

**Sławomir Tkaczyk**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

# **WSPÓLZALEŻNOŚĆ KOSZTU I CZASU REALIZACJI INWESTYCJI W PLANOWANIU DOBORU ŚRODKÓW TECHNICZNYCH I ŚRODKÓW TRANSPORTU**

Rękopis dostarczono: czerwiec 2017

**Streszczenie:** Gospodarka rynkowa wymusza właściwy dobór środków technicznych i środków transportu ograniczający koszty realizacji planowanych inwestycji. Kryterium wyboru optymalnego wariantu realizacji badanego przedsięwzięcia w niniejszym artykule jest koszt i czas realizacji przedsięwzięcia. Istnieje zatem potrzeba wykazania współzależności między kosztem i czasem realizacji przedsięwzięcia uzasadniającej optymalny dobór środków technicznych i środków transportu. Na podstawie wyznaczonych kosztów realizacji inwestycji zależnych od czasu jej realizacji obliczono współczynnik korelacji Pearsona oraz przedstawiono korelacyjny wykres rozrzutu, który pokazuje korelację krzywoliniową. Z uzyskanych wyników wynika, że korelacja między kosztem i czasem realizacji inwestycji jest bardzo wysoka. Uświadomienie potencjalnych inwestorów o tej współzależności może niejednokrotnie prowadzić do znacznego obniżenia kosztów realizacji inwestycji, przy tylko nieznacznym wydłużeniu czasu jej realizacji. Inwestor dysponując takim narzędziem analitycznym ma możliwość wyboru korzystniejszego rozwiązania planowania inwestycji, dokonując wyboru między minimalizacją kosztu a czasem jej realizacji.

**Słowa kluczowe:** inwestycja, dobór środków, optymalizacja, korelacja,

## **1. WSTĘP**

Gospodarka rynkowa wymusza właściwy dobór środków technicznych i środków transportu, co pozwala ograniczać koszty realizacji planowanych inwestycji.

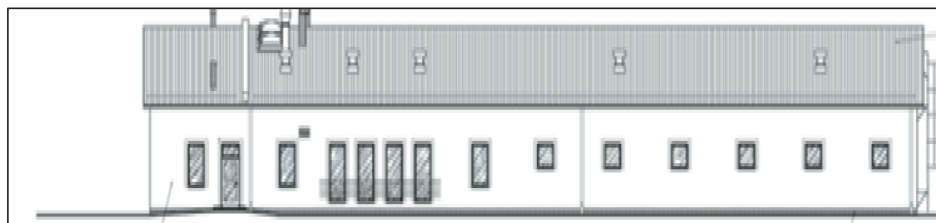
Narzędziem umożliwiającym właściwy dobór środków technicznych i środków transportu jest plan realizacji inwestycji. Plan przedstawia (najczęściej w postaci graficznej) realizację poszczególnych operacji w czasie, prezentuje dobór odpowiednich środków oraz zużywane przez nie odpowiadające im zasoby materiałowe.

Kryterium wyboru optymalnego wariantu realizacji badanej inwestycji w niniejszym artykule jest koszt i czas realizacji przedsięwzięcia. Istnieje zatem potrzeba wykazania współzależności między kosztem i czasem realizacji inwestycji uzasadniającej optymalny dobór środków technicznych i środków transportu.

W literaturze zagadnienia optymalnego doboru środków technicznych i środków transportu do realizacji inwestycji znajdujemy w pracach T. Ambroziaka [1], [3] oraz pracach S. Tkaczyka [6] - [9].

## 2. PROJEKT BUDOWY BUDYNKU MAGAZYNOWEGO

Graf G, ilustrujący strukturę operacji procesów technologicznych wyznaczony będzie na przykładzie projektu budowy obiektu magazynowego (rys.1). Realizując budowę obiektu należy wykonać określoną liczbę operacji powiązanych ze sobą szeregiem zależności technologicznych. Na potrzeby niniejszego artykułu dokonano podziału operacji procesów technologicznych na operacje wykonawcze (związane z wykonywaniem prac budowlanych określonymi zestawami środków technicznych (technologiami)) i operacje transportowe (związane z dowozem na teren budowy zasobów materiałowych potrzebnych przy realizacji operacji wykonawczych określonymi środkami transportu) [9].



