

Ryzyko w planowaniu działań inżynieryjno-budowlanych realizowanych przez jednostki zhierarchizowane

Mgr inż. Radosław Sekunda, Wojskowa Akademia Techniczna,
dr hab. inż. Roman Marcinkowski, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Politechniki Warszawskiej

1. Wprowadzenie

W literaturze z zakresu metodologii planowania [1, 2, 4, 11, 15, 22] sformułowano wiele zasad, wskazówek i modeli procesów planistycznych. W praktycznych sytuacjach decyzyjnych, wyróżniamy dwie formy planowania działalności inżynieryjno-budowlanej:

- planowanie operacyjne, którego celem jest ustalenie wykonalności zadań stanowiących przedmiot analiz planistycznych;
- planowanie przedsięwzięć i produkcji, którego celem jest przygotowanie harmonogramu realizacji przedsięwzięcia.

Skierujmy swoją uwagę na planowanie operacyjne, które ma charakter doraźny, interwencyjny – realizowany w sytuacjach kryzysowych przez zasoby zorganizowane w celowo zorientowane struktury. Zajmijmy się problemem planowania wykonania zadań inżynieryjno-budowlanych zlokalizowanych na określonych frontach robót przez jednostki zhierarchizowane. Zadania na frontach robót niech mają narzucone terminy realizacji (od – do) i wyliczoną pracochłonność, a zasoby będące w dyspozycji planującego działania są określone ilościowo na zdefiniowanej strukturze (zespoły, kompanie, brygady). Zadaniem planisty jest ustalenie realizatorów robót na poszczególnych frontach roboczych tak, aby wykonać zadania w ramach tych frontów przy uwzględnieniu występujących ograniczeń.

Problem zarządzania zasobami złożonymi był rozpatrywany w przeszłości [14, 15, 16, 18, 23], jednak do tej pory nie opracowano ścisłych podstaw naukowych oraz narzędzi praktycznych na potrzeby takiego planowania. Analizę identyfikacyjną problemu planowania operacyjnego, istotę złożonej struktury zasobów oraz model bilansowania złożonych zasobów czynnych w warunkach deterministycznych opisano w pracy [17].

Warto zauważyć, że **struktury złożone** to najczęściej jednostki zmilitaryzowane, które zwykle prowadzą działania w sytuacjach kryzysowych (katastrofy, klęski żywiołowe,

działania wojenne itp.), a więc w sytuacjach obciążonych **niepewnością co do przebiegu robót**. Dlatego też podczas planowania takich działań należy liczyć się z możliwością wystąpienia zakłóceń na etapie wykonywania robót – ryzyka czasu, nakładów pracy i sprawności zasobów.

W artykule przedstawiono oryginalną propozycję analizy niepewności i ryzyka planowania operacyjnego działań inżynieryjno-budowlanych realizowanych przez jednostki zhierarchizowane. Propozycje metodyczne oparto na założeniach teorii ograniczeń (TOC) oraz idei metod stosowanych w kontroli postępu realizacji przedsięwzięć w zarządzaniu projektami. Przedstawiona metoda analizy ryzyka pozwala na uwzględnienie niepewności przyjętej sytuacji decyzyjnej już na etapie planowania robót – poprzez określenie składu rezerwy zasobowej. Natomiast na etapie wykonywania zadań na frontach roboczych – umożliwia kontrolę postępu realizacji robót i podjęcie niezbędnych działań korygujących, gwarantujących dotrzymanie terminów dyrektywnych realizacji poszczególnych frontów roboczych. Kwantyfikacja ryzyka i jego ocena dokonana została na kanwie matematycznego modelu planowania operacyjnego opisanego w pracy [17].

2. Alokacja hierarchicznej struktury zasobów do wykonania zadań

Przytoczmy ideę metody bilansowania zasobów do realizacji zadań na frontach robót opisaną szczegółowo w publikacji [17]. Planista ma do dyspozycji złożoną (hierarchicznie zorganizowaną) strukturę zasobów, którą będzie alokował w funkcji czasu na fronty robót do wykonania tam realizowanych zadań o określonej pracochłonności.

Alokacja zasobów na fronty robót dokonywana jest poprzez przydziały określonych jednostek zasobowych (ze struktury hierarchicznej), a bilansowanie zasobów odbywa się przez pryzmat zasobów podstawowych. Przedstawmy krótko model postępowania.

