

Modelowanie i analiza łańcuchów dostaw z uwzględnieniem logistyki zwrotnej

Wprowadzenie i cel pracy

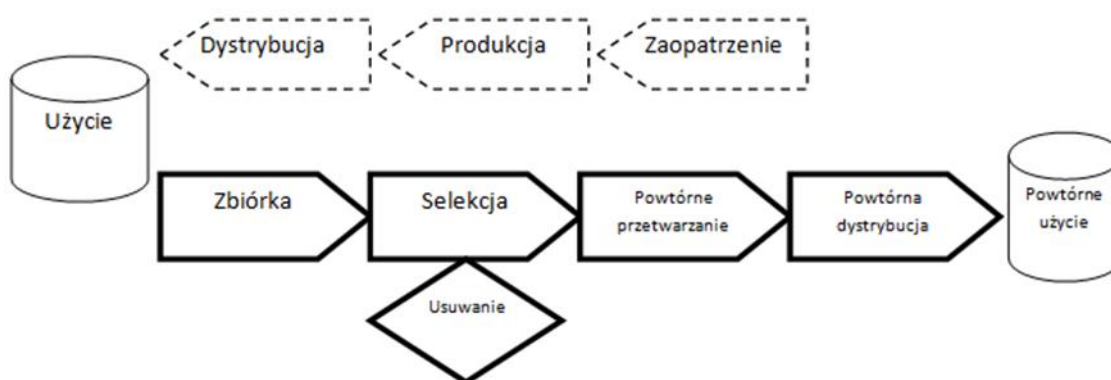
Na rynku elektroniki użytkowej odbywa się silna walka konkurencyjna. Przedsiębiorstwa rywalizują nie tylko jakością i ceną oferowanych produktów ale jakością dostaw i usług związanych, w tym głównie obsługi gwarancyjnej. Jednym z narzędzi do osiągnięcia sukcesu jest przeprowadzenie analizy łańcucha dostaw i wprowadzenie stosownych korekt do realizowanych procesów logistycznych.

Celem pracy jest zaprezentowanie metod operacyjnych modelowania i analizy łańcuchów dostaw ze szczególnym uwzględnieniem logistyki zwrotnej.

Modelowanie łańcucha dostaw polega na formowaniu relacji pomiędzy przedsiębiorcami a klientami, w taki sposób by przynieść obustronne korzyści. Nieodzownym instrumentem wspomagającym analizę łańcuchów dostaw są matematyczne metody badań operacyjnych, które w wysokim stopniu ułatwiają podejmowanie optymalnych decyzji. Zawarte w pracy przykłady metod i analizy oparto na rzeczywistych łańcuchach dostaw elektronicznych systemów zabezpieczeń obiektów, ze względu na wysokie wymagania prawne i rynkowe w zakresie czasu i jakości dostaw, w tym posprzedażnej obsługi gwarancyjnej.

Łańcuch dostaw

Łańcuchem dostaw nazywamy taki układ logistyczny, który jest zbiorem wzajemnie zależnych od siebie organizacji współuczestniczących zarówno w procesie dostarczania produktu lub usługi do klienta, jak również przepływu informacji i środków pieniężnych między poszczególnymi ogniwami [4]. Każdy proces dostaw, w tym układzie postrzegany jest jako zbiór powiązanych ze sobą czynności, który w zakresie dostarczania użytkownikowi produktu lub usługi, kreuje i dostarcza mu również wartości.



Rys. 1. Schemat łańcucha dostaw z uwzględnieniem obsługi posprzedażnej [3].

Ideą łańcucha dostaw jest ściśle zespolenie całego zbioru od dostawców przez producentów i dystrybutorów do odbiorców w celu osiągnięcia dodatkowych sukcesów i zdobycia korzyści rynkowych. Orientacja funkcjonalna łańcucha dostaw zamienia problemy związane z zarządzaniem

zapasami oraz optymalizacją kosztów w poszczególnych firmach na kwestie optymalnego ulokowania zapasów i kapitałów w obrębie całego łańcucha dostaw.

Schematycznie łańcuch dostaw z uwzględnieniem logistyki zwrotnej przedstawiony został na rysunku 1. Kierunek strzałek oznacza przepływ produktów, informacji i usług. Głównymi elementami łańcucha dostaw są: dostawcy, producenci, hurtownicy, detaliści, konsumenci i jednocześnie przedsięwzięcia z nimi związane. Dostawcy zaopatrują producentów, którzy tworzą produkt. Następnie produkt przemieszany jest do hurtowników i detalistów, by ostatecznie dotrzeć do konsumentów. W wielu przypadkach na tym etapie można zakończyć schemat. Jednak opierając się na teorii produktu logistycznego [5] łańcuch dostaw powinien zawierać dodatkowe ogniwo mające na celu planowanie i wdrażanie wszystkich procesów fizycznych i informacyjnych - związanych z gwarancją, remontem, konserwacją i ubezpieczeniem - koniecznych do usuwania i przetwarzania odpadów. Taki dodatkowy podsystem w łańcuchu dostaw nazywany jest logistyką zwrotną, która służy do udoskonalania przepływów strumieni materialnych i niematerialnych z zamiarem racjonalnego wykorzystywania surowców i materiałów, redukcję odpadów oraz ochronę ekosystemu otaczającego człowieka.

