

Aleksander K. NICAŁ¹

PROJEKTOWANIE PARAMETRÓW ORGANIZACYJNYCH I WYDAJNOŚCIOWYCH PROCESU PRODUKCYJNEGO ENERGETYCZNYCH ŻERDZI TYPU ŻN Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW LOSOWYCH

W referacie przedstawiono proces produkcyjny żelbetowych żerdzi energetycznych typu ŻN stosowanych do budowy linii elektroenergetycznych niskich napięć. Przy określaniu parametrów wydajnościowych i organizacyjnych procesu produkcyjnego założono wystąpienie warunków losowych. Ich wpływ wyrażony został zmiennym czasem trwania sumarycznych czynności na kolejnych stanowiskach roboczych. Jako interpretacja graficzna posłużyły krzywe gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia zakładanego sumarycznego czasu trwania czynności na danych stanowisku roboczym. Ocenę prawdopodobieństwa zaistnienia na wstępie przyjętych parametrów procesu produkcyjnego przeprowadzono metodą symulacyjną Monte Carlo.

PLANNING OF THE ORGANIZATIONAL AND PRODUCTIVITY PARAMETERS OF FERROCONCRETE ELECTRIC POLES PRODUCTION PROCESS WITH REFERENCE TO CHANCE VARIATIONS

The paper presents a production process of ferroconcrete electric poles used for the construction of overhead power lines of low voltage. The conditions of chance variations have been taken into account while determining the productivity and organizational parameters of the production process. Their influence was expressed in varying duration of summary activities on subsequent work stations and graphically presented by probability destiny functions. Assessment of occurrence probability of parameters assumed at the outset of the production process was carried out using Monte Carlo simulation method.

1. WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych parametrów wydajnościowych, które należy określić na etapie projektowania procesu produkcyjnego jest moc produkcyjna. Określa ona teoretyczną ilość wyprodukowanych wyrobów w jednostce czasu, przy założeniu pełnej niezawodności procesu produkcyjnego.

W praktyce produkcyjnej występują jednak zdarzenia, których dokładne uwzględnienie na etapie projektowania jest dość skomplikowane. Do zdarzeń tych zaliczyć można

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej; 00-637 Warszawa; al. Armii Ludowej 16.
tel: +48 22 234 57 49, e-mail: a.nical@il.pw.edu.pl

wszelkiego rodzaju przerwy i zakłócenia w trakcie produkcji, które w sposób znaczący wpływają na obniżenie wydajności całego procesu produkcyjnego.

Parametrem bezpośrednio wynikającym z mocy produkcyjnej i jednocześnie uwzględniającym opisane wyżej zakłócenia i przerwy jest zdolność produkcyjna. Podobnie jak moc produkcyjna wyraża ona ilość wyprodukowanych wyrobów w jednostce czasu, z tym wyjątkiem, że jest to wielkość możliwa do osiągnięcia w uprzednio założonych warunkach technologiczno-organizacyjnych procesu produkcyjnego.

Dodatkowo projektując proces produkcyjny oraz jego część składową, jaką jest proces roboczy, koniecznymi parametrami do określenia są: rytm produkcyjny i cykl produkcyjny.

Rytm produkcyjny jest czasem trwania poszczególnych operacji procesu produkcyjnego przy założonych warunkach technologiczno-organizacyjnych. Jego wielkość informuje o tym, ile czasu potrzeba na wyprodukowanie jednego wyrobu.

Cykl produkcyjny jest natomiast czasem trwania wszystkich operacji produkcyjnych, koniecznym do całkowitego przetworzenia przedmiotów produkcji, które zależnie od przyjętego modelu technologiczno-organizacyjnego, realizowane są w ramach stanowisk lub form.

