

Anna Chojnacka, 68729      Michał Puchalski, 67827  
Paweł Sadłowski, 68404



**Szkoła Główna  
Handlowa  
w Warszawie**

Zaawansowane Modelowanie Symulacyjne  
[234060-0723]

GWINTEX S.A.  
Symulacja linii produkującej korkociągi

Warszawa, 7.05.2019

## Streszczenie

Tutaj executive summary na koniec.

## 1. Opis organizacji

GWINTEX S.A. to międzynarodowa organizacja zajmująca się produkcją korkociągów. Firma jest w pionierem w wykorzystaniu najnowszych technologii i zaawansowanych maszyn metalurgicznych. Już w 3 lata po rozpoczęciu działalności jako niewielkie rodzinne przedsiębiorstwo GWINTEX S.A. stał się największym pracodawcą w powiecie oraz jednym z trzech najważniejszych graczy w branży. Oferta obejmuje szeroką gamę korkociągów: od najprostszych modeli wykonanych z metalu bądź aluminium po kunsztownie zdobione egzemplarze. Aktualnie w związku z pokaźnym zasobem oszczędności oraz rosnącym portfelem zamówień zza granicy przedsiębiorstwo zamierza przeprowadzić ekspansję.

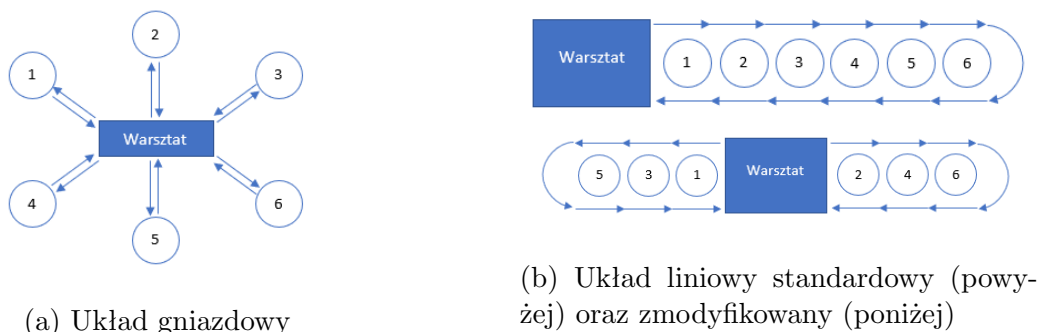
## 2. Opis problemu

W związku z rosnącym popytem i coraz większą liczbą spływających zamówień zarząd firmy GWINTEX S.A. planuje wybudować nową halę produkcyjną, aby zwiększyć moce przerobowe. Celem prowadzonej symulacji jest ustalenie, jaki będzie najefektywniejszy układ maszyn w nowej placówce oraz ile pakietów narzędzi naprawczych należy zakupić. Maszyny, które zarząd planuje nabyć, mają tendencję do psucia się, konieczne będzie zatem znalezienie rozwiązania minimalizującego czas, w którym maszyny nie pracują, przy uwzględnieniu kosztów. Dodatkowo została przeprowadzona analiza wrażliwości obejmująca zabezpieczenie się na wypadek czarnego scenariusza w postaci spadku popytu w przyszłości oraz analiza opłacalności szkoleń dla pracowników, które pomogłyby skrócić czas naprawy psujących się maszyn.

### 2.1. Szczegółowy scenariusz symulacji

Firma GWINTEX S.A. dysponuje historycznymi danymi dotyczącymi bezawaryjnego czasu pracy maszyn — ma on rozkład wykładniczy z wartością oczekiwaną równą 75 minut. Wiemy również, że każda z sześciu maszyn ma przypisanego operatora, który ją obsługuje i naprawia. Na podstawie tych samych danych wiadomo, że czas naprawy jest zmienną losową z rozkładu Erlanga, gdzie  $k=3$  a wartość oczekiwana wynosi 15 minut. Co ważne, liczba zestawów narzędzi do naprawy maszyn znajdujących się w zakładzie jest ograniczona — mniejsza od liczby zakupionych maszyn. W momencie, w którym występuje usterka, zestaw zostaje wysłany z magazynu do operatora, po ukończonej naprawie wraca do niego z powrotem. Dopiero po zakończeniu całego procesu narzędzia mogą zostać ponownie wysłane do kolejnego operatora. Czas transportu narzędzi do zepsutej maszyny zależy od jej położenia na hali produkcyjnej. Oprócz dwóch wyjściowo rozważanych schematów, tj. gwiazdowego oraz liniowego, proponujemy także własną modyfikację układu liniowego, której wdrożenie nie powinno stanowić problemu, a wyniki otrzymane w symulacji wskazują na jej wyższą efektywność. Trzy rozważane warianty zaprezentowano na rysunku 1. We wszystkich analizach przyjęliśmy 30-dniowy horyzont czasowy do oszacowania kosztów związanych

Rysunek 1: Schematy rozmieszczenia maszyn na hali produkcyjnej



z każdym ze scenariuszy. Dla zapewnienia stabilności wyników wygenerowano 1000 symulacji dla każdego scenariusza.