Koncepcja łańcucha dostaw logistyki zwrotnej skupia się na odebraniu od klientów zużytych produktów lub półproduktów w skutek nie spełnienia przez nie oczekiwań klienta lub utracenia swojej wartości poprzez eksploatację. Zebrane produkty poddawane są selekcji, w wyniku której dzielone są na trzy strumienie:

- produkty o wysokiej jakości, które mogą zostać naprawione i wysłane do ponownej dystrybucji;
- produkty zawierające części do ponownego użycia, które mogą zostać rozmontowane i wysłane do producenta z intencją ponownego użycia w centrum produkcji;
- pozostałe produkty, wyłączone z obiegu, stanowiące zbędne odpady [5].

Produkty z grupy pierwszej i drugiej trafiają do ponownego przetworzenia, dystrybucji, a następnie jeszcze raz do klientów. Produkty z grupy trzeciej poddawane są utylizacji.

W każdym połączeniu między ogniwami bardzo duże znaczenie odgrywa transport, magazynowanie oraz systemy informacyjne. Ponadto w łańcuchu dostaw kreowana jest wartość dodana produktu, co oznacza, że każde ogniwo dopisuje dodatkowe cechy do produktu zwiększając jego wartość na rynku. Towar pierwotny przechodzi stopniową transformację, od fazy surowca do finalnego produktu logistycznego.

Modelowanie łańcuchów dostaw

Modelowanie oznacza tworzenie schematów rzeczywistych zjawisk w celu ich badania [7]. Teoria grafów, jako poszerzona dziedzina matematyki, znalazła bardzo dobre zastosowanie w modelowaniu łańcucha dostaw, ze względu na łatwość odzwierciedlenia różnorodnych struktur.

Modelowanie należy rozpocząć od stworzenia grafu odpowiadającego łańcuchowi dostaw, który został wskazany do poddania analizie. Przy odwzorowywaniu za pomocą grafu sieciowego badanych procesów należy zachować sprzężenie pomiędzy poszczególnymi czynnościami oraz zdarzeniami, wynikające z całego procesu technologicznego i organizacyjnego przedsięwzięcia. Należy pamiętać, że im lepiej zostanie sporządzony graf w postaci sieci zależności, tym bardziej wnikliwa i skuteczna będzie przeprowadzona analiza [6].

Podstawowymi elementami grafu są wierzchołki, które odpowiadają przedsiębiorstwom oraz krawędzie, które odpowiadają połączeniom (zarówno rzeczywistym, jak i wirtualnym) pomiędzy przedsiębiorstwami. Kolejnymi elementami teorii grafów mającymi swoje odzwierciedlenia w rzeczywistości są droga i ścieżka. Droga to ciąg relacji pomiędzy przedsiębiorstwami, które tylko raz mogą wpłynąć na wartość dodaną produktu, natomiast ścieżka to ciąg relacji pomiędzy przedsiębiorstwami, które wielokrotnie mogą wpłynąć na wartość dodaną produktu. Każda droga jest ścieżką. Jednym z ważniejszych elementów jest również most, który odzwierciedla przedsiębiorstwo będące pośrednikiem pomiędzy różnymi podgrupami w sieci dostaw. Mosty usprawniają komunikację

między podgrupami, ułatwiają przepływ informacji oraz innowacji, a także wpływają na zwiększenie spójności łańcucha.

Podczas odwzorowywania sieci dostaw należy pamiętać o podstawowych zasadach teorii grafów:

- Każda czynność musi mieć swoje zdarzenie początkowe i końcowe, tj. zaczynać się w wierzchołku i , a kończyć w wierzchołku j , przy czym $i < j$.
- Każda sieć musi posiadać dwa unikalne wierzchołki, zwane wejściem (źródłem) i wyjściem (ujściem) sieci. Źródło nie posiada czynności poprzedzających, natomiast ujście nie ma czynności następujących.
- Dwie czynności nie mogą zaczynać się i kończyć w tych samych dwóch wierzchołkach sieci. Oznacza to, że dwa wierzchołki sieci nie mogą być połączone bezpośrednio dwiema równoległymi krawędziami.
- Kształt, ani długość krawędzi nie jest proporcjonalny do wartości jakie reprezentuje [6].

Analiza przepływów w łańcuchach dostaw

Pierwszy etap analizy łańcucha dostaw polega na analizie przepływów, której głównym celem jest określenie maksymalnego przepływu, oraz identyfikacji procesów – odcinków łańcucha dostaw, które uniemożliwiają maksymalne wykorzystanie sieci, czyli stanowią ograniczenie w postaci minimalnego przekroju sieci. Zazwyczaj w sieci kilka takich odcinków tworzy wspólnie „wąskie gardło” i modernizacja tylko jednego, nie wprowadza korzystnych zmian w całej sieci. Ważne jest, aby analizy łańcucha dostaw dokonać systemowo, a nie odcinkowo i przebudować tylko te odcinki, które będą miały rzeczywisty wpływ na polepszenie warunków pracy sieci.

Wskazanie odpowiednich odcinków polega na analizie przepływów. Wynikiem pożądanym jest otrzymanie takiej sytuacji, w której wszystkie krawędzie wychodzące ze źródła dostaw oraz wszystkie krawędzie wchodzące do ujścia/odbioru dostaw będą nasycone.

