Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

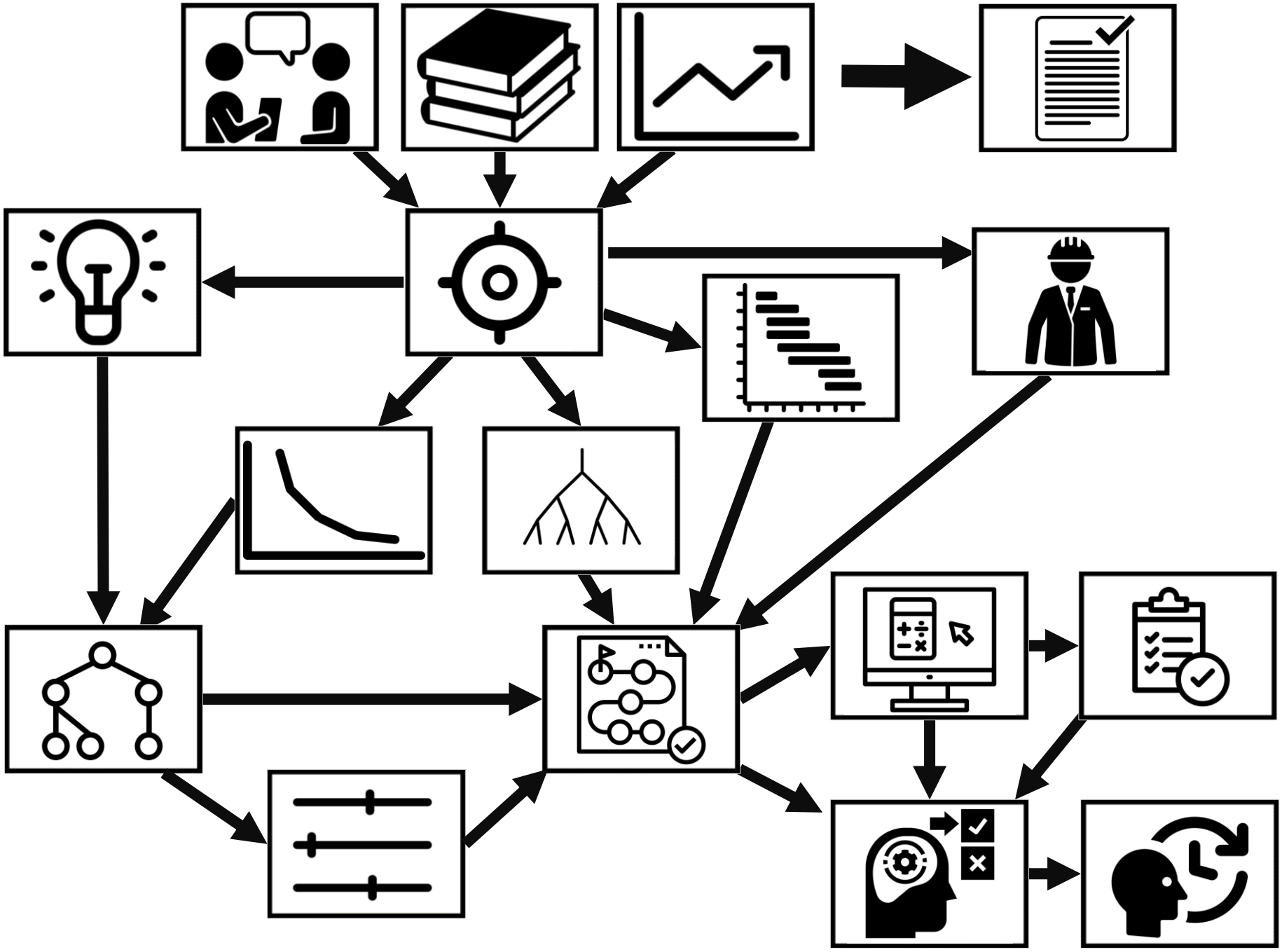
Katedra Zarządzania
w Budownictwie

Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych

dr inż. Bartłomiej Sroka

promotor:
prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina

Rysunek 1: Podział przedsięwzięć budowlanych ze względu na metody organizacji pracy



Uzasadnienie wyboru tematu

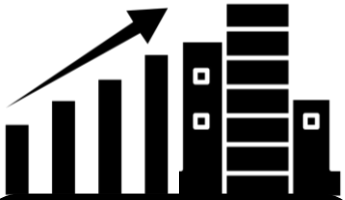
Uzasadnienie wyboru tematu

Brak modeli, które w sposób elastyczny pozwolą definiować ograniczenia technologiczno-organizacyjne

Brak modeli uwzględniających wszystkie rodzaje kosztów, ważnych z punktu widzenia realizacji przedsięwzięcia wieloobiektowego

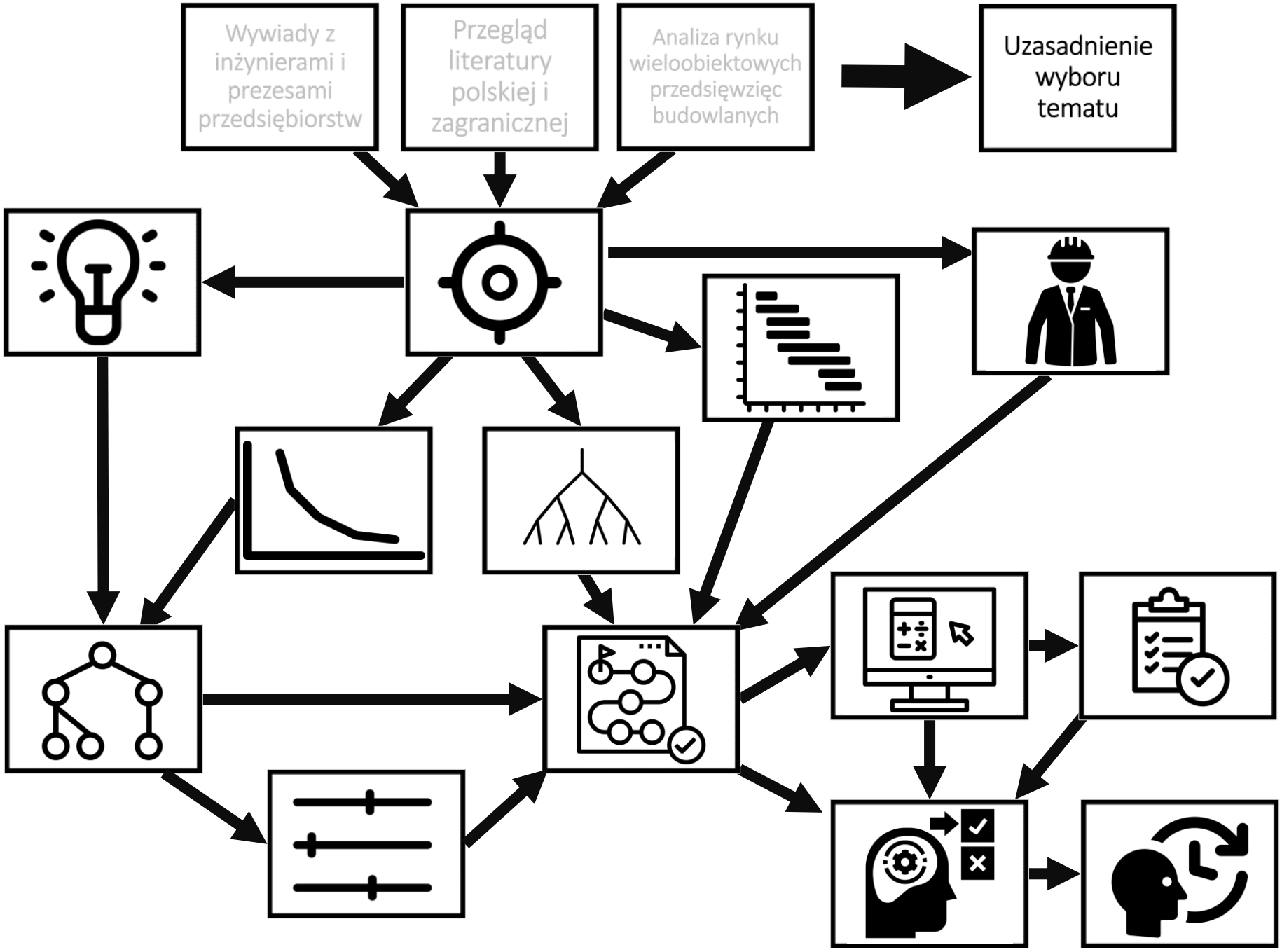
Braki w oprogramowaniu pomocnym przy harmonogramowaniu przedsięwzięć wieloobiektowych

Brak świadomości decydentów, że kolejność wykonania obiektów ma wpływ na czas i koszt przedsięwzięcia wieloobiektowego



Rosnący trend liczby realizowanych przedsięwzięć wieloobiektowych

Znaczący wzrost liczby publikacji na temat harmonogramowania przedsięwzięć wieloobiektowych


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu

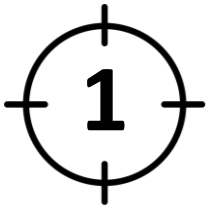
Teza i cele pracy

Teza i cele pracy

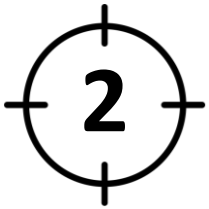
Teza:

Opracowana metoda priorytetowego harmonogramowania, uwzględniająca elastyczne ograniczenia technologiczno-organizacyjne oraz możliwość zmiany kolejności wykonania obiektów, pozwala na minimalizację kosztów całkowitych wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych.