2. CHARAKTERYSTYKA ŻELBETOWYCH ŻERDZI TYPU ŻN

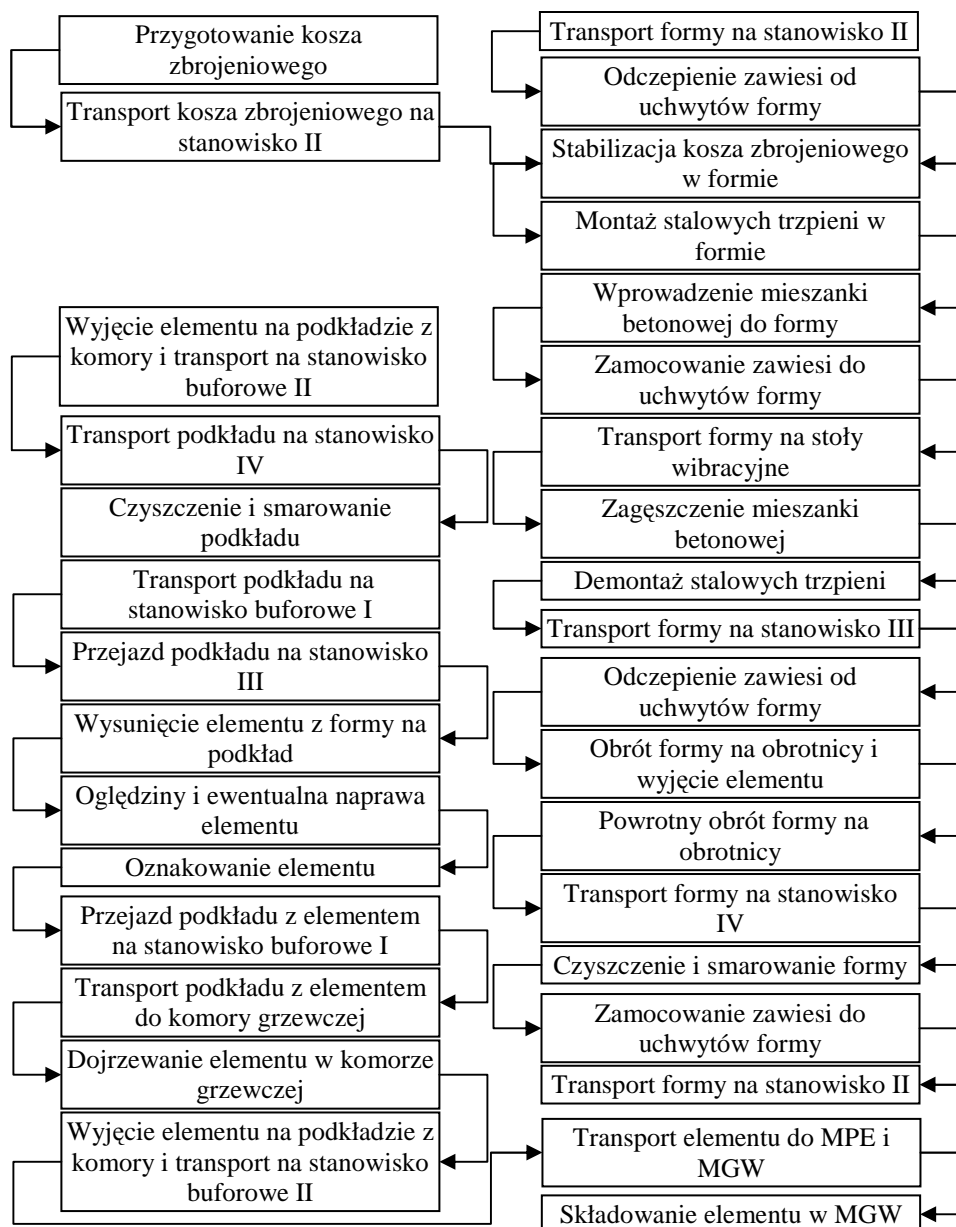
Produkowane żerdzie energetyczne typu ŻN znajdują zastosowanie do budowy konstrukcji wsporczych dla napowietrznych linii elektroenergetycznych niskich napięć oraz służą jako słupy przelotowe przy naprawach starych linii średnich napięć. Wykonywane są z betonu klasy C25/30 i zbrojone stalą 34GS i/lub RB 500W oraz St3SY-b. Szczegółowe zestawienie asortymentu produkowanych wyrobów przedstawiono w tabeli poniżej:

Tab. 1. Zestawienie asortymentu produkowanych żerdzi

| Symbol żerdzi | Wymiary | | | Masa żerdzi | Siła obliczeniowa | |
|----------------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------|
| | długość | przekrój wierzchołka | przekrój podstawy | m | P_x | P_y |
| | mm | mm | mm | kg | kN | kN |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ŻN-9/200-2002 | 9200 | 190x140 | 282x204 | 815 | 2,20 | 1,11 |
| ŻN-10/200-2002 | 10000 | 190x140 | 290x210 | 915 | 2,27 | 1,11 |
| ŻN-12/200-2002 | 12000 | 190x140 | 310x224 | 1190 | 2,27 | 1,13 |

3. OPIS MODELU TECHNOLOGICZNO-ORGANIZACYJNEGO PRZEBIEGU PROCESU PRODUKCJI ŻERDZI TYPU ŻN

Ze względu na stosunkowo niewielkie wymiary i masę produkowanych żerdzi, przyjęto potokowo-stacjonarny wariant zorganizowania procesu w przestrzeni. Formy przemieszczane są przez kolejne stanowiska robocze, po czym umieszczane są w komorach grzewczych, gdzie zachodzi proces obróbki cieplnej.



Rys. 1 Schemat technologiczno-funkcyjny procesu produkcyjnego żerdzi typu ŻN

Produkowane elementy są technologicznie podobne, wobec czego przyjęty został przedmiotowy wariant organizacji podsystemów produkcyjnych. Zróżnicowane czasy

trwania czynności na poszczególnych stanowiskach roboczych, jak również wymuszona kolejność przeprowadzania operacji produkcyjnych na przedmiotach produkcji skutkują pólzstywnymi powiązaniem podsystemów produkcyjnych.

Proces roboczy ma charakter złożony i realizowany jest na czterech stanowiskach roboczych, obejmujących kolejno zbrojenie, formowanie, rozformowanie, czyszczenie i smarowanie. Przykładową kartę stanowiskową przedstawiono na Rys. 2, natomiast schemat technologiczno-funkcjonalny całego procesu produkcyjnego - powyżej na Rys. 1.

| Lp | Nazwa czynności | Jednostka | Liczba jednostek | Norma czasu pracy maszyn na jednostkę | Norma czasu pracy ręcznej na jednostkę | Liczba zatrudnionych | Czas trwania czynności | Harmonogram | | | | | |
|----------------------------|--|---------------------|------------------|---------------------------------------|--|----------------------|------------------------|-------------|-----|-----|-----|---|--|
| | | | | | | | | 5' | 10' | 15' | 20' | | |
| 1 | Transport formy na stanowisko II | szt. | 1 | 1,75 | - | 2 | 1,75 | ■ | | | | | |
| 2 | Demontaż zawiesi z uchwytyw formy | kpl. | 1 | - | 1,0 | 2 | 0,5 | ■ | | | | | |
| 3 | Transport kosza na stanowisko II | szt. | 2 | 1,0 | - | 4 | 2,0 | ■ | | | | | |
| 4 | Stabilizacja k. zbrojeniowego w formie | szt. | 2 | 3,0 | - | 4 | 3,0 | ■ | ■ | | | | |
| 5 | Montaż stalowych trzpieni w formie | kpl. | 2 | 3,0 | - | 4 | 3,0 | | ■ | ■ | | | |
| 6 | Wprowadzenie m. betonowej do formy | mb | 12 | - | 6,0 | 2 | 2,0 | | | ■ | | | |
| 7 | Zamocowanie zawiesi do uchwytyw formy | kpl. | 1 | 1,0 | - | 2 | 0,5 | | | | ■ | | |
| 8 | Transport formy na stoły wibracyjne | szt. | 1 | - | 0,5 | 2 | 0,5 | | | | | ■ | |
| 9 | Zagęszczenie mieszanki betonowej | kpl. | 1 | - | 0,5 | 2 | 2,0 | | | | | ■ | |
| 10 | Demontaż stalowych trzpieni | kpl. | 2 | 3,0 | - | 4 | 3,0 | | | | | ■ | |
| Siły wytwórcze | Robotnicy | Robotnik I | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | | Robotnik II | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | | Robotnik III | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | | Robotnik IV | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | Maszyny stanowiska | Samojezdny zasypnik | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| Maszyny linii produkcyjnej | Sawnica pomostowa II | | | | | | ■ | ■ | | | | | |

