

SPRAWDZENIE PRAWDŁOWOŚCI ZAŁOŻONYCH PARAMETRÓW ORGANIZACYJNYCH I WYDAJNOŚCIOWYCH PROCESU PRODUKCYJNEGO SPRĘŻONYCH PŁYT KANAŁOWYCH TYPU HC Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW LOSOWYCH

Aleksander Kazimierz NICAŁ*, Marcin GRABOWSKI

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa

Streszczenie: Celem referatu jest zbadanie, przy zastosowaniu metody symulacyjnej Monte Carlo, wpływu losowego rozkładu czasów trwania działań oraz operacji roboczych w ramach procesu produkcyjnego strunobetonowych wielootworowych płyt stropowych HC metodą ślizgową „Spiroll” na końcową wielkość parametrów produkcyjnych. Ciąg działań technologicznych występujących w całym procesie zobrazowano na schemacie technologiczno-funkcjonalnym, natomiast przykładowe czasy trwania działań roboczych pokazano na karcie operacji roboczej. Dodatkowo zdefiniowano przyczyny występowania różnych czasów trwania działań w ramach operacji roboczych i założono losowy ich rozkład. Wielkość dyspersji wokół wartości oczekiwanej na wykresie gęstości prawdopodobieństwa dla danej operacji roboczej uzależniona jest od jej stopnia mechanizacji. Uzyskane na podstawie badań rezultaty pozwalają stwierdzić, że założone na wstępie parametry organizacyjne i wydajnościowe są wysoce prawdopodobne to osiągnięcia.

Słowa kluczowe: proces produkcyjny, płyta stropowa, analiza symulacyjna, warunki losowe.

1. Wstęp

Technologię produkcji sprężonych płyt kanałowych typu HC wdrożono w Polsce w pierwszej połowie lat 70-tych ubiegłego stulecia, bazując na rozwiązaniach firmy „Spiroll” (Łodo, 2002). Czynniki przemawiającymi za wdrożeniem tej technologii były, oprócz szerokich możliwości stosowania tych płyt w budownictwie mieszkaniowym oraz przemysłowym, również wysokie nośności i rozpiętości elementów, dochodzące do 12 metrów (Nicał, 2011). Obecnie roczna produkcja tych elementów w skali światowej przekracza 50 mln m² (Cholewicki, Szulc, 2010). Projektowanie procesu produkcyjnego sprężonych płyt kanałowych w wymiarze technologicznym oparte jest wciąż na rozwiązaniach firmy „Spiroll”, natomiast w wymiarze organizacyjnym zachodzi konieczność zdefiniowania podstawowych parametrów wydajnościowych. Do tych parametrów zalicza się moc produkcyjną, czyli wielkość wyrażającą teoretyczną ilość wyprodukowanych elementów w jednostce czasu oraz zdolność produkcyjną, która stanowi skorygowaną wartość mocy produkcyjnej uwzględniającą występujące w trakcie produkcji zakłócenia oraz potencjalne przerwy. Proces produkcyjny

dzieli się na proces roboczy oraz proces dojrzewania. W skład procesu roboczego wchodzi operacje robocze, które złożone są z ciągu działań roboczych. Parametrem określającym czas trwania poszczególnych operacji roboczych, skutkujących wyprodukowaniem jednego elementu jest rytm produkcyjny. Łączny czas potrzeby do całkowitego przetworzenia przedmiotów produkcji, w ramach przyjętych stanowisk lub form definiuje się jako cykl roboczy. Wydłużenie lub skrócenie czasu trwania operacji roboczej wpływa na wielkość rytmu i cyklu produkcyjnego, co w konsekwencji prowadzi do zmiany przyjętych wartości mocy i zdolności produkcyjnej.

2. Charakterystyka sprężonych płyt kanałowych typu HC

Produkowane sprężone płyty kanałowe HC wykonywane są z betonu klasy C40/50 (Jamroży, 2005). Jako podłużne zbrojenie sprężające stosuje się siedmiodrutowe sploty o dwóch średnicach: 9,3 mm i 12,5 mm ze stali Y1860 S7. Długość produkowanych elementów mieści się w granicach od 6,0 m do 15,0 m, a wysokość może wynosić 16, 20, 26,5, 32, 40 i 50 cm. Szczegółowe

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.nical@il.pw.edu.pl

zestawienie asortymentu produkowanych wyrobów przedstawiono w tabeli 1.

