

# MODELOWANIE 3D TRANSPORTU UROBKU W KOPALNI ODKRYWKOWEJ W PROGRAMIE FLEXSIM – CYKLICZNA PRACA WOZIDEŁ

## 3D MODELING OF TRANSPORT OF EXCAVATED MATERIAL IN THE OPEN PIT MINES IN THE FLEXSIM PROGRAM - CYCLICAL OPERATION OF DUMP TRUCKS

**Marek Kondratowicz - Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska**

---

*Model symulacyjny został wykonany na podstawie istniejącej kopalni, będącej własnością prywatnej spółki. Utworzony model zawierał elementy grafiki 3D odpowiadające maszynom i elementom przestrzeni mającym wpływ na udział czasowy poszczególnych składowych w cyklu wydobywco-produkcyjnym. Przy użyciu narzędzi programu FlexSim zaprogramowano parametry logiczne i awarie maszyn, które uwzględniały straty czasowe związane z losowością harmonogramu pracy oraz niezawodnością.*

*Symulacje zostały przeprowadzone dla zaprojektowanego modelu o określonych parametrach pracy 8-godzinnej i prawdopodobieństwie zdarzeń opartym na losowości uzyskanej przy zastosowaniu rozkładu normalnego. Modele stochastyczne polegały na tworzeniu różnych scenariuszy niezawodności maszyn oraz czasów załadunku i rozładunku.*

*Przeprowadzone eksperymenty polegały na kilkukrotnej replikacji scenariusza opartego na rozkładzie prawdopodobieństwa ich wystąpienia poprzez modyfikację odchylenia standardowego.*

**Słowa kluczowe:** model, modelowanie, symulacja, wozidła, flexsim

*The simulation model has been performed based on an existing mine, owned by a private company. The created model contained elements of 3D graphics corresponding to machines and space's elements having an impact on the time share of individual components in the mining and production cycle. Using the FlexSim's tools, logical parameters and machine failures has been programmed, which took into account the time losses related to the randomness of the work schedule and reliability.*

*The simulations have been carried out for a designed model with specific 8-hour operation parameters and event probability based on randomness obtained using a normal distribution. Stochastic models consisted in creating various scenarios of machine reliability as well as loading and unloading times.*

*The experiments carried out consisted in several replicating the scenario based on the probability distribution of their occurrence by modifying the standard deviation.*

**Keywords:** model, modeling, simulation, dump trucks, flexsim

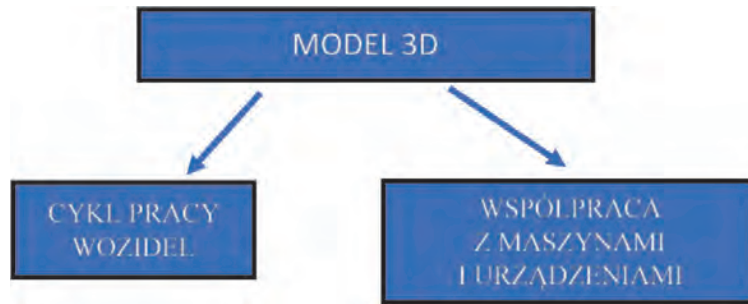
### Wstęp

Artykuł przedstawia symulacje cyklu pracy wozideł oraz ich współpracę z innymi maszynami i urządzeniami przy pomocy symulacji komputerowej wykonanej w programie FlexSim. Zamierzony efekt został uzyskany poprzez utworzenie modelu 3D pracy wozideł. Zastosowanie w pracy programu FlexSim pozwoliło na zaprezentowanie nowego narzędzia stosowanego w branży górniczej w celach edukacyjnych oraz ukazało jego możliwości i sposób wykorzystania w praktyce przemysłowej.