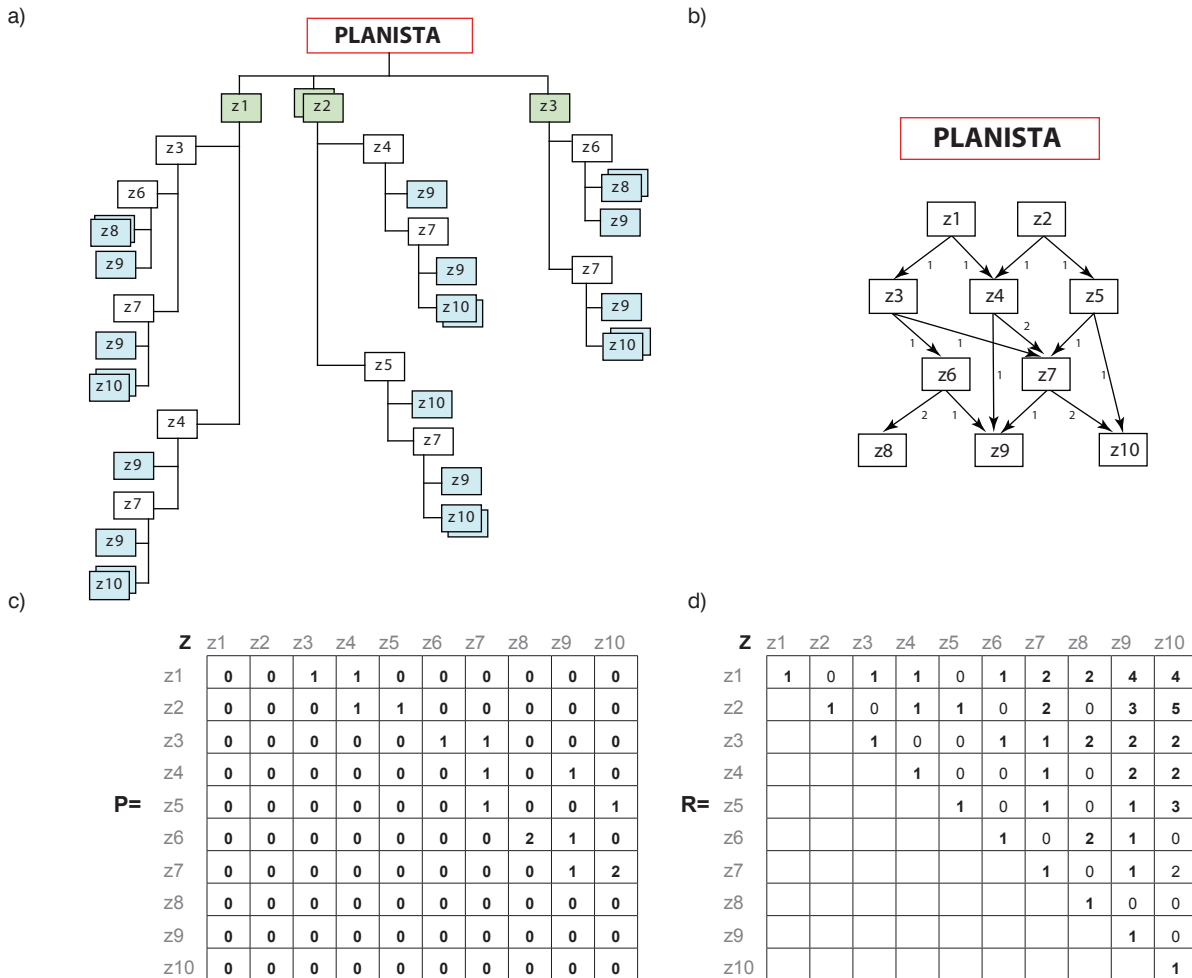
2.1. Model realizatora zadań inżynierijno-budowlanych

Do realizacji zadań inżynierijno-budowlanych na frontach robót wykorzystywane będą zasoby zorganizowane w strukturę zhierarchizowaną. Niech nazwy zasobów czynnych tworzą zbiór: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k, \dots, z_z\}$. Hierarchię struktury zasobów określa macierz *podległości* $P = [p_{sk}]_{z \times z}$, w której: p_{sk} – oznacza liczbę jednostek zasobu o indeksie $k: z_k \in Z$, w każdej jednostce zasobu o indeksie $s: z_s \in Z$, pozostających w bezpośredniej podległości. W modelu wyróżnić można **zasoby podstawowe**, które nie mają w swojej strukturze zasobów szczebla niższego. Stanowią one pewien podzbiór Z' zbioru Z , w którym dla elementów zbioru Z zachodzi zależność: $\sum_{k=1}^z p_{sk} = 0$. Pozostałe zasoby – to **zasoby złożone**. Zarówno zbiór Z jak i macierz P uszeregowane są topologicznie, tzn. indeksy zasobów nadawane są od góry hierarchii. Istotę złożoności (hierarchii) zasobów przedstawia poglądowo rysunek 1. Na podstawie macierzy P określa się tzw. „macierz stanu jednostek organizacyjnych”: $R = [r_{sk}]_{z \times z}$, w której elementy macierzy przyjmują wartości:

$$r_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{dla elementów dla których } k < s \\ 1 & \text{dla elementów dla których } k = s \\ \sum_{i=s}^{k-1} p_{ik} \cdot r_{si} & \text{dla elementów dla których } k = s + 1, s + 2, \dots, z. \end{cases} \quad (1)$$

Elementy macierzy R są rozwinięciem macierzy P , prowadzącym do ustalenia liczby jednostek zasobu o indeksie $k: z_k \in Z$ w każdej jednostce zasobu o indeksie $s: z_s \in Z$. Elementy tej macierzy określają też liczbę zasobów podstawowych, które zawiera analizowana struktura. Jest to istotna informacja z punktu widzenia bilansowania zasobów.