## 2.2. Struktura modelu

Zgodnie z terminologią zastosowaną przez Averilla Lawa ([1]) zastosowany model jest przykładem symulacji zdarzeń dyskretnych (discrete-event simulation). Modelowanymi zjawiskami są: moment wystąpienia awarii dla każdej z maszyn (rozkład wykładniczy) oraz czas naprawy (rozkład Erlanga). Wartości tych zmiennych są losowane niezależnie. Czas oczekiwania na narzędzia oraz czas naprawy maszyny składają się następnie na czas przestoju maszyny. W każdej iteracji symulowany jest cały horyzont czasowy (30 dni) dla wszystkich maszyn. Ostateczny wynik jest średnią łącznego czasu przestoju danej maszyny w kolejnych iteracjach i w razie potrzeby może być dalej agregowany.

## 3. Wyniki analizy

Tabela 1: Średni czas według układu hali oraz liczby zestawów narzędzi

układ hali	Liczba zestawów narzędzi				
	1	2	3	4	5
gniazdowy	17464.53	8360.69	8357.60	8357.48	8357.48
liniowy stand.	24467.99	9770.15	9757.19	9757.33	9757.09
liniowy zmod.	19646.10	8724.11	8720.79	8719.79	8719.80

### 3.1. Liczba zakupionych zestawów narzędzi

Wyniki analizy jednoznacznie wskazują, że w pierwszej kolejności należy zdecydować o liczbie zakupionych narzędzi. Zakup drugiego zestawu pozwala ograniczyć czas przestroju o ponad 50%. Decyzja ta będzie opłacalna jeśli tylko koszt drugiego zestawu nie przekroczy równowartości 151.7 godzin przestoju miesięcznie w przeliczeniu na maszynę w układzie gniazdowym bądź 245 godzin w przypadku układu liniowego (182 godziny dla zmodyfikowanego

układu liniowego). Należy zaznaczyć, że spodziewany koszt zakupu drugiego zestawu narzędzi jest niższy niż dodatkowe nakłady związane z wdrożeniem układu gniazdowego, a możliwe do osiągnięcia korzyści — znacznie większe. Z tego powodu rozpoczynamy analizę wyników właśnie od tego punktu. Co ważne, zaopatrzenie się w kolejne zestawy pozostaje prawie bez wpływu na czas przestoju.

### **3.2. Zmodyfikowany układ liniowy**

W naszej analizie oprócz standardowego układu liniowego rozważamy także jego modyfikację. Prostota rozwiązania sugeruje, że jego wprowadzenie nie powinno nastroczać operacyjnych trudności — jedyna zmiana względem układu liniowego polega na przeniesieniu warsztatu do środka hali, jak na rysunku. W ten sposób redukcji ulega średnia odległość pomiędzy maszyną, a warsztatem, a dzięki temu także czas transportu narzędzi. Tę ostatnią wielkość oszacowaliśmy na podstawie specyfikacji podanej dla standardowego modelu liniowego, zakładając proporcjonalną relację między odległością a czasem transportu. Wyniki symulacji pokazują, że wdrożenie zaproponowanej przez nas modyfikacji pozwala na ograniczenie czasu przestoju o 10-20%. Uznajemy zatem zaproponowaną modyfikację za zasadną, o ile tylko jest ona wykonalna operacyjnie.

