

# KLASYFIKACJA ZAGROZEŃ W ŁAŃCUCHU DOSTAW I WYBRANE METODY ANALIZY I OCENY RYZYKA

W artykule przedstawiono zagrożenia w aspekcie terminowości dostaw oraz wynikające z zagrożeń ryzyko strat finansowych. Opóźnienia dostaw są jednym z najpoważniejszych problemów w sieci powiązań między przedsiębiorstwami, dlatego w artykule przedstawiono możliwość zastosowania metod programowania sieciowego w celu analizy i oceny ryzyka na przykładzie łańcucha dostaw z branży motoryzacyjnej. W pracy podano przykład mapy ryzyka, która jest szczególnie istotna przy wyborze sposobów minimalizacji ryzyka i eliminacji jego skutków.

## WSTĘP

Każdy łańcuch dostaw jest narażony na działanie niesprzyjających czynników, wynikających z zaniedbań, opóźnień i błędów, pojawiających się wskutek współpracy między przedsiębiorstwami, jak i pochodzących z otoczenia. Zagrożenie w łańcuchu dostaw jest sytuacją lub stanem, który stanowi źródło potencjalnego ryzyka. Ryzyko jest więc mierzalną wartością prawdopodobieństwa skutków po wystąpieniu zagrożenia. Przykładem może być zagrożenie opóźnień w dostawach, które stanowi przyczynę ryzyka strat finansowych, związanych z niedostarczeniem towarów na czas. Szczególnie niebezpieczne opóźnienia w dostawach pojawiają się w łańcuchach dostaw produktów spożywczych, ze względu na szybkość psucia się towaru, a także w łańcuchach dostaw z branży motoryzacyjnej, z uwagi na szerokie powiązania między dostawcami i częste trudności w komunikacji.

## 1 PRZYCZYNY OPÓZŃIEŃ W ŁAŃCUCHU DOSTAW

Na opóźnienia dostaw wpływa ryzyko decyzyjne, związane z wyborem dostawców, którzy mogą w niedostateczny sposób angażować się w relacje partnerskie, ryzyko związane z niewywiązywaniem się z procedur BHP, ryzyko braku odpowiedniej kontroli urządzeń, maszyn i materiałów, ryzyko związane z niewłaściwą alokacją zasobów, ryzyko niepowodzenia podczas przepływu logistycznego wynikające z powiązań z usługodawcami logistycznymi, ponieważ coraz częściej przedsiębiorstwa łańcucha dostaw powierają procesy logistyczne firmom, które są w tym kierunku wyspecjalizowane. Są to często wirtualni usługodawcy typu 3PL, 4PL i 5PL [1]. Ryzyko może być też spowodowane wahaniem popytu, ludzkimi błędami, nagłymi zmianami w zamówieniach od klientów, deficytem zapasów, korzystaniem z usług tylko jednego dostawcy, zmniejszeniem zdolności produkcyjnej dostawców, zdarzeniami losowymi, brakiem surowców, błędami w zleceniach transportu i listach przewozowych, niewłaściwym zabezpieczeniem i opakowaniem towarów, niedostateczną ilością samochodów w celu transportu, ramp rozładunkowych i niewystarczającą kubaturą magazynów, awariami sprzętu, opóźnieniami w uiszczaniu opłat, nieciągłościami w infrastrukturze technicznej, brakiem synchronizacji produkcji i komunikacji pomiędzy licznymi ogniwami w łańcuchu dostaw, zakłóceniami spowodowanymi outsourcingiem [4] i captive offshoringiem [5], zwłaszcza wtedy, kiedy przedsiębiorstwo jest objęte przepisami i procedurami obowiązującymi w innym kraju, ryzykiem związanym ze zmieniającymi się czynnikami ekonomicznymi, geo-

politycznymi, środowiskowymi oraz technologicznymi, a także zdarzeniami zewnętrznymi o charakterze losowym jak wypadki i katastrofy.

## 2 ZASTOSOWANIE METOD PROGRAMOWANIA SIECIOWEGO W OCENIE RYZYKA STRAT CZASU I KOSZTÓW

Możliwości metod matematycznych w ocenie ilościowej są często przez przedsiębiorstwa niedoceniane, faworyzowane są metody jakościowe, opierające się na opinii ekspertów i menedżerów. Metoda programowania sieciowego CPM (*ang. Critical Path Method*) pozwala na identyfikację opóźnień i zapasu czasowego czynności przy zdeterminowanych czasach, natomiast jej modyfikacja CPM-Cost, umożliwia określenie kosztów minimalizowania czasu wykonania tych czynności. W programowaniu sieciowym oprócz metody ścieżki krytycznej, stosuje się metodę PERT (*ang. Programme Evaluation and Review Technique*), również o strukturze deterministycznej sieci, jednak umożliwiającej określenie ryzyka opóźnień i zapasu czasowego czynności przy czasach stochastycznie zmiennych. W tej metodzie można obliczyć prawdopodobieństwo przekroczenia narzuconego z góry dyrektywnego terminu realizacji procesu, a tym samym ryzyko przekroczenia terminu zakładanego. Wykorzystuje się także modyfikację PERT-Cost metody w celu określenia kosztów minimalizowania czasu wykonania czynności. Struktura deterministyczna sieci metod CPM i PERT wymusza zastosowanie się do sztywnych zasad modelowania grafów sieciowych, w których węzły grafu reprezentują stany procesu (zdarzenia), natomiast czynności procesowe odpowiadają krawędziom grafu [6]. Ponadto konieczne jest, aby przed zdarzeniami początkowymi nie było poprzedników, a po zdarzeniach końcowych następników, zdarzenia nie mogą się zapętlać, wektory nie powinny się krzyżować, ale powinny być powiązane jednostronnie, a w przypadku kilku zdarzeń początkowych, wprowadza się jedno dodatkowe zdarzenie pozorne. Stosuje się różne typy połączeń między czynnościami, jednak najczęściej występującym jest połączenie typu Finish-to-Start, czyli czynność następująca nie może się rozpocząć, jeśli poprzedzająca się nie zakończyła.

Struktura sieci dostaw jest zwykle zdeterminowana co uprawnia do zastosowania modelu sieci DAN (*ang. Deterministic Analysis Network*) [6] stosowanego w niniejszej pracy. Biorąc pod uwagę rosnący trend elastycznej odpowiedzi na potrzeby rynku (*ang. Efficient Consumer Response*) [1], relacje między partnerami łańcucha

dostaw mogą być jednak zmienne w czasie, w zależności od wymagań rynku, co może być uwzględnione w dalszej analizie przez zastosowanie modeli sieci GAN o strukturze logicznej stochastycznej (ang. *Generalized Analysis Network*) [6].

### 3 PRZYKŁAD ŁAŃCUCHA DOSTAW BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

Sieć dostaw w branży motoryzacyjnej jest bardzo złożona, z uwagi na współpracę z licznymi dostawcami, zwłaszcza na szczeblu międzynarodowym. Branża motoryzacyjna posiada bardzo chłonny rynek zbytu. Zakup w Polsce nowych samochodów osobowych od stycznia do maja 2016r. wzrósł o niemal 17 % w stosunku do roku poprzedniego (zakupiono 172 tys. samochodów), natomiast w Europie o 9,7 % (nabyto 6,6 mln samochodów) [2]. W Polsce zapotrzebowanie na nowe samochody osobowe i sprzedaż jest napędzana głównie dzięki kupującym floty przedsiębiorstwom (ok. 65 %) [10]. Nieustający wzrost sprzedaży nowych samochodów

obserwuje się we Francji i Wielkiej Brytanii - o prawie 9 %, a w Niemczech o 5 % [2]. Branża motoryzacyjna jest szczególnie narażona na ryzyko opóźnień oraz wad w wyrobach i komponentach. Mnogość dostawców oraz nieumiejętna lub zakłócona komunikacja utrudniają przepływ towarów.