Cele:

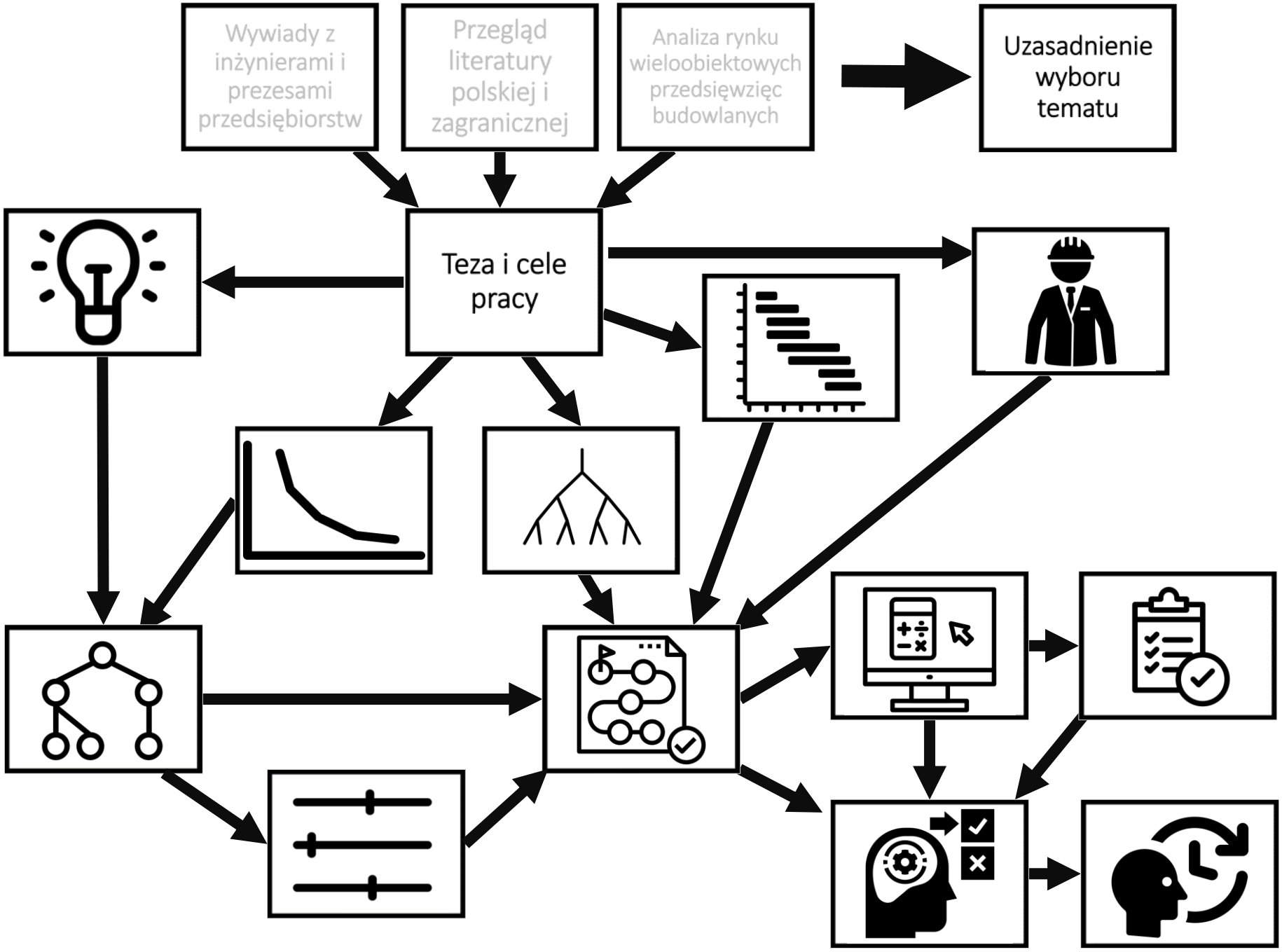


Opracowanie czasowo-kosztowego modelu harmonogramowania priorytetowego, minimalizującego koszty całkowite oraz uwzględniającego ograniczenia organizacyjno-technologiczne w sposób elastyczny, służącego do harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych



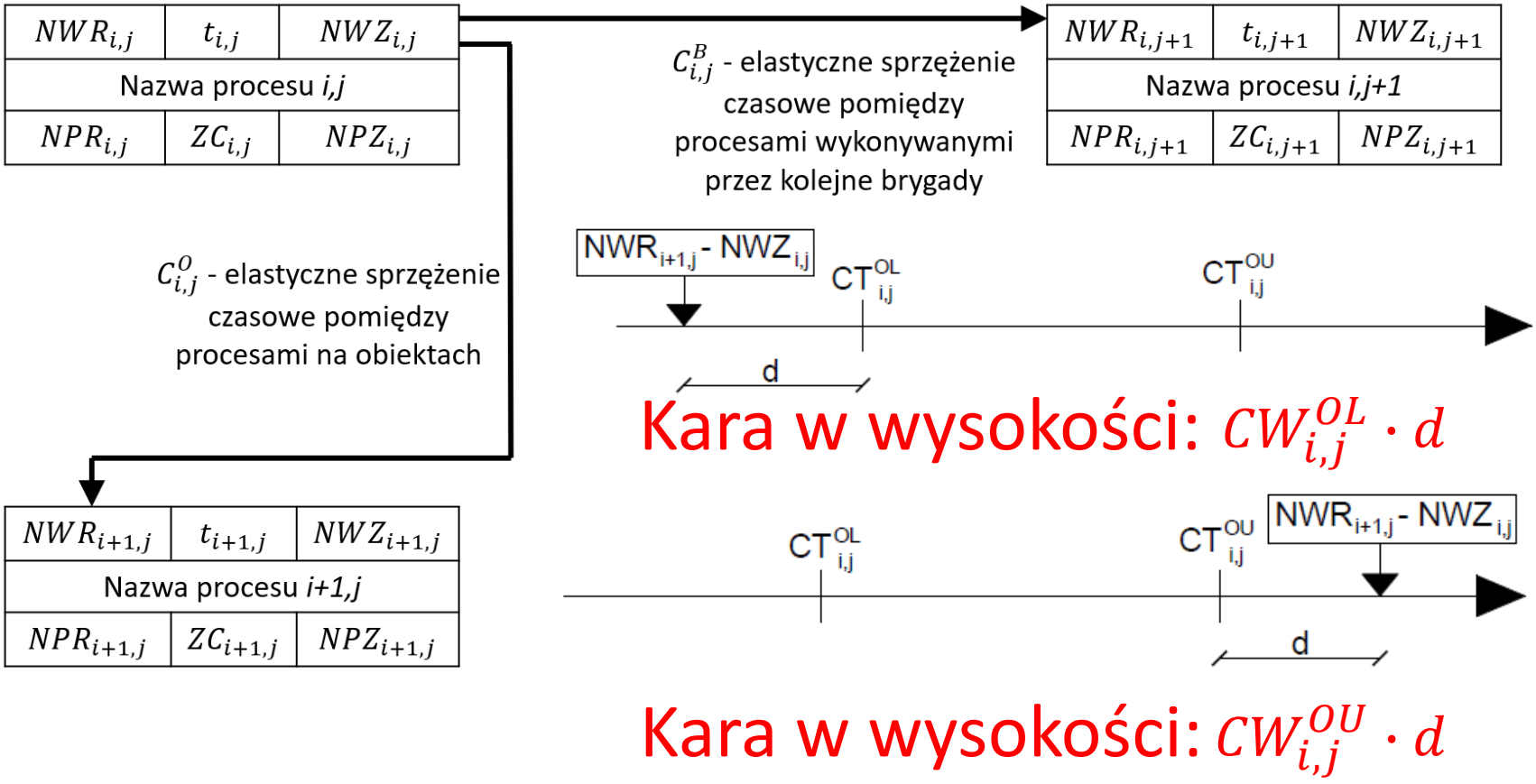
Opracowanie metody optymalizacji dyskretnej, wspomagającej harmonogramowanie wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem kolejności realizacji obiektów

Implementacja komputerowa opracowanej metody, pozwalająca na zautomatyzowanie obliczeń

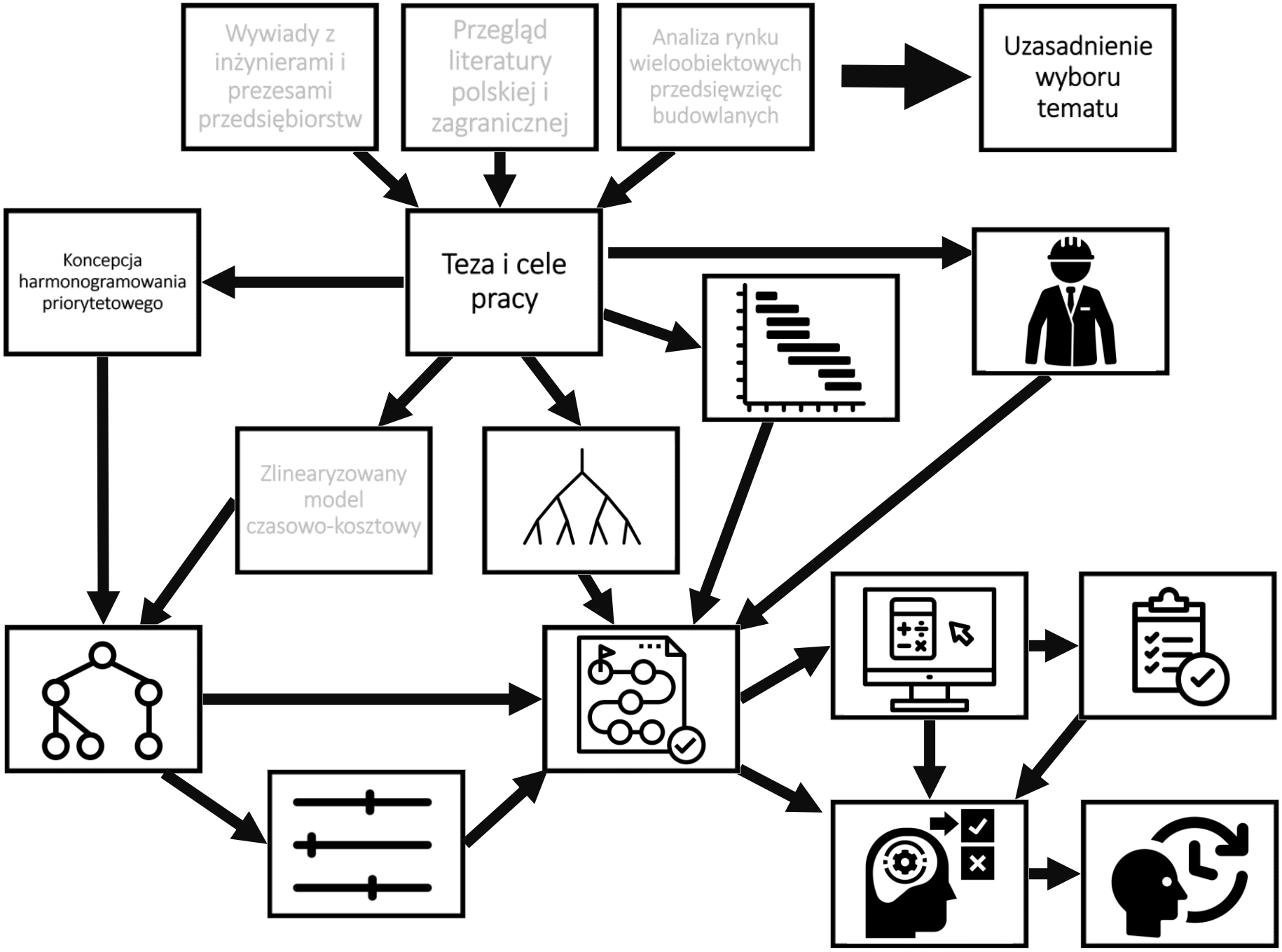

Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Teza i cele pracy

Koncepcja harmonogramowania priorytetowego

Koncepcja priorytetowego harmonogramowania



Rysunek 2: Koncepcja priorytetowego harmonogramowania


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy

Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego

Czasowo-kosztowy model priorytetowego harmonogramowania

Funkcja celu:

$$\overline{K(\pi)} = K_{bez} + K_{poś} + K_p - K_n + K_c + K_{CO} + K_{CB} + K_{CA} + \mathrm{KT} \rightarrow min$$

