ZASTOSOWANIE SIECI KOLEJKOWYCH DO MODELOWANIA ZAKŁADU GOSPODARKI ODPADAMI

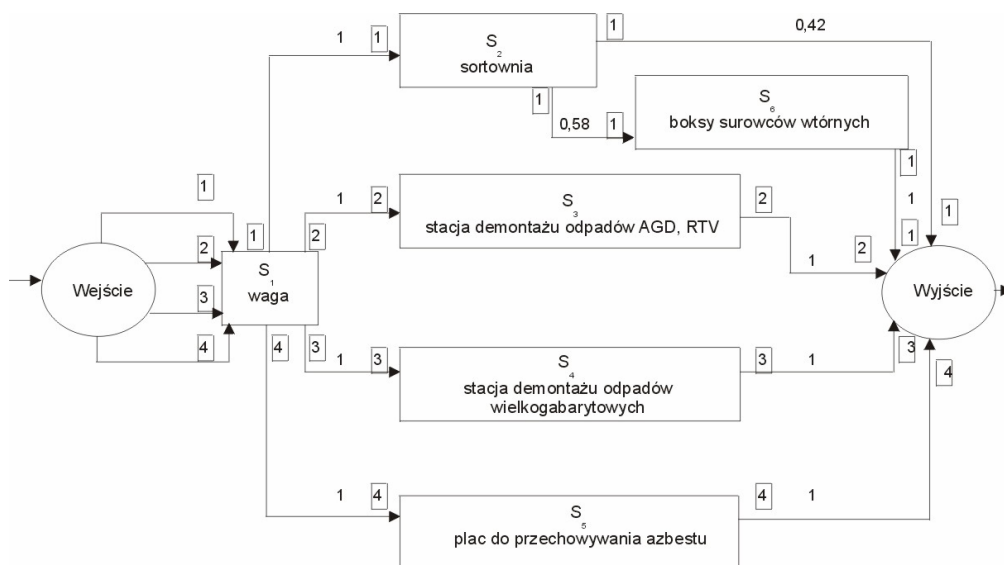
Schemat modelowanego obiektu gospodarki odpadami (opisanego w rozdziale 3) z zaznaczonymi klasami oraz prawdopodobieństwami przejść zgłoszeń między systemami przedstawiono na rysunku 1. W rozważanym modelu istnieją cztery klasy zgłoszeń:

- klasa 1 – komunalne odpady zmieszane i surowce wtórne z selektywnej zbiórki,
- klasa 2 – zużyty sprzęt AGD oraz RTV,
- klasa 3 – odpady wielkogabarytowe,
- klasa 4 – odpady zawierające azbest,

przy czym zgłoszenie odpowiada partii 7 Mg odpadów dowożonych do zakładu.

W skład modelu sieci kolejkowej wchodzi następujące systemy:

- S_1 – waga, system jednokanałowy M/M/1/FIFO/ ∞ ($\mu_1 = 48$, $\lambda_{11} = 15,7$, $\lambda_{12} = 2$, $\lambda_{13} = 4,3$, $\lambda_{14} = 1$),
- S_2 – sortownia, system jednokanałowy M/M/1/FIFO/ ∞ ($\mu_2 = 17,14$, $\lambda_{21} = 15,7$),
- S_3 – stacja demontażu odpadów RTV i AGD, systemy z trzema kanałami obsługi M/M/3/FIFO/ ∞ ($\mu_3 = 0,7$, $\lambda_{32} = 2$),
- S_4 – stacja demontażu odpadów wielkogabarytowych, system jednokanałowy M/M/1/FIFO/ ∞ ($\mu_4 = 4,76$, $\lambda_{43} = 4,3$),
- S_5 – plac do przechowywania azbestu, system M/M/ ∞ ($\mu_5 = 0,05$, $\lambda_{54} = 1$),
- S_6 – boksy surowców wtórnych, system M/M/ ∞ ($\mu_6 = 1/3$, $\lambda_{61} = 0,58\lambda_{21}$).



Rys. 1. Model sieci otwartej BCMP przedstawiającej działanie zakładu gospodarki odpadami

W analizowanym modelu nie ma zmiany przynależności zgłoszeń do klasy. W tabeli 1 przedstawiono średnie liczby zgłoszeń oraz czasy ich przebywania w kolejce i systemie.