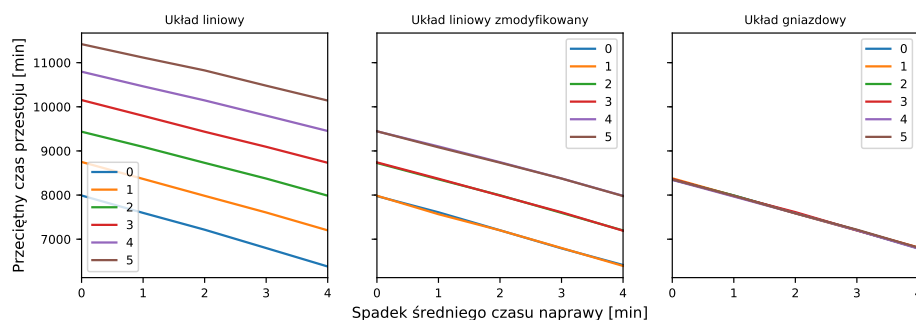
### **3.3. Wybór optymalnego układu maszyn**

Jak zaznaczyliśmy powyżej, zakup drugiego zestawu narzędzi przynosi większą korzyść przy prawdopodobnie niższych kosztach niż modyfikacja układu maszyn. Dalsze zwiększanie liczby dostępnych zestawów nie prowadzi jednak do znaczącego spadku czasu przestoju, konieczne jest wówczas wdrożenie innego schematu hali produkcyjnej. Jak łatwo zauważyć, najlepsze wyniki charakteryzują układ gniazdowy, który jednak wiąże się prawdopodobnie z najwyższymi kosztami, z uwagi na konieczność zainstalowania sześciu niezależnych taśmociągów. Zakładając, że zakupione zostaną dwa zestawy narzędziowe, zmiana układu z liniowego na gwiazdowy jest opłacalna, o ile jej koszt nie przekroczy 23.5 godziny przestoju miesięcznie w przeliczeniu na maszynę (6 godzin w przypadku zmodyfikowanego układu liniowego). Otrzymane liczby są niewielkie, co wskazywałoby na niskie prawdopodobieństwo opłacalności takiego rozwiązania, należy jednak pamiętać, że okres eksploatacji hali produkcyjnej jest najprawdopodobniej bardzo długi.

## **4. Analiza wrażliwości**

W ramach analizy wrażliwości rozważyliśmy dodatkowo trzy scenariusze: możliwość przeprowadzenia dodatkowych szkoleń dla pracowników, które pozwoliłyby ograniczyć czas naprawy, konieczność czasowego wyłączenia z użycia niektórych maszyn z powodu spadku popytu oraz zakup maszyn nowej generacji, charakteryzujących się niższą awaryjnością (dłuższy przeciętny czas pracy bez usterki).

Rysunek 2: Przeciętny miesięczny czas przestoju dla poszczególnych maszyn



#### 4.1. Szkolenia dla pracowników

Rozważany przez nas scenariusz zakłada możliwość odpowiedniego przeszkolenia pracowników, które pozwoliłoby ograniczyć przeciętny czas naprawy o 1-4 minuty. Jak widać na wykresie 2, rozsądne przybliżenie spodziewanego spadku łącznego czasu przestoju powinna zagwarantować funkcja liniowa. Opierając się na tym założeniu wnioskujemy, że zakup szkoleń jest opłacalny tak długo, jak koszt ograniczenia średniego czasu pojedynczej naprawy o minutę nie przekracza 5.9 godziny przestoju miesięcznie w przeliczeniu na maszynę w układzie liniowym, 6.3 godziny w układzie gniazdowym oraz 6.4 godziny w zmodyfikowanym układzie liniowym.

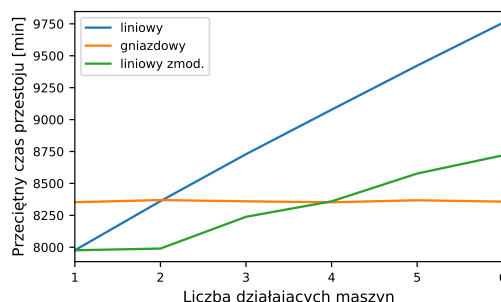
#### 4.2. Czasowe wyłączenie maszyn z użytku

Przejściowy spadek liczby zamówień może wiązać się z koniecznością czasowego wyłączenia pewnej liczby maszyn z użytku. Przeprowadziliśmy zatem analizę, która miała za zadanie wyznaczyć optymalny układ w przypadku gdy efektywnie eksploatowanych jest mniej niż 6 maszyn. Układ liniowy w swojej standardowej wersji wypada korzystniej od gniazdowego wyłącznie w przypadku gdy aktywna jest tylko jedna maszyna — taki scenariusz należy raczej zakwalifikować jako mało prawdopodobny, ponieważ oznaczałby najprawdopodobniej bardzo znaczące problemy ze zbytem produktów. Przewaga układu gniazdowego maleje w przybliżeniu liniowo wraz ze spadkiem liczby maszyn pozostających w użyciu. Warto zauważyć, że zmodyfikowany układ liniowy jest nie mniej efektywny od gniazdowego jeśli pracują co najwyżej 4 maszyny. Należy zatem wziąć pod uwagę, że jeśli możliwe są przejściowe spadki produkcji, korzyści z wdrożenia układu gniazdowego mogą okazać się mniejsze od spodziewanych, a w niektórych okresach schemat ten może okazać się nawet droższy w eksploatacji od swoich alternatyw. Dokładne wartości czasu przestoju w poszczególnych wariantach można prześledzić na wykresie 3.