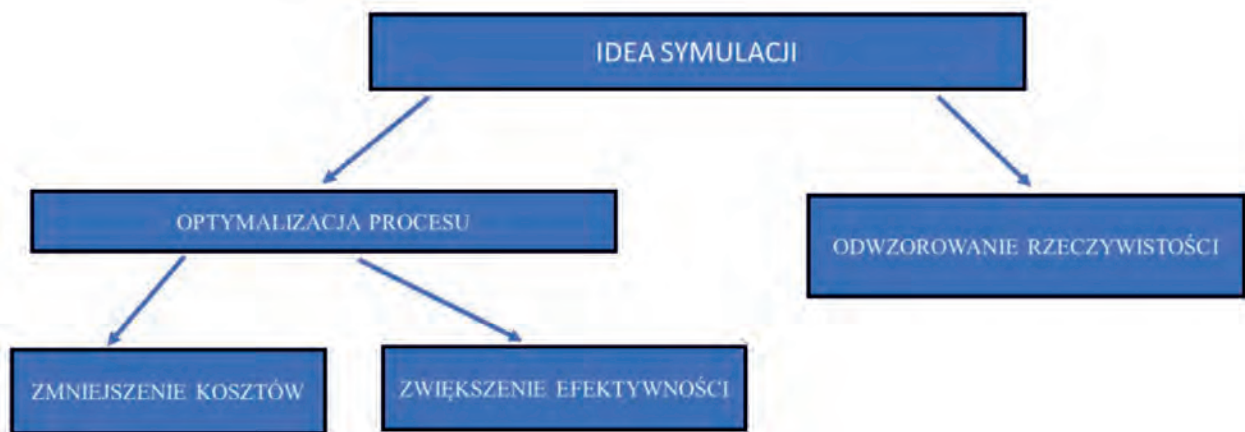
Ze względu na dużą liczbę czynników, którą należy brać pod uwagę w przypadku projektowania, bądź odtwarzania rzeczywistego układu technologicznego i ograniczeń wersji demonstracyjnej programu (30 elementów) utworzony model posiada wiele uproszczeń. Cel projektu został przedstawiony graficznie na rysunku 1.

### Idea przeprowadzania symulacji komputerowej

Symulacja jest to technika imitacji rzeczywistych procesów lub sposobu działania obiektów fizycznych za pomocą modeli



Rys.1 . Cel projektu  
Fig. 1. The purpose of the project



Rys.2 . Idea symulacji  
Fig. 2. The idea of simulation

numerycznych lub matematycznych (Malewski i Modrzejewski, 2008).

Ideą symulacji jest intuicyjne odwzorowanie oraz optymalizacja zaawansowanych procesów zachodzących w analizowanej branży, np. produkcji i logistyce (rys. 2).

W produkcji górniczej praktykuje się dostrajanie poszczególnych jej parametrów, poprzez zastosowanie symulacji prób wielu scenariuszy, w celu uzyskania najbardziej optymalnych warunków funkcjonowania procesu wydobywania i transportu urobku (Malewski i Modrzejewski, 2008).

### Cykliczna praca wozideł

Podstawowym elementem technologicznym układów eksploatacyjnych jest transport oponowy oparty o pojazdy samochodowe. Wydajność cyklu transportowego zależy od liczby samochodów, pojemności skrzyń, stopnia załadunku oraz prędkości jazdy, która wpływa na czas cyklu transportowego. Parametry cyklu pracy wyznaczane są dla konkretnych warunków kopalni i parametrów używanych samochodów (Malewski i Modrzejewski, 2008).

Transport cykliczny w kopalni polega na przemieszczaniu się urobku według ścisłego harmonogramu zawierającego możliwe planowe lub nieplanowe przerwy.

Rysunek 3 przedstawia składowe cyklu pracy umieszczone orientacyjnie w miejscach ich występowania.

Cykliczna praca wozideł w praktyce jest uznawana za

funkcję nieciągłą. Poszczególne składowe (stany) otrzymują swoje nazwy w zależności od położenia lub czynności w jakiej się znajdują w danym momencie. Zatem można uznać, że cykl pracy maszyny jest kolejnością zachodzenia poszczególnych stanów (Czaplicki, 2006).