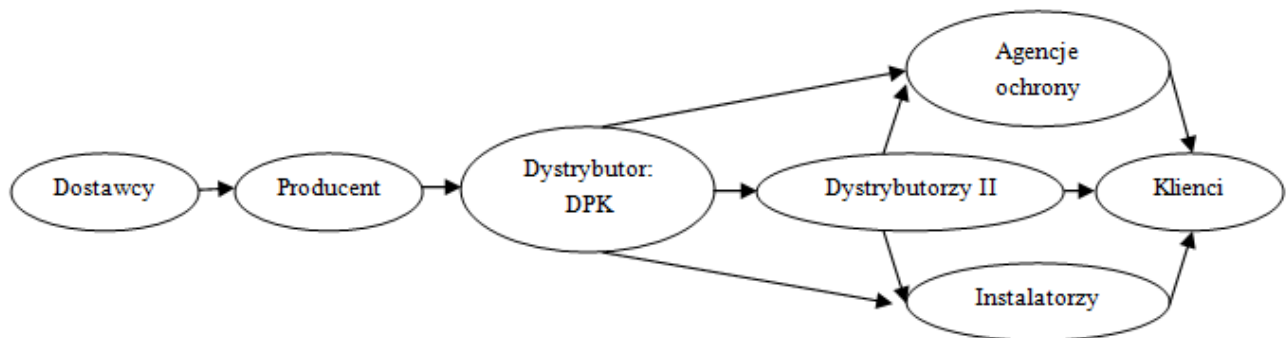
Specyfikacja rzeczywistych danych przykładowych

Modelowaniu i analizie poddano rzeczywisty łańcuch dostaw elektronicznych systemów alarmowych do obiektów. Cechami specyficznymi produktów są tutaj małe gabaryty, wysoka wartość jednostkowa i duża wrażliwość na uszkodzenia mechaniczne.

W analizowanym przykładzie wybrano znanego producenta zlokalizowanego w Republice Czeskiej, światowego lidera w systemach zabezpieczeń bezprzewodowych. Producent opiera się na dostawach komponentów głównie z Dalekiego Wschodu. Dystrybutor krajowy (DPK) zajmuje się importem elektronicznych systemów alarmowych i dystrybucją na obszarze całej Polski.

Dystrybutor krajowy jest ogniwem pośredniczącym pomiędzy producentem a konsumentem, jednakże nie mającym bezpośredniej styczności z klientem docelowym. Dystrybutor bezpośrednio współpracuje z agencjami ochrony, instalatorami oraz innymi dystrybutorami w całej Polsce, którzy docierają do ostatecznego klienta. Schemat przedmiotowego łańcucha dostaw przedstawiono na rysunku 2. Dystrybutorzy drugiego rzędu prowadzą sprzedaż bezpośrednią do klientów lub poprzez instalatorów i agencje ochrony montują systemy alarmowe u odbiorców. Instalatorzy i agencje ochrony są najczęściej ostatnim ogniwem dodającym wartość w łańcuchu dostaw.

Dystrybutor krajowy stanowi most pomiędzy producentem a grupą odbiorców. Funkcja mostów ma bardzo duże znaczenie w usprawnianiu komunikacji, przepływu informacji oraz spójności łańcucha dostaw.



Rys. 2. Schemat analizowanego łańcucha dostaw

Przykładowa analiza przepływów w sieci dostaw

Rysunek 3 obrazuje prognozowane zapotrzebowanie klientów (ze wzrostem 15%) w częstotliwości 10 dniowej. W grafie dodano dodatkowy wierzchołek (U) oznaczający zapotrzebowanie na rynku.

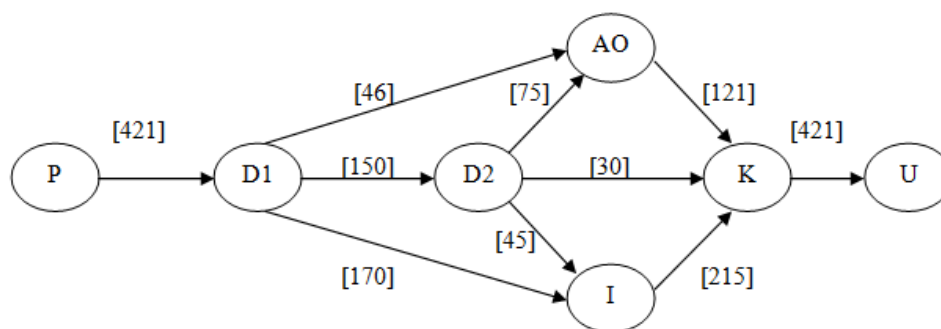
Z obliczeń wynika, że zapotrzebowanie klientów wynosi 421 elementów co 10 dni. Producent jest w stanie zaspokoić przewidywane zapotrzebowanie, jednak „wąskie gardła” w łańcuchu dostaw blokują sprzedaż.

Graf na rysunku 3 jest podstawą do dalszych obliczeń.

