

Dane bibliograficzne o artykule: http://mieczyslaw_polonski.users.sggw.pl/mppublikacje

mgr inż. Wojciech Bogusz
dr hab. inż. Mieczysław Połośki, prof. SGGW
mgr inż. Kamil Pruszyński
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Zakład Technologii i Organizacji Robót Inżynierskich
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa

WPLYW TYPU ROZKŁADU CZASU TRWANIA CZYNNOŚCI NA WYNIKI ANALIZY RYZYKA W PLANOWANIU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ

INFLUENCE OF TYPE OF TIME DURATION ON RISK ANALYSE IN PLANNING THE REALIZATION OF ENGINEERING OBJECTS

W niniejszym artykule, autorzy pragną przedstawić rodzaje funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa, jakich można używać definiując rozkład czasu trwania pojedynczej czynności w programie Pertmaster, możliwości ich zastosowania oraz zwrócić uwagę na wpływ przyjętego typu rozkładu i jego parametrów na wyniki analizy czasu z zastosowaniem elementów analizy ryzyka.

Wstęp

Planując realizację inwestycji, należy starannie zaplanować cały proces w celu uniknięcia opóźnień w trakcie trwania prac. Samo zaplanowanie kolejności wykonywania prac oraz czasów ich trwania często nie wystarcza - nie można w ten sposób przeanalizować pewnych zmian występujących w trakcie trwania procesu inwestycyjnego. Złożone operacje procesu budowlanego charakteryzują się występowaniem warunków ryzyka i niepewności. Wynika to z faktu, że zjawisk losowych nie można wyeliminować lub w istotny sposób ograniczyć ich negatywnego wpływu na przebieg i efektywność budowy [3]. Chcąc uwzględnić takie sytuacje w projekcie, wykorzystuje się analizę ryzyka, która jest szacowaniem wpływu wartości losowych zmiennych (takich jak opóźnienia w dostawie materiałów, warunki atmosferyczne, awarie sprzętu, czasowo występujące niedobory w liczbie pracowników i inne) występujących w czasie trwania realizacji robót na wybrane parametry charakteryzujące realizację obiektu, głównie czas i koszt. Przeprowadzenie analizy ryzyka przed rozpoczęciem prac na obiekcie, pozwala na określenie wybranych parametrów

projektu z większym prawdopodobieństwem ich dotrzymania uwzględniającym wystąpienie czynników losowych [5]. Obecne programy komputerowe, umożliwiają określenie odpowiedniego typu rozkładu dla wskazanych czasów trwania czynności projektu i pozwalają wyznaczyć termin zakończenia projektu z określonym prawdopodobieństwem a więc włączyć do obliczeń elementy analizy ryzyka. W dalszej części artykułu skupiono się na ryzyku związanym z niedotrzymaniem planowanego terminu wykonania obiektu budowlanego.

Charakterystyka obiektu

W niniejszym artykule, postarano się przedstawić, jaki wpływ ma typ rozkładu oraz jego parametry, na prawdopodobieństwo zakończenia realizacji projektu. W tym celu wszystkie analizy prowadzono w programie Pertmaster [6] z wykorzystaniem harmonogramu nowo wybudowanego budynku dydaktycznego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego nr 34, położonego w kampusie Uczelni na warszawskim Ursynowie. Materiały badawcze - harmonogramy sieciowe pochodzą z Biura Studiów i Projektów Służby Zdrowia „ProAmed” Sp. z o.o. Zostały one uszczegółowione oraz wzbogacone o dodatkowe zadania a także dodatkowe powiązania pomiędzy nimi. Wykorzystany harmonogram, przedstawia całość prac instalacyjnych prowadzonych w wybranym obiekcie. Cały harmonogram składa się z ponad 100 zadań. Pomiedzy zadaniami zostały wprowadzone głównie powiązania typu FS (Finish to Start) oraz FS-5 (tj. z wcześniejszym rozpoczęciem zadań następujących). W celu wzbogacenia harmonogramu, wprowadzono powiązania typu SS (Start to Start) pomiędzy kilkoma zadaniami. Czasy trwania poszczególnych zadań (wahające się w granicach 5-20 dni roboczych) oraz powiązania pomiędzy nimi, zostały tak dobrane, aby poszczególne czasy trwania grup zadań były identyczne, bądź co najmniej zbliżone do tych, które zostały zdefiniowane w oryginalnym planie [1]. W obliczeniach przyjęto kalendarz z sześciodniowym dniem pracy. W harmonogramie, nie uwzględniono zasobów, w celu uproszczenia obliczeń. Termin rozpoczęcia realizacji inwestycji określono na 24 września 2004 r., deterministyczny termin zakończenia obliczono jako 7 czerwca 2005 r. tzn. czas trwania inwestycji powinien wynosić 257 dni kalendarzowych.