Wady, gdy zostaną wykryte zbyt późno, zmuszają producenta samochodowego do wycofania częściowej lub całej linii produktu, co skutkuje opóźnieniami w dostawach do klienta końcowego. Przedstawiony przykład łańcucha dostaw uwzględnia przedsiębiorstwa zajmujące się wydobywaniem surowców, producentów komponentów i podzespołów, dystrybutorów komponentów i podzespołów, a także linie produkcyjne i montażowe producenta oraz dealera samochodowego. Czas i koszty, poddane analizie będą dotyczyły procesu przepływu (transportu) towarów pomiędzy kolejnymi ogniwami łańcucha, czyli od przedsiębiorstw wydobywczych, aż do klienta końcowego. Zakładając ciągłość procesu produkcyjnego, w uproszczeniu czas produkcji uwzględniony jest w czasie dostawy (trans-

**Tab.1** Tabela, opisująca czynności wraz z czasem realizacji

oznaczenie czynności a - b	opis czynności	Czas trwania czynności a - b [dni]
2 - 3	transport służący wydobyciu krzemionki w kamieniołomie/ kopalni niemetalicznej	1
3 - 4	transport od wydobywcy krzemionki do producenta i dystrybutora szyb samochodowych	10
5 - 6	transport wewnątrzzakładowy blach stalowych w hucie przeznaczonych do produkcji karoserii	1
6 - 7	transport blach stalowych z huty do tłoczni producenta samochodowego	8
7 - 8	transport karoserii na linię montażową producenta samochodowego Body Shop w celu zgrzewania podłogi, paneli bocznych, dachu, błotników	10
7 - 13	transport z tłoczni producenta samochodowego na magazyn karoserii	10
9 - 10	transport kopalniany i przykopalniany oraz dostarczenie węgla i jego związków do producenta polimerów	1
10 - 11	transport polimerów do producenta i dystrybutora pigmentów, w pełniaczy i rozpuszczalników	7
11 - 12	transport pigmentów, w pełniaczy i rozpuszczalników do producenta i dystrybutora lakierów	11
12 - 13	transport lakierów na do Body Distribution Center, gdzie każda karoseria ma przydzieloną kolejność lakierowania i przydzielony lakier	15
14 - 15	transport wewnątrzzakładowy i producenta i dystrybutora polimerów, zwłaszcza poliuretanów do produkcji tulei, uchwyty, folii, przegubów	1
15 - 16	transport poliuretanów do producenta tulei wahaczy, uchwyty, wibroizolatorów, przegubów itd. np. Elesa+Ganter	6
15 - 17	transport polimerów i poliuretanów do producenta papierów ściernych, folii, klejów, systemów filtrowania, materiałów tłumiących, np. koncern 3M	6
16 - 18	transport tulei wahaczy, uchwyty, wibroizolatorów, przegubów itd. na linię montażową u dystrybutora zawieszania samochodu (np. Eibach)	12
17 - 18	transport papierów ściernych, folii, produktów klejących, systemów filtrowania, materiałów tłumiących do dystrybutora tłumików i u. wydechowych	9
19 - 20	transport wewnątrzzakładowy i w hucie stopów metali, blachy stalowej, żeliwa, aluminium i krzemu dla producentów silników, instalacji układów	1
20 - 21	transport z huty do producenta układów wydechowych, akumulatorów tłumików, uszczelnień, wieszaków gumowych i układów elektrycznych	8
20 - 22	transport z huty do producenta silników, układów hamulcowych, hamulców tarczowych i bębnowych, układów napędowych (np. ABE)	8
20 - 23	transport z huty do producenta instalacji LPG i kitów wtrysków sekwencyjnych, sterowników do instalacji LPG/CNG	8
17 - 24	transport od producenta papierów ściernych, folii, klejów, systemów filtrowania, materiałów tłumiących do dystrybutora tłumików i u. wydechowych	9
21 - 24	transport od producenta akumulatorów, tłumików, uszczelnień i wieszaków, u. elektrycznych i wydechowych do dystrybutora tych części i układów	15
22 - 25	transport od producenta silników, hamulców tarczowych i bębnowych, układów napędowych i hamulcowych do dystrybutora silników i instalacji	12
23 - 25	transport od producenta instalacji LPG i kitów wtrysków sekwencyjnych, sterowników do instalacji LPG/CNG do dystrybutora silników i instalacji	13
18 - 26	transport od dystrybutora układów zawieszania samochodu na linię montażową producenta samochodowego zawieszania z u. wydechowym	14
24 - 26	transport od dystrybutora tłumików i układów wydechowych na linię montażową producenta samochodowego zawieszania z u. wydechowym	13
27 - 28	transport służący wydobyciu miedzi w Kombinacie Górnico-Hutniczym miedzi	1
28 - 29	transport z KGHM i huty do producenta układów chłodniczych i wentylatorów chłodnic (np. Nissens)	15
30 - 31	transport służący pozyskaniu kauczuku naturalnego na kleje w Tajlandii oraz produkcji sztucznego kauczuku do produkcji opon	1
31 - 32	transport od producenta kauczuku do dystrybutora kauczuku naturalnego, syntetycznego, olejów oraz drutów stalowych	12
32 - 33	transport od dystrybutora kauczuku naturalnego, syntetycznego, olejów oraz drutów stalowych do producenta opon i ogumienia (np. Dunlop Tyres)	13
34 - 35	transport rurociągami ropy naftowej w obrębie rozległego pola naftowego w celu rozdysponowania ropy do rafinerii	1
35 - 36	transport rurociągami ropy naftowej do rafinerii	10
36 - 37	transport paliwa do naftozy oraz transport ropy naftowej do producenta poliestrów i polieterów	13
37 - 38	transport od producenta poliestrów i polieterów do producenta poliuretanów litych w korzystać wany ch do produkcji części tapicerowanych	8
38 - 39	transport od producenta poliuretanów litych do producenta foteli i części tapicerowanych samochodu	9
4 - 40	transport od producenta i dystrybutora szyb samochodowych na linię montażu wstępnego General Assembly producenta samochodowego	12
8 - 40	transport części ze spawalni i zgrzewalni karoserii na linię montażu wstępnego General Assembly producenta samochodowego	2
13 - 40	transport karoserii i lakierów z Body Distribution Center na linię montażu wstępnego General Assembly producenta samochodowego	4
25 - 41	transport od dystrybutora silników i instalacji na linię montażu końcowego GA silnika z u. wydechowym oraz zawieszeniem, zderzaków, kół, foteli, wiazek	10
26 - 41	transport z linii montażu zawieszania z u. wydechowym na linię końcową GA montażu wymienionych podzespołów z silnikiem, zderzakami, kołami, fotelami	2
29 - 41	transport od producenta układów chłodniczych i wentylatorów chłodnic na linię montażu końcowego GA podzespołów w samochodzie	10
33 - 41	transport od producenta opon i ogumienia na linię montażu końcowego General Assembly podzespołów w samochodzie	8
39 - 41	transport od producenta foteli oraz części tapicerowanych na linię montażu końcowego General Assembly podzespołów w samochodzie	14
40 - 41	transport z linii lakierniczej i montażu wstępnego i General Assembly na linię montażu końcowego	2
41 - 42	transport z linii montażu końcowego GA na linię montażu kierownicy z poduszkami powietrznymi i drzwi z szybami, napełnianie płynami, paliwem	1
42 - 43	transport z zakładu producenta samochodowego na parking dystrybucyjny	3
43 - 44	transport z parkingu dystrybucyjnego do dealera samochodowego	6
44 - 45	transport od dealera samochodowego do klienta końcowego	3

portu). W tab.1 opisano czynności transportowe i podano czasy tych czynności. W opisie czynności nie zostały uwzględnione czynności pozorne 1 - 2, 1 - 5, 1 - 9, 1 - 14, 1 - 19, 1 - 27, 1 - 30, 1 - 34, gdyż nie pochłaniają ani czasu, ani środków.

**3.1 Metoda CPM na przykładzie łańcucha dostaw w branży motoryzacyjnej**

Poszczególnym procesom transportowym (czynnościom) przyporządkowano czas ich trwania, dzięki czemu możliwe było obliczenie najwcześniejszego terminu rozpoczęcia zdarzenia ( $t_z$ ), najpóźniejszego terminu rozpoczęcia zdarzenia ( $T_z$ ) oraz luzu czasowego ( $L_z$ ). Przykładowo, dla czynności 3 - 4:

$$t_z = \max\{t_z + t_{z-j}\} = \max\{0 + 1\} = 1 \text{ [dni]}, \quad a > b \quad (1)$$

$$T_z = \min\{T_z - t_{z-k}\} = \min\{41 - 10\} = 31 \text{ [dni]}, \quad a > b, \quad (2)$$