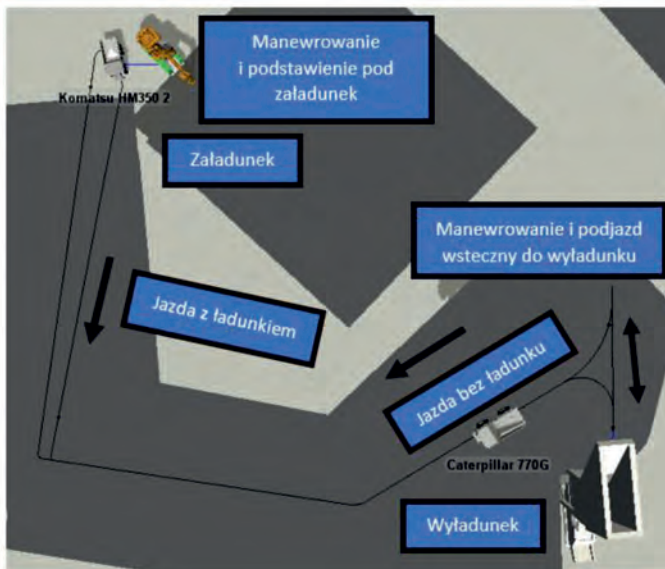
W obliczeniach i pomiarach technologii ruchowej samochodów uwzględnia się pełny cykl pracy samochodu tj.: załadunek, jazda z ładunkiem, wyładunek, jazda powrotna, manewry przy załadunku i wyładunku oraz czas oczekiwania (Malewski i Modrzejewski, 2003).

Wydawałoby się, że powyższe składowe to wszystko na co powinniśmy zwrócić uwagę podczas analizy modelu, jednak nie jest to takie proste. Pojawiają się różne zaburzenia cyklu pracy, nazywane awarią lub przerwą związane z tym, że maszyny działają równolegle i często są zależne od siebie.

### Etapy budowy modelu symulacyjnego

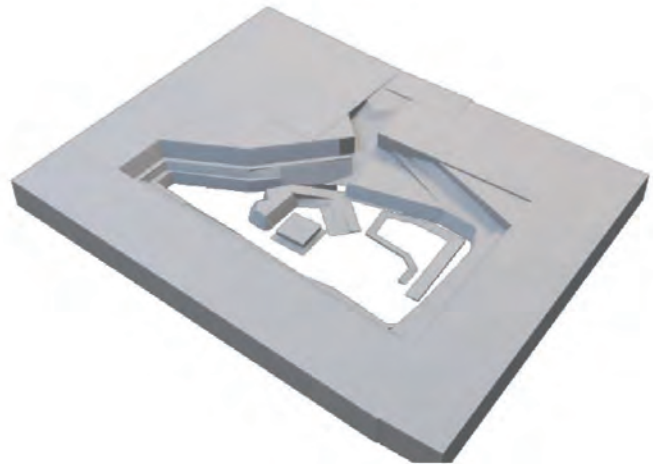
Etapy budowy modelu:

1. Projekt przestrzeni (nieobowiązkowo, ale w przypadku kopalni odkrywkowych bardzo przydatne, dodatkowo otrzymujemy efekt wizualny).
2. Umieszczenie obiektu źródła *Source* i obiektu zlewu *Sink*.