3. Opis modelu technologiczno-organizacyjnego przebiegu produkcji sprężonych płyt kanałowych typu HC

Sprężone płyty kanałowe typu HC formowane i zagęszczane są samojezdnym agregatem poruszającym się na stalowym podłożu torów naciągowych, z których każdy ma szerokość 1,20 m i długość 124 m. Znaczny wymiar podłużny powstałego pasma płytowego oraz dojrzewanie poprzez podgrzewanie od spodu gorącą wodą znajdującą się w rurach węzownicy, powoduje przyjęcie stacjonarnego wariantu zorganizowania procesu w przestrzeni (Grabowski, 2010).

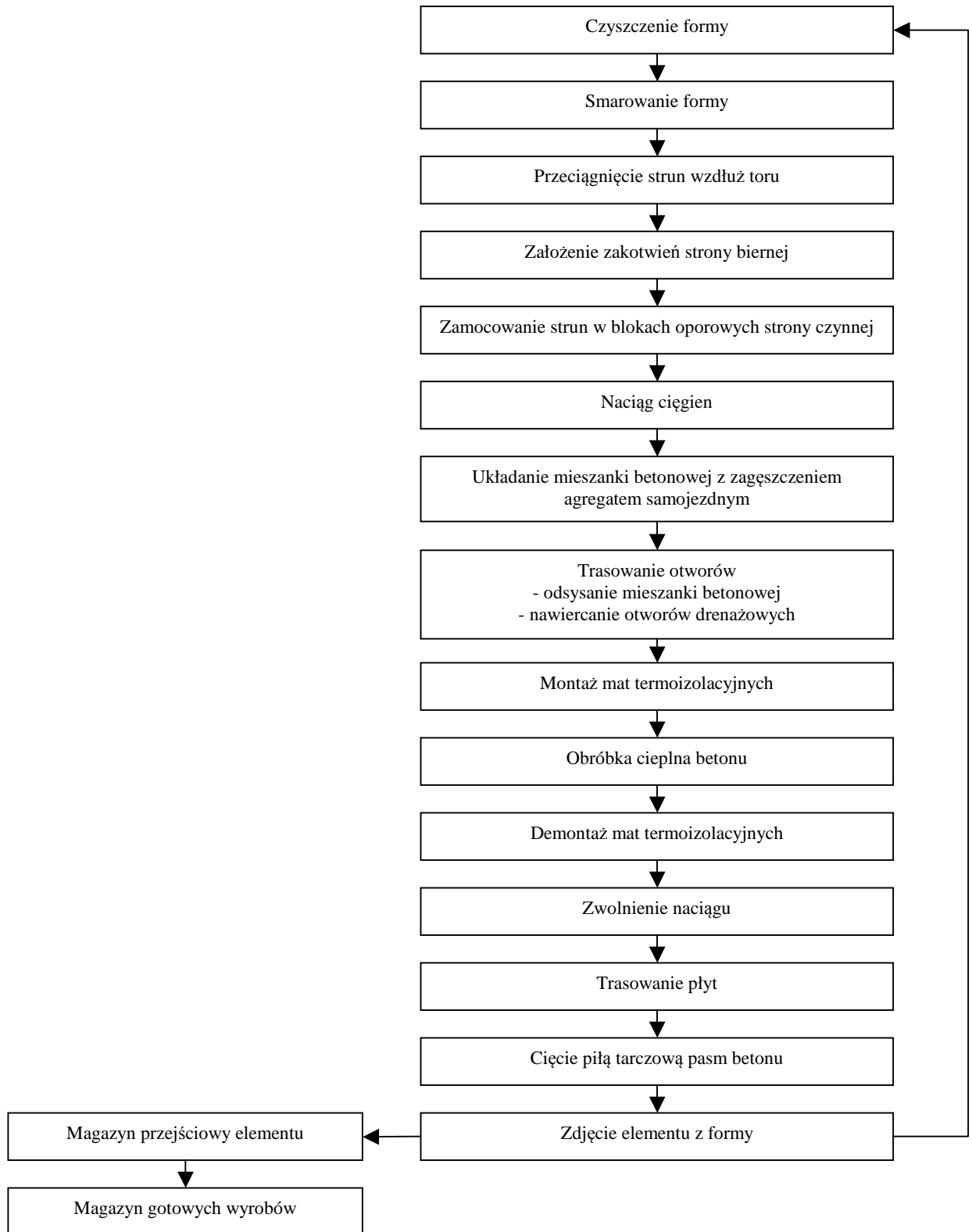
Produkowane elementy są technologicznie podobne, wobec czego przyjęty został przedmiotowy wariant organizacji podsystemów produkcyjnych. Proces roboczy ma charakter złożony i realizowany jest w ramach dwóch operacji roboczych. Zróżnicowane czasy trwania obu operacji roboczych oraz wymuszona kolejność ich przeprowadzania powodują, że założone powiązania podsystemów produkcyjnych mają charakter półsztywny (Cieszyński i in., 1983). Przykładowa karta organizacyjna operacji roboczej, obejmującej formowanie, trasowanie, przykrycie świeżych pasm płytowych oraz uruchomienie obróbki cieplnej pokazano na rysunku 1. Schemat technologiczno-funkcjonalny całego procesu produkcyjnego sprężonych płyt kanałowych typu HC przedstawiono na rysunku 2.