Rys.1. Szkic budynku magazynowego

Zakres i zróżnicowanie planowanych do wykonania prac budowlanych wymagają zaangażowania specjalistycznego sprzętu technicznego oraz wcześniejszego sprecyzowania jego dostępności w okresie przewidzianym na realizację poszczególnych operacji związanych z budową budynku magazynowego. Wykaz operacji wykonawczych procesów technologicznych badanego obiektu przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

### Wykaz operacji wykonawczych budowy obiektu magazynowego oraz operacji wykonawczych poprzedzających i następujących dla danej operacji

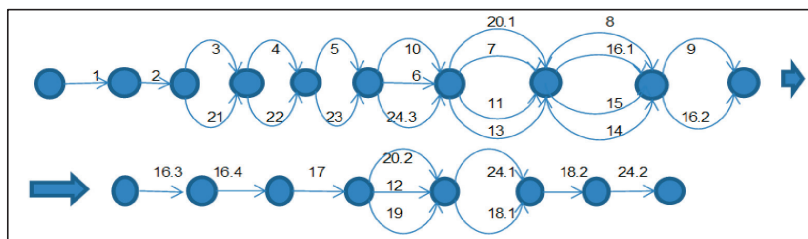
Lp	Nr operacji	Opis operacji wykonawczej	Operacje poprzedzające	Operacje następane
1	m (1)	przygotowanie terenu	0	m(2)
2	m (2)	roboty ziemne- pod fundamenty	m(1)	m(3), m(21)
3	m (3)	fundamenty i ściany fundamentowe	m(2)	m(4)
4	m (4)	izolacja pozioma i pionowa parteru	m(3)	m(5)
5	m (5)	ściany zewnętrzne - nadziemia	m(4)	m(6), m(10)
6	m (6)	ścianki działowe wewnętrzne	m(5)	m(7),m(11),m(13), m(14),m(15)
7	m (7)	dach-konstrukcja, ocieplenie	m(6)	m(8)

Lp	Nr operacji	Opis operacji wykonawczej	Operacje poprzedzające	Operacje następane
8	m (8)	dach-pokrycie	m(7)	m(9)
9	m (9)	obróbki blacharskie, rynny	m(8)	m(20.2)
10	m (10)	okna i drzwi zewnętrzne, bramy	m(5)	m(20.1)
11	m (11)	instalacja wodno-kanalizacyjna	m(6)	m(16.1)
12	m (12)	biały montaż	m(17)	m(18.1)
13	m (13)	instalacje elektryczne	m(6)	m(16.2)
14	m (14)	alarm, tv, telefon, sieć komp.	m(6)	m(16.3)
15	m (15)	centralne ogrzewanie	m(6)	m(16.4)
16	m (16)	tynki wewnętrzne	m(11),m(13), m(14),m(15)	m(17)
17	m (17)	posadzki i wylewki	m(16)	m(12),m(19)
18	m (18)	roboty malarskie	m(12),m(19)	m(24.2)
19	m (19)	stolarka drzwiowa wewnętrzna	m(17)	m(18.2)
20	m (20)	tynki zewnętrzne	m(20)	m(24.1)
21	m (21)	ogrodzenie	m(2)	m(22)
22	m (22)	chodniki, podjazdy	m(21)	m(23)
23	m (23)	trawniki	m(22)	m(24.3)
24	m (24)	odbiór techniczny	m(20),m(18),m(23)	0

W celu zaplanowania robót związanych z wybudowaniem obiektu magazynowego wymagane jest opracowanie planu (harmonogramu) określającego optymalną kolejność wykonywanych operacji wykonawczych [1], [9]. Ze względu na uwarunkowania technologiczne zidentyfikowane operacje wykonawcze procesów technologicznych uporządkowane są relacją poprzedzania. Mając wykaz operacji wykonawczych niezbędnych do realizacji danego przedsięwzięcia skonstruowano, w oparciu o wiedzę ekspertów oraz własne doświadczenia autora tabelę operacji wykonawczych. Zaznaczono, które z operacji bezpośrednio poprzedzają daną operację, a które z nich są następnikami danej operacji (tab. 1). Zgodnie z przyjętymi w pracy założeniami, każdy łuk grafu reprezentował będzie operację, a wierzchołki grafu – zdarzenia odpowiadające faktom rozpoczęcia i zakończenia operacji. Zatem można narysować graf operacji wykonawczych procesów technologicznych budowy budynku magazynowego (rys. 2).

Wykaz zastosowanych środków technicznych do realizacji wszystkich operacji wykonawczych rozpatrywanego projektu zawarto w tabelicy 2.

Znając normy wydajności środków technicznych oraz wykaz objętości operacji wykonawczych (tab. 5) wyznaczono czas i koszt realizacji poszczególnych operacji wykonawczych przy wykorzystaniu danych środków technicznych (tab. 3).