Punktem wyjścia do planowania przedsięwzięć jest określenie stanu posiadania zasobów – w naszym przypadku – jednostek organizacyjnych. Stan posiadania zasobów: $\{z_1, z_2, \dots, z_k, \dots, z_z\}$ w aspekcie ilościowym, opisuje *macierz struktury złożonej* $Q = [q_{kt}]_{z \times h}$, w której: q_{kt} określa liczbę addytywnych jednostek zasobu o indeksie $k: z_k \in Z$ dostępnych w jednostce czasu $t = 1, 2, \dots, H$ (gdzie: H – horyzont czasu planowania). Elementy q_{kt} są określane dynamicznie w toku planowania, uwzględniając zajętość zasobów już przydzielonych do realizacji zadań na frontach robót i strukturę zasobów.



Rys. 1. Hierarchiczny układ struktury zasobów realizatora (przykład), a) schemat organizacyjny realizatora, b) graf opisujący hierarchię zasobów, c) interpretacja macierzowa – macierz P, d) macierz stanu jednostek organizacyjnych – macierz R

2.2. Model struktury i zakresu zadań inżynierjno-budowlanych

Do planowania działań określona powinna być baza wiedzy o zadaniach. W modelu przyjmijmy, że podstawowymi jednostkami kalkulacyjnymi w planowaniu działań są zadania tworzące zbiór $O = \{o_1, o_2, \dots, o_p, \dots, o_n\}$, dla których określono normatywne nakłady pracy. Nakłady te niech opisuje macierz: $N = [n_{ik}]_{n \times z}$, w której n_{ik} – oznacza nakład czasu pracy (w przyjętych jednostkach czasu, np. godzinach lub dniach) zasobu typu $k: z_k \in Z$ dla realizacji przyjętej jednostki obmiarowej zadania $i: o_i \in O$. Zasoby występujące w jednym zadaniu są zawsze zasobami addytywnymi, mogącymi stanowić jednocześnie elementy zespołu roboczego (utworzonego do różnie dla potrzeb realizacji zadania).

Zadania inżynierjno-budowlane w danej sytuacji planistycznej określone są dla frontów robót. Niech nazwy frontów robót tworzą zbiór: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_p, \dots, f_n\}$, a dla każdego frontu znany jest zakres robót, który określony zostanie przez pryzmat zbioru zadań O . Znana jest więc macierz: $K = [k_{ij}]_{n \times m}$, w której k_{ij} – określa liczbę jednostek obmiarowych zadania $o_i \in O$ do wykonania w ramach frontu robót $j: f_j \in F$. Wartości k_{ij} są przedmiotami robót.

Na podstawie znanych nakładów (macierzy N) oraz przedmiaru robót (rodzaju i liczby zadań w ramach określonych frontów roboczych) – macierz K obliczyć można pracochłonność zadań na poszczególnych frontach robót:

$$w_{kj} = \sum_{i=1}^n n_{ik} \cdot k_{ij}, \tag{2}$$

gdzie w_{kj} oznacza nakład czasu pracy zasobu typu $k: z_k \in Z$ do wykonania zadań w ramach frontu $j: f_j \in F$.

Wartości elementów w macierzy W określają więc liczbę addytywnych (niezależnych od siebie) jednostek zasobowych ze struktury zasobów.

W celu określenia pracochłonności frontów robót przez pryzmat zasobów podstawowych (co jest istotne do bilansowania zasobów na frontach robót), uwzględnić należy wewnętrzną strukturę zasobów („zagnieżdzenie zasobów”), których wymaganą liczbę zawiera macierz W . W tym celu generowana zostaje macierz: $W' = [w'_{kj}]_{z \times m}$, w której elementy w'_{kj} przyjmują wartości:

$$\begin{aligned} w'_{1j} &= w_{1j} && \text{dla } j = 1, 2, \dots, m; \\ w'_{kj} &= w_{kj} = \sum_{i=1}^{k-1} p_{ik} \cdot w_{ij}, && \text{dla } k = 2, 3, \dots, z \\ &&& \text{dla } j = 1, 2, \dots, m; \end{aligned} \tag{3}$$

Zakładamy, że wszystkie fronty robót mają określone dyrektywne terminy realizacji (od – do): $\langle e_j^s, e_j^f \rangle$, gdzie: „ e_j^s ” oznacza najwcześniejszy możliwy termin rozpoczęcia prac na froncie $j: f_j \in F$, a „ e_j^f ” oznacza najpóźniejszy dopuszczalny termin zakończenia prac na froncie $j: f_j \in F$. Terminy te mają wpływ na określenie niezbędnej liczby zasobów, którą należy skierować na poszczególne

fronty robót. Krótki przedział czasowy implikuje potrzebę spiętrzenia prac – skierowania większej ilości zasobów na front robót. I odwrotnie: długi przedział czasowy pozwala na przydział mniejszej liczby zasobów.

2.3. Model przydziału zasobów do frontów robót

Celem analizy jest określenie **liczby jednostek zasobów podstawowych** wymaganych na poszczególnych frontach roboczych tak, aby dyrektywne terminy ich realizacji zostały dotrzymane. W analizie bazuje się na:

- znanej pracochłonności frontów robót w odniesieniu do szczebla zasobów podstawowych (macierz W');
- dyrektywnym czasie realizacji zadań na poszczególnych frontach roboczych: $t_d^j = e_j^s - e_j^f$.