Rys. 2 Karta organizacyjna komórki produkcyjnej, wykonującej operację formowania

4. OKREŚLENIE PARAMETRÓW PROCESU PRODUKCYJNEGO METODĄ SYMULACYJNĄ MONTE CARLO

4.1 Wstęp

Analizując przebieg procesu produkcyjnego żelbetowych żerdzi typu ŻN zauważyć można, że wykonywane operacje produkcyjne przebiegają zarówno w sposób automatyczny, jak i ręczny. Na podstawie wyników badań chronometrażowych z zakładów zajmujących się produkcją podobnego asortymentu wyrobów, każdej operacji produkcyjnej przypisane zostały określone czasy trwania. Jednakże należy mieć na uwadze fakt, że przypisane czasy nie są stałe, a wpływ na ich wartość mają następujące czynniki:

- zastąpienie w trakcje realizacji zakładu projektowanych maszyn, urządzeniami nowszymi o lepszych parametrach wydajnościowych;
- zużycie maszyn i zakup nowych, bardziej wydajnych urządzeń;
- niska jakość surowców;
- awarie urządzeń wchodzących w skład linii produkcyjnej;
- zróżnicowana wydajność pracowników.

Wymienione wyżej czynniki powodują, że czasy trwania operacji produkcyjnych oraz wynikające z nich wielkość rytmu i cyklu produkcyjnego przyjmować mogą zróżnicowane wartości. Założyć, zatem można losowy rozkład czasów trwania operacji produkcyjnych na poszczególnych stanowiskach roboczych i w zależności od ich specyfiki przypisać im krzywą gęstości prawdopodobieństwa. Następnie metodą symulacyjną zbadać wpływ zróżnicowanych czasów trwania operacji produkcyjnych na wartość rytmu produkcyjnego oraz określić prawdopodobieństwo uzyskania zakładanych parametrów.

4.2 Założone parametry wydajnościowe i organizacyjne

Sumaryczne czasy trwania czynności na kolejnych stanowiskach roboczych wynoszą:

- Stanowisko I – 18,0 minut,
- Stanowisko II – 18,25 minut,
- Stanowisko III – 11,50 minut,
- Stanowisko IV – 12,75 minut.

Założony stały rytm oraz cykl produkcyjny wynoszą odpowiednio: 20 minut oraz 80 minut. Przyjęto, że produkcja realizowana będzie w systemie całorocznym, jednozmianowym. Przy tych założeniach możliwe jest uzyskanie zdolności produkcyjnej na poziomie 11 500 sztuk rocznie i mocy produkcyjnej o wielkości 12 105 sztuk rocznie.