Rys.2. Graf operacji wykonawczych budowy obiektu magazynowego

Tablica 2

**Wykaz środków technicznych wykorzystywanych do realizacji operacji wykonawczych  
budowy budynku magazynowego**

Lp.	Nr środka technicznego	Nazwa środka technicznego
1	1	brygada robotników ogólnobudowlana 4- osobowa
2	2	spychacz z operatorem
3	3	koparka o operatorem
4	4	betoniarka "gruszka" beton (9m3)
5	5	brygada budowlana, cegła porotherm 44x25x25, U=0,3 W/m2K
6	6	brygada budowlana, płyta warstwowa poliuretanowa "250"
7	7	brygada dekararska, blacha ocynk
8	8	brygada stolarska, drzwi i okna
9	9	brygada hydraulików
10	10	brygada elektryków
11	11	firma zewnętrzna - siatki ogrodzeniowe
12	12	firma zewnętrzna - beton (ogrodzenia, chodniki)
13	13	firma zewnętrzna- asfalt
14	14	firma zewnętrzna- utrzymanie zieleni
15	15	komisja techniczna

Tablica 3

**Czas/koszt realizacji operacji wykonawczych w funkeji zastosowanych środków technicznych**

Nr	Operacja wykonawcza	Nr śr. technicznego	Czas (godz)	Koszt (PLN)
1	przygotowanie terenu	1	72	4 373
		2	32	3 061
2	roboty ziemne- pod fundamenty	1	16	1 131
		3	8	1 188
3	fundamenty i ściany fundament.	1	72	25 381
		4	24	29 700
4	izolacja pozioma i pionowa parteru	1	16	4 101
5	ściany zewnętrzne-nadziemia	1	120	32 995
		5	152	29 703
		6	64	103 636
6	ścianki działowe wewnętrzne	1	72	12 182
		5	120	19 249
		6	32	23 493
7	dach-konstrukcja, ocieplenie	6	192	72 269
8	dach-pokrycie	7	176	57 406
		6	32	69 657
9	obróbki blacharskie, rynny	7	48	14 352
10	drzwi zewn., bramy	8	32	11 900
11	instal. wod-kan	9	48	15 000
12	biały montaż	9	16	3 500
13	instal. elektryczne	10	80	93 500
14	instal.alarm., tv, telefon, sieć komp.	10	16	10 000
15	centralne ogrzewanie	9	16	8 500
16	tynki wewnętrzne	1	32	8 052
17	posadzki i wylewki	1	40	62 342
18	roboty malarskie	1	32	4 026
19	stolarka drzwiowa wewn.	8	16	3 500
20	tynki zewnętrzne	1	32	14 091
21	ogrodzenie	11	64	17 165

Nr	Operacja wykonawcza	Nr śr. technicznego	Czas (godz)	Koszt (PLN)
		12	120	19 800
22	chodniki, podjazdy	12	80	184 800
		13	80	288 750
23	trawniki	14	80	15 930
24	odbiór techniczny	15	8	5 000

Zakres prac budowlanych realizowanych przyjętymi powyżej operacjami wykonawczymi wymusza zaangażowanie określonych środków transportu do dowozu na teren budowy (operacje transportowe) wymaganych zasobów materiałowych. Wykaz środków transportu do zrealizowania dostaw przedstawiono w tabelicy 4.

Tabela 4

#### Wykaz środków transportu wykorzystywanych przy budowie obiektu magazynowego

Nazwa środka transportu	Opis środka transportu	Wymiary skrzyni ładunkowej [m/m]
P 1	betoniarka	x
P 2	naczepa specjalizowana	x
P 3	ciągnik siodł + naczepa 24 ton	2,50 /13,60
P 4	samochód ciężarowy 12 ton	2,50 x 7,20
P 5	samochód ciężarowy 6 ton	2,50 x 7,20
P 6	samochód dostawczy 2,0 ton	2,50 x 4,20
P 7	bus osobowy	x
P 8	samochód dost. do 500 kg	1,00 x 1,40
P 9	samochód osobowy	x
P 10	zestaw do asfaltu	x

Objętość operacji transportowych (wyrażona np. w jłp) uzależniona jest od objętości operacji wykonawczych (wyrażanych w m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, mb, itp.). Przydział środków transportu do poszczególnych operacji wykonawczych, a zatem i operacji transportowych przedstawiono w tabelicy 5.

Czas realizacji poszczególnych operacji transportowych, przy wykorzystaniu zadanych środków transportu, obliczono na podstawie znanych wydajności poszczególnych środków transportu oraz objętości operacji transportowych przedstawionych w tabelicy 6.