Wymaganą **obliczeniową liczbę jednostek zasobów podstawowych** określa macierz: $B' = [b'_{kj}]_{z \times m}$, w której: b'_{kj} – określa obliczeniową liczbę zasobu o indeksie $k: z_k \in Z'$ wymaganą do realizacji zadań na froncie robót o indeksie $j: f_j \in F$ w terminie dyrektywnym. Elementy b'_{kj} przyjmują „niecałkowitoliczbowe” dodatnie wartości:

$$b'_{kj} = \frac{w'_{kj}}{e_j^f - e_j^s}, \text{ dla } k: z_k \in Z', \text{ dla } j: f_j \in F \tag{4}$$

Zapotrzebowanie poszczególnych frontów roboczych określone wartościami całkowitoliczbowymi jednostek zasobów podstawowych opisuje macierz B'' :

$$b''_{kj} = \text{ent} [b'_{kj}], \tag{5}$$

gdzie:

b''_{kj} – wartość całkowitoliczbowa zawsze zaokrąglana w górę do pełnych wartości.

Decyzję planującego dotyczącą przydziału zasobów na fronty robocze, opisano w metodzie macierzą: $X = [x_{kj}]_{z \times m}$, w której: x_{kj} oznacza liczbę jednostek zasobów typu $k: z_k \in Z$ alokowaną decyzyjnie przez planującego do realizacji zadań (wszystkich występujących zadań) w ramach frontu $j: f_j \in F$.

3. Zarządzanie ryzykiem w przyjętej sytuacji decyzyjnej

Przez pojęcie **ryzyka** rozumie się możliwość wystąpienia nieoczekiwanych okoliczności powodujących **konieczność weryfikacji pierwotnych decyzji w zakresie alokacji zasobów** do realizacji zadań na frontach robót, w celu **bezwzględnego dotrzymania terminów dyrektywnych**.

Celem analizy ryzyka jest kwantyfikacja niepożądanych czynników losowych mogących pojawić się w sytuacji decyzyjnej, określenie ich wpływu na przebieg realizacji prac na frontach robót w przyjętym horyzoncie planowania oraz uświadomienie planującego co do możliwości powstania zakłóceń wraz z ich charakterystyką ilościową, a także wskazanie **sposobu przeciwdziałania tym zakłóceniom**. Praktycznie cel ten sprowadza się do:

- określenia metodyki monitorowania i oceny postępu realizacji zadań na poszczególnych frontach roboczych;
- określenia zasad wyznaczenia rezerw zasobowych przeciwdziałających możliwym zakłóceniom;
- określenia zasad użycia rezerw zasobowych w celu dotrzymania terminów dyrektywnych w realizacji zadań na frontach roboczych.

Jak powiedziano wcześniej – prowadzone rozważania oparte są na teorii ograniczeń (*Theory of Constraints* – **TOC**) dostosowanej do potrzeb analizy alokacji zasobów złożonych w realizacji zadań na frontach robót z celem nadrzędnym: zapewnienia możliwie najwyższej **niezawodności dotrzymania ustalonych terminów dyrektywnych** realizacji frontów robót, **ale** przy racjonalnym poziomie alokacji zasobów. Szerzej o istocie projektowania systemu (tu: planowania działań inżynierijno-budowlanych) i procesie jego doskonalenia według pięcioetapowej procedury **TOC**, napisano m.in. w pracach [7, 8, 9].

3.1. Identyfikacja czynników ryzyka

W analizowanej sytuacji decyzyjnej niepewność z nią związaną możemy scharakteryzować poprzez poniższe obszary ryzyka.

■ **Ryzyko zasobów** (ryzyko w ocenie potencjału wykonawczego posiadanych zasobów). W tym aspekcie rozpatrujemy:

- ryzyko związane z nierównomierną wydajnością poszczególnych jednostek zasobowych tego samego rodzaju – **ze szczytła zasobów podstawowych**;
- ryzyko związane z potrzebą synchronizacji zasobów podstawowych w strukturze określonych zasobów złożonych;
- niepewność w zakresie dostępności **zasobów podstawowych** w określonych przedziałach czasowych przyjętego horyzontu planowania.

■ **Niepewność warunków i danych realizacji zadań**, a w niej:

- ryzyko związane z niepewnością danych ilościowych dotyczących norm nakładów rzeczowych, tj. nakładów czasu pracy zasobów odniesionych do przyjętych jednostek obmiaru zadań;
- ryzyko związane z niepewnością oceny zakresu robót do wykonania w ramach poszczególnych frontów (niepewność przedmiaru).

Wymienione czynniki ryzyka stanowią obszary (zarówno po stronie struktury wykonawczej, jak i po stronie zadań do wykonania), w których może wystąpić źródło zakłócenia mające wpływ na przebieg procesów realizacji zadań w ramach poszczególnych frontów robót.

3.2. Kwantyfikacja ryzyka i jego ocena

Analiza ryzyka prowadzona jest poprzez **ocenę niepewności dotrzymania terminów dyrektywnych** realizacji

zadań na frontach roboczych wraz z **zaplanowaniem działań przeciwdziałających ryzyku niedotrzymania tych terminów**. Zadanie proponuje się rozwiązać według poniższego porządku.