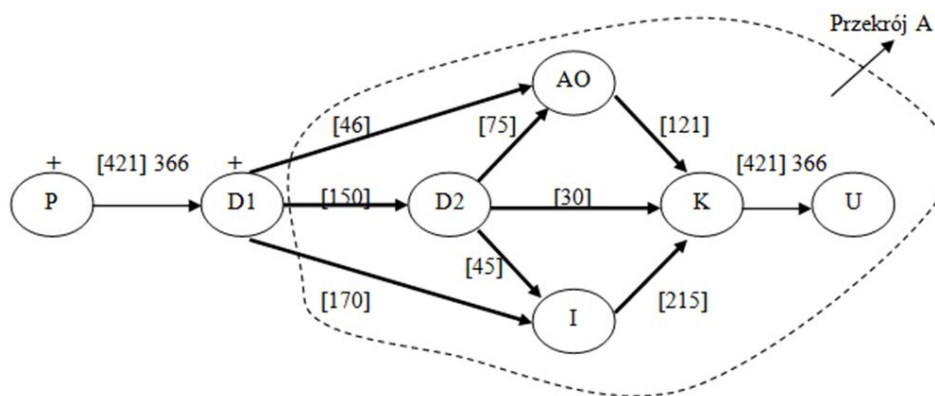
Do analizy przepływu wykorzystano algorytm Forda-Fulkersona [6]. Na rysunku 4 przedstawiono symulowany przepływ kompletny, na którym pogrubioną linią zostały zaznaczone krawędzie nasycone tj. takie których przepływ równy jest przepustowości krawędzi. Liczby w nawiasach oznaczają przepustowości krawędzi tj. maksymalny możliwy przepływ na danym odcinku.

W wyniku procedury znakowania wierzchołków [1] nie osiągnięto ostatniego wierzchołka U, co oznacza, że otrzymany strumień jest maksymalny. Na rysunku 4 przerywaną linią został zaznaczony minimalny przekrój A. Pojemność przekroju A wynosi: $C(U_A^-) = 46 + 150 + 170 = 366$. Maksymalny przepływ w sieci wynosi: $\varphi_{max} = 366$ [elementów]/ 10 dni.

Zastosowanie algorytmu Forda-Fulkersona potwierdziło hipotezę, w której założono, że maksymalny przepływ w sieci transportowej nie będzie wystarczający do zaspokojenia zapotrzebowania odbiorców. W związku z powyższym potrzebne było stworzenie planu modernizacji łańcucha dostaw, tak aby zaspokoić zapotrzebowanie klientów w kolejnym roku.



Rys. 3. Prognozowane 10 dniowe zapotrzebowanie na systemy zabezpieczeń. Łańcuch dostaw przed modernizacją. Oznaczenia: P- Producent, D1- Przedsiębiorstwo DPK, D2- Dystrybutorzy, I- Instalatorzy, AO- Agencje Ochrony, K- Klienci.

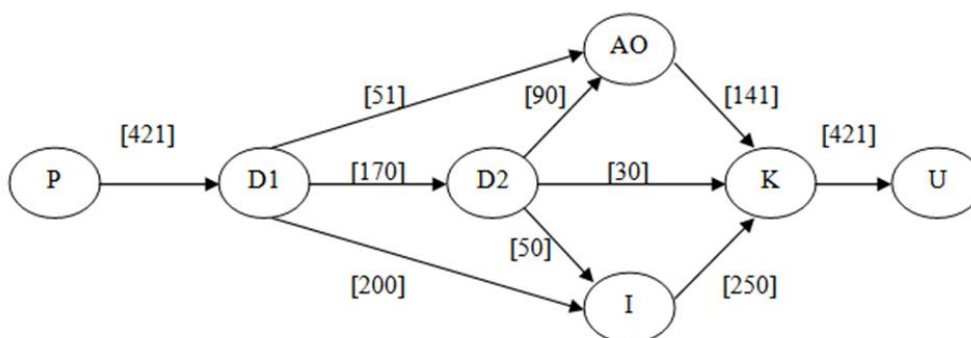


Rys. 4. Wyznaczenie strumienia maksymalnego i minimalnego przekroju łańcucha.

Zaproponowano zwiększenie sprzedaży równocześnie we wszystkich kierunkach w granicach 10-20%, by zaspokoić potrzeby rynku. W analizowanej sieci przedłożono modernizację następujących odcinków:

- D1-AO - zwiększenie sprzedaży o 5 elementów, osiągając przepustowość 51 elementów /10 dni (wzrost o 11%);
- D1-D2 - zwiększenie sprzedaży o 20 elementów, osiągając przepustowość 170 elementów /10 dni (wzrost o 13 %);
- D1-I - zwiększenie sprzedaży o 30 elementów, osiągając przepustowość 200 elementów /10 dni (wzrost o 18%);
- AO-K - zwiększenie sprzedaży o 20 elementów, osiągając przepustowość 141 elementów /10 dni (wzrost o 17%);
- D2-AO - zwiększenie sprzedaży o 15 elementów, osiągając przepustowość 90 elementów /10 dni (wzrost o 20%);
- D2-I - zwiększenie sprzedaży o 5 elementów, osiągając przepustowość 50 elementów /10 dni (wzrost o 11%);
- I-K - zwiększenie sprzedaży o 35 elementów, osiągając przepustowość 250 elementów /10 dni (wzrost o 16 %).