$$L_z = T_z - t_z = 31 - 1 = 30 \text{ [dni]}. \quad (3)$$

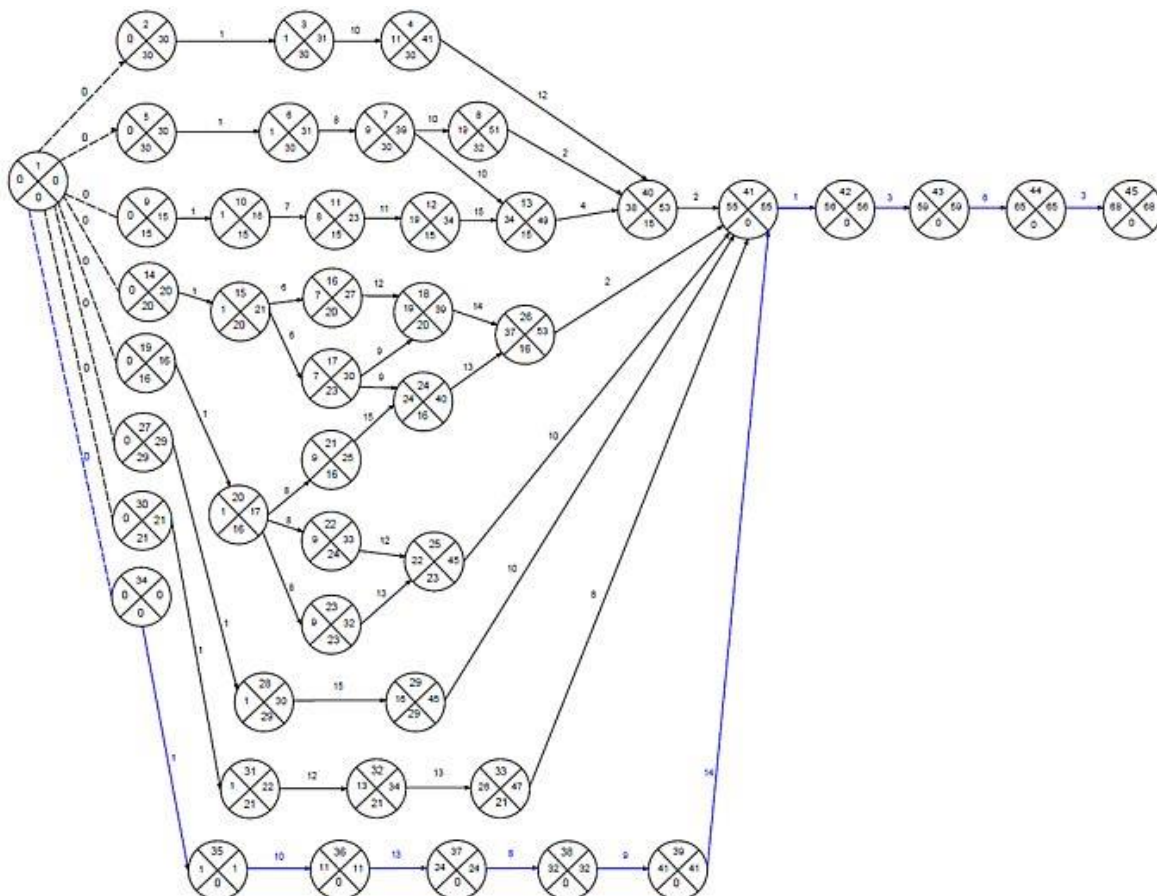
Warto wspomnieć, że najpóźniejszy termin rozpoczęcia zdarzenia 3 jest taki sam jak najpóźniejszy termin rozpoczęcia czynności 3-4. Można również obliczyć 4 rodzaje zapasów czasowych: całkowity, swobodny warunkowy i niezależny – jeśli każdy z nich dla danej czynności jest równy zero, to czynność ta leży na ścieżce krytycznej. Czynności, które znajdują się na ścieżce krytycznej mają wszystkie rodzaje zapasów równe zero. Zapas niezależny w większości przypadków jest ujemny, co oznacza, że ewentualne opóźnienia tych czynności możliwe są tylko dzięki powiązaniom w łańcuchu dostaw. Zerowe zapasy czasowe wyznaczają ścieżkę krytyczną, która przebiega przez czynności 1 - 34, 34 - 35, 35 - 36, 36 - 37, 37 - 38, 38 - 39, 39 - 41, 41 - 42, 42 - 43, 43 - 44, 44 - 45.

Ścieżka krytyczna została wyszczególniona niebieskim kolorem na rys.1. Grafy wykonano w wersji programu AutoCAD 2012. Ustalenie ścieżki krytycznej pozwala na identyfikację zagrożeń opóźnień

realizacji całego łańcucha dostaw, opóźnień dostawy do odbiorcy końcowego. Sprecyzowana jest czynność, podczas której zagrożenie to występuje, dlatego znając tą czynność można podjąć działania, aby zapobiec ewentualnym niepożądanym skutkom. Brak zapasów czasowych dotyczy czynności transportowych na ścieżce od dostawców surowca - ropy naftowej, poprzez dostawców polimerów i poliuretanów, następnie producenta foteli samochodowych i części tapicerowanych, a także czynności transportowych na linii montażu końcowego silnika z układem wydechowym i kierownicy z poduszkami gazowymi w zakładzie producenta samochodowego, brak zapasów czasowych obejmuje również transport do parkingu dystrybucyjnego, dealera, aż do klienta końcowego. Czas realizacji całego łańcucha dostaw wyniósł 68 dni.

**3.2 Metoda CPM-Cost na przykładzie łańcucha dostaw w branży motoryzacyjnej**

Głównym założeniem koniecznym do przeprowadzenia analizy jest aproksymacja kosztów w czasie przy pomocy funkcji liniowej oraz przyjęcie, że czasy realizacji zadań są wobec siebie niezależne (nie mają na siebie wpływu). Konieczne jest określenie możliwych wariantów skrócenia ścieżek krytycznych o jedną jednostkę czasową (można tego dokonać skracając czas trwania czynności, będącej wspólną częścią kilku ścieżek lub pojedynczych czynności, leżących na kilku ścieżkach oraz kombinacji dwóch poprzednich możliwości), a także uwzględnienie w tabeli czynności krytycznych oraz obliczenie dla każdej z nich gradientu kosztów, co wiąże się z poprzedzeniem obliczeń przypisaniem określonych kosztów i czasów normalnych i granicznych. W artykule wykorzystano zestaw danych kosztów wg tabeli 2. W przypadku, gdy czas normalny i czas graniczny są sobie równe, czyli  $t_n = t_{gr}$ , czynności te należy wykluczyć, bo nie można dla nich obliczyć gradientu kosztów, a kosztom przypisuje się bardzo dużą wartość liczbową, gdyż przyspieszenie tej czynno-



Rys. 1. Wyniki obliczeń metodą CPM

ści jest niemożliwe. Skracanie równoległe na ścieżkach krytycznych można przedstawić na grafie, zaprezentowanym na rys.2. Czynność 21 - 24 można skrócić tylko o 1,5 dnia mimo, że czas graniczny pozwala na skrócenie o 2 dni. Czynność 11 - 12 skrócono o 0,5 dnia, a czynność 13 - 40 o 1 dzień. Wynika to z czasu granicznego czynności 35 - 36, którą jako jedyną można jeszcze skrócić na początkowej (pierwotnej) ścieżce krytycznej - możliwe jest skrócenie tylko o 1,5 dnia. Gradient kosztów [6] oblicza się zgodnie ze wzorem (4):

$$s = \frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{K_{gr} - K_n}{t_n - t_{gr}} = t_{gr} \alpha \quad (4)$$

gdzie:

$t_{gr}, t_n$  – graniczny i normalny czas trwania zadania

$K_{gr}, K_n$  - koszt graniczny i normalny zadania

**Tab. 2** Tabela czasu i kosztów

Oznaczenie czynności a - b	[dni]		[tys. zł]		[tys. zł/dni]
	$t_n$	$t_{gr}$	$K_n$	$K_{gr}$	$s$
1 - 2	0	0	0	0	-
1 - 5	0	0	0	0	-
1 - 9	0	0	0	0	-
1 - 14	0	0	0	0	-
1 - 19	0	0	0	0	-
1 - 27	0	0	0	0	-
1 - 30	0	0	0	0	-
1 - 34	0	0	0	0	-
2 - 3	1	0,5	100	150	100
3 - 4	10	8	270	300	15
5 - 6	1	0,5	80	120	80
6 - 7	8	7	130	150	20
7 - 8	10	9	220	250	30
7 - 13	10	9	210	270	60
9 - 10	1	1	200	200	-
10 - 11	7	6,5	170	179	18
11 - 12	11	10	150	180	30
12 - 13	15	14	290	310	20
14 - 15	1	0,5	90	120	60
15 - 16	6	5	130	180	50
15 - 17	6	4	320	350	15
16 - 18	12	10	145	160	7,5
17 - 18	9	8	210	240	30
19 - 20	1	0,5	100	120	40
20 - 21	8	7	80	95	15
20 - 22	8	7	64	76	12
20 - 23	8	6	100	110	5
17 - 24	9	8	120	150	30
21 - 24	15	13	90	130	20
22 - 25	12	11	80	110	30
23 - 25	13	10	200	235	11,7
18 - 26	14	11	250	300	16,7
24 - 26	13	12	140	170	30
27 - 28	1	0,5	105	126	42
28 - 29	15	13	145	160	7,5
30 - 31	1	0,5	135	160	50
31 - 32	12	11	95	110	15
32 - 33	13	12	87	113	26
34 - 35	1	1	125	125	-
35 - 36	10	6,5	120	350	65,7
36 - 37	13	13	135	135	-
37 - 38	8	5	230	350	40
38 - 39	9	4	180	290	22
4 - 40	12	10	155	178	11,5
8 - 40	2	1	210	245	35
13 - 40	4	3	187	225	38
25 - 41	10	7	165	195	10
26 - 41	2	1	195	230	35
29 - 41	10	8	215	235	10
33 - 41	8	7	145	175	30
39 - 41	14	7	180	250	10
40 - 41	2	1	175	220	45
41 - 42	1	1	190	190	-
42 - 43	3	3	450	450	-
43 - 44	6	3	340	400	20
44 - 45	3	3	280	280	-

Istotnym krokiem podczas obliczeń jest dokonanie wyboru najlepszej możliwości, czyli takiej czynności, której gradient kosztów jest najniższy, a następnie skrócenie czasu jej trwania o jak największą liczbę jednostek czasowych. Nie można skracać czasu trwania czynności poniżej czasu granicznego  $t_{gr}$ , a jeśli nowa ścieżka krytyczna pojawi się w trakcie obliczeń, najkrótszy termin realizacji przedsięwzięcia zostanie wyznaczony, gdy czas trwania czynności na jakiegokolwiek ze ścieżek krytycznych będzie równy czasowi granicznemu. Zagadnienie kosztowe można również rozwiązać przy użyciu programu Mathematica lub algorytmów Forda-Fulkersona. W wyniku

obliczeń dokonano skrócenia czasu realizacji całego łańcucha dostaw z 68 dni do 46,5 dnia. Koszty całkowite skrócenia wyniosły 732 tys. zł.