Tab. 1. Zestawienie asortymentu produkowanych płyt stropowych (Grabowski, 2010)

Typ przekroju	Obciążenie użytkowe [kN/m ²]	Powierzchnia przekroju [m ²]	Teoretyczna masa płyty bez strun [kg/m ²]	Udział procentowy kanałów w przekroju [%]
HC 160	1,5 do 30,0	0,110	220	42,7
HC 200	1,5 do 30,0	0,117	234	49,1
HC 265	1,5 do 30,0	0,172	344	43,7
HC 320	2,0 do 30,0	0,178	356	51,8
HC 400	2,0 do 30,0	0,207	415	55,6
HC 500	2,0 do 30,0	0,298	596	48,5

Lp	Nazwa czynności	Jednostka	Liczba jednostek	Norma czasu pracy maszyn na jednostkę	Norma czasu pracy ręcznej na jednostkę	Liczba zatrudnionych	Czas trwania czynności	Harmonogram			
								40'	80'	120'	160'
1	Układanie mieszanki betonowej z zagęszczeniem agregatem samojezdnym	m	120	1	-	2	120	████████████████████			
2	Trasowanie otworów -odsysanie mieszanki betonowej -nawiercanie otworów drenażowych	m	120	15	-	2	8,0	████████████████████			
3	Montaż mat termoizolacyjnych	m	120	-	15	2	8,0	████████████████████			
4	Podłączenie gorącej wody	szt.	1	-	1	1	1,0	████████████████████			
Siły wytwórcze	Robotnicy	Robotnik I						████████████████████			
		Robotnik II						████████████████████			
	Maszyny stanowiska	Samojezdny agregat formujący						████████████████████			
		Agregat do trasowania i nacinania otworów drenażowych						████████████████████			

Rys. 1. Karta organizacyjna operacji roboczej formowania, trasowania, montażu mat termoizolacyjnych oraz podłączenia gorącej wody (źródło własne)



Rys. 2. Schemat technologiczno-funkcjonalny procesu produkcyjnego sprężonych płyt kanałowych typu HC (Słoniewski, 1974)

4. Określenie parametrów procesu produkcyjnego metodą symulacyjną Monte Carlo

4.1. Wstęp

Prowadzone w ramach procesu roboczego sprężonych płyt kanałowych typu HC operacje robocze, składają się zarówno z działań wykonywanych mechanicznie, jak również ręcznie. W wyniku przeprowadzonych w przeszłości badań chronometrycznych w zakładach produkcyjnych zajmujących się produkcją tego typu prefabrykatów, w opisany sposób, mierząc czas trwania działań otrzymano szereg wielkości. Pod uwagę należy wziąć jednak fakt, że przypisane czasy nie są stałe, a wpływ na ich wielkość mają następujące czynniki (Orłowski, 1990):

- zła jakość surowców;
- awarie urządzeń składowych linii produkcyjnej;
- niejednakowa wydajność pracowników.