Tabela 1. Podstawowe parametry sieci

Klasa:	Średnie liczby zgłoszeń w systemie					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	0,628	10,9028				27,318
2	0,08		21,0845			
3	0,172			9,3478		
4	0,04				20	
Klasa:	Średnie liczby zgłoszeń w kolejce					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	0,3009	9,9868				0
2	0,0383		18,2274			
3	0,0824			8,4445		
4	0,0192				0	
Klasa:	Średni czas przebywania zgłoszeń w systemie [doba]					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	0,04	0,6944				3
2	0,04		10,5423			
3	0,04			2,1739		
4	0,04				20	
Klasa:	Średni czas przebywania zgłoszeń w kolejce [doba]					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	0,0192	0,6361				0
2	0,0192		9,1137			
3	0,0192			1,9638		
4	0,0192				0	

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że najdłużej na demontaż oczekuje zużyty sprzęt RTV i AGD (ponad 9 dni).

PODSUMOWANIE

Prawidłowa gospodarka odpadami jest bardzo ważnym zagadnieniem z punktu widzenia ochrony środowiska. Odpady, w tym komunalne stanowią bowiem zagrożenie dla całych ekosystemów. Zarówno ustawodawstwo unijne, jak i polskie uwzględnia konieczność ograniczenia ilości wytwarzanych odpadów oraz wzrostu powtórnego wykorzystania wytworzonych odpadów. Cele takie znalazły się również w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami 2014. KPGO zakłada ponadto redukcję masy składowanych odpadów komunalnych do maksymalnego poziomu 60% w 2014 roku. Realizacja powyższych celów wymaga modernizacji i rozbudowy

istniejących oraz budowy nowych obiektów przetwarzania i unieszkodliwiania odpadów, innych niż składowiska odpadów.

Projektując zakład gospodarki odpadami należy wziąć pod uwagę przewidywany rodzaj i ilość odpadów dostarczanych do zakładu. W celu oceny funkcjonowania takiego zakładu można wykorzystać teorię kolejek. Wyniki badań nad zastosowaniem systemów i sieci kolejkowych do modelowania funkcjonowania stacji przeładunkowych przedstawiono w [6, 9]. Sieci kolejkowe mogą być również wykorzystywane do modelowania innych obiektów gospodarki odpadami.

Rozważany w pracy zakład jest teoretycznym przykładem kompleksowego zakładu gospodarki odpadami. Można by również rozważyć wprowadzenie do niego nowych elementów takich jak np. kompostownia odpadów organicznych oraz rozdział odpadów trafiających do sortowni na odpady zmieszane i surowce wtórne.

W dalszym etapie badań planowane jest pozyskanie danych z istniejących zakładów gospodarki odpadami o różnych strukturach.

Wykorzystanie sieci kolejkowych do modelowania różnych obiektów gospodarki odpadami pozwala przewidzieć i ocenić ich funkcjonowanie w przypadku zmiany ilości odpadów dostarczanych w przyszłości. Aby dobrać odpowiednią strukturę zakładu należy sformułować oraz znaleźć minimum funkcji celu określającej koszty zarówno przechowywania odpadów przed ich przeróbką, jak i koszty chwilowo nie pracującego zakładu.

LITERATURA

1. Bilitewski B., Härdtle G., Marek K., 2006: Podręcznik gospodarki odpadami. Teoria i praktyka. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa.
2. Bolch G., Greiner S., de Meer H., Trivedi K.S., 1998: Queueing Networks and Markov Chains. Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications. John Wiley&Sons Inc.
3. Filipowicz B., 1996: Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych: analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych. WNT, Warszawa.
4. Filipowicz B., Kwiecień J., 2008: Queueing systems and networks: models and applications. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, 56 (4).
5. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014 – załącznik do uchwały nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014” (Monitor Polski Nr 101, poz. 1183).
6. Ochrona środowiska 2010, rocznik statystyczny GUS.
7. Pawul M., Kwiecień J., 2010: Techniczne aspekty optymalizacji w gospodarce odpadami, Inżynieria Ekologiczna 23.
8. Rosik-Dulewska Cz., 2005: Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
9. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 628).
10. Woźniak A., Wota A., 2006: Elementy teorii masowej obsługi w organizacji stacji przeładunkowych odpadów komunalnych. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 3(2): 147-159.

MODELING OF WASTE MANAGEMENT PLANTS WORKING

Abstract. Correct waste management is one of the main problems of environmental protection. It requires not only suitable methods of waste processing and disposal, but also correct designed waste management plants and systems of waste selective collection and waste transport to their destination. Applied solutions should be effective with regard to protection of environment and costs.

To show possibility of creation of model which reflects working of selected waste management plants is the aim of this paper. The scheme of municipal waste management plant including i.a. sorting plant, dismantling stations of electrical and bulky waste, was used in research. The queueing networks with multiple job classes were used to prepare model of working of aforesaid plants. The application of queueing networks allows to reflect real situation and to make operations review of examined plants.

Keywords: waste management, queueing networks.