Warto zauważyć, że modyfikacja czasów trwania czynności doprowadziła do powstania dwóch nowych ścieżek krytycznych: 1 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 40 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45 oraz 1 - 19 - 20 - 21 - 24 - 26 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45.

### 3.3 Metoda PERT na przykładzie łańcucha dostaw z branży motoryzacyjnej

Metoda programowania sieciowego PERT została opracowana w wyniku poszukiwań sposobów, które umożliwiłyby uwzględnienie niepewności czasowych w realizacji przedsięwzięcia. Mimo, że metoda opiera się na zdeterminowanej strukturze, to mierzone parametry mogą być określone probabilistycznie. W tej metodzie oblicza się czas oczekiwany trwania zadania, uwzględniając przy tym czas optymistyczny (x), najbardziej prawdopodobny (y) i pesymistyczny (z) zgodnie ze wzorem (5):

$$t_o = \frac{x+4y+z}{6} \text{ [dni]} \quad (5)$$

Oblicza się również szansę na wykonania zadania zgodnie z terminem, poprzez wariancję czasu danej czynności. Po dokonaniu obliczeń czasu oczekiwanego i wariancji, konieczne jest obliczenie najwcześniejszego i najpóźniejszego możliwego terminu rozpoczęcia zdarzeń, wskazanie ścieżki krytycznej oraz końcowego terminu realizacji całego przedsięwzięcia. W związku z tym, że czasy trwania czynności to zmienne losowe, trzeba ustalić, jakie odchylenie czasowe będzie miał końcowy termin realizacji łańcucha dostaw. Dlatego też oblicza się wariancję, która jest sumą wszystkich wariancji czynności na ścieżce krytycznej. Następnie wariancję terminu końcowego pierwiastkuje się w celu uzyskania wartości odchylenia standardowego.

Aby określić procentowo ryzyko przekroczenia zadanego terminu całkowitej realizacji przedsięwzięcia należy skorzystać z metod statystyki, polegającej na zestawieniu terminów zakładanych i oczekiwanych oraz odchylenia standardowego przedsięwzięcia. Tą statystyką jest Standard Z-score. Stosuje się wzór w postaci (6):

$$h = \frac{t_z - t_r}{\sqrt{\sigma_c^2}} \quad (6)$$

gdzie:

$t_z$ - termin zakładany, którego przekroczenie skutkuje stratami finansowymi,

$t_r$ - termin oczekiwany zakończenia przedsięwzięcia

$\sigma_c^2$ - wariancja całkowita czynności na ścieżce krytycznej.

Uzyskany wynik należy sprawdzić w tablicach rozkładu normalnego, bowiem wynik ten jest niezbędny do uzyskania informacji o prawdopodobieństwie, z jakim termin przedsięwzięcia nie zostanie przekroczony. Analogicznie, obliczając różnicę maksymalnej wartości prawdopodobieństwa 1 oraz prawdopodobieństwa ukończenia przedsięwzięcia zgodnie z terminem, można uzyskać wartość ryzyka przekroczenia terminu zakładanego, czyli ryzyka opóźnień realizacji łańcucha dostaw. W przykładzie rozkład czasów x, y, z jest niesymetryczny. Dla czynności 3 - 4 wartość czasu oczekiwanego wynosi:

$$t_{o \ 3-4} = \frac{9 + 4 \cdot 10 + 11}{6} = 10 \text{ [dni]} \quad (5)$$

Rys.3 przedstawia czasy oczekiwane pod strzałkami, oznaczającymi czynności.

Wariancja czasu trwania czynności 3 – 4 została obliczona przy uwzględnieniu czasu pesymistycznego i optymistycznego zgodnie ze wzorem (7):

$$\sigma_{3-4}^2 = \left(\frac{z-x}{6}\right)^2 = \left(\frac{11-9}{6}\right)^2 = 0,11 \text{ [dni]}. \quad (7)$$

Wariancja całkowita w przykładzie wyniosła 2,17 dnia, a odchylenie rzeczywiste 1,47 dnia. Czas realizacji łańcucha dostaw metodą PERT wyniósł 68,42 dnia. Posiadając te informacje, możliwe było obliczenie statystyki h, której wartości w zależności od terminu zakładanego przedstawiono w tab.3.

**Tab.3.** Przedstawienie prawdopodobieństwa realizacji łańcucha dostaw w zależności od zakładanego terminu

$\sigma_c^2$	$\sigma$	h	F(h)	F(h) w %	dla terminu [dni]
2,17	1,47	-0,96	0,1685	16,85%	67
		1,75	0,9599	95,99%	71

W przypadku, gdy prawdopodobieństwo  $F(h) \leq 0,25$ , szansa na dotrzymanie terminu zakładanego jest niewielka. Rozpatrując pierwszy termin z tab. 3 – 67 dni można stwierdzić, że prawdopodobieństwo nieprzekroczenia terminu jest niskie, małe są szanse na realizację w terminie. W przypadku, gdy  $0,25 \leq F(h) \leq 0,6$ , dotrzymanie terminu jest realne. W sytuacji, gdy  $F(h) \geq 0,6$ , w łańcuchu dostaw nie ma w pełni wykorzystanych zasobów produkcyjnych (maszyn, urządzeń) oraz ludzkich (zbyt dużo pracowników). Praw-

dopodobieństwo ukończenia realizacji łańcucha dostaw zgodnie z zakładanym terminem pozwala równocześnie uzyskać również informacje o ryzyku przekroczenia terminu.

W przypadku terminu dyrektywnego 67 dni wynosi ono 83,15 %, dla terminu dyrektywnego 71 dni jest równe 4,01 %. Na rys.3 przedstawiono wyniki obliczeń czasów oczekiwanych, przebieg ścieżki krytycznej oraz najwcześniejsze i najpóźniejsze terminy rozpoczęcia zdarzeń.

### 3.4 Zastosowanie modyfikacji PERT-Cost na przykładzie łańcucha dostaw z branży motoryzacyjnej

Efektom analizy PERT- Cost podobnie jak CPM-Cost jest skrócenie czasu realizacji łańcucha dostaw, przy uwzględnieniu, że koszt skrócenia będzie minimalny. Jednak w przypadku PERT-Cost dokonanie tego jest bardziej skomplikowane. Wynika to z faktu, że koszty są zależne od wielu parametrów dla każdej czynności (czasu optymistycznego, modalnego, pesymistycznego, oczekiwanego oraz wariancji).