$K_{bez} =$ Koszty bezpośrednie

$K_{poś} =$ Koszty pośrednie

$K_p =$ Koszty niedotrzymania terminów

$K_n =$ Nagrody za wcześniejsze wykonanie

$K_c =$ Koszty nieciągłości pracy brygad

$K_{CO} =$

$K_{CB} =$

$K_{CA} =$

Kary w funkcji celu wynikające z koncepcji harmonogramowania priorytetowego

$KT =$ Czynnik pozwalający wyznaczyć terminy najwcześniejsze i najpóźniejsze

Czasowo-kosztowy model priorytetowego harmonogramowania

Ograniczenia:

$$t_{i,j} \geq tgr_{i,j}$$

$$t_{i,j} \leq tgr_{i,j} + \sum_{s=1}^{z} t_{i,j,s}$$

$$\bigwedge_{s\in\{1,2\ldots,z\}} tgr_{i,j} + \sum_{k=1}^{s} d_{i,j,k} \leq t_{i,j}$$

Ograniczenia zlinearyzowanego modelu czasowo-kosztowego

$$NWZ_{i,j} = NWR_{i,j} + t_{i,j}$$

$$NPZ_{i,j} = NPR_{i,j} + t_{i,j}$$

$$ZC_{i,j} = NPZ_{i,j} - NWZ_{i,j}$$

Zależności między charakterystykami czasowymi

Czasowo-kosztowy model priorytetowego harmonogramowania

Ograniczenia:

$$NWZ_{i+1,j} \geq NWZ_{i,j} + CT_{i,j}^{OL} - CK_{i,j}^{OL}$$

$$NWZ_{i+1,j} \leq NWZ_{i,j} + CT_{i,j}^{OU} + CK_{i,j}^{OU}$$

$$NPR_{i+1,j} \geq NPZ_{i,j} + CT_{i,j}^{OL} - CK_{i,j}^{OL}$$

$$NPR_{i+1,j} \leq NPZ_{i,j} + CT_{i,j}^{OU} + CK_{i,j}^{OU}$$

$$NWZ_{i,j+1} \geq NWZ_{i,j} + CT_{i,j}^{BL} - CK_{i,j}^{BL}$$

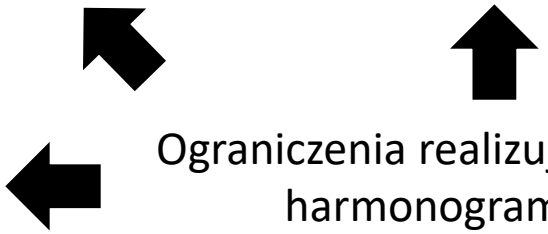
$$NWZ_{i,j+1} \leq NWZ_{i,j} + CT_{i,j}^{BU} + CK_{i,j}^{BU}$$

$$NPR_{i,j+1} \geq NPZ_{i,j} + CT_{i,j}^{BL} - CK_{i,j}^{BL}$$

$$NPR_{i,j+1} \leq NPZ_{i,j} + CT_{i,j}^{BU} + CK_{i,j}^{BU}$$

$$S_p \geq P_p + CT_p^{AL} - CK_p^{AL}$$

$$S_p \leq P_p + CT_p^{AU} + CK_p^{AU}$$



Ograniczenia realizujące koncepcje harmonogramowania priorytetowego

Czasowo-kosztowy model priorytetowego harmonogramowania

Ograniczenia zawiązane z terminami dyrektywnymi

$$NWZ_{i,m} - p_i + n_i = Td_i$$

$$NWZ_{n,m} = NPZ_{n,m}$$

Termin najwcześniejszy równy terminowi najpóźniejszemu całego przedsięwzięcia

Ograniczenia:

$$NWR_{i,1} \geq T_i^{SO}$$

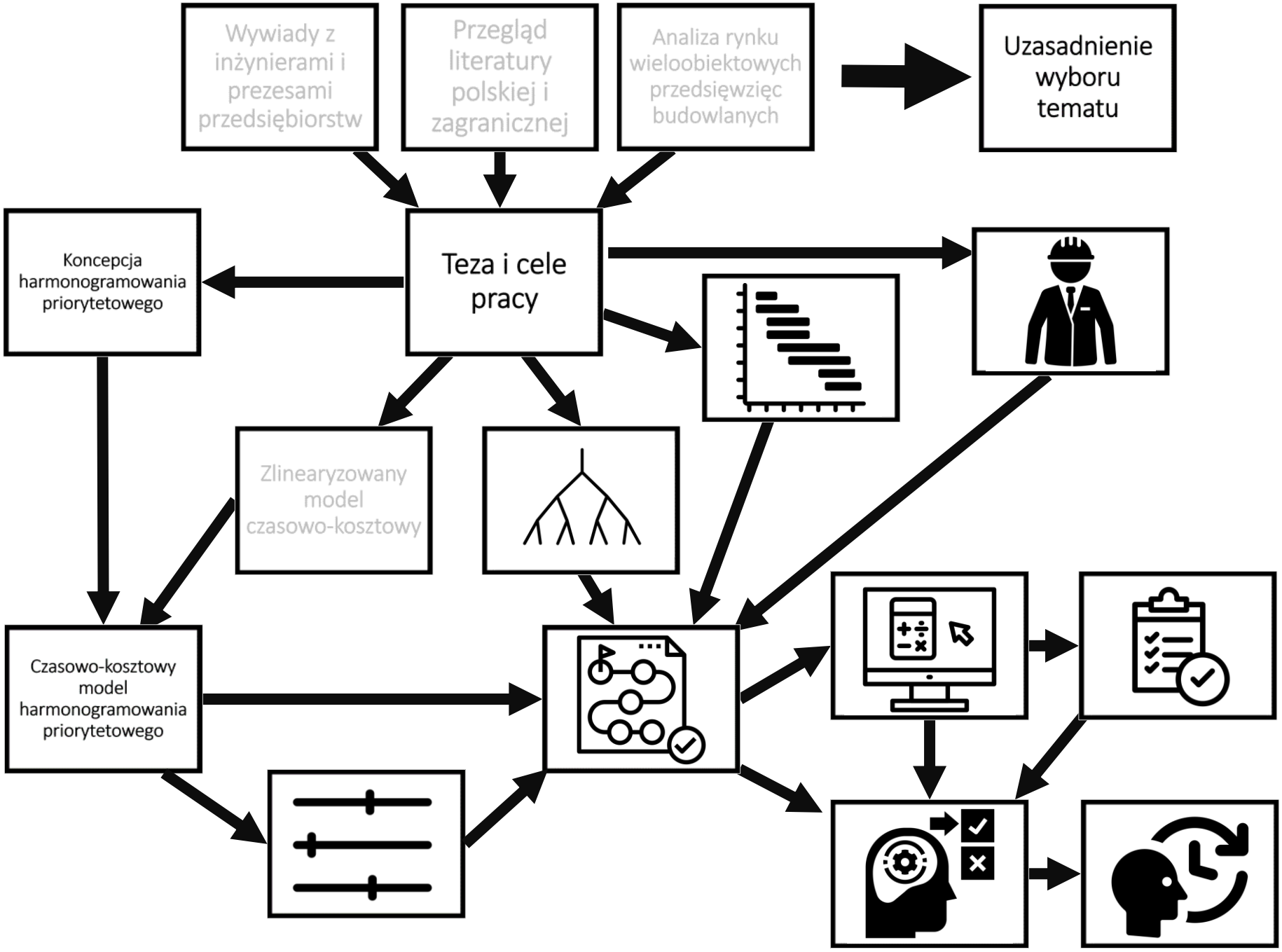
$$NPZ_{i,m} \leq T_i^{FO}$$

$$NWR_{1,j} \geq T_j^{SB}$$

$$NPZ_{n,j} \leq T_j^{FB}$$

Ograniczenia w terminach dostępności brygad i obiektów

$$t_{i,j}, d_{i,j,s}, NWR_{i,j}, NWZ_{i,j}, NPR_{i,j}, NPZ_{i,j}, ZC_{i,j}, CK_{i,j}^{OL},$$
$$CK_{i,j}^{OU}, CK_{i,j}^{BL}, CK_{i,j}^{BU}, CK_p^{AL}, CK_p^{AU}, p_i, n_i \geq 0$$