Zmodernizowany łańcuch dostaw został przedstawiony na rysunku 5. Po przebudowie łańcuch dostaw spełnia oczekiwania rynku i zaspokaja potrzeby klientów.



Rys. 5. Łańcuch dostaw po modernizacji.

W przypadku rozbudowy sieci sprzedaży modernizacja nie powinna być kojarzona z fizyczną rozbudową sieci, lecz pojmowana jako zwiększanie kanałów dystrybucji i sieci sprzedaży. Celem tego zabiegu jest zaspokojenie potrzeb rynku oraz zwiększenie konkurencyjności.

Analiza czasowa procesów z uwzględnieniem logistyki zwrotnej

Wyzwaniem branży systemów zabezpieczających jest utrzymanie logistycznych systemów technicznych w odpowiednim stanie gotowości, czyli w stanie zapewniającym poprawne działanie całego łańcucha dostaw przy istniejących ograniczeniach funkcjonalnych oraz ekonomicznych. W następstwie tego, bodźcem do stworzenia funkcjonującego łańcucha dostaw logistyki zwrotnej oprócz coraz modniejszych, proekologicznych pobudek było zaspokojenie potrzeb klienta oraz uniknięcie konsekwencji prawnych ze względu na przekroczenie czasu wymiany uszkodzonych elementów określonego w gwarancji.

Ten etap analizy łańcucha dostaw polega na zaplanowaniu kolejnych przedsięwzięć i obliczeniu czasu ich realizacji. W tej części analizie został poddany łańcuch dostaw logistyki zwrotnej, by sprawdzić czy przedsiębiorstwo dystrybutor krajowy jest w stanie wywiązać się z umowy gwarancyjnej, która obejmuje 14 dni + 7 dni przeznaczonych na dostawę.

Specyfikacja danych przykładowych

Dystrybutor krajowy oferuje swoim klientom warunki gwarancyjne naprawy produktów w zależności od sposobu instalacji:

- 5 lat, jeżeli produkt został zainstalowany przez instalatora
- 2 lat, jeżeli produkt nie został zainstalowany przez określonego instalatora.

W okresie gwarancji obowiązują zasady logistyki zwrotnej oparte na jak najszybszej wymianie uszkodzonych części. Z względu na rodzaj produktu oraz łańcuch dostaw, logistykę zwrótną elektronicznych systemów alarmowych dzielimy wg poniższych wzorców na dwie grupy:

Logistyka systemów alarmowych z automatyczną diagnostyką i powiadomieniem.

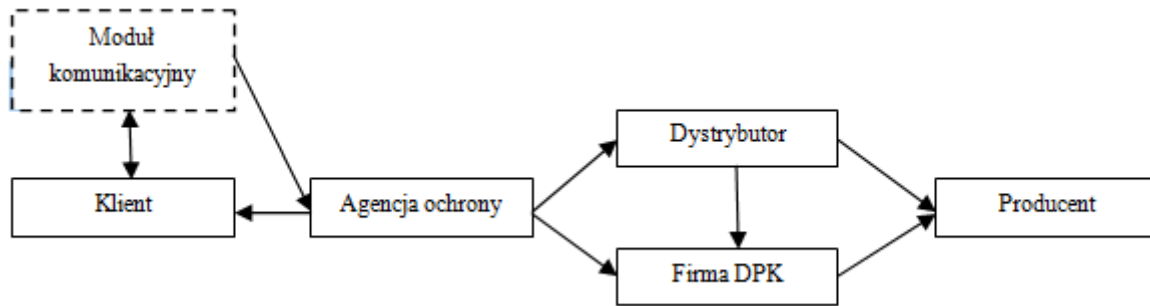
Przepływ informacji w takim systemie zobrazowany został na rysunku 6. Elektroniczne systemy alarmowe, które posiadają moduł komunikacyjny automatycznie wykrywają usterkę, a następnie przesyłają informację o niej do agencji ochrony bez konieczności powiadomienia o tym użytkownika. Agencja ochrony zgłasza usterkę bezpośrednio do dystrybutora krajowego DPK lub do dystrybutora pośredniczącego, który zgłasza to do DPK. DPK wysyła część zastępczą i oczekuje na produkt uszkodzony, która odsyła do producenta. Producent odbiera produkt i poddaje go selekcji ze względu na trzy strumienie. W tym przypadku klient (obiekt) nie pozostaje bez sprawnie działającego elektronicznego systemu zabezpieczeń.

Logistyka systemów alarmowych bez automatycznej diagnostyki i powiadomienia.