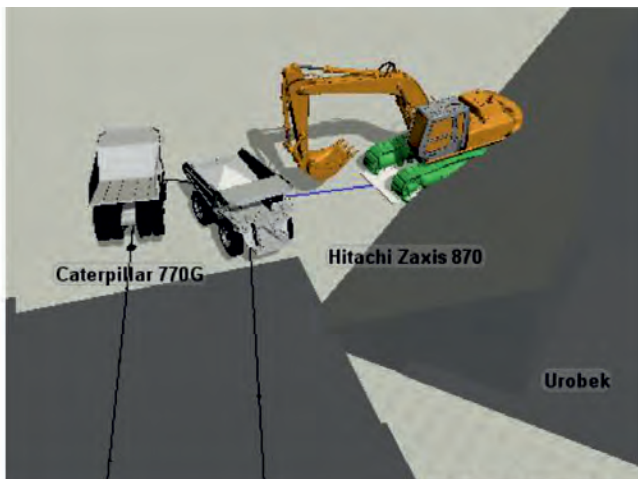


Rys.3 . Widok poziomy układu wydobywczo-produkcyjnego w programie FlexSim

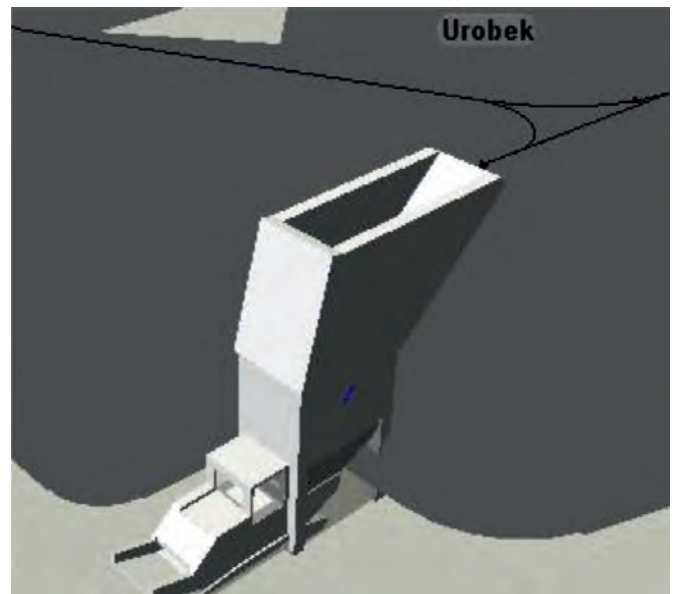
Fig. 3. A horizontal view of the extraction and production system in the FlexSim program



Rys. 4. Model wyrobiska  
Fig. 4. Model of the mine



Rys. 5. Praca koparki Hitachi Zaxis 870  
Fig. 5. Hitachi Zaxis 870 excavator



Rys.6. Kruszarka Metso LT140 ze stołem załadunkowym  
Fig. 6. Metso LT140 crushing plant with loading table

3. Zaplanowanie tras jazdy dla wykonawców *TaskExecuterów*.
4. Umieszczenie *TaskExecuterów* oraz kolejki *Queue* i włączenie ich pod dyspozycje *Dispatchera*.
5. Wprowadzenie parametrów pracy maszyn w oparciu o statystykę lub dane deterministyczne pomierzone w terenie oraz zaprogramowanie logiki modelu (niezawodność MTTR i MTBF).
6. Przeprowadzenie symulacji i wygenerowanie diagramów.

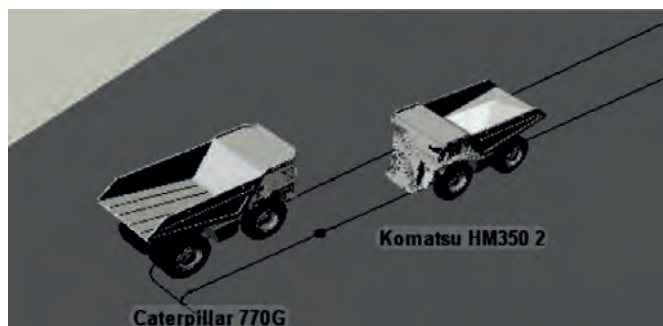
### Opis modelu 3D

Aby uzyskać rzeczywiste wskaźniki wydajności cyklu produkcyjnego należało wprowadzić rozbudowaną logikę funkcjonowania sparametryzowanego modelu uwzględniającą m.in. straty transportowe, sprawność operatora maszyny, dyspozycyjność i awaryjność maszyn oraz zle zharmonizowanie cykli pracy maszyn (Malewski i Modrzejewski, 2008).