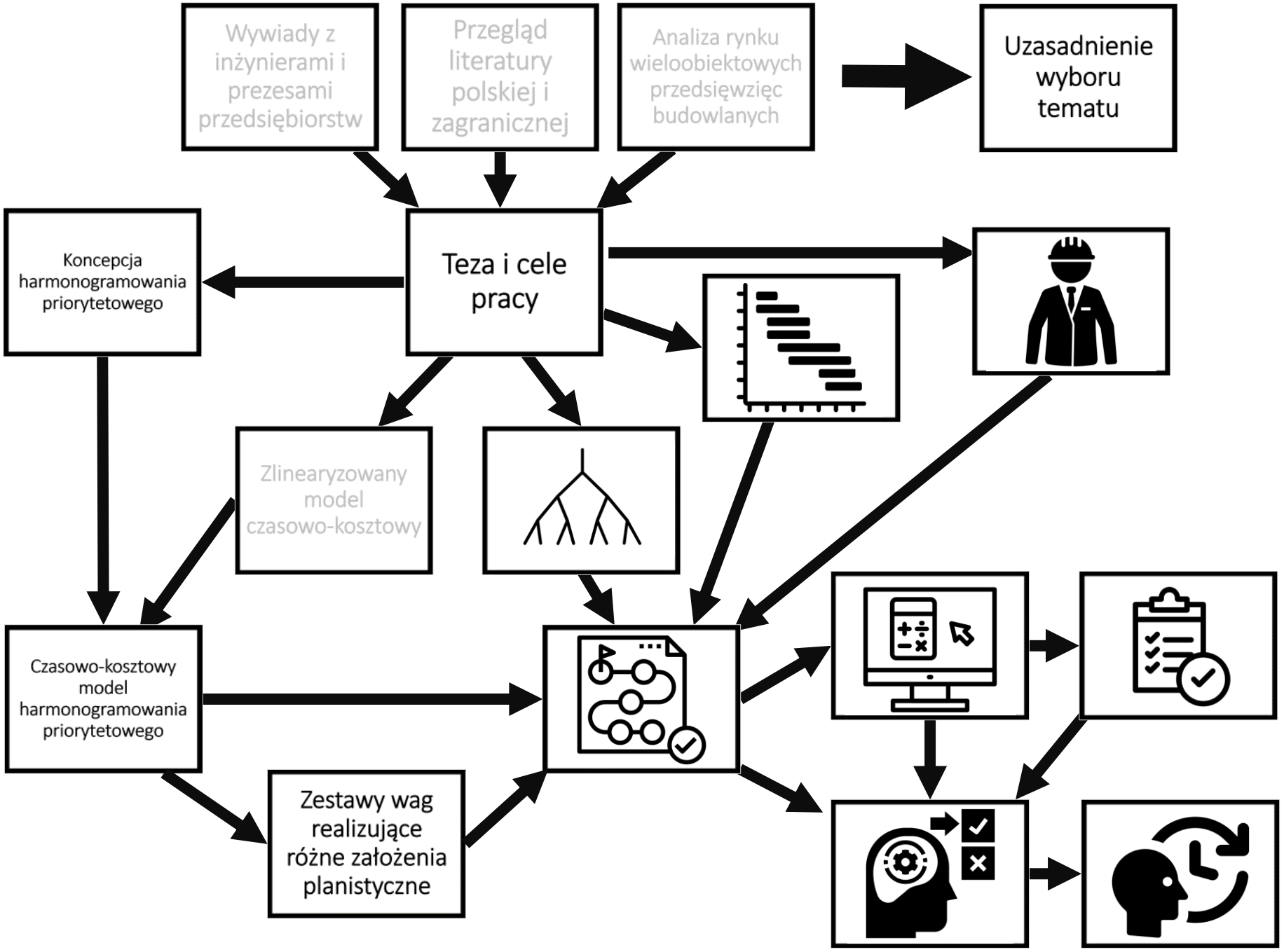

Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego

Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

Zestawy wag realizujących różne założenia planistyczne

Oznaczenie	Opis efektu planistycznego
A.1	Ograniczenia jak w metodzie CPM
A.2	Ciągłość realizacji procesów dla brygad
A.3	Ciągłość realizacji procesów na obiektach
A.4	Ciągłość realizacji procesów na obiektach $\bar{\bar{o}} \in \bar{\bar{O}}$ oraz ciągłość realizacji procesów dla brygad $\bar{\bar{b}} \in \bar{\bar{B}}$
A.5	Możliwość wykonywania procesów na różnych obiektach przez jedną brygadę, z s-dniowym nakładaniem się czynności
A.6	Możliwość wykonywania procesów na jednym obiekcie przez kilka brygad, z s-dniowym nakładaniem się czynności
B.1	Ograniczenia jak w metodzie CPM z uwzględnieniem sprzężeń diagonalnych dla terminów najwcześniejszych
B.2	Ograniczenia jak w metodzie CPM z uwzględnieniem sprzężeń odwrotnych diagonalnych dla terminów najwcześniejszych rozpoczęcia
B.3	Ograniczenia jak w metodzie CPM z uwzględnieniem zerowych sprzężeń diagonalnych łączących najwcześniejsze terminy rozpoczęcia i zakończenia robót
C.3	Ograniczenia dochowane w podanej kolejności: 1) ograniczenia metody CPM 2) zerowe sprzężenia diagonalne pomiędzy najwcześniejszymi terminami zakończenia pomiędzy robotami O3 B1, O2 B2, O1 B3 3) ciągłość pracy brygady B3 4) ciągłość pracy na obiekcie O2 5) ciągłość pracy brygady B2 + 7 dodatkowych

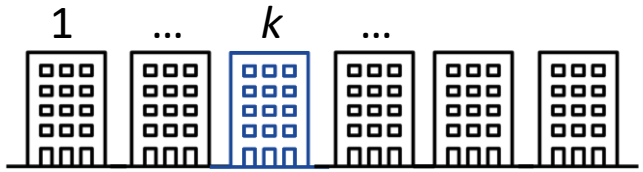
Tabela 1. Przykładowe zestawy wag realizujących różne założenia planistyczne


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

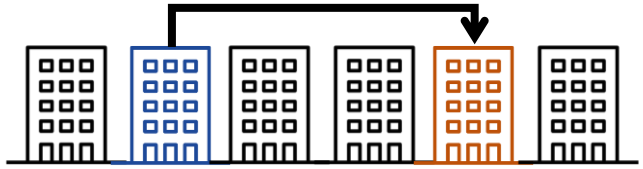
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS

Metoda optymalizacji dyskretnej – dodatkowe ograniczenia

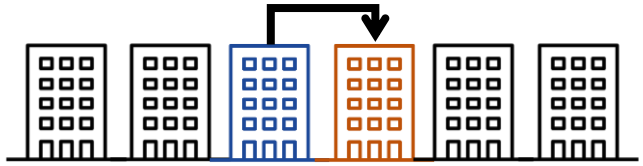
i=k – obiekt o indeksie i ma być zrealizowany k-ty w kolejności



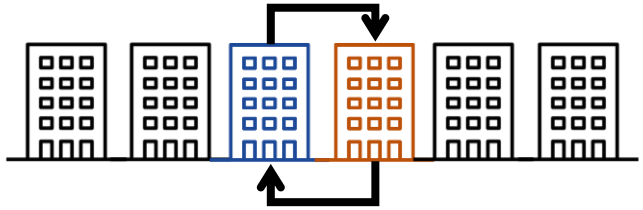
i>>j – obiekt o indeksie j ma być wykonany po obiekcie o indeksie i



i>j – obiekt o indeksie j ma być wykonany bezpośrednio po obiekcie o indeksie i



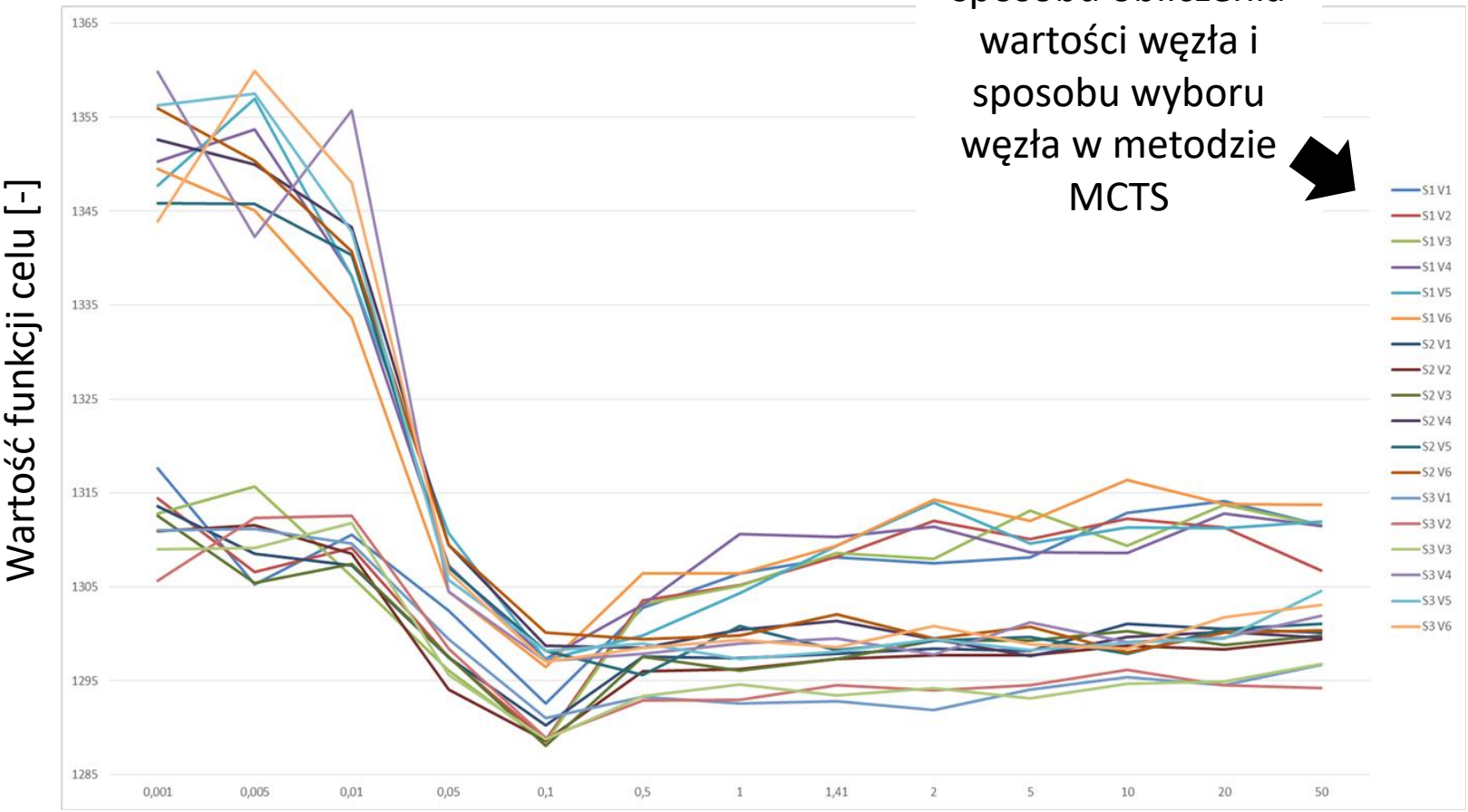
i<>j – obiekty o indeksie i oraz j mają być zrealizowane jeden po drugim (albo j od razu po i, albo i od razu po j)



i_j_k_l… – obiekty o indeksach i,j,k,l... mają być realizowane jako jedna grupa (np. i,j,k,l…; j,i,k,l…;k,l,i,j…)

Metoda optymalizacji dyskretnej - parametry metody

Różne kombinacje sposobu obliczenia wartości węzła i sposobu wyboru węzła w metodzie MCTS