Przedstawione powyżej czynniki skutkują tym, że czasy trwania działań i operacji roboczych oraz wynikające z nich wielkość rytmu i cyklu produkcyjnego przyjmować mogą zróżnicowane wartości. Założyć, zatem można losowy rozkład czasów trwania operacji roboczych na poszczególnych stanowiskach roboczych i w zależności od ich specyfiki przypisać im krzywą gęstości prawdopodobieństwa. W przypadku, gdy z założonych krzywych nie można odczytać, znanymi wzorami matematycznymi, konkretnego wyniku, należy przeprowadzić symulację. Wówczas można metodą symulacyjną zbadać wpływ zróżnicowanych czasów trwania operacji roboczych na wielkość rytmu produkcyjnego oraz określić prawdopodobieństwo uzyskania zakładanych parametrów.

4.2. Założone parametry wydajnościowe i organizacyjne

Sumaryczne czasy trwania działań, uzyskane na podstawie badań chronometrycznych w zakładach o zbliżonej

organizacji pracy i wydajności, w ramach operacji roboczej I oraz II wynoszą odpowiednio 127,0 minut i 137,0 minut. Do produkcji prefabrykatów przyjęto 8 torów naciągowych, z czego jeden jest torem rezerwowym. Przyjęty rytm produkcyjny wynosi 140,0 minut, natomiast cykl produkcyjny 280,0 minut. Produkcja realizowana jest w układzie dwuzmianowym, co umożliwi uzyskanie zdolności produkcyjnej na poziomie 210 000 m²/rocznie. Przy uwzględnieniu statycznego współczynnika korygującego, wielkość mocy produkcyjnej wynosi 221 052,6 m²/rocznie.

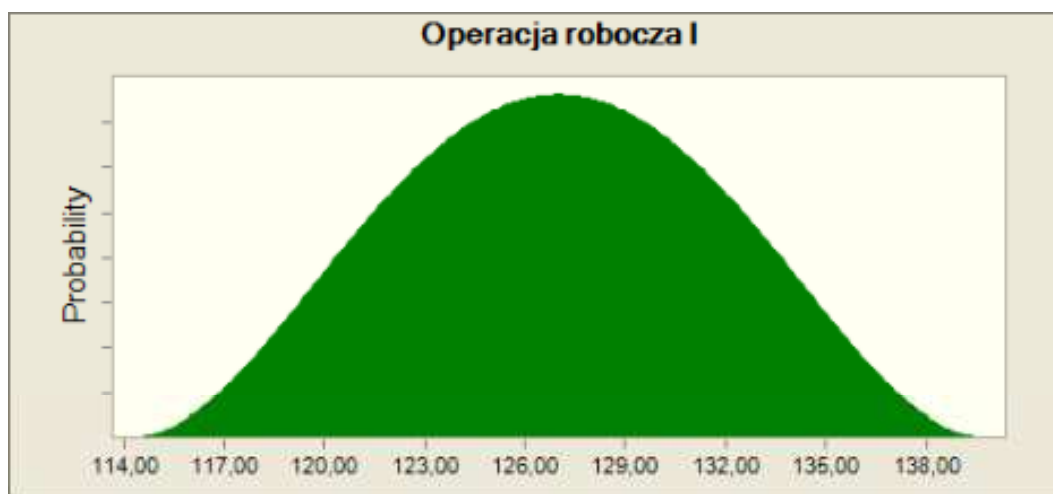
4.3. Dobór krzywych gęstości prawdopodobieństwa dla operacji roboczych

Prawdopodobieństwo, że zmienna T nie przekroczy wartości rytmu produkcyjnego r określić można za pomocą poniższej funkcji:

$$F(r) = P(T \leq r) \quad (1)$$

gdzie: T jest zmienną losową, opisującą rozkład czasu trwania poszczególnych operacji roboczych, a r jest rytmem produkcyjnym.