1. Zakłada się – jak dotychczas, że wszystkie fronty robót mają określone dyrektywne terminy realizacji zdefiniowanych na nich zbiorów zadań $\langle e_j^s, e_j^f \rangle$.
2. Na potrzeby zrealizowania zadań na frontach roboczych określana jest – według zależności (4) oraz (5) – obliczeniowa i realna liczba przydzielonych jednostek zasobów podstawowych.
3. Określana jest decyzja alokacji zasobów macierzą X oraz jej rozwinięcie do szczytła zasobów podstawowych – macierz $X^s = [x_{kj}^s]_{z \times m}$ (podobnie jak macierz R – zal. (1)). Elementy x_{kj}^s – określane tylko dla szczytła zasobów podstawowych – przyjmują wartości:

$$x_{kj}^s = \sum_{i=1}^k x_{ij} \cdot r_{ik} \quad \text{dla } k: z_k \in Z', \text{ dla } j: f_j \in F \quad (6)$$

W tym kroku spełniony musi być warunek: $x_{kj}^s \geq b_{kj}^s$ dla każdego $k: z_k \in Z'$ i każdego $j: f_j \in F$.

4. Obliczone zostają „normatywne” czasy trwania realizacji prac na frontach robót dla każdego z rodzaju zasobów podstawowych:

$$t_{kj}^p = \frac{w_{kj}^s}{x_{kj}^s}, \quad \text{dla } k: z_k \in Z', \text{ dla } j: f_j \in F.$$

Wartości czasów t_{kj}^p są więc funkcją: pracochłonności danego rodzaju zasobu w realizacji zadań na danym froncie robót oraz decyzji alokacyjnej.

5. Obliczony zostaje „normatywny” czas wykonania zadań na frontach robót. Czas ten będzie zawsze krótszy niż czas dyrektywny: $t_j^p \leq t_j^d$ i wynosi:

$$t_j^p = \max_{k: z_k \in Z'} \frac{w_{kj}^s}{x_{kj}^s}, \quad \text{dla } j = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

6. Stawiamy pytanie: **jak zapewnić eliminację zagrożeń związanych z terminowym zrealizowaniem zadań na frontach robót? Czyli:** jaką liczbę zasobów przydzielić do wykonania każdego frontu robót mając na względzie **zagrożenia** określone w procesie identyfikacji czynników ryzyka?

7. Uznajemy dalej, przyjmując założenia teorii ograniczeń (**TOC**), że termin dyrektywny (t_j^d) określony odgórnie, na podstawie którego obliczono nakłady zasobów podstawowych do realizacji zadań w ramach frontów robót, może być zrealizowany z prawdopodobieństwem **90%** sukcesu.

8. Szacujemy **najbardziej prawdopodobny czas realizacji frontu robót** przez zasób będący „wąskim gardłem”. W teorii ograniczeń, której założenia stosujemy, rezerwy czasowe są eliminowane przez ustalenie czasu najbardziej prawdopodobnego, który przy założeniu rozkładu *Beta* jest średnio o 50% krótszy od czasu szacowanego z prawdopodobieństwem 90% ($t_j^s = 0,5 t_j^d$). [3, 12].

9. Obliczamy „rezerwę zasobową” (RZ) dla zasobów podstawowych: $k: z_k \in Z'$.

Rezerwa zasobowa (RZ), wyrażona jest w postaci liczby zasobów wymaganych do zrealizowania 50% pozostałego czasu – powyżej czasu określonego z prawdopodobieństwem zrealizowania 50% (t_j^s). Rezerwę zasobową liczymy według wzoru:

$$b_{kj}^{RZ} = \text{ent} \left[\frac{w_{kj}' - (x_{kj}' \cdot 0,5 t_j^d)}{t_j^d} \right] \text{ dla } k: z_k \in Z', \text{ dla } j: f_j \in F \quad (8)$$

Tak określona liczba jednostek zasobowych ze szczybla zasobów podstawowych pozostaje „w odwodzie” do wykorzystania w razie konieczności wzmocnienia dotychczasowego zespołu zasobów.

Kiedy powstaje ta konieczność? Kiedy powstanie moment „uruchomienia” RZ?

10. Na potrzeby określenia momentu wprowadzenia zasobów z bufora RZ do realizacji zadań w ramach frontów roboczych proponuje się zastosować ideę metod opartych na kontroli postępu realizacji przedsięwzięć. Skorzystamy z idei metod: *Earned Schedule Method* [10, 13, 21, 24] oraz *Earned Value Management* [5, 6, 19, 20], wprowadzając pewne autorskie modyfikacje.

Na potrzeby kontroli postępu wykonania zadań w ramach każdego frontu robót oraz podjęcia ewentualnych działań niwelujących odchylenia niebezpieczne dla dotrzymania terminu dyrektywnego zakończenia frontu budowana jest matryca użycia rezerwy zasobowej RZ. W sposób schematyczny przedstawiono ją na rysunku 2.

Na osi rzędnych zaznaczono podziałkę stanu zaawansowania robót – wyrażoną w procentach [%]. Na osi odciętych zaznacza się czas realizacji zadań w ramach

frontu robót wraz z określeniem punktów charakterystycznych takich jak:

- czas zakończenia frontu w terminie dyrektywnym „ t_j^d ”;
- czas zakończenia robót w terminie wynikającym z decyzji alokacyjnej: „ t_j^p ”;
- najbardziej prawdopodobny czas realizacji frontu robót oparty na założeniach metody TOC: „ t_j^{sp} ”;
- punkty kontrolne (PK), w których prowadzona będzie analiza postępu wykonania zadań w ramach frontu.