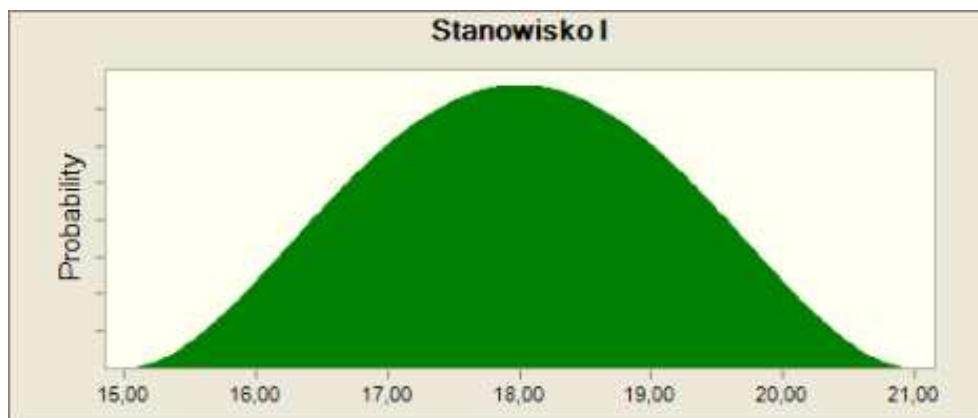
4.3 Dobór krzywych gęstości prawdopodobieństwa do stanowisk roboczych

Określenie prawdopodobieństwa, że zmienna T nie przekroczy wartości rytmu produkcyjnego r możliwe jest za pomocą poniższej funkcji:

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

Czynności wykonywane na stanowisku I obejmują montaż kosza zbrojeniowego i w całości prowadzone są w sposób ręczny. Skutkuje to stosunkowo dużym rozrzutem wokół

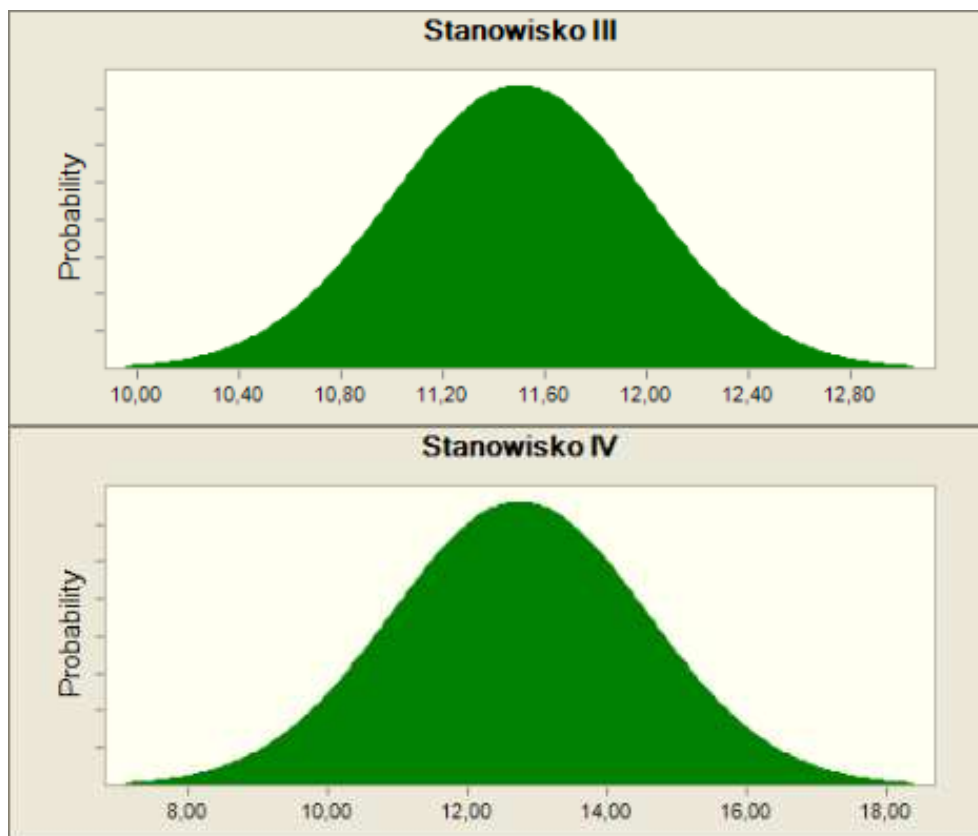
wartości oczekiwanej i powoduje dobór funkcji o charakterze spłaszczonym, posiadającej dużą dyspersję (Rys. 3).