Działania w ramach operacji roboczej I wykonywane są w większości ręcznie i obejmują kolejno: odłączenie gorącej wody, demontaż mat termoizolacyjnych, czyszczenie i smarowanie powierzchni toru, rozłożenie folii, montaż zakotwień od strony biernej, zamocowanie cięgien w blokach oporowych od strony czynnej oraz zdjęcie folii. Pozostałe czynności prowadzone są w sposób mechaniczny. Znacząca ilość prac ręcznych prowadzi do stosunkowo dużego rozrzutu wokół wartości oczekiwanej i powoduje dobór funkcji o charakterze spłaszczonym, posiadającej dużą dyspersję (Orłowski, 1990). Zastosowany w tym przypadku został rozkład typu BetaPert, pokazany na rysunku 3.



Rys. 3. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa dla operacji roboczej I (źródło własne)

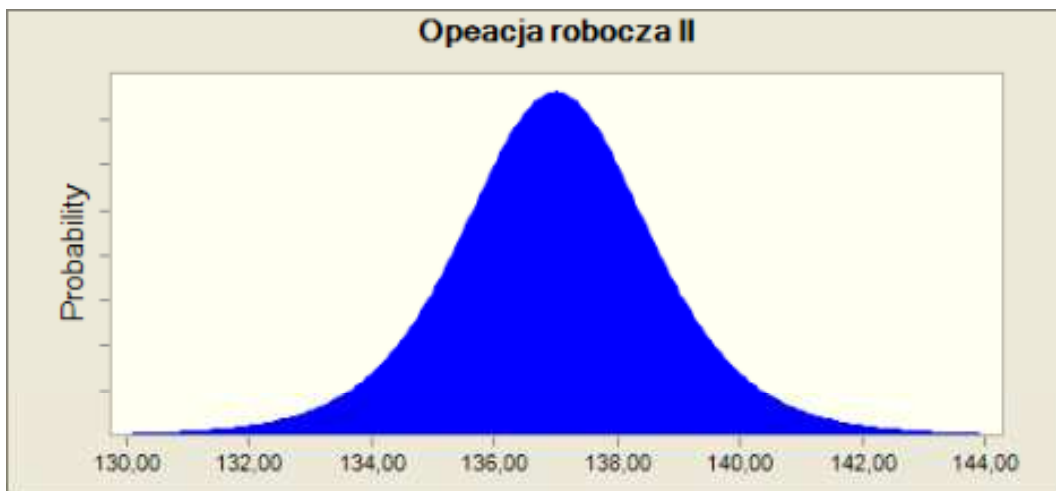
Działania wykonywane w ramach operacji roboczej II są w znacznie większym stopniu zmechanizowane. Ponad 93% całkowitego czasu trwania operacji roboczej II pochłaniają działania prowadzone przy użyciu maszyn. Wobec powyższego założyć można znacznie mniejszy rozrzut wokół wartości oczekiwanej, w tym przypadku jest to rozkład logistyczny, przedstawiony na rysunku 4.