Utworzony model zawiera elementy grafiki 3D odpowiadające maszynom i elementom przestrzeni mających wpływ na udział czasowy poszczególnych składowych w cyklu wydobywczo-produkcyjnym. Przy użyciu narzędzi programowych zostały zaprogramowane parametry logiczne i awarie maszyn, które uwzględniają straty czasowe związane z losowością harmonogramu pracy oraz niezawodnością.

Model został zbudowany w celu przeprowadzenia symulacji i analizy wpływu zmienności częstości i długości awarii oraz czasów załadunku i wyładunku na funkcjonowanie, efektywność i wydajność systemu maszynowego.





Rys.7. „Mijanka” na trasie  
Fig. 7. Passing by on the road

## Budowa

Projektowany model (rys. 4) jest odwzorowaniem istniejącej kopalni odkrywkowej oraz rzeczywistych warunków pracy maszyn podczas jednej zmiany roboczej.

Ładowanie mas skalnych odbywa się koparką jednoznaczniową o napędzie hydraulicznym Hitachi Zaxis 870 o pojemności czerpaka  $6,15 \text{ m}^3$  (rys. 5).

Proces kruszenia wtórnego odbywa się w kruszarce mobilnej LT140 produkcji Metso (rys. 6).

Szybka wymiana samochodów oraz minimalny czas manewrowania i załadunku przy koparce realizowany jest poprzez zastosowanie podjazdu pętlowego z pętlą poza przodkiem. Kierowca poprzez ustawienie samochodu względem koparki najczęściej dąży do tego, aby załadunek odbywał się przy najmniejszym kącie obrotu nadwozia i wysuwie wysięgnika (Kozioł i Uberman, 1994).

Ruch na trasie prowadzącej do miejsca wyładunku na pewnej długości jest możliwy wyłącznie wahadłowo, dlatego zaplanowano dwa miejsca ewentualnej „mijanki” pojazdów: na zakręcie w pierwszej części pochylni oraz podczas manewru wstecznego przy kruszarce (rys. 7).

Zgodnie z praktyką ewentualny postój na trasie transportowej jest wliczany do czasu jazdy wozidła (Czaplicki, 2006).

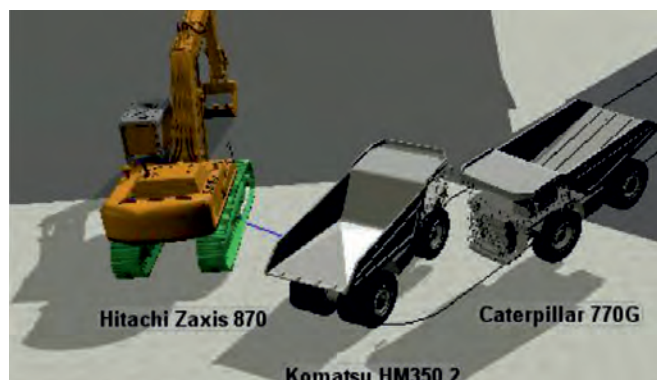
Podczas pracy pojazdów możliwe jest powstanie zaburzeń ciągłości wykonywanych elementów cyklu jednego z nich w wyniku złego zharmonizowania ich zespołowej pracy, planowej przerwy technologicznej lub spowodowanych awarią jednej z maszyn. Częstość wystąpienia takich zdarzeń ma ogromny wpływ na wydajność całego układu. Rysunek 8 jest przykładem złego zharmonizowania zespołowej pracy, w wyniku której jedno z wozideł czeka na odjazd drugiego.

Ze względu na konstrukcję samochodów pozwalającą na wyładunek tylny, podczas podjazdu do wyładunku stosowany jest ruch wsteczny, który jednocześnie daje możliwość wymiany samochodów bez straty czasu oraz bezpieczny i prawidłowy wyładunek (rys. 9).