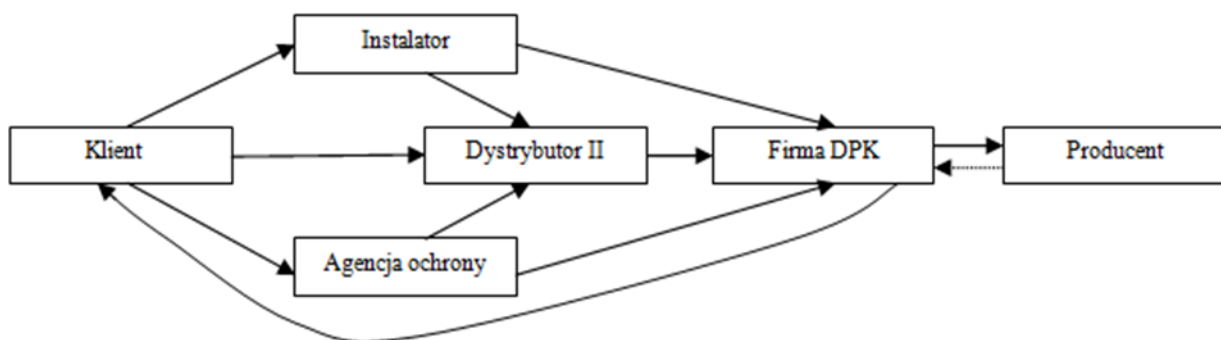
Przepływ informacji w takim systemie zobrazowany został na rysunku 7. Elektroniczne systemy alarmowe, które nie posiadają modułu komunikacyjnego nie wykrywają automatycznie usterek. W związku z powyższym, procedura się wydłuża. Usterka najczęściej zostaje zgłoszona, kiedy zostanie zauważona przez klienta. Użytkownik zgłasza usterkę do miejsca, w którym nabył elektroniczny system zabezpieczeń (tj. do instalatora, agencji ochrony lub dystrybutora). Z odpowiedniego miejsca sprzedaży systemu zostaje wydelegowana osoba, która sprawdza uszkodzenie i demontuje zużyty element, a następnie wraz z informacją o uszkodzeniu wysyła element do DPK. Gdy uszkodzony element dociera do DPK, zostaje sprawdzany i naprawiany, jeżeli jest taka możliwość lub wysyłany jest zamiennik, jeżeli dystrybutor go posiada. Natomiast, jeżeli dystrybutor nie ma ani zamiennika ani możliwości naprawy, przesyła uszkodzony element do producenta, gdzie zostaje naprawiony bądź wymieniony i odesłany do DPK, a stamtąd do konsumenta. Po zamontowaniu nowej części, zużyty produkt wysyłany jest do producenta poprzez dystrybutora krajowego. W tym przykładzie klient (obiekt) pozostaje bez sprawnie działającego systemu zabezpieczeń przez min. 7 dni.

Pożądanym przypadkiem jest wzorzec pierwszy, w którym klient nie ma powodu do niepokoju, a problem rozwiązuje się bez jego udziału i przeważnie bez zauważalnych strat, dlatego nie zostanie on poddany analizie. Mimo, że rozwiązanie pierwsze jest bardzo dobre, nie można go stosować do

wszystkich rodzajów sprzedawanych systemów, ze względu na ograniczenia funkcjonalne lub ekonomiczne. Przedmiotem analizy i modyfikacji był przypadek drugi.



Rys. 6. Przepływ informacji w systemie z automatycznym powiadamianiem o usterce.



Rys. 7. Przepływ informacji w systemie bez automatycznego powiadomienia o usterce.

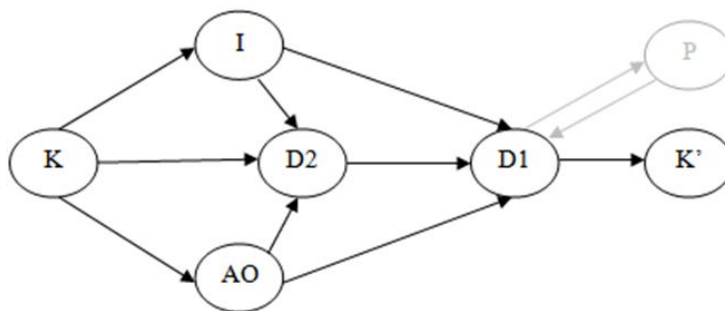
Planowanie przedsięwzięć w metodzie PERT

Na rysunku 8. został przedstawiony graf stworzony na podstawie rysunku 6 schematycznie opisujący łańcuch dostaw w logistyce zwrotnej elektronicznych systemów alarmowych. Jasnym kolorem na grafie został zaznaczony wierzchołek oznaczający producenta, który nie mógł być analizowany jako dodatkowy element ze względu na niezgodność z teorią grafów [6]. W późniejszych obliczeniach, w tabeli 1 czynności związane z udziałem producenta zostały ujęte w czasie czynności D1-K'.

Zasady odwzorowywania sieci transportowej na podstawie teorii grafów nawiązują do stworzenia dwóch unikalnych wierzchołków: źródła i ujścia sieci [6]. Z tego względu wierzchołki, które są równe sobie w rzeczywistości, oznaczające klienta zgłaszającego usterkę (K) i klienta dostającego część zamienną (K') na grafie zostały odpowiednio rozdzielone na źródło i ujście tak, by spełnić wymagania teorii grafów.

W tabeli 1 przedstawiono czasy wykonywania czynności: optymistyczny, modalny oraz pesymistyczny (w dniach) na kolejnych odcinankach sieci dostaw przy założeniu, że czasy trwania poszczególnych czynności są zmiennymi losowymi. Dodatkowo obliczono pozostałe wartości charakteryzujące czynności w sieciach stochastycznych: oczekiwany czas trwania czynności t_e oraz wariancję czasu oczekiwanego σ_{2ij} [6].