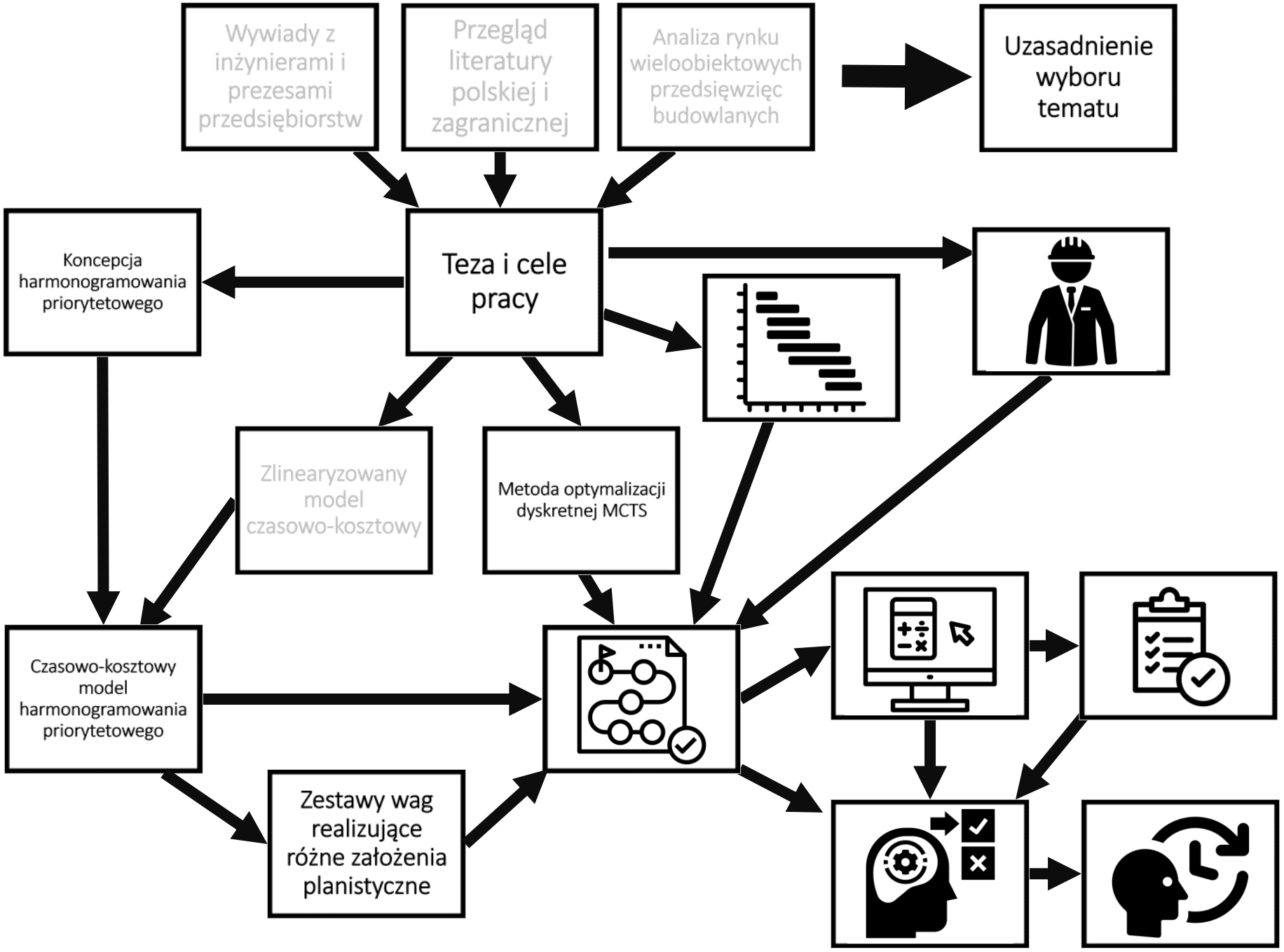
Wartość parametru C

Rysunek 3. Przegląd skuteczności parametrów metody MCTS

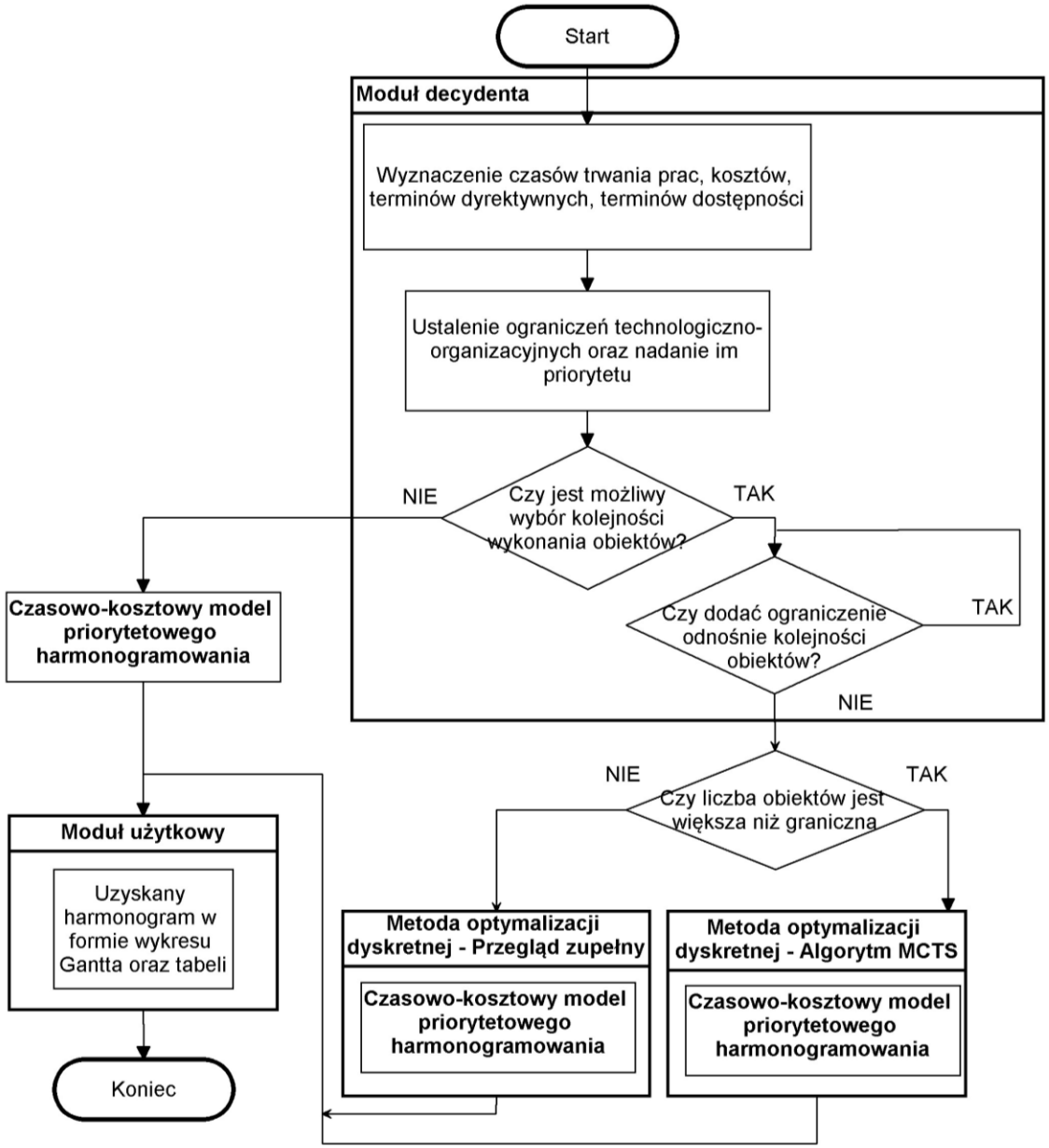
Moduł optymalizacji dyskretnej - porównanie z inną metodą

Nazwa przykładu	Najlepsze znane rozwiązanie [dni]	Średnie rozwiązanie MC [dni]	Błąd względny średniej wartości MC [%]	Średnie rozwiązanie MCTS [dni]	Błąd względny średniej wartości MCTS [%]
ta006	1195	1240	3,48	1213,6	1,47
ta015	1419	1543,2	8,46	1519,0	7,05
ta027	2273	2404,4	5,60	2352,0	3,48
ta041	2991	3390,5	12,89	3251,4	8,71
ta062	5268	5426,5	2,97	5374,4	2,02
ta073	5676	6159,4	8,54	6063,4	6,83
ta092	10480	11496,1	9,46	11327,8	8,09
		Średni błąd	7,34	Średni błąd	5,38

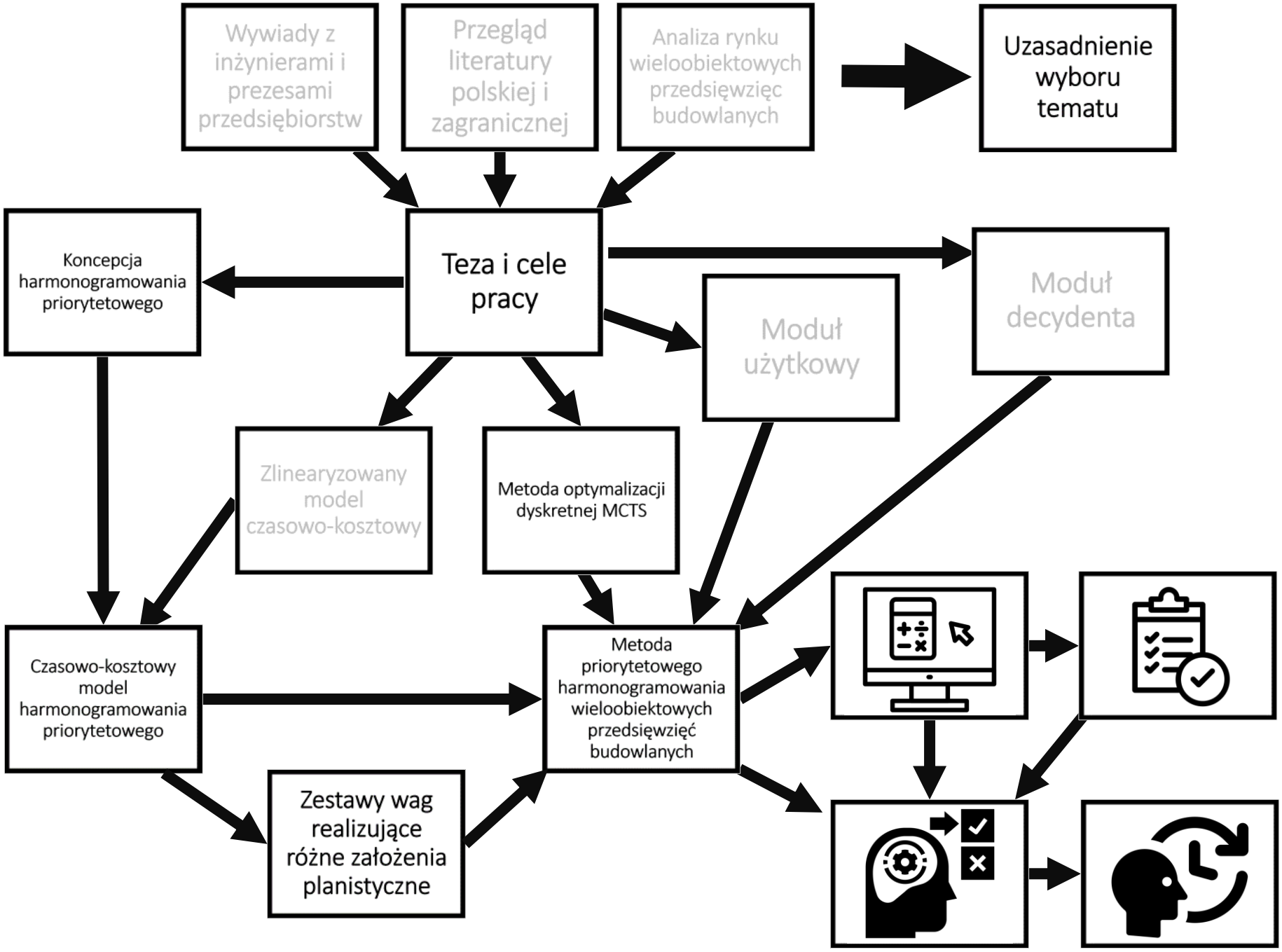
Tabela 2. Porównanie metod MC oraz MCTS


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych

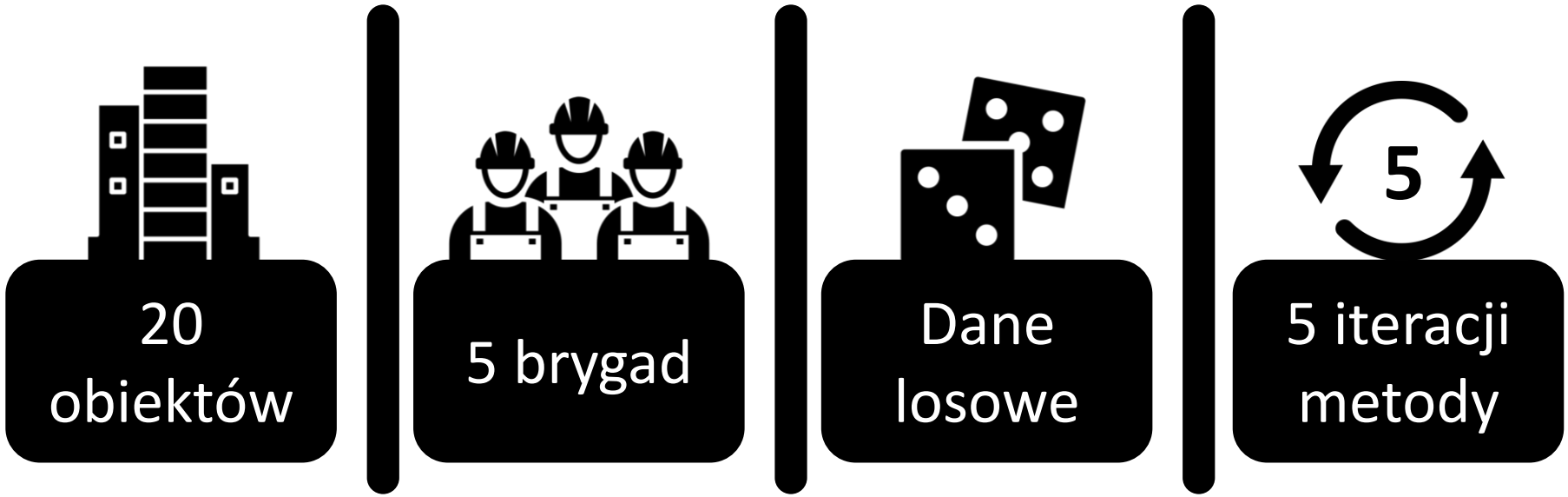


Rysunek 4. Schemat blokowy metody harmonogramowania przedsięwzięć wieloobiektowych