Rys. 3 Krzywa gęstości prawdopodobieństwa dla stanowiska I

W przeciwieństwie do stanowiska I, czynności wykonywane na pozostałych trzech stanowiskach są w większym stopniu zautomatyzowane i w konsekwencji mają znacząco mniejszy rozrzut wokół wartości oczekiwanej. Funkcje gęstości prawdopodobieństwa dla kolejnych stanowisk roboczych przedstawiono poniżej na Rys. 4.

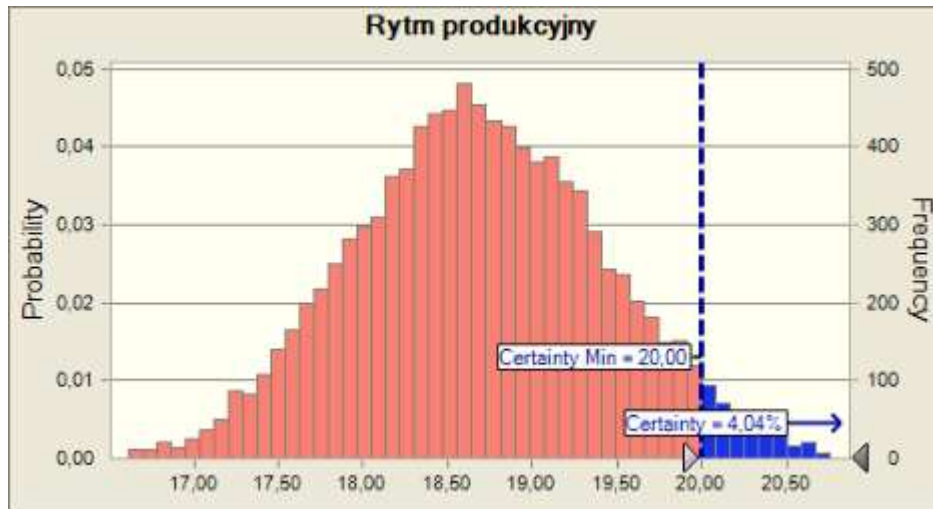




Rys. 4 Krzywe gęstości prawdopodobieństwa dla stanowiska II, III i IV

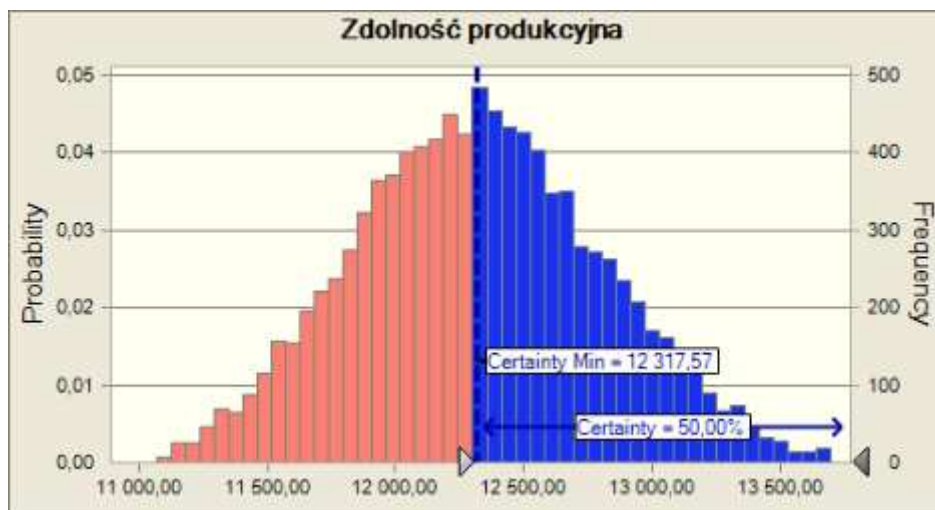
4.4 Wyznaczenie prawdopodobieństwa otrzymania założonych parametrów wydajnościowych i organizacyjnych