Matryca budowana jest odrębnie dla każdego, rozpatrywanego w przyjętym horyzoncie planowania, frontu robót.

Na tak przygotowaną matrycę nanoszone są następujące wykresy:

- HTO – wykres postępu robót według prognozowanego czasu optymistycznego (według założeń TOC – najbardziej prawdopodobnego) „ t_j^{sp} ”;
- HTP – wykres postępu robót według prognozowanego czasu wynikającego z decyzji alokacyjnej „ t_j^p ”;
- HTD – wykres postępu robót według czasu dyrektywnego „ t_j^d ”.

Wykresy dzielą matrycę na określone strefy (patrz rys. 2). Strefa zielona jest strefą ryzyka pomijalnego, w której ryzyko w zasadzie nie występuje i może nie być brane pod uwagę na danym etapie analizy. Strefa żółta – to strefa ryzyka akceptowalnego. Jest to ryzyko dopuszczalne (ale warunkowo), które należy już brać pod uwagę podczas dalszej analizy. Strefa pomarańczowa – to ryzyko istotne wymagające podjęcia działań niwelujących zagrożenie. Strefa czerwona to ryzyko niedopuszczalne.

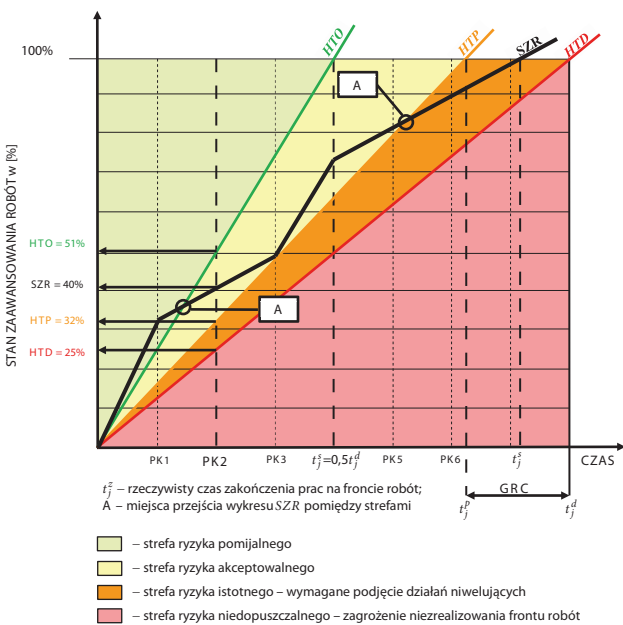
Monitorowanie postępu wykonania zadań oraz ewentualnych odchylenia od harmonogramu w realizacji j -tego frontu robót przebiega według następującej metodyki:

- w każdym PK planujący podaje wartość procentową rzeczywistego stanu zaawansowania robót budując wykres stanu zaawansowania robót (SZR);
- w każdym PK określane (odczytywane z osi rzędnych) są wartości HTO, HTP, HTD.

Dla przykładu – na rysunku 2 zaznaczono w punkcie kontrolnym PK2 wskazaną przez planującego wartość SZR = 40% oraz wartości HTO = 51%, HTP = 32%, HTD = 25%;

- na podstawie powyższych danych obliczane są wskaźniki odchylenia harmonogramu (WOH) w odniesieniu do poszczególnych wykresów prognozowanego postępu robót, tj.:

- wskaźnik odchylenia harmonogramu według prognozowanego czasu optymistycznego (według założeń TOC – najbardziej prawdopodobnego) HTO: $WOHTO = \frac{SZR}{HTO}$; gdzie: SZR – wartość wyrażona w punktach procentowych [%], podana przez planującego jako rzeczywisty stan zaawansowania prac; HTO – wartość wyrażona w punktach procentowych [%], odczytana z osi rzędnych dla wykresu HTO,



Rys. 2. Matryca użycia rezerwy zasobowej RZ

Tabela 1. Umiejscowienie SZR w poszczególnych strefach ryzyka

Wartości wskaźników WOH					
WOHTO		WOHTP		WOHTD	
≥1	<1	≥1	<1	≥1	<1
Ryzyko pomijalne		Ryzyko akceptowalne		Ryzyko istotne	
Strefy ryzyka w trakcie realizacji robót					

Tabela 2. Przebieg wykresu SZR przez strefy ryzyka w macierzy użycia RZ – przykład

Nr PK	Termin PK (t)	Podana wartość SZK [%]	Prognozowana wartość			Wskaźniki odchylenia harmonogramu			Termin e_j^p
			HTO [%]	HTP [%]	HTD [%]	WOHTO	WOHTP	WOHTD	
0	0	0	0	0	0	–	–	–	–
1	1,5	30	25	17	12	1,20	1,76	2,50	9,75
2	3	40	51	32	25	0,78	1,25	1,60	10,2
3	4,5	50	74	48	37	0,68	1,04	1,35	10,42
t_s^i	6	75	100	63	50	0,75	1,19	1,50	9
5	7,5	80	100	79	62	0,80	1,01	1,29	9,82
6	9	90	100	96	74	0,90	0,94	1,22	10,05
t_p^j	9,4	92	100	100	76	0,92	0,92	1,21	10,02
7	10,5	95	100	100	87	0,95	0,95	1,09	11,03
t_j^z	10,8	100	100	100	88	1,00	1,00	1,14	10,53
t_j^d	12	100	100	100	100	1,00	1,00	1	12