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Moduł użytkowy
Moduł decydenta
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

Przykład obliczeniowy

Przykład obliczeniowy – dane



Przykład obliczeniowy – założenia

Ograniczenia technologiczno-organizacyjne:

- Ciągłość pracy brygady B4
- Ciągłość na obiekcie O19
- Ograniczenia CPM

Ograniczenia kolejności wykonania obiektów:

- Obiekt O1 musi być zrealizowany jako 1 w kolejności
- Obiekt O3 musi być zrealizowany bezpośrednio po obiekcie O2
- Obiekt O4 musi być zrealizowany bezpośrednio po obiekcie O3
- Obiekt O7 musi być zrealizowany po obiekcie O6
- Obiekty O8 i O9 muszą być zrealizowane jeden po drugim
- Obiekty O10, O11 i O12 muszą być zrealizowane jako jedna grupa (jeden po drugim, ale w dowolnej kolejności)

Przykład obliczeniowy - wyniki

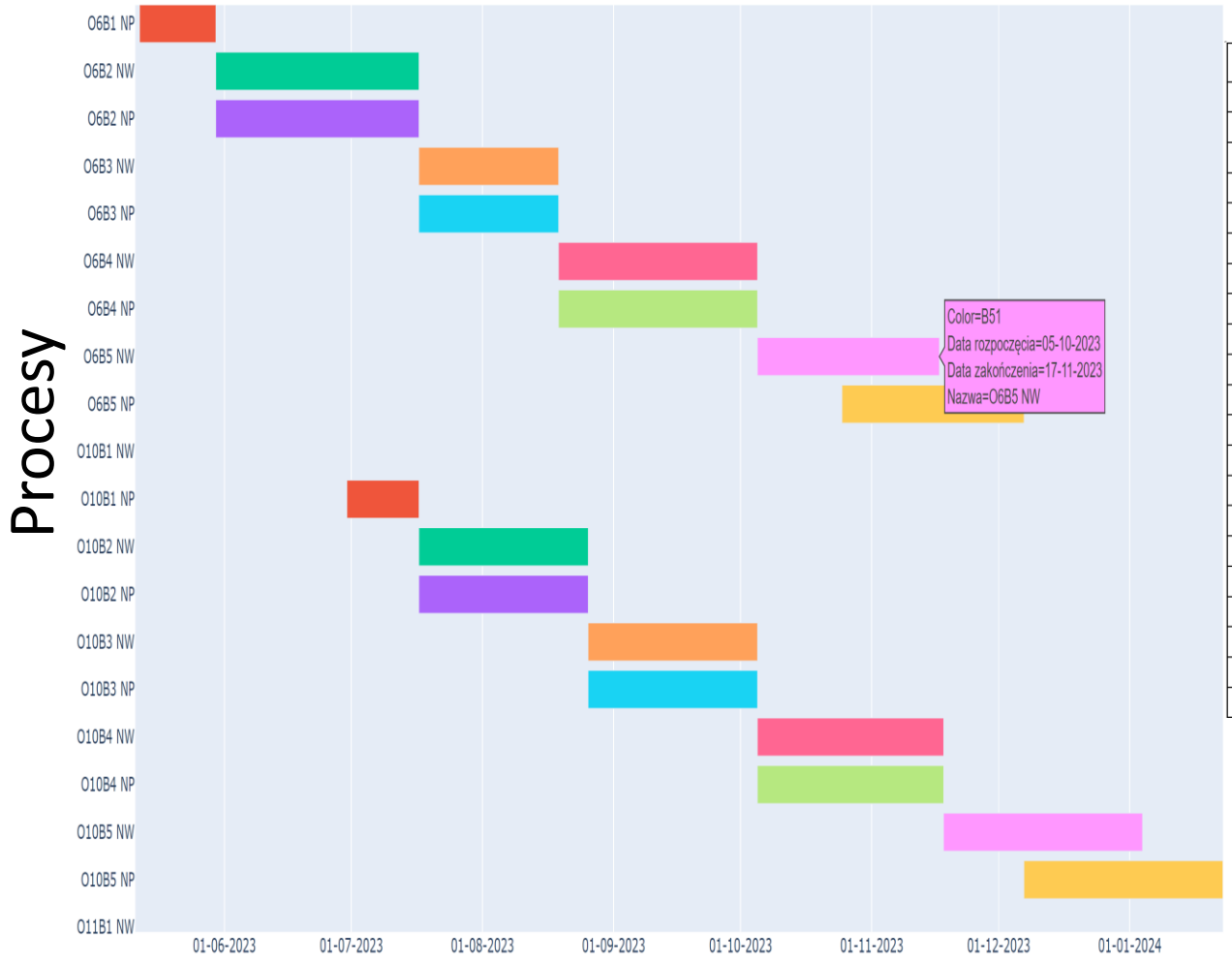
Iteracja	Uszeregowanie	Funkcja celu [-]	Koszty całkowite [tys. zł]	Czas realizacji [dni]	Niedotrzymanie ciągłości B4 [dni]	Niedotrzymanie ciągłości O19 [dni]	Niespełnienie warunków CPM [dni]
0	[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]	409267,5	9267,5	1042	0	0	40
1	[1,19,11,10,12,9,8,18,20,13,15,4,5,17,14,16,6,7,2,3]	88699,9	8699,9	1032	0	0	8
2	[1,13,9,8,19,17,11,10,12,18,14,4,5,20,16,15,2,3,6,7]	28941,4	8941,4	1041	0	0	2
3	[1,19,11,12,10,17,15,6,4,5,7,20,9,8,14,13,16,18,2,3]	88720,9	8720,9	1031	0	0	8
4	[1,18,8,9,13,15,19,17,11,10,12,6,2,3,14,20,16,7,4,5]	28792,1	8792,1	1035	0	0	2
5	[1,2,3,6,10,11,12,15,14,7,16,18,17,20,13,4,5,9,8,19]	9035,6	9035,6	1012	0	0	0

Tabela 3. Wyniki uzyskane dla przykładu obliczeniowego

Obniżenie kosztu: 2,5%
Skrócenie czasu: 2,9%

Przy zachowaniu ograniczeń technologiczno-organizacyjnych!

Przykład obliczeniowy – moduł użytkowy



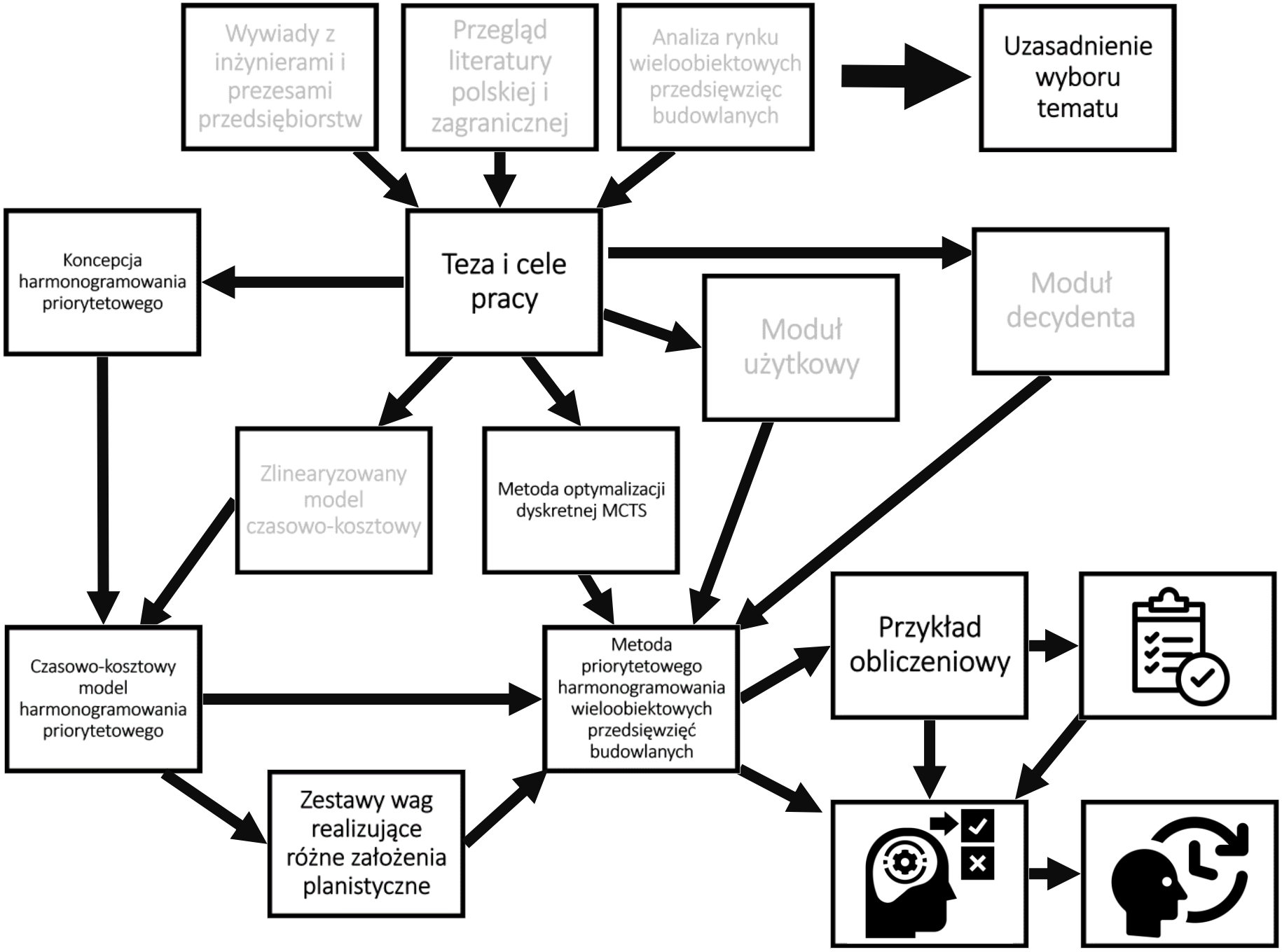
Nazwa	Najwcześniejsze rozpoczęcie	Najwcześniejsze zakończenie	Najpóźniejsze rozpoczęcie	Najpóźniejsze zakończenie
O1B1	2023-01-01	2023-01-12	2023-01-01	2023-01-12
O1B2	2023-01-12	2023-02-24	2023-01-12	2023-02-24
O1B3	2023-02-24	2023-04-09	2023-02-26	2023-04-11
O1B4	2023-04-11	2023-05-31	2023-04-11	2023-05-31
O1B5	2023-05-31	2023-07-12	2023-06-30	2023-08-11
O2B1	2023-01-12	2023-01-31	2023-02-05	2023-02-24
O2B2	2023-02-24	2023-04-12	2023-02-24	2023-04-12
O2B3	2023-04-12	2023-05-21	2023-04-22	2023-05-31
O2B4	2023-05-31	2023-07-13	2023-05-31	2023-07-13
O2B5	2023-07-13	2023-08-13	2023-08-11	2023-09-11
O3B1	2023-01-31	2023-02-20	2023-03-23	2023-04-12
O3B2	2023-04-12	2023-05-30	2023-04-12	2023-05-30
O3B3	2023-05-30	2023-07-07	2023-06-05	2023-07-13
O3B4	2023-07-13	2023-08-19	2023-07-13	2023-08-19
O3B5	2023-08-19	2023-10-02	2023-09-11	2023-10-25
O6B1	2023-02-20	2023-03-10	2023-05-12	2023-05-30
O6B2	2023-05-30	2023-07-17	2023-05-30	2023-07-17
O6B3	2023-07-17	2023-08-19	2023-07-17	2023-08-19
O6B4	2023-08-19	2023-10-05	2023-08-19	2023-10-05
O6B5	2023-10-05	2023-11-17	2023-10-25	2023-12-07
O10B1	2023-03-10	2023-03-27	2023-06-30	2023-07-17