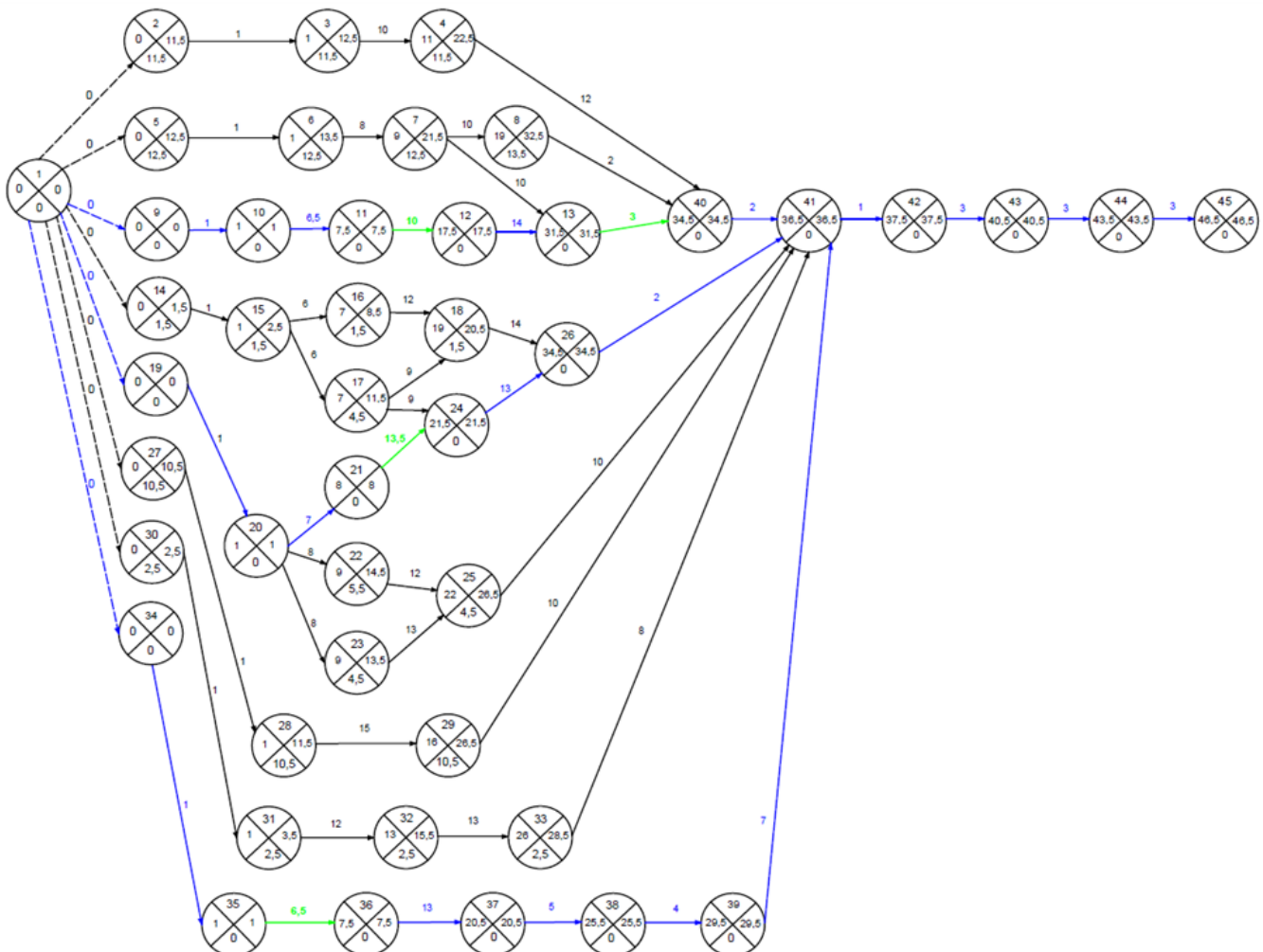
Podstawowym warunkiem przy obliczeniach jest przyjęcie założenia liniowości funkcji kosztów w zależności od czasu oczekiwanego. Drugim warunkiem jest stały stosunek dla czasów [1]:

- optymistycznego,

$$\frac{x_n}{t_n^o} = \frac{x_s}{t_s^o} = \frac{x_{gr}}{t_{gr}^o} = r_1, \quad (8)$$

- pesymistycznego,

$$\frac{x_n}{t_n^p} = \frac{x_s}{t_s^p} = \frac{x_{gr}}{t_{gr}^p} = r_2. \quad (9)$$



**Rys.2** Końcowe wyniki obliczeń metodą CPM-Cost, po skróceniu czynności 11-12, 13-40, 21-24 oraz 35-36

Dzięki stałemu stosunkowi pomiędzy czasami granicznymi ( $x, z$ ) i czasami normalnymi ( $t_0^n$ ), przyspieszonymi ( $t_0^s$ ) oraz granicznymi  $t_0^{gr}$  trwania czynności można wyznaczyć wzór na czas najbardziej prawdopodobny [1]:

$$y = \frac{6-(r_1+r_2)}{4} \cdot t_0^s \text{ [dni]}, \quad (10)$$

jak również wzór na wariancję [1]:

$$\sigma^2 = \frac{(r_2-r_1)^2}{36} \cdot (t_0^s)^2 \text{ [dni]}. \quad (11)$$

Przykładowo, dla czynności 3 – 4 gradient kosztów wynosi:

$$s = \frac{300-270}{10-8} = 15, \quad (4)$$

Parametry  $r_1, r_2$  i  $y$  obliczono wg poniższych wzorów:

$$r_1 = \frac{x}{t_0^s} = \frac{9}{10} = 0,9, \quad (8)$$

$$r_2 = \frac{z}{t_0^s} = \frac{11}{10} = 1,1 \quad (9)$$

$$y = \frac{6-(0,9+1,1)}{4} * 10 = 10. \quad (10)$$

Skracania dokonuje się od czynności o najniższych gradientach kosztów, a kiedy pojawi się nowa ścieżka krytyczna, konieczne jest skracanie równoległe na ścieżkach. W sytuacji osiągnięcia czasów granicznych na którejkolwiek ścieżce, skracanie jest niemożliwe i czas realizacji łańcucha dostaw nie może już być krótszy. W tab.4 przedstawiono ostatni krok skracania na trzech równoległych ścieżkach krytycznych, a na rys.4 końcowe wyniki obliczeń.

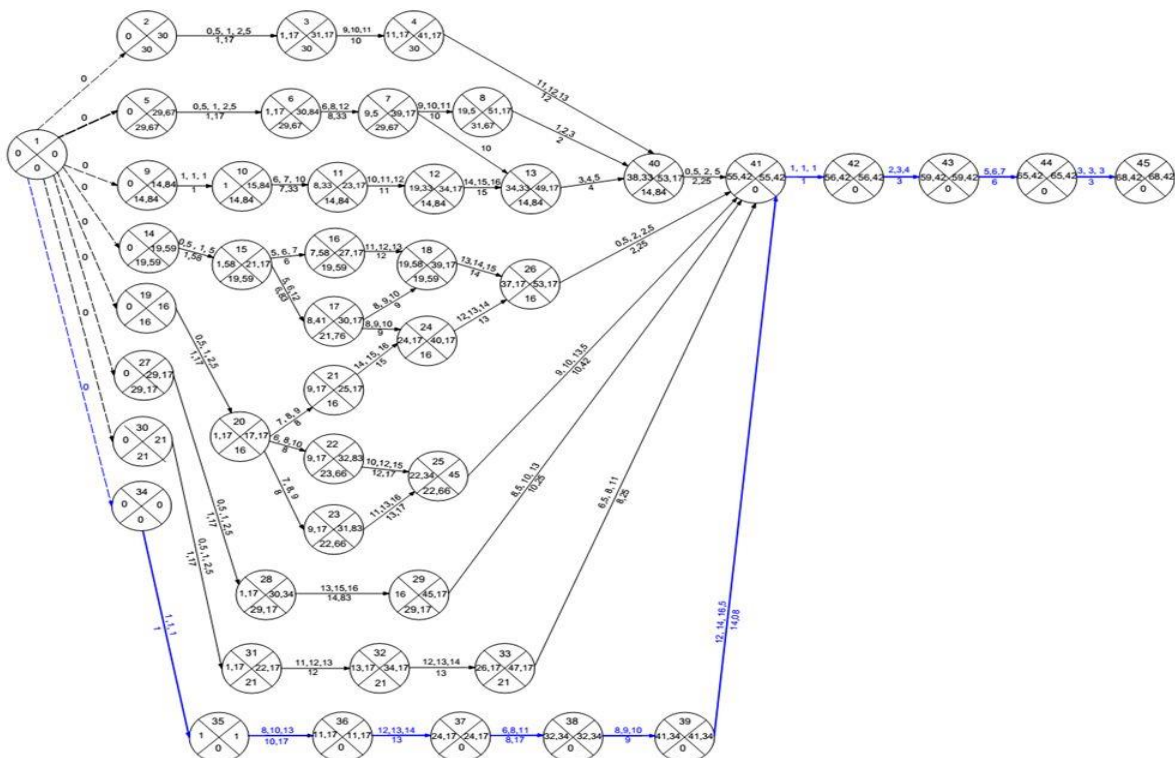
**Tab.4** Przedstawienie kosztów, terminu końcowego i wariancji całkowitej podczas ostatecznego skracania

a - b	$t_n$	$t_{gr}$	$K_n$	$K_{gr}$	S	Koszty	$T_{ka}$
20 - 21	8	7	80	95	15	4,95	46,5
21 - 24	15	13	90	130	20	38,4	
11 - 12	11	10	150	180	30	30	
13 - 40	4	3	187	225	38	38	
40 - 41	2,25	1,25	175	220	45	11,25	
35 - 36	10,17	6,5	120	350	62,73	141,14	

### 3.5 Porównanie metod CPM i PERT na przykładzie łańcucha dostaw

Zarówno metoda PERT, jak i CPM jest narzędziem bardzo przydatnym w zarządzaniu przedsięwzięciem i szacowaniu ryzyka. Jednak, jak każda metoda, mają one swoje zalety i wady. Warto wyszczególnić te, które narzucają się jako pierwsze podczas analizy CPM i PERT. Metody te mogą być stosowane w skomplikowanych, wieloogniwowych przedsięwzięciach dzięki stosunkowo prostym obliczeniom, trudność sprawiać może wykonanie czytelnej reprezentacji zebranych na podstawie obliczeń informacji z uwzględnieniem wzajemnych zależności. Jednak graficzne przedstawienie wyników obliczeń zarówno w metodzie CPM, jak i PERT pozwala na skuteczne kontrolowanie zmian w przedsięwzięciu oraz archiwizację podjętych działań.