Zakres badań

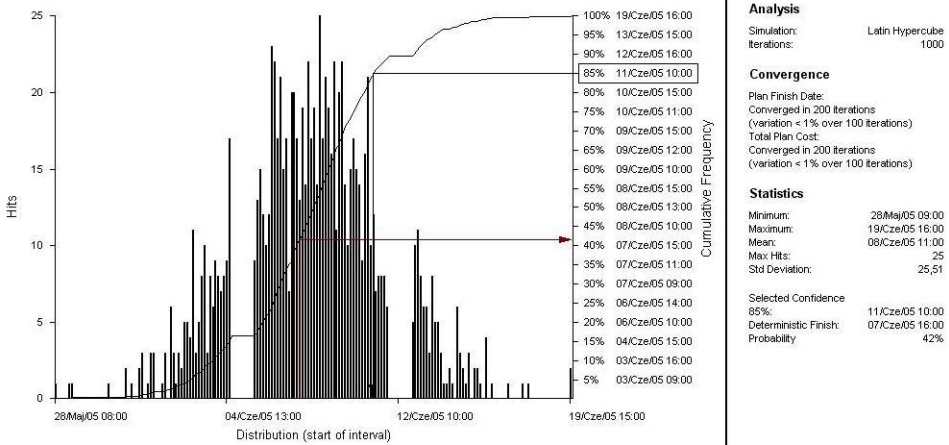
W programie Pertmaster, użytkownik ma do wyboru wiele typów rozkładu czasu trwania pojedynczej czynności [4,6], takich jak: BetaPert (lub modyfikowany BetaPert z możliwością deklarowania czwartego parametru charakteryzującego kształt rozkładu), Enhanced (pozwalający zadeklarować trzy czasy z podaniem ich prawdopodobieństwa wystąpienia), Lognormal, Normal, Triangle, Trigen (rozkład trójkątny, w którym można podawać prawdopodobieństwo wystąpienia deklarowanych wartości skrajnych a system

sam wylicza wartość ekstremalną), Uniform (jednostajny w zadanym zakresie). We wszystkich wymienionych typach rozkładów użytkownik ma możliwość zmiany wybranych parametrów rozkładu. Można również wybrać jedną z form deklarowania dowolnego przebiegu rozkładu (Cumulative, Discrete lub General), w których wszystkie współrzędne rozkładu definiuje użytkownik. W dalszej części artykułu, postarano się przedstawić wyniki analiz prowadzone z wykorzystaniem wybranych czterech typów rozkładów.

W trakcie wyboru typu rozkładu, program pozwala na zdefiniowanie dla każdej czynności innego rozkładu lub jednego rozkładu dla całego projektu. Do dalszych prac wybrano tę drugą możliwość. W celu przeprowadzenia analizy ryzyka, wprowadzono informacje o czasach trwania czynności - zdefiniowano czasy najbardziej prawdopodobne (identyczne z czasami trwania czynności w harmonogramie deterministycznym). Następnie, dla wszystkich czynności wybierano kolejno rozkład: Triangle (Trójkątny), Uniform (Jednostajny w zadanym zakresie), BetaPert oraz Enhanced (z prawdopodobieństwem 10%, 60% i 90% kolejno dla czasów optymistycznych, najbardziej prawdopodobnych i pesymistycznych). W całym badaniu przeprowadzono po trzy analizy dla każdego typu z symetrycznym rozrzutem czasów optymistycznych i pesymistycznych względem czasu najbardziej prawdopodobnego. W pierwszej analizie przyjęto rozrzut +/-10%, w drugiej analizie przyjęto +/-20%, natomiast w trzecim przypadku przyjęto wartości na poziomie +/-50%. Co prawda w praktyce można się nie spotkać aż z tak znacznym rozrzutem czasów dla wszystkich czynności w projekcie, jednak założenie takie przyjęto do celów porównawczych. Na podstawie wprowadzonych informacji o rozrzucie dla czasów najbardziej prawdopodobnych, program automatycznie wyznaczał skrajne wartości do analizy. W przypadku rozkładu typu Uniform, program wyznaczył wartości skrajne, pomijając w obliczeniach wartości najbardziej prawdopodobne.