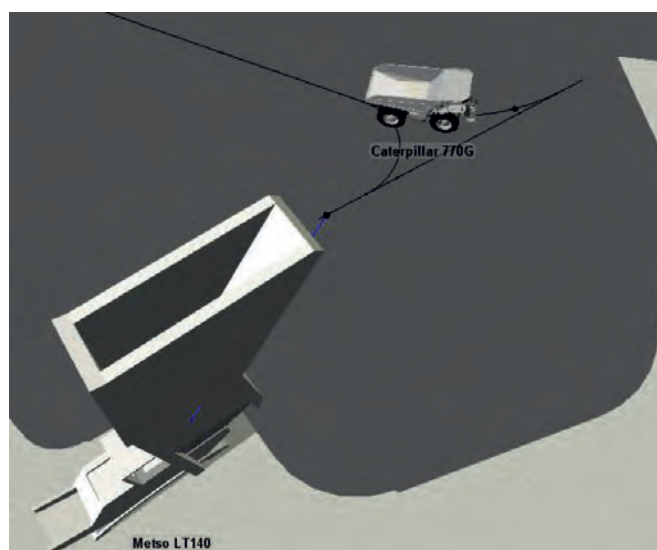
## Parametry modeli symulacyjnych

Dane dotyczące czasów trwania poszczególnych składowych cyklu zostały zmierzone w kopalni w dniu 16.11.2017 roku. Czasy jazdy z ładunkiem i bez ładunku przy znanej długości trasy transportowej (200 m) zostały wykorzystane do obliczenia średnich prędkości jazdy z ładunkiem i bez ładunku.

Symulacje zostały przeprowadzone dla zaprojektowanych modeli o określonych parametrach pracy 8-godzinnej i prawdopodobieństwie zdarzeń opartym na losowości uzyskanej przy



Rys.8 . Kolejka przy załadunku  
Fig. 8. Queue on loading



Rys.9. Manewr wsteczny przy wyładunku  
Fig. 9. Reverse maneuver on unloading

zastosowaniu rozkładu normalnego.

W trakcie wizyty w modelowanym zakładzie górniczym przeprowadzony został pomiar następujących składowych cyklu pracy:

- Czas manewrów i załadunku
- Czas manewrów i rozładunku
- Czas jazdy z ładunkiem
- Czas jazdy bez ładunku

oraz zaobserwowano i zidentyfikowano rodzaje przerw zaburzających ciągłość pracy maszyn, wyrażone jako MTBF (średni czas pomiędzy awariami) i MTTR (średni czas naprawy):

- Selekcja urobku przez koparkę
- Narada pracownicza
- Udrażnianie kruszarni
- Przerwy socjalne i operacyjne

W tabeli 1 i 2 zestawiono, obliczone na podstawie pomiarów, wartości parametrów rozkładów prawdopodobieństwa, które są niezbędne do zastosowania rozkładu normalnego w symulacji modeli stochastycznych.

Modele stochastyczne polegały na tworzeniu różnych scenariuszy niezawodności maszyn oraz czasów załadunku i rozładunku. W przypadku wskaźników określających awaryj-

Tab. 1. Wartości statystyczne parametrów pracy wozidła CAT 770G

Tab. 1. Statistical values of the work parameters of the CAT 770G dump truck

Czynność	Wartość średnia [s]	Odchylenie standardowe [s]
Manewry i załadunek	27	6
Jazda tam	121	28
Manewry i rozładunek	6	1
Jazda powrotna	58	1

Tab. 2. Wartości statystyczne parametrów pracy wozidła Komatsu HM350-2

Tab. 2. Statistical values of the work parameters of the Komatsu HM350-2 dump truck

Czynność	Wartość średnia [s]	Odchylenie standardowe [s]
Manewry i załadunek	27	2
Jazda tam	102	1
Manewry i rozładunek	6	1
Jazda powrotna	70	8

ność zmianom ulegały średni czas między awariami (MTBF) oraz średni czas awarii (MTTR).