Koszt realizacji poszczególnych operacji transportowych przy wykorzystaniu zadanych środków transportu obliczono na podstawie znanych wydajności poszczególnych środków transportu oraz objętości operacji transportowych, co przedstawiono w tabelicy 7.

Tabela 5

#### Przydział środków transportu do realizacji operacji wykonawczych i objętości operacji transportowych budowy budynku magazynowego

Lp	Rodzaj operacji (wykonawczej/transportowej)	Objętość Q operacji wykonawczej		Nr środka transportu	Objętość Q' oper. Transport (calopojazd.) (jłp)	
		[m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> ,mb]	[kg]			
1	przygotowanie terenu	5102 m <sup>2</sup>	x	2, 7	1	x
2	roboty ziemne- pod fundamenty	79,2 m <sup>3</sup>	x	2, 7	1	x
3	fundamenty i ściany fundamentowe	132 m <sup>3</sup>	122 000	1,3,4,5,6	x	122
4	izolacja pozioma i pionowa parteru	198 m <sup>2</sup>	1 750	3,4,5,6,8	x	6
5	ściany zewnętrzne - nadziemia	805,2 m <sup>2</sup>	148 740	3,4,5,6,8	x	148
6	ścianki działowe wewnętrzne	305 m <sup>2</sup>	56 360	3,4,5,6,8	x	57



Nr	Operacja wykonawcza	Nr zest. śr. techn.	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
			[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]
18	roboty malarskie	1	-	-	1	1	1	1	-	2	-	-
19	stolarka drzwiowa	8	-	-	1	1	1	1	-	4	-	-
20	tyniki zewnętrzne	1	-	-	1	1	1	2	-	8	-	-
21	ogrodzenie	11	-	-	1	1	2	4	-	-	-	-
		12	-	-	2	3	5	15	-	-	-	-
22	chodniki, podjazdy	12	-	-	10	20	39	116	-	462	-	-
		13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
23	trawniki	14	-	-	1	1	1	1	-	2	-	-
24	odbiór techniczny	15	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-

Tablica 7

**Koszt realizacji operacji transportowych dla realizacji dostaw zasobów materiałowych  
budowy budynku magazynowego**

Lp	Operacja wykonawcza	Nr śr. techn	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
			[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]	[PLN]
1	przygotowanie terenu	1	8	-	-	-	-	-	100	-	-	-
		2	-	750	-	-	-	-	-	-	-	-
2	roboty ziemne- pod fundamenty	1	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-
		3	-	750	-	-	-	-	-	-	-	-
3	fundamenty i ściany fundamentowe	1	-	-	1 200	1 925	3 450	6 400	-	-	-	-
		4	7 500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	izolacja parteru	1	-	-	200	175	450	100	-	900	-	-
5	ściany zewnętrzne- nadziemia	1	-	-	1 400	2 275	3 750	7 500	-	22	-	-
		5	-	-	1 000	1 750	3 000	5 900	-	17	-	-
		6	-	-	400	525	750	-	-	-	-	-
6	ścianki działowe wewnętrzne	1	-	-	600	875	1 500	2 800	-	8 550	-	-
		5	-	-	800	1 400	2 250	4 500	-	13	-	-
		6	-	-	200	175	150	-	-	-	-	-
7	dach-konstrukcja,	6	-	-	600	875	1 350	-	-	-	-	-
		7	-	-	400	700	750	-	-	-	-	-
8	dach-pokrycie	6	-	-	200	350	600	-	-	-	-	-
		7	-	-	200	175	150	100	-	-	-	-
9	obróbki blacharskie,	7	-	-	200	175	150	100	-	-	-	-
10	okna i drzwi	8	-	-	200	175	150	100	-	-	-	-
11	instalacja wodno-	9	-	-	200	175	150	100	-	-	-	-
12	biały montaż	9	-	-	200	175	150	100	-	300	-	-
13	instalacje elektryczne	10	-	-	200	175	150	100	-	150	-	-
14	instal. alarmowe, tv,	10	-	-	200	175	150	100	-	150	-	-
15	centralne ogrzew.	9	-	-	200	175	150	100	-	300	-	-
16	tyniki wewnętrzne	1	-	-	200	175	150	200	-	600	-	-
17	posadzki i wylewki	1	7 500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	roboty malarskie	1	-	-	200	175	150	100	-	150	-	-
19	stolarka drzw. wewn	8	-	-	200	175	150	100	-	300	-	-
20	tyniki zewnętrzne	1	-	-	200	175	150	200	-	600	-	-
21	Ogrodzenie	11	-	-	200	175	300	400	-	x	-	-
		12	-	-	400	525	750	1 500	-	x	-	-
22	chodniki, podjazdy	12	-	-	2 000	3 500	5 850	11	-	34	-	-
		13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
23	Trawniki	14	-	-	200	175	150	100	-	150	-	-
24	odbiór techniczny	15	-	-	-	-	-	-	100	-	50	-