Podsumowując, do badań wykorzystano cztery typy rozkładów, a dla każdego z nich przeprowadzono po trzy analizy z symetrycznym rozrzutem czasów optymistycznych i pesymistycznych na poziomie +/-10%; +/-20% oraz +/-50%. W ten sposób otrzymano 12 wyników, które postarano się przedstawić i omówić poniżej. W każdej z analiz, wyznaczano termin zakończenia realizacji inwestycji z prawdopodobieństwem jego dotrzymania na poziomie 85%. W celu otrzymania jak najbardziej dokładnych wyników, dla każdej analizy przeprowadzono 1000 iteracji, z których program wyznaczył zbiorcze wartości przedstawione w tabelach poniżej. Analizę ryzyka prowadzono tylko na podstawie czasów trwania czynności, nie uwzględniając dostępności zasobów.

Wyniki analizy



Rys. 1. Przykładowe wyniki analizy ryzyka dla rozkładu typu Triangle i rozrzucie czasów trwania poszczególnych czynności względem czasów najbardziej prawdopodobnych na poziomie +/-10%.

Rozrzut czasów na poziomie +/- 10% czasu trwania zadania				
Typ rozkładu	Triangle	Uniform	BetaPert	Enhanced
Najwcześniejszy:	28 maj 05	24 maj 05	30 maj 05	20 maj 05
Najpóźniejszy:	19 cze 05	23 cze 05	13 cze 05	8 lip 05
Mediana:	8 cze 05	8 cze 05	5 cze 05	11 cze 05
Różnica między czasem najkrótszym a najdłuższym w dniach:	22	30	14	49
Odchylenie standardowe:	25,51	34,14	17,96	52,21
Termin realizacji dla prawdopodobieństwa 85%	11 cze 05	13 cze 05	07 cze 05	17 cze 05
Termin deterministyczny	07 cze 05	07 cze 05	07 cze 05	07 cze 05
Prawdopodobieństwo ter. deterministycznego:	42%	41%	86%	28%

Tab. 1. Wyniki analizy ryzyka dla różnych typów rozkładu czasu z odchyleniem +/- 10% czasu pesymistycznego i optymistycznego od wartości czasu najbardziej prawdopodobnego

Analizując wyniki z Tab. 1, czyli dla czasów trwania czynności w zakresie +/-10% wartości czasu najbardziej prawdopodobnego, można stwierdzić, że najmniejsza wartość czasu najwcześniejszego (tj. 20 maj 05) i największa wartość czasu najpóźniejszego (tj. 8 lip 05) terminu realizacji całego przedsięwzięcia, została wyznaczona w przypadku rozkładu Enhanced. Również w tym rozkładzie odchylenie standardowe miało największą wartość (tj. 52,21). Najmniejszą wartość odchylenia standardowego (tj. 17,96) uzyskano w

rozkładzie BetaPert, tu również osiągnięto największe prawdopodobieństwo (tj. 86%) zakończenia realizacji przedsięwzięcia w terminie wyznaczonym z czasów deterministycznych (tj. 07 cze 05). Najmniejsze prawdopodobieństwo zakończenia realizacji inwestycji w tym terminie uzyskano w przypadku rozkładu Enhanced i wyniosło ono 28%. Termin zakończenia całego przedsięwzięcia wyznaczony z prawdopodobieństwem 85% w zależności od rozkładu wahał się w granicach 7 do 17 czerwca 2005. Warto zwrócić uwagę, że w przypadku rozkładu BetaPert termin deterministyczny wypada dokładnie tego samego dnia, co termin wyznaczony w analizie ryzyka z prawdopodobieństwem 85%.

Rozrzut czasów na poziomie +/- 20% czasu trwania zadania				
Typ rozkładu	Triangle	Uniform	BetaPert	Enhanced
Najwcześniejszy:	20 maj 05	14 maj 05	23 maj 05	11 maj 05
Najpóźniejszy:	30 cze 05	8 lip 05	21 cze 05	5 sie 05
Mediana:	8 cze 05	9 cze 05	5 cze 05	12 cze 05
Różnica między czasem najkrótszym a najdłuższym w dniach:	41	55	29	86
Odchylenie standardowe:	48,3	65,83	33,74	101,1
Termin realizacji dla prawdopodobieństwa 85%	15 cze 05	17 cze 05	9 cze 05	24 cze 05
Termin deterministyczny	7 cze 05	7 cze 05	7 cze 05	7 cze 05
Prawdopodobieństwo ter. deterministycznego:	42%	40%	68%	38%

Tab. 2. Wyniki analizy ryzyka dla różnych typów rozkładu czasu z odchyleniem +/- 20% czasu pesymistycznego i optymistycznego od wartości czasu najbardziej prawdopodobnego