Obydwie metody umożliwiają opracowanie kilku wariantów realizacji łańcucha dostaw, uwzględniających m.in. innych dostawców, dlatego też możliwy jest wybór najbardziej korzystnego rozwiązania. Dzięki obliczeniu zapasów czasowych ocenia się, które elementy łańcucha dostaw są kluczowe i wpływają na realizację całego przedsięwzięcia. W przedstawionym w pracy przykładzie tymi elementami zgodnie z metodą CPM i PERT są procesy transportu od pola naftowego do rafinerii, następnie do producenta poliestrów i polieterów, potem do producenta poliuretanów litych, następnie do producenta foteli i części tapicerowanych, aż na linię General Assembly - montażu końcowego silnika z układem wydechowym oraz od producenta samochodowego na parking dystrybucyjny, do dealera, aby na końcu trafić do klienta końcowego. Jest to sygnał



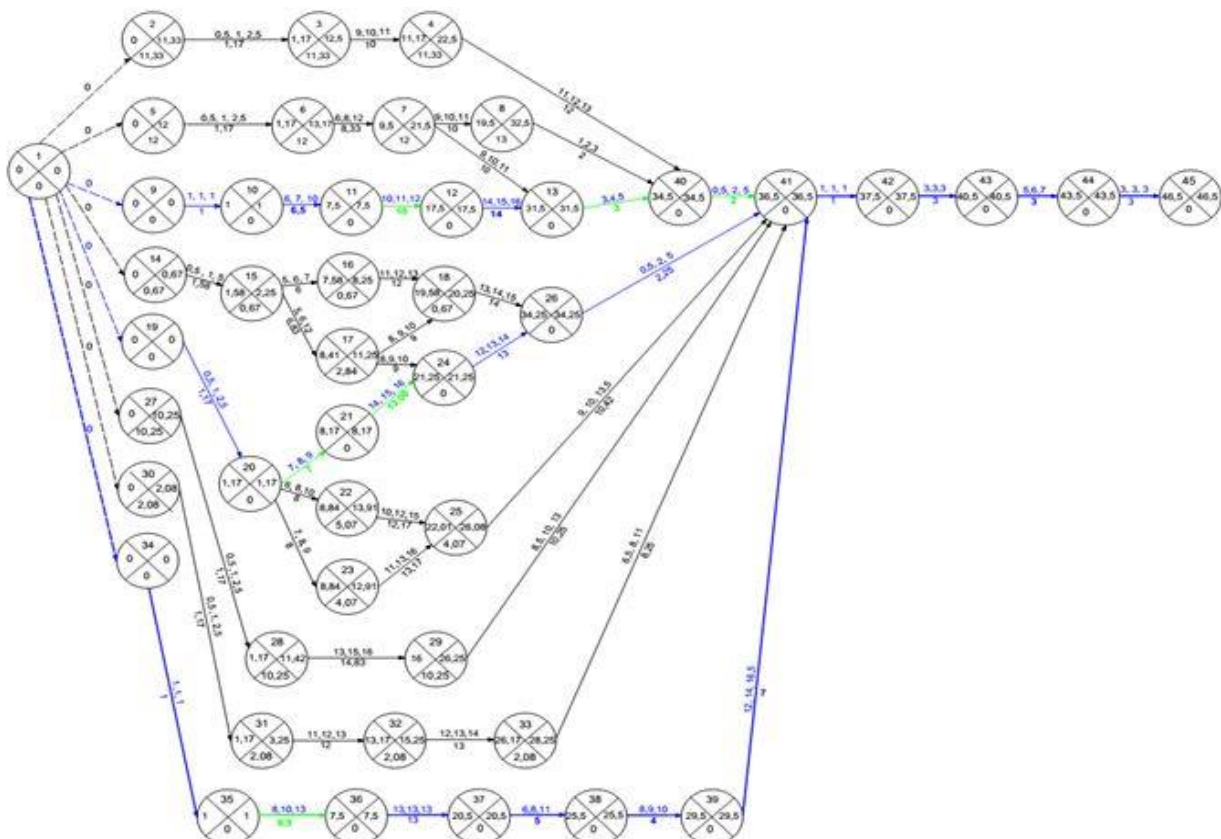
**Rys.3** Końcowe wyniki obliczeń metodą PERT

ostrzegawczy wobec transportu rurociągowego, którym transportuje się ropę naftową do producentów poliuretanów, dla transportu kolejowego, którym wykonuje się transport foteli i części tapicerowanych na linię końcową producenta samochodowego, a później na parkingi dystrybucyjne oraz dla transportu ciężarowego, który musi być odpowiednio zorganizowany w celu jak najszybszego dostarczenia do dealera. Zapasy czasowe pozwalają na najkorzystniejszą alokację zasobów i utrzymywanie zapasów na magazynie. Dzięki wyznaczeniu ścieżki krytycznej każda modyfikacja w ich obrębie powoduje zmianę m.in. terminu końcowego, co jest wykorzystywane przy skracaniu metodą CPM – Cost. Rozpatrywane są najważniejsze zdarzenia, węzły reprezentują stan zaawansowania prac. Dodatkowo w metodzie PERT możliwe jest ustalenie, jakie jest ryzyko ukończenia łańcucha dostaw przed zakładanym terminem oraz prawdopodobieństwo jego ukończenia zgodnie z terminem. W metodzie CPM chodzi tylko o wyznaczenie kluczowych dla realizacji łańcucha elementów, w których jeśli opóźnienie nastąpi, to termin zostanie przekroczony. Niestety jedną z wad metod jest fakt, że o wynikach obliczeń decyduje wyłącznie czas realizacji poszczególnych zadań. W przypadku CPM - bierze się pod uwagę jeden czas, w przypadku PERT – 3 estymaty czasowe. Jedno kryterium rozpatrywania powoduje, że nie uwzględnia się innych czynników. Może to sprawić, że wyniki będą niezgodne z rzeczywistością. Na wyniki mogą również wpłynąć przyjęte czasy realizacji czynności. Jeśli nie będą oszacowane dokładnie, może to doprowadzić do niewłaściwej prognozy lub wskazania nieprawdziwej ścieżki krytycznej. W analizowanym przykładzie termin końcowy realizacji łańcucha dostaw w metodzie CPM wynosi 68 dni, a w metodzie PERT – 68,42 dnia, więc wyniki są bardzo zbliżone. Termin końcowy realizacji łańcucha dostaw po ostatecznym skróceniu w metodzie CPM - Cost i w metodzie PERT – Cost jest identyczny i wyniósł 46,5 dnia. Koszty całkowite skrócenia w metodzie CPM- Cost wyniosły 732 tys. zł, a w metodzie PERT – Cost – 751,92 tys. zł. Skracanie czasu dostawy metodą CPM – Cost może sugerować większą redukcję kosztu, gdyż przy tym

samym skróceniu poniesione koszty wyniosły w metodzie CPM- Cost o 19,92 tys. zł mniej. Metodyka PERT – Cost poprzez uwzględnienie w obliczeniach prawdopodobieństwa czasu realizacji, prowadzi do bardziej wiarygodnych wyników.

### 3.6 Przedstawienie ryzyka poniesienia kosztów w łańcuchu dostaw za pomocą mapowania ryzyka

Dane statystyczne stanowią zbiór informacji przydatnych w różnych obszarach zarządzania, zwłaszcza w procesach zarządzania ryzykiem, gdyż biorąc pod uwagę szeroki i rzetelny zasób informacji zapewnia się skuteczność tych procesów. W łańcuchu dostaw jest to możliwe poprzez kontrolę i monitorowanie działań poszczególnych ogniw łańcucha oraz ogniw konkurencji, a także dzięki informacjom pozyskanym od ekspertów, pracowników i partnerów handlowych. W celu archiwizacji przydatnych informacji wprowadza się je do wewnętrznych baz danych przedsiębiorstw lub w bazach zewnętrznych. Zewnętrznymi bazami krajowymi są m.in. bazy Głównego Urzędu Statystycznego (dotyczące np. sprzedaży samochodów lub popytu na określone samochody). Bazy międzynarodowe uaktualniają m.in. takie urzędy jak Eurostat, którego bazy obejmują dane z Unii Europejskiej. Kadra zarządzająca poszczególnymi przedsiębiorstwami opracowuje założenia, cele, przepisy i zakładowe normy techniczne, ale również ustala progi graniczne tolerancji i akceptacji ryzyka. Progi te uzależnione są w szczególności od obrotów rocznych firmy oraz rocznych zysków. W celu dalszych obliczeń w pracy przyjęto, że roczne obroty łańcucha dostaw z branży motoryzacyjnej wynoszą 200 000 000 zł, a roczne zyski 5 000 000 zł. Dzięki zgromadzeniu danych statystycznych przedsiębiorstw ustalono średnią częstość występowania zdarzenia niepożądanego oraz skutki, czyli straty finansowe, które to zagrożenie powoduje. Ryzyko strat finansowych jest obliczane jako iloczyn prawdopodobieństwa pojawienia się zdarzenia niepożądanego oraz wysokości strat finansowych spowodowanych zdarzeniem niepożądanym [3,7]. W tab.5 przedstawiono zagrożenia w przykładowym



Rys.4 Końcowe wyniki obliczeń metodą PERT-Cost

łańcuchu dostaw branży motoryzacyjnej, skutki finansowe powstałe po jego wystąpieniu, częstość występowania danego zdarzenia, prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia oraz ryzyko strat finansowych w ujęciu rocznym.