Dane zawarte w tabeli 1 zostały opracowane na podstawie [2] i przeniesione na rysunek 9. Czynności w sieci opisane zostały czterema parametrami. Nad strzałką podane zostały odpowiednio wartości czasów optymistycznych, modalnych (najbardziej prawdopodobnych) oraz pesymistycznych, a pod strzałką (poza nawiasem kwadratowym) wartość czasów oczekiwanych t_e .

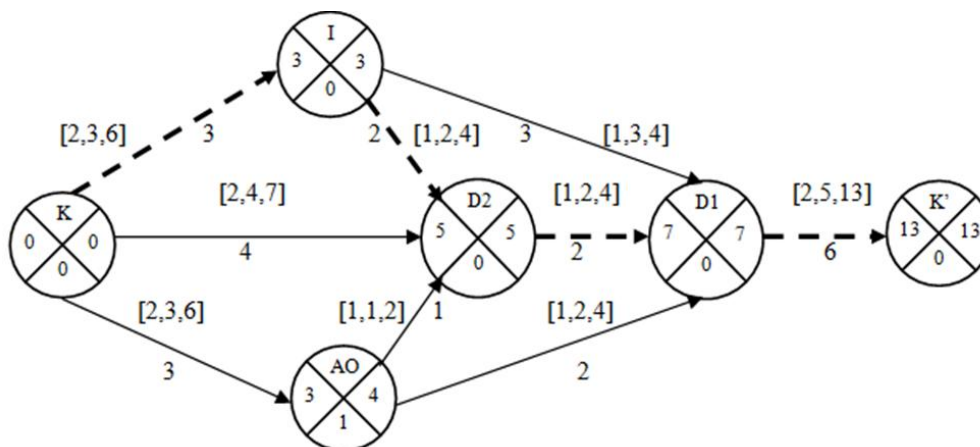


Rys.9. Łańcuch dostaw w logistyce zwrotnej. Podstawa do analizy PERT.

Tab. 1. Podstawowe parametry charakterystyczne procesu.

Czynność i-j	Czas trwania w dniach			t_e	σ^2_{ij}
	a	m	b		
K-I	2	3	6	3	0,44
K-D2	2	4	7	4	0,69
K-AO	2	3	6	3	0,44
I-D1	1	3	4	3	0,25
I-D2	1	2	4	2	0,25
D2-D1	1	2	4	2	0,25
AO-D1	1	2	4	2	0,25
AO-D2	1	1	2	1	0,03
D1-K'	2	5	13	6	3,36

Na rysunku 10 przeprowadzono analizę drogi krytycznej składającą się z dwóch kroków. W pierwszym kroku, zwanym krokiem w przód, otrzymano najwcześniejsze możliwe terminy zaistnienia zdarzeń (zaznaczone w lewej części koła). W drugim kroku, zwanym krokiem w tył, wyznaczono najpóźniejsze dopuszczalne terminy zajęcia poszczególnych zdarzeń w sieci (zaznaczone w prawej części koła). Różnica pomiędzy tymi terminami pozwoliła określić zapas czasowy, obliczony w dolnej części koła. Po uzyskaniu tych wyników otrzymano ścieżkę krytyczną, czyli najdłuższą w czasie drogę w sieci od zdarzenia początkowego, poprzez zdarzenia krytyczne do zdarzenia końcowego. Ścieżka krytyczna (K-I-D2-D1-K') została zaznaczona przerywaną linią.



Rys.10. Sieć procesu PERT.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że oczekiwany czas realizacji przedsięwzięcia wynosi $T=13$ [dni]. Jednakże wartość ta jest wielkością losową, a rzeczywisty termin może się różnić w zależności od wielkości wariancji poszczególnych czynności leżących na drodze krytycznej. Obliczona wariancja czasu całkowitego na ścieżce krytycznej wynosi:

$$\sigma_{kr}^2 = 0,44 + 0,25 + 0,25 + 3,36 = 4,3$$

Spodziewana wielkość odchylenia rzeczywistego terminu wykonania projektu od terminu rzeczywistego ($T=13$ dni) wynosi: $\sigma_{Tw}=\sqrt{4,3}=\pm 2,07$ [dnia].

Znając oczekiwany termin wykonania przedsięwzięcia, wyznaczony po ścieżce krytycznej oraz jego wariancję, można obliczyć prawdopodobieństwo, że przedsięwzięcie będzie zakończone w pewnym narzuconym z góry (dyrektywnym) terminie T_d . Za termin dyrektywny przyjmuje się zazwyczaj czas wykonania czynności narzucony przez zleceniodawcę bądź czas narzucony przez ustawodawstwo.

W tabeli 2 przeanalizowano szanse na zakończenie przedsięwzięcia z uwzględnieniem kilku kolejnych terminów dyrektywnych (podanych w dniach). Akceptowalne prawdopodobieństwo dotrzymania terminu dyrektywnego będzie, jeżeli $T_d \in (13,17)$. W przypadku, gdy termin dyrektywny będzie wynosił od 1 do 12 dni będzie znikoma szansa dotrzymania tego terminu ($\Phi(x) < 0,25$). Natomiast przy narzuconym terminie większym niż 16 dni wystąpią niewykorzystane moce przerobowe ogniwa łańcucha dostaw (nadmiar zasobów siły roboczej, maszyn, urządzeń).