Graf G (rys. 2), ilustrujący strukturę operacji procesów technologicznych budowy budynku magazynowego, po uwzględnieniu podziału operacji procesów technologicznych

na operacje wykonawcze (związane z wykonywaniem prac budowlanych określonymi zestawami środków technicznych (technologiami)) i operacje transportowe (związane z dowozem na teren budowy zasobów materiałowych potrzebnych przy realizacji operacji wykonawczych określonymi środkami transportowymi) oraz przydziału środków transportowych do realizacji operacji wykonawczych procesu budowy budynku magazynowego znając wydajności środków transportowych i objętości operacji transportowych można przedstawić w formie graficznej, zgodnie z rysunkiem 3.

### 3. PLAN REALIZACJI INWESTYCJI Z KRYTERIUM CZASU I KOSZTU

Dla rozpatrywanego projektu budowy budynku magazynowego (rys. 1) przy zastosowaniu programu komputerowego LINGO [5] rozwiązano następujące zadania optymalizacyjne:

–jednokryterialne zadania optymalizacyjne doboru technologii minimalizującej czas realizacji operacji wykonawczych/transportowych o funkcji kryterium opisanej wzorem (1):

$$\left\{ \max_{k \in K(f)} \{t''(i, k, f)\} - \min_{k' \in K'(f)} \{t'(i, k', f)\} \right\} \longrightarrow \min \quad (1)$$

gdzie:

$t''(i, k, f)$  – moment zakończenia realizacji  $(i, k, f)$ -tej operacji wykonawczej zilustrowanej  $f$ -tym grafem,

$t'(i, k', f)$  – moment rozpoczęcia realizacji  $(i, k', f)$ -tej operacji transportowej zilustrowanej  $f$ -tym grafem,

–jednokryterialne zadania optymalizacyjne doboru technologii minimalizującej koszt realizacji operacji wykonawczych/transportowych o funkcji kryterium opisanej wzorem (2):

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K(f)} \left[ \sum_{s \in S} (u(i, k, f, s)) c(s) + \sum_{s \in S} (u(i, k, f, s)) g(s) + \right. \\ & \left. + \sum_{z \in Z} c_l(z) \sum_{s \in S} b(i, k, f, z, s) u(i, f, k, s) \right] \cdot [t''(i, f, k, s) - t'(i, f, k, s)] + \\ & + \sum_{k' \in K'(f)} \left[ \sum_{p \in P} (\tilde{u}(i, k', f, p)) c(p) + \sum_{p \in P} (u(i, k', f, p)) g(p) + \right. \\ & \left. + \sum_{z \in Z} c_l(z) \sum_{p \in P} b(i, k', f, z, p) \tilde{u}(i, f, k', p) \right] \cdot [t''(i, k', f) - t'(i, k', f)] \longrightarrow \min \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:



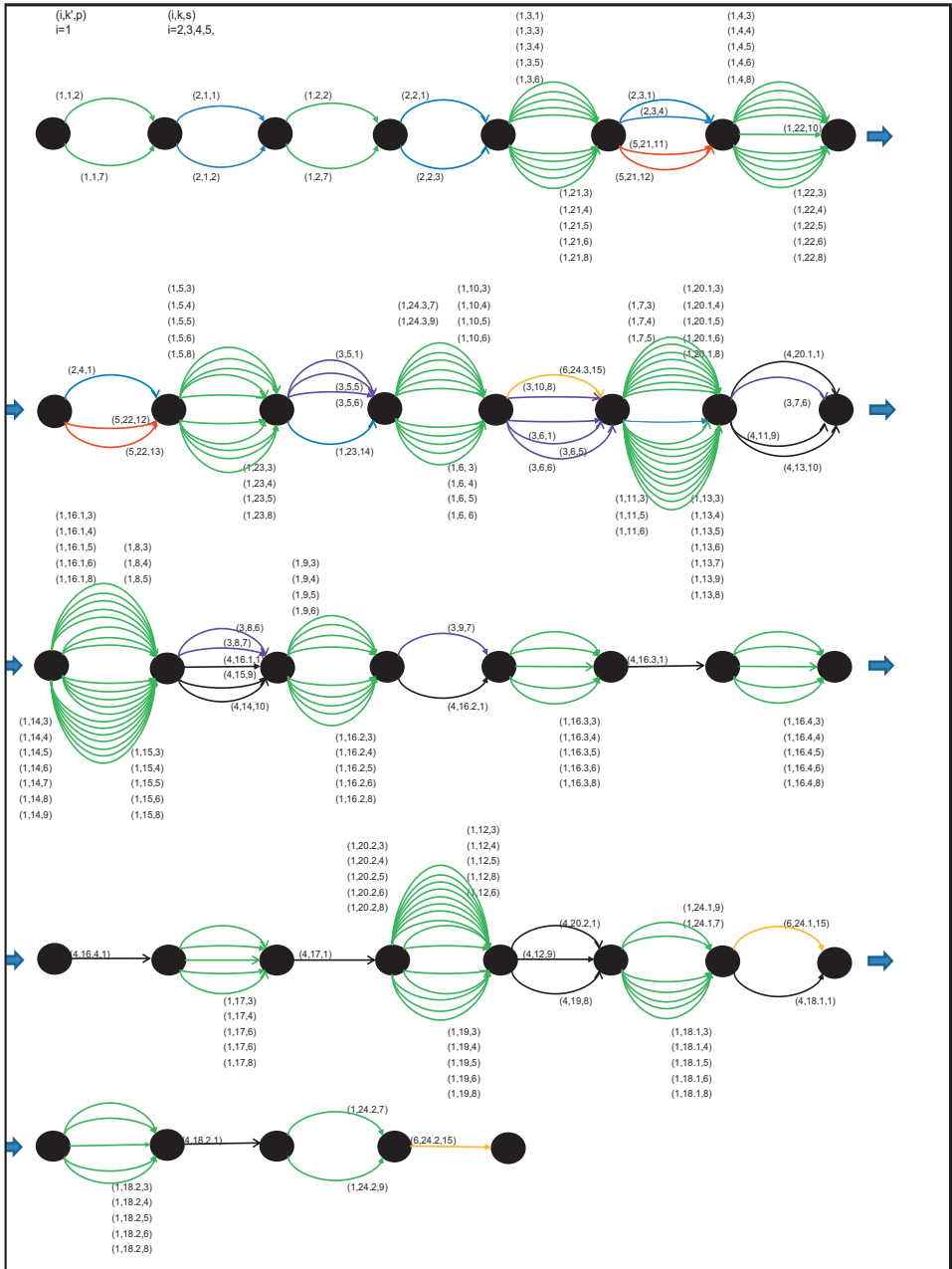
- $u(i,k,f,s)$  - liczba środków technicznych o numerze  $s$  eksploatowanych podczas realizacji  $k$ -tej operacji wykonawczej  $i$ -tego procesu technologicznego zilustrowanego  $f$ -tym grafem,
- $c(s)$  - koszt jednostkowy eksploatacji środka technicznego  $s$ -tego typu,
- $g(s)$  - jednostkowy koszt roboczogodziny środka technicznego  $s$ -tego typu,
- $cl(z)$  - koszt jednostkowy zużycia  $z$ -tego zasobu materiałowego,
- $b(i,k,f,z,s)$  - norma zużycia  $z$ -tego zasobu materiałowego przez  $s$ -ty środek techniczny stosowany do realizacji  $k$ -tej operacji wykonawczej  $i$ -tego procesu technologicznego zilustrowanego  $f$ -tym grafem,
- pozostałe oznaczenia analogiczne dla  $p$ -tego środka transportu przy realizacji  $k'$ -tej operacji transportowej  $i$ -tego procesu technologicznego zilustrowanego  $f$ -tym grafem.

Na podstawie przyjętego grafu technologicznego budowy obiektu magazynowego (rys.1), transponowanego na graf technologiczny (rys.2), uwzględniając zależność kosztu realizacji inwestycji od czasu jej realizacji uzyskano wyniki, które przedstawiono w tablicy 8.

Tablica 8

**Zależność kosztu realizacji inwestycji od zadanego czasu realizacji inwestycji**

zadany czas realizacji inwestycji [dni]		uzyskany koszt realizacji inwestycji [tys PLN]	
x1	190	y1	680,89
x2	180	y2	680,89
x3	175	y3	682,99
x4	170	y4	686,39
x5	165	y5	689,79
x6	160	y6	693,2
x7	150	y7	700,81
x8	140	y8	762,58
x9	138	y9	782,76



Rys.3. Graf operacji wykonawczych i transportowych budowy budynku magazynowego uwzględniający przydział zestawów środków technicznych i środków transportu

## 4. KORELACJA KOSZTU I CZASU REALIZACJI INWESTYCJI

Teoria korelacji jest narzędziem służącym do dokładnego określania stopnia, w jakim zmienne są ze sobą powiązane. Podstawowym problemem statystyki w takich badaniach jest stwierdzenie, czy między zmiennymi zachodzi związek (zależność) i czy związek jest bardziej czy mniej ścisły.