- wskaźnik odchylenia harmonogramu według prognozowanego czasu wynikającego z decyzji alokacyjnej HTP : $WOHTP = \frac{SZR}{HTP}$, gdzie: SZR – jak wyżej; HTP – wartość wyrażona w punktach procentowych [%], odczytana z osi rzędnych dla wykresu HTP ,
- wskaźnik odchylenia harmonogramu według czasu dyrektywnego HTD : $WOHTD = \frac{SZR}{HTD}$; gdzie: SZR – jak wyżej; HTD – wartość wyrażona w punktach procentowych [%], odczytana z osi rzędnych dla wykresu HTD .

Umiejscowienie wykresu SZR w określonych strefach ryzyka w zależności od wartości wskaźników WOH przedstawia tabela 1;

d) Dodatkowo obliczony zostaje prognozowany termin zakończenia frontu robót: $e_j^p = e_j^f - t \cdot (WOHTD - 1)$; gdzie: e_j^p – szacowany (prognozowany) czas zakończeniu robót na j -tym froncie przy założeniu, że postęp prac w dalszej realizacji zadań będzie taki jak planowano; e_j^f – planowany termin dyrektywny zakończenia j -tego frontu roboczego; t – czas, w którym dokonywana jest analiza (będzie to z reguły któryś z PK); $WOHTD$ – wskaźnik odchylenia harmonogramu według czasu dyrektywnego HTD .

Przeprowadzona analiza ryzyka pozwala na określenie

momentu podjęcia działań niwelujących odchylenia niebezpieczne dla dotrzymania terminu dyrektywnego zakończenia frontu robót. W tym aspekcie istotna jest wartość wskaźnika $WOHTP$. Ryzyko istotne, wymagające „uruchomienia” zasobów z BZ , pojawia się w punkcie kontrolnym (PK), w którym zachodzi zależność:

$$WOHTP < 1 \tag{9}$$

W tabeli 2 przedstawiono przykładowe zestawienie danych odczytanych z macierzy użycia rezerwy RZ (rys. 2) wraz z wynikami analizy dla przyjętego przebiegu wykresu SZR . W przykładzie założono: $e_j^s = 0$, $e_j^f = 12$.

11. Określana jest dostępność zasobów podstawowych z uwzględnieniem decyzji alokacyjnej oraz potencjału rezerwy zasobowej. Przyjmujemy, że poziom dostępności zasobów podstawowych zawiera macierz: $D = [d_{kt}]_{z \times H}$, w której: d_{kt} – określa liczbę jednostek zasobu o indeksie k : $z_k \in Z'$ dostępnych w chwili $t = 1, 2, \dots, H$, w postaci addytywnych jednostek zasobowych. Przy czym obecnie, po uwzględnieniu nie tylko decyzji alokacyjnej, ale także zasobów z rezerwy RZ , elementy macierzy D przyjmują wartości:

$$d_{kt} = q_{kt} - (x_{kj}^s + b_{kj}^{RZ}), \text{ dla } j: e_j^s \leq t \leq e_j^f, \text{ dla } k: z_k \in Z^s; \quad (10)$$

$$d_{kt} = q_{kt}, \quad \text{dla } j: t > e_j^f \text{ lub } t < e_j^s, \text{ dla } k: z_k \in Z^f.$$

Zauważmy, że zasoby **RZ** są „zamrażane” w całym okresie pomiędzy terminami dyrektywnymi $\langle e_j^s, e_j^f \rangle$ – nie wiadomo bowiem, kiedy wystąpi potrzeba ich użycia. Jest to pewna niedogodność powodująca stosunkowo wysoki wskaźnik zajętości zasobów (czyli braku ich dostępności w dalszych analizach). Stanowi natomiast warunek konieczny przy założeniu potrzeby bezwzględnego dotrzymania terminu dyrektywnego zakończenia frontu oraz na bazie przyjętego w pracy sposobu analizy ryzyka i jego kontroli.

12. Prowadzony jest dalszy monitoring przebiegu robót w czasie według metodyki opisanej w pkt. 10.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono oryginalną propozycję analizy niepewności i ryzyka założonej sytuacji decyzyjnej planowania operacyjnego działań inżyniersko-budowlanych realizowanych przez jednostki funkcjonujące w strukturach zhierarchizowanych. Prowadzone rozważania oparto na założeniach teorii ograniczeń (**TOC**) oraz idei metod opartych na kontroli postępu realizacji przedsięwzięć w zarządzaniu projektami.