Tab. 2. Prawdopodobieństwo wykonania przedsięwzięcia w czasie dyrektywnym.

T_d	x	$\Phi(x)$	Komentarz
12	-0,4819	0,2263	znikoma szansa dotrzymania terminu dyrektywnego
13	0,0000	0,3020	dotrzymanie terminu dyrektywnego jest realne
14	0,4819	0,3873	dotrzymanie terminu dyrektywnego jest realne
15	0,9639	0,4784	dotrzymanie terminu dyrektywnego jest realne
16	1,4458	0,5706	dotrzymanie terminu dyrektywnego jest realne
17	1,9277	0,6592	występują niewykorzystane moce przerobowe

W przypadku elektronicznych systemów alarmowych prawo zobowiązuje do naprawiania urządzeń w ciągu 14 dni z dodatkowymi 7 dniami na wysyłki. Dystrybutor krajowy spełnia te warunki i nie musi spodziewać się odpowiedzialności karnej za niedotrzymanie prawnego, narzuconego terminu zakończenia przedsięwzięcia. Jednak w celu polepszenia jakości usług oraz konkurencyjności sieci dostaw zaleca się przeprowadzenie analizy czasowo-kosztowej PERT-COST, której celem jest osiągnięcie krótszego terminu realizacji przedsięwzięcia.

Wnioski

Przykładowa analiza przeprowadzona w pracy wykazała możliwości usprawnienia i zwiększenia efektywności analizowanego łańcucha dostaw przy wykorzystaniu modelowania grafowego i metod operacyjnych opartych na analizie czasowo-kosztowej i przepływów w sieciach. Na podstawie relatywnie prostych obliczeń uzyskano wskazówki dotyczące:

- Modernizacji odcinków łańcucha, które blokują maksymalny przepływ produktów. Problem „wąskiego gardła” jest jedną z głównych przyczyn spadku rentowności firm. W przypadku analizowanego łańcucha dostaw oznacza ograniczenia w sprzedaży.
- Oszacowania terminu zakończenia przedsięwzięcia oraz prawdopodobieństwa ukończenia go w terminie dyrektywnym. W analizowanym łańcuchu dostaw czasy trwania poszczególnych czynności były zmiennymi losowymi, co oznacza, że nie było możliwości jednoznacznego ich

określenia. Im większa była wartość wariancji, tym bardziej wzrasta niepewność związana z daną czynnością. Wyniki końcowe zostały obliczone na podstawie rozkładu normalnego.

- Możliwości skrócenia terminu wykonania przedsięwzięcia z uwzględnieniem minimalizacji kosztów. Im lepiej zostaną oszacowane koszty modernizacji każdego z odcinków łańcucha dostaw oraz im lepiej zostaną oszacowane czasy trwania poszczególnych czynności, tym bardziej przewidywalnych efektów można się spodziewać.

Przedstawione metody analizy mają istotne zastosowanie w ocenie procesów logistyki zwrotnej.

Streszczenie

W pracy omówiono podstawy modelowania łańcuchów dostaw z wykorzystaniem matematycznej teorii grafów. Zaprezentowano podstawy teoretyczne analizy łańcuchów dostaw w aspekcie optymalizacji przepływów w sieciach i analizy czasowo-kosztowej na sieciach stochastycznych. Analizę poparto przykładami na rzeczywistych międzynarodowych łańcuchach dostaw elektronicznych systemów alarmowych do obiektów. W szczególności zaprezentowano analizę łańcucha logistyki zwrotnej, która ma istotne znaczenie w branży ochrony mienia. W zakończeniu sformułowano wnioski ogólne i szczegółowe z pracy.

Słowa kluczowe: łańcuch dostaw, przepływ w sieci, analiza PERT, optymalizacja, modelowanie, logistyka zwrotna.

Modelling and analysis of supply chains with consideration of reverse logistics.

Abstract

In the paper the fundamentals of supply chain modelling with the use of mathematical theory of graphs have been described. Theoretical basics of supply chain analysis have been presented in aspects of flow optimization in networks and time-cost analysis in stochastic supply networks. The analysis has been backed up with the examples based on real international supply chains of electronic security systems for buildings and premises. In particular the analysis of chain reverse logistics has been presented, which is of crucial importance in business of security systems. At the end the general and particular conclusions have been formulated.

Key words: supply chain, network flow, PERT method, optimization, modelling, reverse logistic.

LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- [1]. Filipowicz B. Badania operacyjne, FHU Poldex, Kraków 1997
- [2]. Kramarz W. Modelowanie przepływów materiałowych w sieciowych łańcuchach dostaw. Odporność sieciowego łańcucha dostaw wyrobów hutniczych, wyd. Difin SA, Warszawa 2013
- [3]. Kruczek M. Operator logistyczny w modelowaniu sieci logistyki zwrotnej, Logistyka, 5/2009, str. 22-23
- [4]. Kuklińska E. Podstawy logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw, wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości, Opole 2009
- [5]. Nowakowski T. Dualny charakter logistyki i eksploatacji systemów logistycznych, Logistyka, 2/2003, str. 12-14
- [6]. Woźniak A. Badania operacyjne w logistyce i zarządzanie produkcją cz. I, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Nowy Sącz 2010
- [7]. www.sjp.pl