Dwie zmienne są między sobą powiązane zależnością funkcyjną lub zależnością statystyczną (korelacyjną). Związek statystyczny polega na tym, że określonym wartościom jednej zmiennej odpowiadają ściśle określone średnie wartości drugiej zmiennej. Można zatem obliczyć, jak zmieni się (średnio biorąc) wartość zmiennej zależnej Y w zależności od wartości zmiennej niezależnej X. W analizie korelacji jednakowo traktuje się obie zmienne - nie wyróżniamy zmiennej zależnej i niezależnej. Korelacja między X i Y jest taka sama jak między Y i X. Mówi nam ona, na ile obie zmienne zmieniają się równocześnie w sposób liniowy. Zatem korelacja między zmiennymi X i Y jest miarą siły liniowego związku między tymi zmiennymi.

Analizę związku korelacyjnego między badanymi cechami przeprowadzono w oparciu o wykres, który reprezentuje obrazowo związek pomiędzy zmiennymi (wykres rozrzutu typu scatterplot). Punkty, odpowiadające poszczególnym wartościom cech, tworzą korelacyjny wykres rozrzutu. Gdy zaznaczone punkty leżą dokładnie na linii prostej mówimy o pełnej korelacji, a gdy korelacja staje się coraz mniej doskonała, wówczas punkty zaczynają się rozpraszać i przesuwać, aż do bezkształtnej chmury punktów (brak korelacji).

Siłę współzależności dwóch zmiennych wyrażono liczbowo za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona  $r_{xy}$ , który może przyjmować wartości z przedziału  $[-1, 1]$ . Współczynnik korelacji Pearsona wyliczamy, gdy obie zmienne są mierzalne i mają rozkład zbliżony do normalnego oraz zależność jest prostoliniowa. Przy interpretacji współczynnika korelacji liniowej Pearsona należy więc pamiętać, że wartość współczynnika bliska zeru nie zawsze oznacza brak zależności, a jedynie brak zależności liniowej.

Znak współczynnika korelacji informuje nas o kierunku korelacji, natomiast jego bezwzględna wartość o sile związku. Jeśli  $r_{xy} = 0$ , oznacza to zupełny brak związku korelacyjnego między badanymi zmiennymi X i Y. Im wartość bezwzględna współczynnika korelacji jest bliższy jedności, tym zależność korelacyjna między zmiennymi jest silniejsza. Gdy  $r_{xy} = |1|$ , to zależność korelacyjna przechodzi w zależność funkcyjną (funkcja liniowa). W analizie statystycznej zwykle przyjmuje się następującą skalę:

$r_{xy} = 0$  zmienne nie są skorelowane

$0 < r_{xy} < 0,1$  korelacja nikła

$0,1 < r_{xy} < 0,3$  korelacja słaba

$0,3 < r_{xy} < 0,5$  korelacja przeciętna

$0,5 < r_{xy} < 0,7$  korelacja wysoka

$0,7 < r_{xy} < 0,9$  korelacja bardzo wysoka

$0,9 < r_{xy} < 1$  korelacja prawie pełna.

Przedstawiona skala jest oczywiście umowna (w literaturze możemy również znaleźć inne określenia).

Współczynnik korelacji Pearsona można zapisać w postaci wzorów (3) i (4):

$$r_{XY} = \frac{C(X, Y)}{S_X S_Y} \quad (3);$$

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

gdzie:

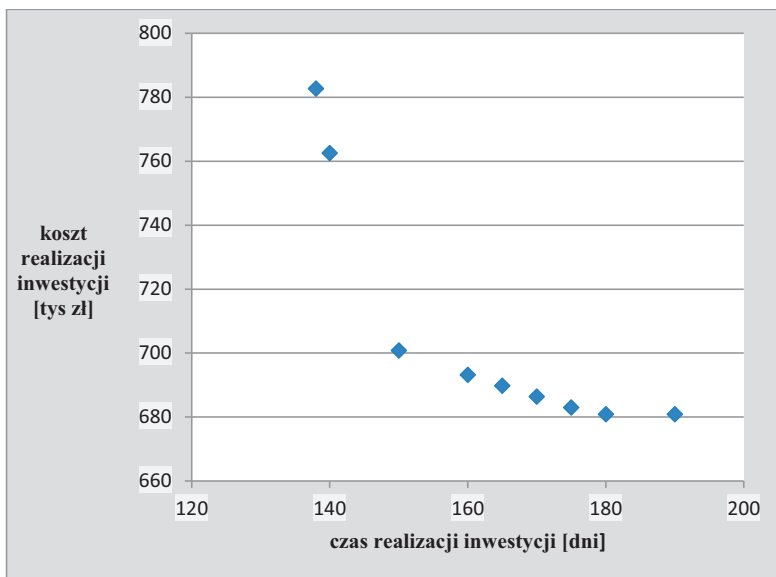
$C(X, Y)$  - kowariancja między cechami X i Y,