Analizując wyniki z Tab. 2, czyli dla czasów trwania czynności w zakresie +/-20% wartości czasu najbardziej prawdopodobnego, można stwierdzić, że najmniejszą wartość w czasach najwcześniejszych (tj. 11 maj 05) realizacji całego przedsięwzięcia oraz największą wartość w czasach najpóźniejszych (tj. 5 sie 05) wyznaczono przy zastosowaniu rozkładu Enhanced. Średni termin (mediana) zakończenia realizacji inwestycji wyznaczony z analizy ryzyka był najbardziej zbliżony do terminu wyznaczonego według czasów deterministycznych (tj. 7 cze 05) w przypadku rozkładu Triangle i różnił się o jeden dzień (tj. 8 cze 05). Odchylenie standardowe miało największą wartość (tj. 101,1) przy wykorzystaniu rozkładu Enhanced. Najmniejszą wartość odchylenia standardowego (tj. 29) uzyskano ponownie w rozkładzie BetaPert. W tym też przypadku osiągnięto największe prawdopodobieństwo zakończenia realizacji (68%) w terminie wyznaczonym z czasów deterministycznych, tzn termin deterministyczny wypada 2 dni wcześniej, niż termin wyznaczony w analizie ryzyka z prawdopodobieństwem

85%. Najmniejsze prawdopodobieństwo zakończenia realizacji inwestycji w dniu 7 cze 05, uzyskano w przypadku rozkładu Enhanced i wyniosło ono 38%.

Rozrzut czasów na poziomie +/- 50% czasu trwania zadania				
Typ rozkładu	Triangle	Uniform	BetaPert	Enhanced
Najwcześniejszy:	5 maj 05	29 kwi 05	10 maj 05	9 kwi 05
Najpóźniejszy:	2 sie 05	23 sie 05	15 lip 05	26 paź 05
Mediana:	11 cze 05	14 cze 05	7 cze 05	21 cze 05
Różnica między czasem najkrótszym a najdłuższym w dniach:	89	116	66	200
Odchylenie standardowe:	110	144,6	81,97	219,3
Termin realizacji dla prawdopodobieństwa 85%	25 cze 05	3 lip 05	17 cze 05	19 lip 05
Termin deterministyczny	7 cze 05	7 cze 05	7 cze 05	7 cze 05
Prawdopodobieństwo ter. deterministycznego:	39%	36%	51%	31%

Tab. 3. Wyniki analizy ryzyka dla różnych typów rozkładu czasu z odchyleniem +/- 50% czasu pesymistycznego i optymistycznego od wartości czasu najbardziej prawdopodobnego

Z wyników z Tab. 3, dla czasów trwania czynności w zakresie +/-50% wartości czasu najbardziej prawdopodobnego widać, że najmniejszą wartość z terminów najwcześniejszych (tj. 9 kwi 05) oraz największą wartość z czasów najpóźniejszych (tj. 26 paź 05) realizacji całego przedsięwzięcia ponownie wyznaczono przy zastosowaniu rozkładu Enhanced. Średni termin (mediana) zakończenia realizacji inwestycji wyznaczony z analizy ryzyka był identyczny z terminem wyznaczonym według czasów deterministycznych w przypadku rozkładu BetaPert (tj. 7 cze 05). Odchylenie standardowe miało największą wartość (tj. 219,3) przy wykorzystaniu rozkładu Enhanced. Najmniejszą wartość odchylenia standardowego (tj. 66) uzyskano kolejny raz w rozkładzie BetaPert. W tym też przypadku osiągnięto największe prawdopodobieństwo zakończenia realizacji (51%) w terminie wyznaczonym z czasów deterministycznych. Najmniejsze prawdopodobieństwo zakończenia realizacji inwestycji w dniu 7 cze 05, uzyskano w przypadku rozkładu Enhanced i wyniosło ono 31%.

Wyniki obliczeń

Obserwując wyniki otrzymane we wszystkich przypadkach, można stwierdzić, że zgodnie z oczekiwaniem najmniejsza wartość w terminach najwcześniejszych (tj. 9 kwi 05) oraz największa wartość w terminach najpóźniejszych (tj. 26 paź 05) terminu realizacji całego przedsięwzięcia uzyskano w przypadku ostatniej analizy, czyli tam gdzie czasy optymistyczne i pesymistyczne czynności wahały się w przedziale +/-50% wartości czasów najbardziej prawdopodobnych, dla rozkładu typu Enhanced. Rozkład ten dał