Idea metodyki zarządzania ryzykiem, zaproponowana w pracy, polega na monitorowaniu stanu zaawansowania robót i podejmowaniu działań korygujących w przypadku odchylenia przebiegu robót od założonego planu. Odchylenie to kontrolowane jest w sposób ciągły poprzez użycie „matrycy użycia rezerwy zasobowej **RZ**” oraz w oparciu o wskaźniki odchylenia harmonogramu od planowanego przebiegu robót, określonego według trzech prognoz czasowych:

- według prognozowanego czasu optymistycznego „ $t_j^{s^p}$ ”;
- według prognozowanego czasu wynikającego z decyzji alokacyjnej „ $t_j^{p^p}$ ”;
- według czasu dyrektywnego „ $t_j^{d^p}$ ”.

Tak opisana metodyka pozwala określić planującemu, w której z opisanych stref ryzyka przebiega aktualny stan zaawansowania robót. Wyróżniono cztery strefy ryzyka: ryzyko pomijalne, ryzyko akceptowalne, ryzyko istotne – wymagające podjęcia działań korygujących oraz ryzyko niedopuszczalne.

Przedstawiona w niniejszym artykule propozycja analizy ryzyka pozwala na uwzględnienie niepewności przyjętej sytuacji decyzyjnej już na etapie planowania robót – poprzez określenie składu **RZ**. Natomiast na etapie wykonywania zadań na frontach roboczych – umożliwiała kontrolę postępu realizacji robót i podjęcie niezbędnych działań korygujących w celu dotrzymania terminów dyrektywnych realizacji frontów roboczych. Dalszym etapem badań jest opracowanie sposobu „zamrażania” różnej liczby zasobów czynnych ze składu rezerwy zasobowej **RZ** w skali czasu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamiecki K., O nauce organizacji, Warszawa, PWE, 1985
- [2] Afanasjew V.A., Afanasjew A.V., Potocznaja organizacija rabot v stroitelstwie, Sankt-Petersburg, 2000
- [3] Bednarz L., Planowanie zadań i zasobów w projektach logistycznych metodą łańcucha krytycznego, XI Konferencja Naukowa PTZP: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Materiały konferencyjne, Zakopane. 2009, 80–87
- [4] Czarnigowska A., Jaśkowski P., Sobotka A., Zastosowanie metody łańcucha krytycznego w harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych, Konferencja Naukowa Zarządzanie procesami inwestycyjnymi w budownictwie, Kraków, 2004
- [5] Czarnigowska A., Kontrola postępu realizacji przedsięwzięcia metodą Earned Value, Przegląd Budowlany 2/2009, 50–55
- [6] Dziadosz A., Kapliński O., Rejment M., Ryzyko w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Retrospekcja z konferencji w Ciechocinku (1999–2007) [w:] Ryzyko. Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie. Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie – ryzyko przedsiębiorstwa a ryzyko projektu. Red. Naukowa J. Bizon-Górecka. Wydanie TNOiK, Bydgoszcz, 2008, 29–46
- [7] Goldratt E.M. Łańcuch krytyczny, Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009
- [8] Goldratt E.M., Cel II. To nie przypadek, Wyd. Mint Books, Warszawa, 2007.
- [9] Goldratt E.M., COX J., Cel I. Doskonałość w produkcji, Wyd. Mint Books, Warszawa, 2007
- [10] Henderson K., Earned Schedule: A Breakthrough Extension to Earned Value Management, Proceedings of PMI Global Congress Asia Pacific, January, 2007, www.earnedschedule.com/papers
- [11] Jaworski K.M., Metodologia projektowania realizacji budowy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999
- [12] Leach L.P., Lean Project Management: Eight Principles for Success, South Pegasus Way. Boise, 2005
- [13] Lipke W., Henderson K., Earned Schedule-an emerging to EVM, www.pmicos.org/topics/EVMDEC07.pdf
- [14] Marcinkowski R., Alokacja hierarchicznych struktur realizatorów w planowaniu wojskowych przedsięwzięć inżynierskich, Biuletyn WAT, XLV, 7 (2002)
- [15] Marcinkowski R., Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżyniersko-budowlanej, Warszawa, 2002
- [16] Marcinkowski R., Planowanie przedsięwzięć z analizą hierarchicznych struktur realizatorów, XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 1996
- [17] Marcinkowski R., Sekunda R., Bilansowanie hierarchicznej struktury zasobów w planowaniu przedsięwzięć inżyniersko-budowlanych, Biuletyn WAT, tom LXIV, nr 3, 2015, 113–130
- [18] Marcinkowski R., Zarządzanie zasobami o strukturach złożonych w działalności inżyniersko-budowlanej, XVIII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Opole – Krynica, 2002
- [19] POŁOŃSKI M., KOMENDAREK P., Bieżąca kontrola kosztów realizacji obiektu budowlanego metodą earned value, Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych 12.2 (2011): 279–290.
- [20] Połoński M., Kontrola kosztów budowy metodą EVM jako metodą prognozowania ryzyka przekroczenia planowanego budżetu, Przegląd Budowlany 10/2010, 46–52
- [21] Połoński M., Prognozowanie czasu zakończenia inwestycji na podstawie jej bieżącego zaawansowania, Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych 13.3 (2012), 169–179
- [22] Smutnicki C., Algorytmy szeregowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2002
- [23] Świątnicki Z., Wojskowe systemy eksperckie, Bellona, Warszawa, 1995
- [24] Van de Velde E R., Time is up: Assessing Schedule Performance with Earned Value, PM World Today – October 2007 (vol. IX, Issue X), www.earnedschedule.com/papers