Na podstawie analizy symulacyjnej Monte Carlo, przy założeniu 10 000 powtórzeń, prawdopodobieństwo nie uzyskania założonego rytmu produkcyjnego o wartości 20 minut wynosi 4,04%. Wobec czego w pozostałych 95,96% możliwe jest osiągnięcie przyjętego rytmu produkcyjnego oraz, co się z tym wiąże, założonego cyklu, zdolności i mocy produkcyjnej (Rys. 5).



Rys. 5 Krzywa gęstości prawdopodobieństwa rytmu produkcyjnego

Analizując wyniki symulacji dostrzec można także na Rys. 6, że istnieje 50% szans na uzyskanie zdolności produkcyjnej na poziomie 12 317 sztuk żerdzi żelbetowych rocznie. W ujęciu statystycznym stwierdzamy, zatem, że na 100 możliwych przypadków w ponad 50-ciu możliwe jest wyprodukowanie o nieco ponad 7% większej liczby elementów niż ta założona w zdolności produkcyjnej.



Rys. 6 Krzywa gęstości prawdopodobieństwa zdolności produkcyjnej

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki pozwalają stwierdzić, że założone na wstępie parametry wydajnościowe i organizacyjne procesu produkcyjnego żelbetowych żerdzi energetycznych są bardzo prawdopodobne do zrealizowania. Na tak korzystny wynik wpływ ma na pewno wartość założonego rytmu produkcyjnego, która jest o ponad 9% większa od sumarycznego czasu najdłużej trwających czynności na danym stanowisku roboczym, w całym procesie produkcyjnym. Dodatkowo znaczny stopień zautomatyzowania występujący na stanowiskach II, III i IV pozwala ograniczyć potencjalny rozrzut sumarycznych czasów trwania na tych stanowiskach. W konsekwencji prowadzi to do uzyskiwania wyników o wiele bardziej zbliżonych, do tych założonych na wstępie. Największym problemem na etapie przygotowywania analizy symulacyjnej jest dobór odpowiednich krzywych gęstości prawdopodobieństw, obrazujących rzeczywisty rozkład czasów trwania czynności stanowiskowych. Przyjmowane za każdym razem przybliżenie stanu faktycznego funkcją, powoduje, że otrzymywane rezultaty obarczone są zawsze pewnym błędem. Duża liczba danych dotyczących czasu trwania czynności na stanowiskach oraz dokładnie dobrana krzywa wpływają na redukcję tego błędu.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Orłowski Z.: *Organizacja podstawowych procesów produkcji elementów betonowych z uwzględnieniem warunków losowych*, Białystok, WPB 1990.
- [2] Cieszyński K, Śliwiński K, Wróblewski S.: *Przemysłowa produkcja prefabrykatów – Organizacja produkcji*, Warszawa, PWN 1983.
- [3] Koza K., Warachim A.: *Perspektywy stosowania żerdzi z betonu wirowanego w napowietrznych liniach elektroenergetycznych niskich napięć*, „elektro.info” nr 11/2008.
- [4] Aprobata Techniczna ITB AT-15-6687/2005, Żerdzie żelbetowe typu ŻN.
- [5] www.strunobet.pl.
- [6] www.eviro.com.
- [7] www.prefabetkurzetnik.pl.
- [8] www.wirbet.com.pl.