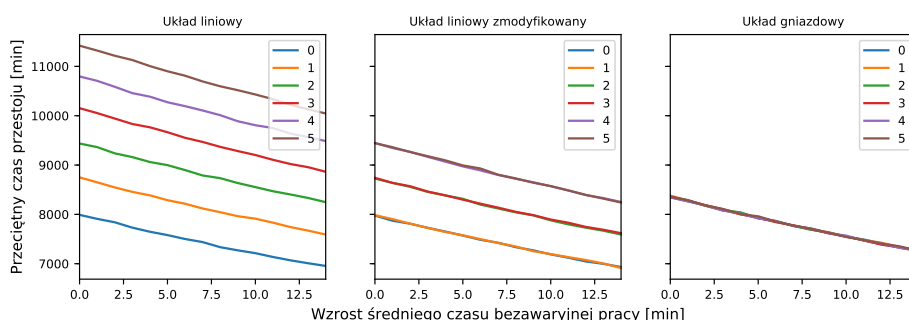
#### 4.3. Zakup maszyn nowszej generacji

Rozważany scenariusz zakłada zakup sprzętu, który charakteryzuje się niższą awaryjnością, w wyniku czego przeciętny czas pracy maszyn bez usterek jest wydłużony. Przeciętny czas bezawaryjnej pracy maszyny wynosił 75 minut. W naszej analizie został on rozszerzony o wartości z przedziału

Rysunek 3: Przeciętny miesięczny czas przestoju w przeliczeniu na maszynę



Rysunek 4: Przeciętny czas przestoju dla poszczególnych maszyn



1-14 minut. Jak widać na wykresie 4, dłuższy czas pomiędzy awariami, a co za tym idzie spadek kosztów, może być odpowiednio przybliżany przez funkcję liniową. Średnia poprawa czasu przestoju maszyny wynosi od 71 do 82 minut (miesięcznie) za każdą dodatkową minutę czasu pomiędzy awariami (dla układu liniowego wynosi 82 minuty, zmodyfikowanego liniowego – 75 minut; gniazdowego – 71 minut).

## 5. Wnioski

Podsumowując, rekomendujemy zakup dwóch zestawów narzędziowych do nowej hali produkcyjnej. Warunkiem opłacalności tej decyzji jest cena pojedynczego zestawu nieprzekraczająca — zależnie od wybranego układu — od 151.7 do 245 godzin przestoju miesięcznie w przeliczeniu na maszynę. Jeśli konieczna będzie dalsza redukcja tej wartości, należy rozważyć zmianę układu z liniowego na wariant gwiazdowy, jednak osiągalne korzyści są w tym przypadku zauważalnie mniejsze. Rozwiązanie to będzie tym bardziej atrakcyjne jeśli istotny jest równomierny rozkład czasu pracy pomiędzy eksploatowanymi maszynami. Jeśli próg opłacalności nie zostanie spełniony, rekomendujemy wdrożenie zaproponowanej przez nas modyfikacji układu liniowego, która wypada jednoznacznie lepiej od wersji standardowej, a w sytuacji wyłączenia więcej niż 2 maszyn z użytku generuje niższe koszty niż układ gniazdowy. Analiza wrażliwości wykazała również, że szkolenia przyspieszające usuwanie usterek są opłacalne gdy koszt skrócenia naprawy o minutę nie przekracza wartości ok. 6-godzinnego przestoju w przeliczeniu na maszynę miesięcznie,

zaś inwestycja w maszyny nowszej generacji jest uzasadniona o ile iloraz różnicy w cenie oraz różnicy w czasie bezawaryjnej pracy nie przekracza kosztu 70-80 minut przestoju miesięcznie. W obu przypadkach dokładnie wartości zależą od wdrożonego układu hali produkcyjnej i zostały zaprezentowane powyżej.

## Literatura

- [1] Averill M. Law, W. David Kelton, *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw-Hill, wyd. drugie, 1991
- [2] P. Wojewnik, *Pitu case study*
- [3] Bożena Mielczarek, *Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu. Symulacja dyskretna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009