Rysunek 5. Wykres Gantta i tabela terminów rozpoczęcia i zakończenia procesów uzyskane z zastosowaniem modułu użytkowego

Przykład obliczeniowy – przykładowy przebieg

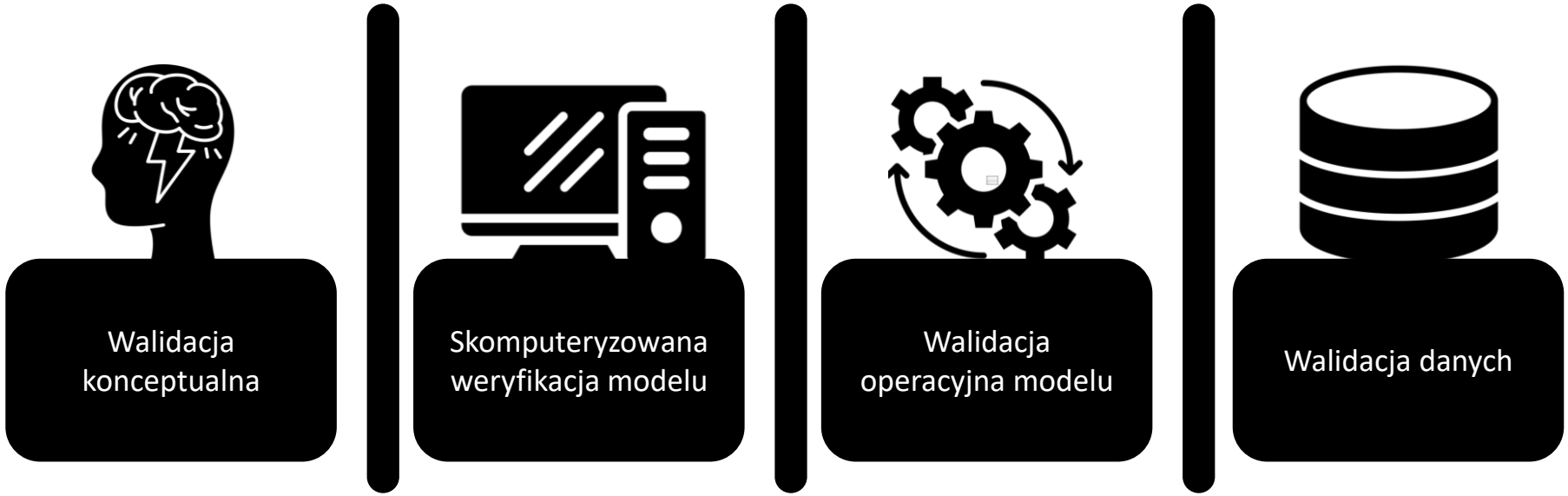
Iteracja MCTS	Funkcja celu [-]	Uszeregowanie
1	298734,1	[1, 9, 8, 17, 19, 4, 5, 16, 10, 11, 12, 2, 3, 18, 13, 6, 20, 7, 15, 14]
2	238741,4	[1, 12, 11, 10, 17, 9, 8, 20, 6, 13, 2, 3, 19, 16, 4, 5, 7, 15, 14, 18]
3	198692,1	[1, 15, 8, 9, 18, 12, 10, 11, 2, 3, 14, 17, 20, 6, 4, 5, 13, 16, 7, 19]
7	189053,1	[1, 11, 12, 10, 18, 9, 8, 15, 13, 16, 2, 3, 14, 4, 5, 19, 20, 17, 6, 7]
10	38878,5	[1, 9, 8, 12, 10, 11, 14, 6, 18, 16, 4, 5, 15, 13, 20, 17, 2, 3, 19, 7]
107	29418,9	[1, 2, 3, 6, 10, 12, 11, 14, 18, 4, 5, 8, 9, 15, 20, 16, 13, 19, 17, 7]
37014	28955,8	[1, 2, 3, 6, 10, 11, 12, 15, 14, 8, 9, 13, 7, 20, 18, 17, 4, 5, 16, 19]
37277	9400,6	[1, 2, 3, 6, 10, 11, 12, 15, 14, 7, 13, 18, 4, 5, 16, 17, 20, 9, 8, 19]
37284	9166,2	[1, 2, 3, 6, 10, 11, 12, 15, 14, 7, 16, 17, 20, 18, 8, 9, 4, 5, 13, 19]
37285	9035,6	[1, 2, 3, 6, 10, 11, 12, 15, 14, 7, 16, 18, 17, 20, 13, 4, 5, 9, 8, 19]

Tabela 4. Przebieg algorytmu dla iteracji 5.


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Moduł użytkowy
Moduł decydenta
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych
Przykład obliczeniowy
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

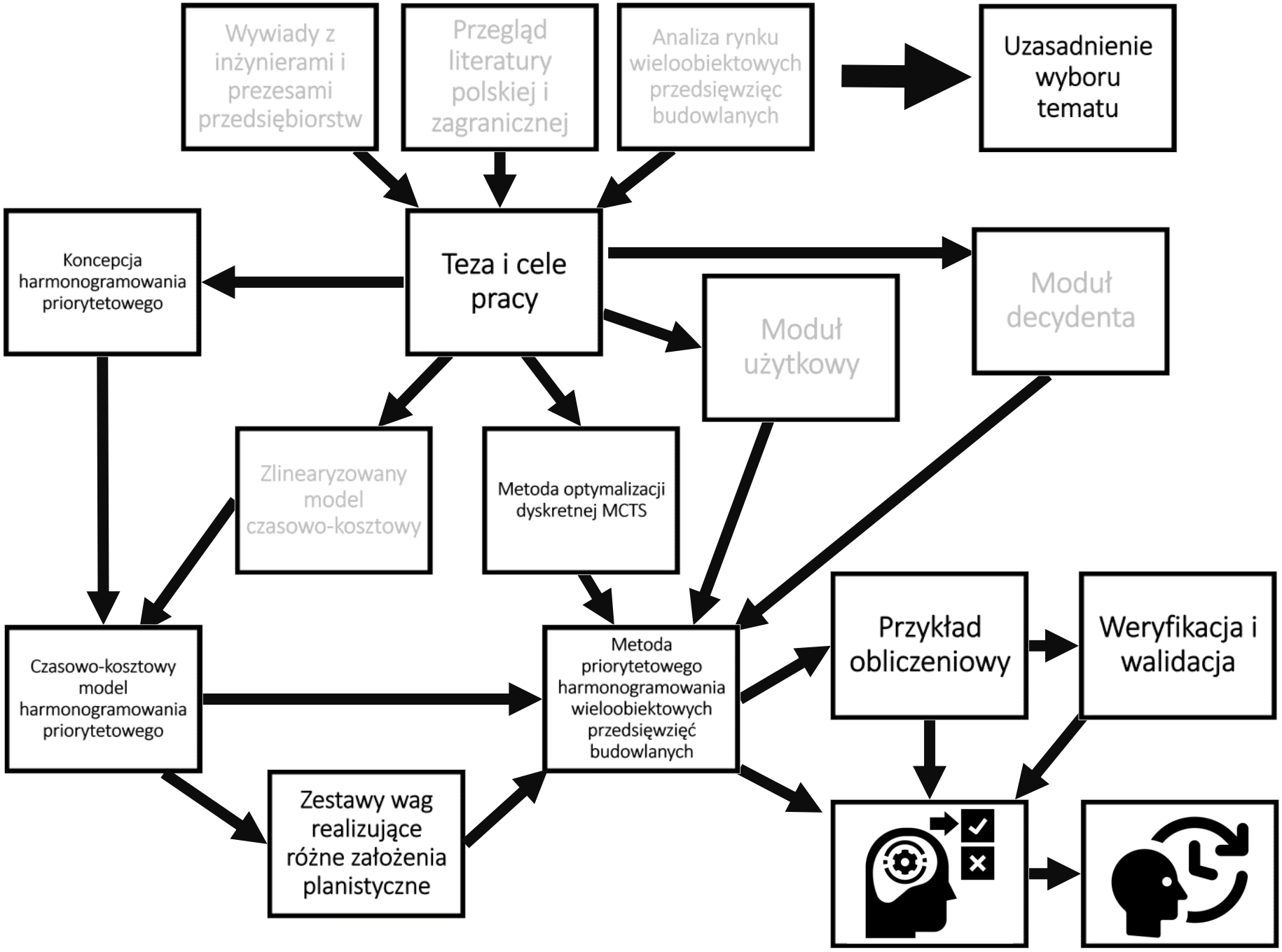
Weryfikacja i walidacja

Weryfikacja i walidacja



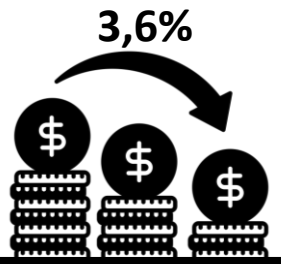
Weryfikacja i walidacja – analiza wrażliwości

		Zmiana [%]							
	Zmiana parametru o:	-10,00		-1,00		1,00		10,00	
		Koszt	Czas	Koszt	Czas	Koszt	Czas	Koszt	Czas
Zmieniany parametr	czas graniczny	-16,76	-9,74	-2,73	-0,98	3,18	0,98	46,98	9,89
	koszt graniczny	-5,70	0,00	-0,57	0,00	0,57	0,00	5,70	0,00
	parametry czasu związane z zlinearyzowanym modelem czasowo-kosztowym	2,89	-0,07	0,26	-0,02	-0,25	0,00	-2,42	0,01
	parametry kosztu związane z zlinearyzowanym modelem czasowo-kosztowym	0,77	-0,07	0,08	0,00	-0,08	0,00	-0,79	0,13
	koszt pośredni	-4,68	0,10	-0,47	0,00	0,47	0,00	4,68	-0,07
	koszt niedotrzymania terminu dyrektywnego	-0,59	0,00	-0,06	0,00	0,06	0,00	0,58	0,00
	koszt przedwczesnego wykonania obiektu	0,19	0,00	0,02	0,00	-0,02	0,00	-0,19	-0,07
	koszt nieciągłości	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	termin dyrektywny	40,54	-0,10	2,48	0,00	-2,08	0,00	-11,30	0,13
	termin dostępności brygad, termin dostępności obiektów, parametry związane z harmonogramowaniem priorytetowym	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