$\bar{x}, \bar{y}$  - średnie arytmetyczne cech X i Y w próbie o n-elementach.

Na podstawie wyznaczonych kosztów realizacji inwestycji zależnych od czasu jej realizacji (tab. 8.) obliczono odpowiednio:

$$C(X, Y) = -518,42; \quad S_X = 17,84; \quad S_Y = 37,17; \quad r_{XY} = -0,78.$$

Na rysunku 4 przedstawiono korelacyjny wykres rozrzutu, który pokazuje korelację krzywoliniową.



Rys.4. Korelacyjny wykres rozrzutu dla kosztów realizacji inwestycji zależnych od zadanego czasu realizacji inwestycji

## 5. PODSUMOWANIE

Analizowany w artykule problem współzależności kosztu i czasu realizacji inwestycji w planowaniu doboru środków technicznych i środków transportu oparto na przykładzie projektu budowy obiektu magazynowego. Z uzyskanych wyników wynika, że korelacja między kosztem i czasem realizacji inwestycji jest bardzo wysoka. Uświadomienie potencjalnych inwestorów o tej współzależności może niejednokrotnie prowadzić do znacznego obniżenia kosztów realizacji inwestycji, przy tylko nieznacznym wydłużeniu czasu jej realizacji. Inwestor dysponując takim narzędziem analitycznym ma możliwość wyboru korzystniejszego rozwiązania planowania inwestycji, dokonując wyboru między minimalizacją kosztu a czasem jej realizacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ambroziak T.: Metody i narzędzia harmonogramowania w transporcie, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji- PIB, Radom, 2007.
2. Ambroziak T., Jacyna M.: O pewnym podejściu do niezawodności harmonogramowania, Ustroń 1997.
3. Ambroziak T., Tkaczyk S.: The Selection of Transportation Means for Technological Processes. Archives of Transport, Volume 36, issue 4, Warsaw 2015.
4. Ambroziak T., Tkaczyk S.: Metoda optymalnego przydziału środków technicznych i środków transportu do realizacji procesów technologicznych, Arłamów 2016.
5. LINDO SYSTEM INC.: Podręcznik użytkownika pakietu komputerowego LINGO, Chicago 2002.
6. Tkaczyk S.: Optymalizacja kosztu w metodzie wyznaczania harmonogramu realizacji punktowego obiektu infrastruktury transportowej, Logistyka, Nr 4/2104.
7. Tkaczyk S.: Optymalizacja czasu w metodzie wyznaczania harmonogramu realizacji punktowego obiektu infrastruktury transportowej, Logistyka, Nr 4/2104.
8. Tkaczyk S.: Dobór środków transportu do realizacji procesów technologicznych, Logistyka, Nr 4/2015.
9. Tkaczyk S.: Dobór środków transportu do realizacji procesów technologicznych, OWPW 2016.

## CORRELATION OF COST AND TIME OF INVESTMENT IMPLEMENTATION IN THE SCHEDULE OF SELECTION OF TECHNICAL MEASURES AND MEASURES OF TRANSPORT

**Summary:** The market economy requires the appropriate selection of technical means and means of transport, limiting the cost of the planned investments. The criterion for choosing the optimal variant of the implemented project presented in this article is the cost and the time of implementation of the project. There is a need to demonstrate the correlation between the cost and the implementation time of the project justifying the optimum selection of technical means and means of transport. Based on the projected time-to-invest cost the Pearson's correlation coefficient has been calculated. A correlated scatter plot has been computed afterwards. All these shows the curvilinear correlation presence. The results show that the correlation between cost and time of investment implementation is significant. Potential investors should be aware that this correlation may often lead to a significant reduction of the cost of the investment, however a slight increase in the duration of its implementation must be considered. Having the analytical tool described above a potential investor will be able to decide on more favourable investment planning solution, choosing between cost minimization and execution time.

**Keywords:** investment, selection of means, optimization, correlation