4.4. Wyznaczenie prawdopodobieństwa otrzymania założonych parametrów wydajnościowych i organizacyjnych

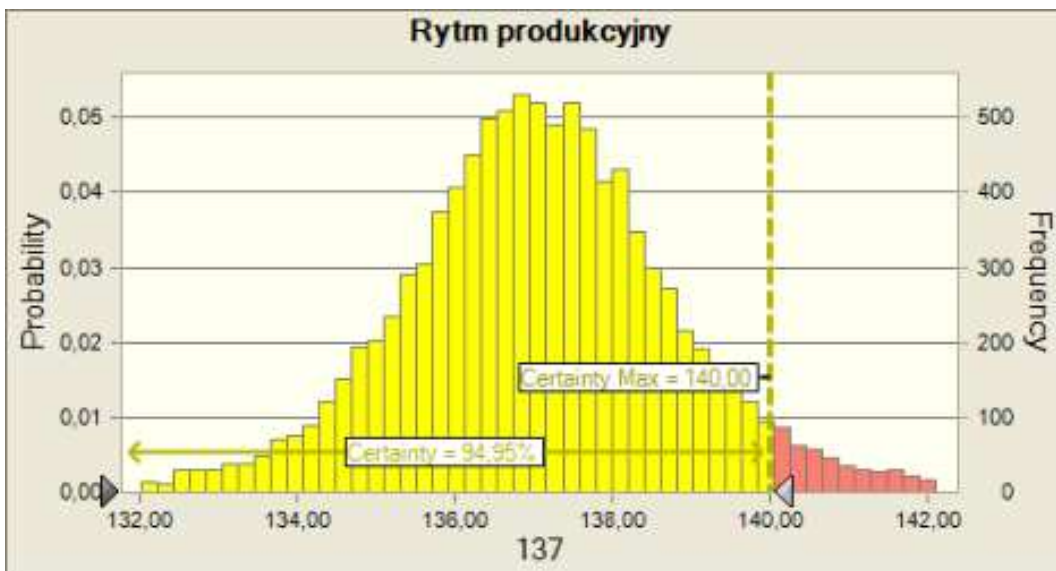
Z przeprowadzonej analizy symulacyjnej Monte Carlo, obejmującej 10 000 powtórzeń, wynika, że prawdopodobieństwo uzyskania założonego rytmu produkcyjnego

o wartości 140 minut jest bardzo wysokie i wynosi 94,95% (rys. 5). Tylko w nieco ponad 5% przypadków przekroczona była wartość rytmu produkcyjnego, co w konsekwencji prowadziło do otrzymania niższej zdolności produkcyjnej, od tej założonej w programie produkcji.

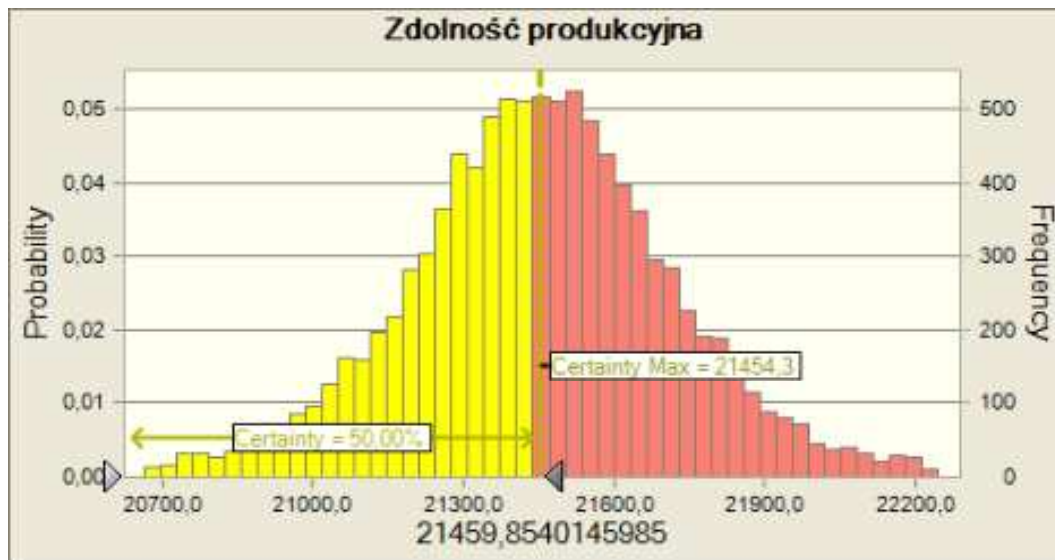
Dodatkowo analizując wyniki przeprowadzonej symulacji zauważyć można, że istnieje 50% szans na uzyskanie zdolności produkcyjnej na poziomie 21 459,85 m²/rocznie, czyli o ponad 2% większej od założonej na wstępie. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa zdolności produkcyjnej przedstawiona została na rysunku 6.