#### Stochastyczny model symulacyjny (rozkład normalny)

Eksperyment został przeprowadzony dla zaprojektowanego modelu o określonych parametrach uzyskanych przez zastosowanie rozkładu normalnego. Dane wejściowe zostały przedstawione w formie tabelarycznej (tabela 3, 4).

Zastosowanie zmienności danych poprzez rozkład normalny, wymaga znajomości wartości średniej i odchylenia standardowego wyznaczonych, na podstawie pomiarów, w programie Microsoft Excel poprzez funkcje statystyczne ŚREDNIA (liczba1; liczba2;...) oraz ODCH.STAND.POPUL (liczba1; liczba2,...).

Wartości w tabeli zapisane są w formacie: (średnia; odchylenie standardowe; liczba strumieni generatora liczby losowych).

- Komatsu HM350-2
- Caterpillar 770G

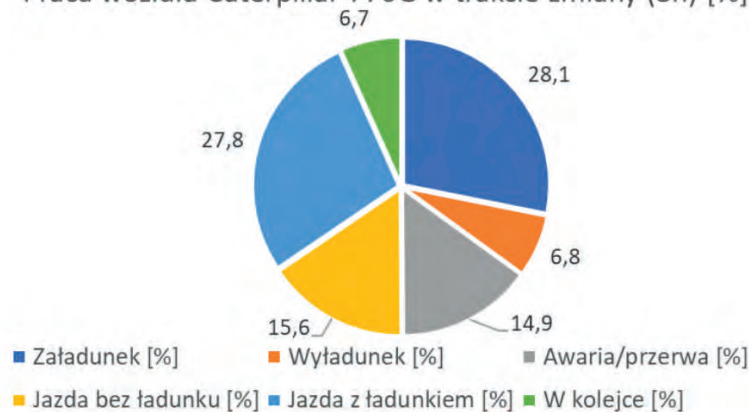
#### Przedstawienie wyników symulacji

Obliczenia i symulację cyklicznej pracy wozideł można przedstawić jako proces zdeterminowany z góry ustalonymi wielkościami parametrów. W rzeczywistości proces produkcji górniczej obarczony jest wieloma zmiennymi czynnikami zewnętrznymi i wewnętrznymi, charakteryzującymi się losowością (stochastyką) (Kozioł i Uberman, 1994).

Symulacja została przeprowadzona na podstawie dziesięciu replikacji założonych scenariuszy zdarzeń opartych na rozkładzie prawdopodobieństwa ich wystąpienia poprzez modyfikację odchylenia standardowego (rozkład normalny). Na bazie uzyskanych wyników zostały obliczone wartości minimalne, maksymalne, średnie oraz odchylenie standardowe. Rezultaty eksperymentu oraz obliczeń zostały przedstawione w formie tabel od 5 do 7 oraz na wykresach kołowych i słupkowych stworzonych na wzór generowanych bezpośrednio z programu FlexSim diagramów (rys. 10 - 16).

Przeprowadzone replikacje poszczególnych składowych cyklu pracy oraz wyników wskaźników wydajnościowych posłużyły do obliczenia parametrów rozkładu niezbędnych do wygenerowania wykresu skrzynekowego.

Praca wozidła Caterpillar 770G w trakcie zmiany (8h) [%]



Rys. 10. Praca wozidła CAT 770G

Fig. 10. CAT 770G dump truck

Tab. 3. Parametry pracy wozidła Komatsu HM350-2 w programie FlexSim  
 Tab. 3. Working parameters of the Komatsu HM350-2 dump truck in the FlexSim program