również największe rozrzuty wyników (potwierdzone odchyleniem standardowym) we wszystkich pozostałych analizowanych przypadkach. Najmniejsze wartości odchylenia standardowego zanotowano przy wszystkich badanych rozrzutach czasów dla rozkładu BetaPert. Dla rozkładów Uniform w Tab. 2 oraz Triangle w Tab. 1 i Tab. 2 otrzymano z analizy ryzyka średnie czasy zakończenia realizacji projektu najbardziej zbliżone do terminu wyznaczonego według czasów deterministycznych. Najwcześniejszy termin zakończenia realizacji inwestycji z prawdopodobieństwem 85% uzyskano w Tab. 1 (tj. 7 cze 05) dla rozkładu BetaPert., Uzyskany w tym wypadku termin był jednocześnie terminem zgodnym z tym, który wyznaczono z czasów deterministycznych. Najpóźniejszy termin realizacji inwestycji z prawdopodobieństwem 85% uzyskano w Tab. 3 (tj. 19 lip 05) dla rozkładu Enhanced i jako jedyny wyraźnie odbiegał od pozostałych terminów. Największe prawdopodobieństwo uzyskania terminu zakończenia realizacji inwestycji wyznaczonego z czasów deterministycznych (tj. 7 cze 05) uzyskano przy najmniejszym rozrzucie czasów czynności (Tab. 1) dla rozkładu typu BetaPert. Prawdopodobieństwo wyniosło 86%. Najmniejsze prawdopodobieństwo dotrzymania tego terminu (28%), uzyskano przy największym rozrzucie czasów czynności (Tab. 3) dla rozkładu typu Enhanced.

Podsumowanie

Z powyższych analiz wynika, że chociaż przyjęty typ rozkładu czasu pojedynczej czynności ma wpływ na ostateczne wyniki obliczeń terminu zakończenia przedsięwzięcia, to większe znaczenie w przypadku analizy ryzyka ma ustalenie rozrzutu wartości czasów optymistycznych i pesymistycznych względem czasów najbardziej prawdopodobnych, aniżeli wybór typu rozkładu. Zastosowanie różnych funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa czasu trwania czynności prowadzi co prawda do nieco odmiennych terminów zakończenia planowanego obiektu (i ich prawdopodobieństw), jednak może nie dawać oczekiwanego zwiększenia dokładności obliczeń. Podstawowe znaczenie dla końcowych wyników obliczeń ma prawidłowe wyznaczenie wartości czasów optymistycznych, pesymistycznych oraz najbardziej prawdopodobnych i ewentualne określenie ich prawdopodobieństw wystąpienia. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, gdy brak jest teoretycznych podstaw wskazujących zastosowanie konkretnego typu rozkładu w szczególnych warunkach realizacji planowanej budowy [2].

Wskazane jest również wykonanie obliczeń stosując podstawowy rozkład BetaPert i porównanie wyników obliczeń na podstawie innych typów rozkładów z danymi uzyskanymi na jego podstawie. Wynika to między innymi z faktu, że na podstawie rozkładu BetaPert uzyskuje się wyniki najbardziej zbliżone do deterministycznych i skupione wokół wartości średniej (o najmniejszym odchyleniu standardowym). Z drugiej strony należy mieć świadomość, że uzyskane terminy na podstawie tego typu rozkładu są najkrótsze

(najbardziej optymistyczne). Interesujące, chociaż nieco bardziej pesymistyczne wyniki uzyskuje się stosując rozkład trójkątny.

Reasumując można stwierdzić, że wyposażanie programów obliczeniowych w rozbudowane możliwości wyboru typu rozkładu jak na razie bardziej wynika ze względów marketingowych, niż realnej możliwości zastosowania tych rozwiązań w codziennej praktyce inżynierskiej a stosując w obliczeniach różne typy rozkładów czasu trwania czynności należy mieć świadomość ich wpływu na końcowe wyniki analiz i konieczność zweryfikowania obliczeń ze sprawdzonymi modelami.

Literatura:

1. Bogusz W. „Zastosowanie programów komputerowych Microsoft Project i Pertmaster do budowy harmonogramów obiektów inżynierskich”, maszynopis pracy magisterskiej SGGW, Warszawa 2004
2. Jaworski K. „Metodologia projektowania realizacji budowy” PWN, Warszawa 1999
3. Kristowski A. „Bezpieczeństwo planowania procesu budowy z uwzględnieniem ryzyka, niepewności i zakłóceń” Przegląd budowlany 4/2005
4. Milian Z. „Metody określania rozkładu czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych w acyklicznych sieciach stochastycznych” Politechnika Krakowska, Kraków 2006
5. Połński M, Pruszyński K „Problematyka ryzyka w projektowaniu realizacji robót budowlanych”. Maszynopis
6. www.pertmaster.com