Rys. 4. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa dla operacji roboczej II (źródło własne)



Rys. 5. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa rytmu produkcyjnego



Rys. 6. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa zdolności produkcyjnej

5. Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że założone w programie produkcji parametry wydajnościowe i organizacyjne procesu produkcyjnego sprężonych płyt kanałowych typu HC są bardzo prawdopodobne do uzyskania. Znaczący wpływ na taki rezultat ma wielkość założonego rytmu produkcyjnego, która jest o ponad 2% większa od najdłuższej trwającej operacji roboczej w całym procesie roboczym. Ograniczony potencjalny rozrzut sumarycznych czasów trwania w przypadku operacji roboczej II, możliwy jest na skutek znacznego stopnia mechanizacji tej operacji roboczej. Prowadzi to w efekcie do otrzymania wyników o wiele bliższych tym założonym na wstępie. Najbardziej problematycznym zagadnieniem przy tego typu symulacjach jest dobór odpowiedniej krzywej, odwzorowującej stan faktyczny. Każdorazowe badanie polega na stosowaniu przybliżenia, skutkującego pewnym błędem w wynikach końcowych. Dysponowanie znaczną liczbą danych wejściowych, w tym przypadku są to wyniki pomiarów chronometrażowych bezpośrednio na liniach produkcyjnych w zakładach, umożliwia dokładniejszy dobór krzywej gęstości prawdopodobieństwa, co w konsekwencji przyczynia się do zmniejszenia wspomnianego błędu. Porównanie przedstawionych w tym referacie wyników z rzeczywistymi, uzyskiwanymi przy podobnych założeniach organizacyjnych i wydajnościowych w zakładach prefabrykacji, zweryfikowałoby wielkość błędu i przypuszczalnie nakreśliłoby nowe kierunki badań w tej dziedzinie.

Literatura

- Cholewicki A., Szulc J. (2010). Sprężone płyty kanałowe typu hc dużej rozpiętości. *Materiały Budowlane*, 11/2010, 13-15.
- Cieszyński K., Śliwiński K., Wróblewski S. (1983). Przemysłowa produkcja prefabrykatów – Organizacja produkcji, PWN, Warszawa.

Grabowski M. (2010). Projekt technologiczno-organizacyjny produkcji strunobetonowych płyt stropowych HC z analizą optymalizacji wariantu dynamicznego zorganizowania w przestrzeni. Praca magisterska, *Politechnika Warszawska*, Warszawa.

Jamróży Z. (2005). Beton i jego technologie. *Wydawnictwo PWN*, Warszawa.

Łodo A. (2002). Strunobeton-sprzęt, technologie, możliwości produkcyjne, zalecenia konstrukcyjne. W: *Materiały XVII Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji*, Ustroń 2002, 1-22.

Orłowski Z. (1990). Organizacja podstawowych procesów produkcji elementów betonowych z uwzględnieniem warunków losowych. *Wydawnictwa Politechniki Białostockiej*, Białystok.

Nicał A. K. (2011). Analiza opłacalności funkcjonowania zakładu produkcji strunobetonowych wielootworowych płyt stropowych HC przy wykorzystaniu metody NPV, W: *Materiały XI Konferencji Naukowej Doktorantów Budownictwa*, Szczyrk 2011.

Słoniewski A. (1974). Opracowanie dotyczące technologii produkcji otworowych stropów sprężonych. *CEBET*.

CHECKING THE ACCURACY OF PARAMETERS OF THE PRE-TENSIONED HC SLABS PRODUCTION PROCESS WITH REFERENCE TO CHANCE VARIATIONS

Abstract: The aim of the paper is to determine by means of the Monte Carlo simulation method the influence of random distributions of aggregated production activity durations, within the production process of pre-tensioned HC slabs using the Spiroll production system, on the production parameters. A sequence of technological activities is illustrated in the techno-functional diagram. The sample durations for production activities are shown on an operational schedule. Additionally, causes of the diverse durations of production activities have been defined. Depending on the degree of mechanization of production activities, the dispersion around the expected value of the assumed probability destiny functions can be larger or smaller. Obtained on the basis of the research results reveal that the production parameters, assumed at the beginning, are highly likely to achieve.