Warto podkreślić, że jako wartość progową dla prawdopodobieństwa (próg jego tolerancji) przyjęto medianę prawdopodobieństw z tab.5.

W tabeli przedstawiono 13 prawdopodobieństw, a więc medianą będzie wartość siódma wg wartości. W tej sytuacji chodzi o 20 %-owe prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku pracownika. Godny uwagi jest również fakt, że najwyższe straty finansowe w przypadku wystąpienia zagrożenia powoduje pożar (7 mln zł) oraz wycofanie się lub upadłość kluczowego dostawcy (6 mln zł). Natomiast w wyniku różnych częstości występowania zagrożeń, ryzyko roczne strat finansowych jest najwyższe w przypadku opóźnienia dostaw (3,2 mln zł) oraz wycofania się lub upadłości kluczowego dostawcy (857143 zł).

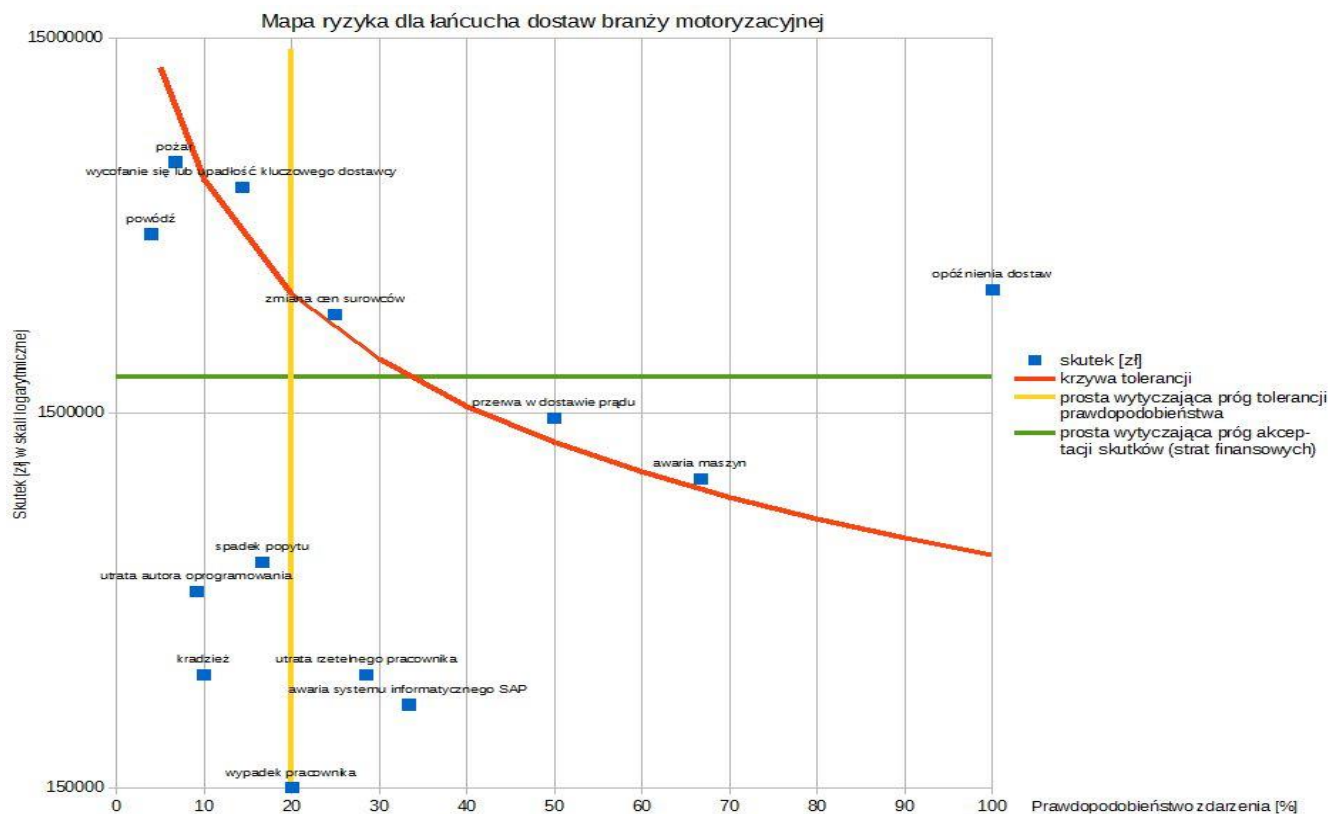
**Tab.5** Przedstawienie zagrożeń w łańcuchu dostaw branży motoryzacyjnej

zagrożenie	skutek [zł]	raz/ta	prawdopodobieństwo [%]	ryzyko [zł*rok]
awaria maszyn	1 000 000	1,5	67	666667
opóźnienia dostaw	3 200 000	1	100	3200000
awaria systemu informatycznego SAP	250 000	3	33	83333
przerwa w dostawie prądu	1 450 000	2	50	725000
pożar	7 000 000	15	7	466667
powódź	4 500 000	25	4	180000
zmiana cen surowców	2 750 000	4	25	687500
wycofanie się lub upadłość kluczowego dostawcy	6 000 000	7	14	857143
kradzież	300 000	10	10	30000
wypadek pracownika	150 000	5	20	30000
spadek popytu	600 000	6	17	100000
utrata autora oprogramowania	500 000	11	9	45455
utrata rzetelnego pracownika	300 000	3,5	29	85714

Mapę ryzyka dla przykładowego łańcucha dostaw z branży mo-

toryzacyjnej przedstawiono na rys. 5.

Przykład ten obrazuje, jak duża jest różnica między rocznym ryzykiem strat w wyniku opóźnienia dostaw, a rocznym ryzykiem wycofania się lub upadłości kluczowego dostawcy. Warto przy tym zauważyć, że skutek wystąpienia zagrożenia jest istotny, jednak częstość występowania zdarzenia wpływa na prawdopodobieństwo zdarzenia, w taki sposób, że zadecyduje o wysokości rocznego ryzyka strat. Można zauważyć, że prosta, wytyczająca próg tolerancji prawdopodobieństwa powstała przez przyjęcie mediany prawdopodobieństw zestawionych w tabeli 8.2 (20%). Natomiast prosta, wytyczająca próg akceptacji strat finansowych powstała w oparciu o uśrednioną wartość, od której rozpoczynają się wysokie straty (1 875 000 zł). Te dwie proste dzielą wykres na 4 obszary, do których przynależą poszczególne roczne ryzyka strat finansowych, wynikające z zagrożeń opisanych na wykresie. Na mapie ryzyka wykreślono również krzywą tolerancji, która jest drugim, prostszym sposobem na uzyskanie informacji, które ryzyko można zaakceptować, a które nie. Ryzyko, które znajduje się pod krzywą tolerancji jest tolerowane i straty finansowe są pokrywane z pełną akceptacją zarządu firmy. W przykładzie są to: ryzyko strat finansowych w wyniku wypadku pracownika, awarii systemu informatycznego SAP, utraty rzetelnego pracownika, kradzieży, utraty autora oprogramowania, spadku popytu, powodzi oraz pożaru. Ryzyko, związane z opóźnieniami dostaw ma oszacowane prawie 100-procentowe prawdopodobieństwo wystąpienia. Stanowi to poważny problem dla przedsiębiorstw, gdyż wysokie straty finansowe, występujące każdego roku mogą doprowadzić do ich upadku. W związku z tym zaleca się, aby podejmować działania prewencyjne, wdrażać systemy uszczuplające drogę zamówienia do klienta końcowego, takie jak Lean Management, budować relacje partnerskie ze współpracownikami i zapewniać niezakłóconą komunikację pomiędzy nimi. Konieczne jest więc opracowanie zaostrzonych procedur kontroli stanu maszyn, wdrożenie systemu monitorowania opartego na bezprzewodowej centrali z modułem powiadamiania telefonicznego, tak aby operator maszyny w miejscu, w którym dostęp do telefonu



**Rys.5** Mapa ryzyka dla przykładowego łańcucha dostaw branży motoryzacyjnej



jest ograniczony, mógł jak najszybciej powiadomić szczegółowo o awarii kierownika zmiany. Skutki finansowe (straty) zostały przedstawione na wykresie od wartości 150 000 zł i w skali logarytmicznej, aby wykres był bardziej czytelny. Biorąc pod uwagę drugi sposób interpretacji ryzyka, polegający na podziale wykresu przez dwie proste na cztery prostokątne obszary, należy skupić się zwłaszcza na prostokącie w prawym górnym rogu wykresu. Tam znajduje się ryzyko priorytetowe, którego należy unikać, ponieważ prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego oraz strat finansowych nim spowodowane są bardzo wysokie. W lewym dolnym prostokącie wykresu znajdują się te ryzyka, które są akceptowane przez przedsiębiorstwo, gdyż prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych zdarzeń niepożądanych oraz strat finansowych nimi spowodowane są niskie. W przykładzie są to, w kolejności od najniższych strat, które mogą się pojawić wskutek ryzyka: ryzyko strat spowodowane kradzieżą, utratą autora oprogramowania oraz spadkiem popytu. W prawym dolnym prostokącie wykresu umiejscowione są incydenty, ponieważ są to ryzyka strat finansowych, które pojawiają się często wskutek zdarzeń niepożądanych, jednak straty te są niskie i dopiero po kumulacji strat finansowych w okresie kilku lat, ich wpływ na zasoby finansowe i funkcjonowanie przedsiębiorstwa jest odczuwalny, ale akceptowalny. Takim ryzykiem w kolejności od najniższych strat finansowych jest: ryzyko strat spowodowane awarią systemu informatycznego SAP, utratą rzetelnego pracownika, awarią maszyn oraz przerwą w dostawie prądu.

## PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy łańcucha dostaw z branży motoryzacyjnej metodą CPM i PERT ustalono, że brak zapasów czasowych dotyczy czynności transportowych na ścieżce od dostawców surowca - ropy naftowej, poprzez dostawców polimerów i poliuretanów, następnie producenta foteli samochodowych i części tapicerowanych, a także czynności transportowych na linii montażu końcowego silnika z układem wydechowym i kierownicy z poduszkami gazowymi w zakładzie producenta samochodowego. Brak zapasów czasowych obejmuje również transport do parkingu dystrybucyjnego, dealera, aż do klienta końcowego. Niektórych z tych czynności nie można skrócić, z uwagi na bardzo wysokie koszty z tym związane, np. transport pomiędzy linią montażu General Assembly oraz linią montażu kierownicy z poduszkami gazowymi, a także z linii montażu kierownicy z poduszkami gazowymi na parking dystrybucyjny, dlatego też ich czasy graniczne przyjęto jako równe czasom normalnym. Podczas skracania metodą CPM-Cost i PERT-Cost doprowadzono w przybliżeniu do tego samego oczekiwanego terminu całkowitej realizacji łańcucha dostaw, który wyniósł 46,5 dnia. Korzystając z metody CPM-Cost skrócono oczekiwany termin realizacji o 21,5 dnia, a korzystając z PERT-Cost o 21,92 dnia. W metodzie CPM-Cost zakładano jeden czas trwania czynności, dokonano skróceń 16 razy, przy czym ilość skróconych czynności wyniosła 11. W metodzie PERT-Cost dokonano skróceń 19 razy, przy czym ilość skróconych czynności wyniosła 12. Dodatkową czynnością do skrócenia w stosunku do metody CPM była czynność 40 – 41. Wynika stąd, że korzystając z metody CPM-Cost nie było konieczne skrócenie czynności transportu z linii lakierniczej i montażu wstępnego na linię montażu końcowego General Assembly. Oprócz tego obliczono, że uwzględniając gradienty kosztów, całkowite koszty skrócenia w przypadku metody CPM-Cost wynoszą o 19,92 tys. zł mniej. Warto jednak podkreślić, że metoda PERT-Cost uwzględnia trzy estymaty czasowe, z których wylicza się czas oczekiwany, na którym opiera się obliczenia, toteż wyniki uzyskane tą metodą są bardziej wiarygodne. Należy zwrócić uwagę, że oczekiwany termin ukończenia całego łańcucha dostaw, w przypadku

metody CPM – 68 dni, w przypadku metody PERT – 68,42 dnia, oraz dyrektywny (zakładany odgórnie) termin wpływają na poziom ryzyka niedotrzymania terminu dostawy. Na jego poziom ma również wpływ wariancja całkowita czynności krytycznych. Dla metody PERT zakładany termin był o 1,42 dnia krótszy niż oczekiwany, co przyczyniło się do 83,15 % ryzyka niedotrzymania terminu końcowej dostawy. Natomiast przy terminie zakładanym o 2,58 dnia dłuższym niż czas oczekiwany ryzyko niedotrzymania terminu końcowej dostawy wyniosło zaledwie 4,01%.

Z wykonanej i zamieszczonej w pracy mapie ryzyka można odczytać, że najbardziej niebezpieczne jest ryzyko strat finansowych spowodowane opóźnieniami dostaw i wynosi 3 200 000 zł/rok. Ryzyko to jest ryzykiem priorytetowym z uwagi na prawdopodobieństwo wystąpienia i wysokość strat finansowych. Aby działania podejmowane względem ryzyka osiągnęły określony skutek, muszą być one realizowane w sposób ciągły, a w przedsiębiorstwie powinien być szereg zaimplementowanych metod identyfikacji zagrożeń i oceny ryzyka. Możliwości metod matematycznych oraz programowania sieciowego i mapowania ryzyka są często przez przedsiębiorstwa niedoceniane, faworyzowane są metody jakościowe, opierające się na opinii ekspertów i menadżerów. Terminowość dostaw można udoskonalać dokonując pomiaru wskaźników rytmiczności, kompletności, dostaw, ilości dostaw zrealizowanych, niezrealizowanych, spóźnionych i reklamowanych oraz pomiaru strat produkcji z powodu braku zaopatrzenia. Przydatne jest wdrażanie systemu RFID w celu szybkiej wymiany informacji w relacjach partnerskich w łańcuchu dostaw, tak aby być przygotowanym na ewentualne opóźnienia i opracować plan zaradczy. W celu dotrzymania terminu dostawy lub przyspieszenia jej przedsiębiorstwa warto powołać sztab odpowiedzialny za logistykę lub angażować się we współpracę z wirtualnym dostawcą 4PL lub 5PL, który zajmuje się logistyką w obrębie całego łańcucha dostaw, integrując wszystkie działania transportowe, magazynowe, pakowanie oraz udostępnianie informacji, wspomagając decyzje i kształtując relacje między ogniwami łańcucha dostaw. Wdrożenie systemu wyszczuplonego zarządzania również przynosi spodziewane efekty w zakresie terminowości dostaw. Konsolidując zakłady produkcyjne oraz lokalizując składy komponentów do np. 30 minut od zakładów produkcji, możliwe jest znaczne przyspieszenie realizacji całego łańcucha dostaw. Zwłaszcza w łańcuchach dostaw międzynarodowych, takich jak łańcuch dostaw w branży motoryzacyjnej, gdy magazyny (składy) komponentów są magazynami konsygnacyjnymi zapewniona zostaje płynność dostaw, dostawcy dostarczają bezpośrednio towary do zakładów produkcyjnych, w zależności od zapotrzebowania. Oceniając i reformując łańcuch należy pamiętać o poprawie metod prognozowania, badań rynku, standaryzacji produkcji, minimalizować okresy wyprzedzenia w składaniu zamówień (może to być źródłem ryzyka), poprawić kontrolę procesów i stosunki z współpracownikami, a także klientami, zatrudniać wysoko wykwalifikowanych specjalistów zarządzania ryzykiem, dbać o relacje z kluczowymi dostawcami, oferującymi sprawdzone rozwiązania, rozwijać wymianę informacji z dostawcami EDI, brać pod uwagę badania w zakresie benchmarkingu, stosować systemy raportów oraz eksperckich systemów wspomaganie decyzji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ciesielski M., Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw, PWE, Warszawa 2009
2. <http://www.rp.pl/Motoryzacja/310179985-W-Europie-rosnie-popyt-na-nowe-samochody.html#ap-1> (dostęp z dnia 5.12.2016)
3. [http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM\\_05.pdf](http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM_05.pdf) (dostęp z dnia 08.11.2016)

4. [https://mfiles.pl/pl/index.php/Strona\\_g%C5%82%C3%B3wna](https://mfiles.pl/pl/index.php/Strona_g%C5%82%C3%B3wna); Encyklopedia Zarządzania
5. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Offshoring>
6. Jędrzejczyk Z., Kukuła K., Skrzypek J., Walkosz A., Badania operacyjne w przykładach i zadaniach, PWN, Warszawa 2005
7. Witeska B., Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw na rynku B2B, Difin SA, Warszawa 2011

## Classification of threats in a supply chain and methods of analyzing and estimating the risk

*The aim of this article was application of network programming in evaluation, analyzing and estimating the risk in a supply chain, then presentation the method of mapping the risk as a method of supporting decisions concerning emergency procedures towards the risk. The threats and vulnerabilities, which appear in a supply chain causing delays, were*

*specified in this article. Graphical methods of tasks' representation in a supply chain were mapped out, Presented in this article example of a supply chain from automotive industry subserved to the calculations and enable to indicate activities in a supply chain, which require shortening their duration. Critical Path in aforementioned example, which was deprived of a slack time, run across the activities of transport undertaken by the suppliers of petroleum, manufacturers and suppliers of polyesters, manufacturers of car seats and other upholstered components, then the production and assembly lines of automotive manufacturer, car dealer and activities of transport to the final customer.*

Autorzy:

dr inż. Piotr Kisielewski – Politechnika Krakowska  
inż. Agnieszka Stanek – Abra S.A.