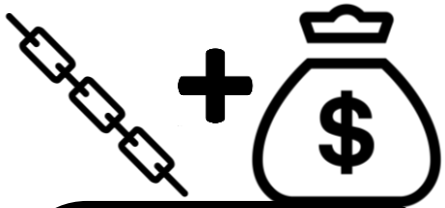

Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Moduł użytkowy
Moduł decydenta
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych
Przykład obliczeniowy
Weryfikacja i walidacja
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne

Wnioski

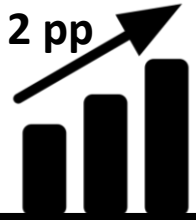
Wnioski



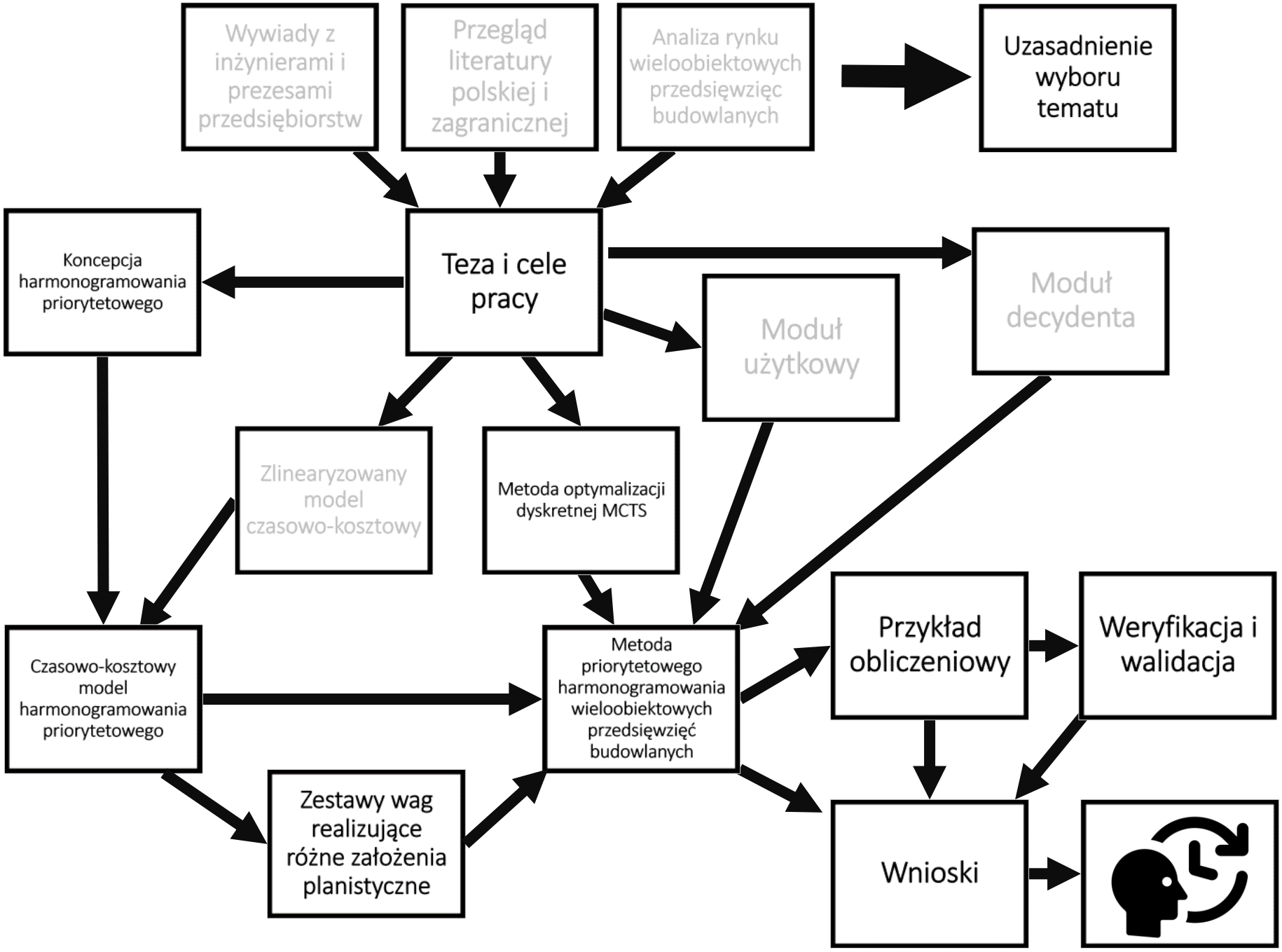
Opracowana metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych okazała się efektywna w minimalizacji kosztów całkowitych (średnio o ok. 3,6%)



Opracowany czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego pozwala dochować narzuconych przez decydenta ograniczeń technologiczno-organizacyjnych w sposób priorytetowy, uwzględniając koszty bezpośrednie, pośrednie, kary za niedotrzymanie terminów dyrektywnych, nagrody za wcześniejsze zrealizowanie obiektów oraz kary za nieciągłość pracy brygad



Opracowana zmodyfikowana metoda MCTS osiąga zadowalające rezultaty oraz pozwala znajdować suboptymalną kolejność wykonania obiektów przy założonych ograniczeniach (o 2p.p. lepsze wyniki niż metoda MC)


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Moduł użytkowy
Moduł decydenta
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych
Przykład obliczeniowy
Weryfikacja i walidacja
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne
Wnioski

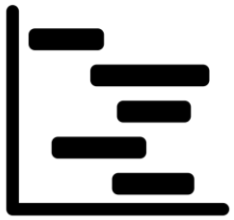
Kierunki dalszych badań

Kierunki dalszych badań

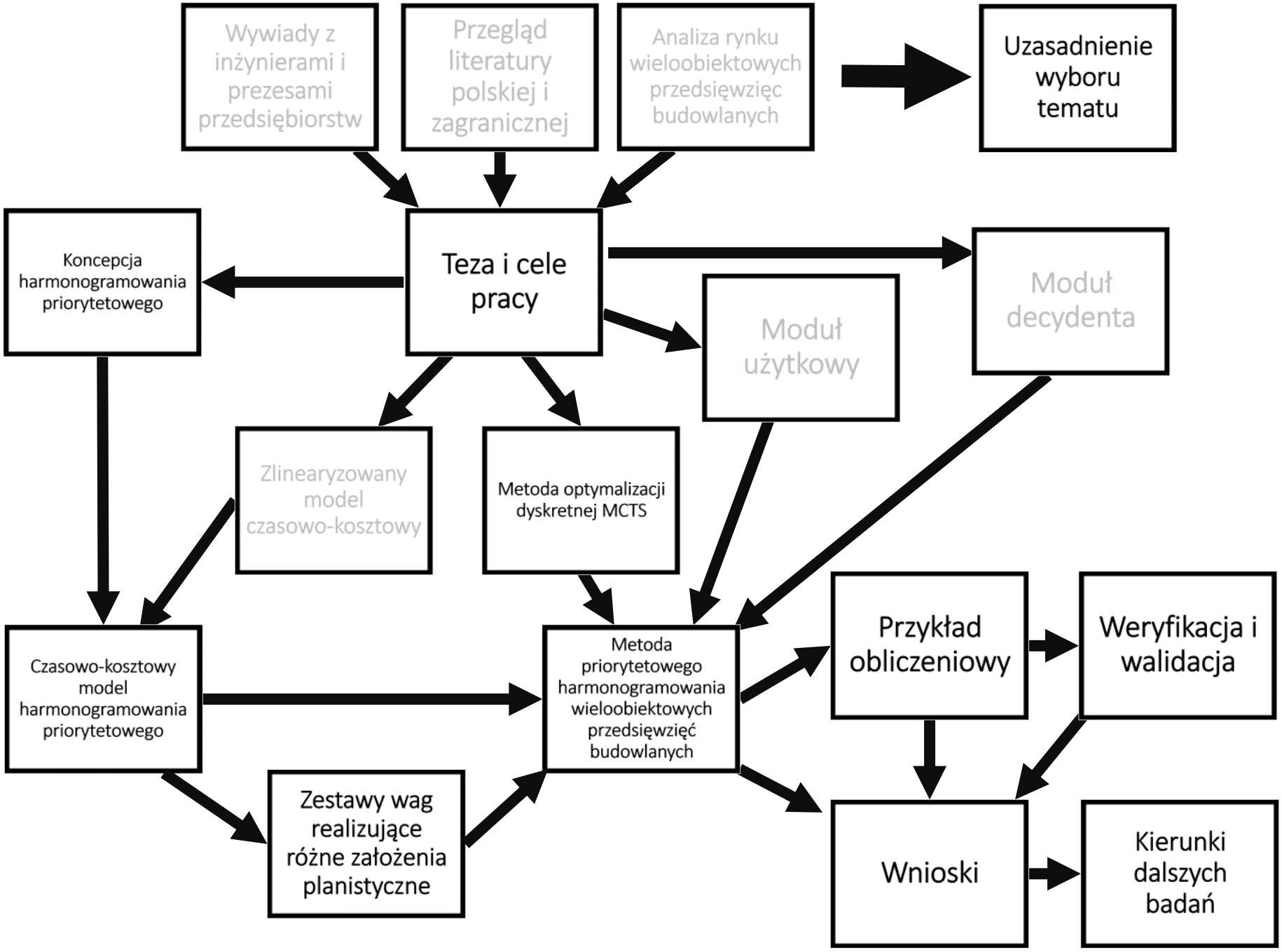
Modyfikacja modelu w celu uwzględnienia danych w postaci niedeterministycznej – probabilistycznej lub rozmytej

Rozszerzenie metody oraz modelu o możliwość wykonywania konkretnych procesów przez więcej niż jedną wyspecjalizowaną brygadę roboczą

Opracowanie skuteczniejszej metody optymalizacji dyskretnej, uwzględniającej narzucone ograniczenia kolejności wykonania obiektów



Opracowanie interfejsu granicznego użytkownika i/lub integracja opracowanego modelu z programem do harmonogramowania jak Microsoft Project


Wywiady z inżynierami i prezesami przedsiębiorstw
Przegląd literatury polskiej i zagranicznej
Analiza rynku wieloobiektowych przedsięwzięc budowlanych
Uzasadnienie wyboru tematu
Koncepcja harmonogramowania priorytetowego
Teza i cele pracy
Moduł użytkowy
Moduł decydenta
Zlinearyzowany model czasowo-kosztowy
Metoda optymalizacji dyskretnej MCTS
Czasowo-kosztowy model harmonogramowania priorytetowego
Metoda priorytetowego harmonogramowania wieloobiektowych przedsięwzięć budowlanych
Przykład obliczeniowy
Weryfikacja i walidacja
Zestawy wag realizujące różne założenia planistyczne
Wnioski
Kierunki dalszych badań