a) Komatsu - HM 350-2

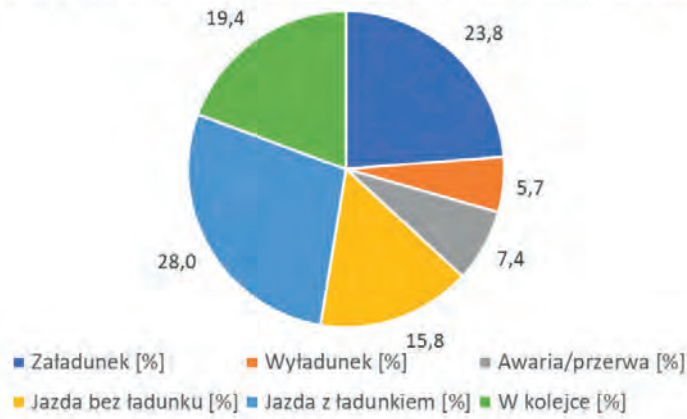
Czynność	Parametry kolejnych replikacji			
	1	2	9	10
Manewry i załadunek [s]	(27;2;10)	(27;3;10)	(27;10;10)	(27;11;10)
Jazda tam [s]	102	102	102	102
Manewry i rozładunek [s]	(6;1;10)	(6;2;10)	(6;9;10)	(6;10;10)
Jazda powrotna [s]	70	70	70	70
Narada pracownicza [s]	MTBF (10800;900;10) MTTR (800;300;10)	(10800;1800;10) (800;600;10)	...	(10800;9000;10) (800;3000;10)
Selekcja urobku [s]	MTBF (1200;180;10) MTTR (120;30;10)	(1200;360;10) (120;60;10)	(1200;1620;10) (120;270;10)	(1200;1800;10) (120;300;10)
Udrażnianie kruszarni [s]	MTBF (2400;300;10) MTTR (90;30;10)	(2400;600;10) (90;60;10)	(2400;2700;10) (90;270;10)	(2400;3000;10) (90;300;10)
Przerwy socjalne i operacyjne [s]	MTBF (14000;360;10) MTTR (450;15;10)	(14000;720;10) (450;30;10)	(14000;3240;10) (450;135;10)	(14000;3600;10) (450;150;10)

Tab. 4. Parametry pracy wozidła Caterpillar 770G w programie FlexSim  
 Tab. 4. Working parameters of the Caterpillar 770G dump truck in the FlexSim program

b) Caterpillar 770G

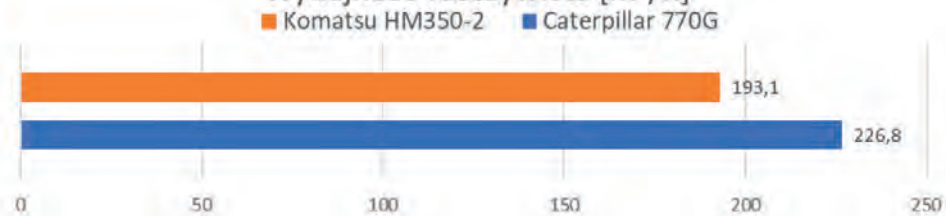
Czynność	Parametry kolejnych replikacji			
	1	2	9	10
Manewry i załadunek [s]	(27;6;10)	(27;7;10)	(27;14;10)	(27;15;10)
Jazda tam [s]	121	121	121	121
Manewry i rozładunek [s]	(6;1;10)	(6;2;10)	(6;9;10)	(6;10;10)
Jazda powrotna [s]	58	58	58	58
Narada pracownicza [s]	MTBF (10800;900;10) MTTR (800;300;10)	(10800;1800;10) (800;600;10)	...	(10800;9000;10) (800;3000;10)
Selekcja urobku [s]	MTBF (1200;180;10) MTTR (120;30;10)	(1200;360;10) (120;60;10)	(1200;1620;10) (120;270;10)	(1200;1800;10) (120;300;10)
Udrażnianie kruszarni [s]	MTBF (2400;300;10) MTTR (90;30;10)	(2400;600;10) (90;60;10)	(2400;2700;10) (90;270;10)	(2400;3000;10) (90;300;10)
Przerwy socjalne i operacyjne [s]	MTBF (14000;360;10) MTTR (450;15;10)	(14000;720;10) (450;30;10)	(14000;3240;10) (450;135;10)	(14000;3600;10) (450;150;10)

Praca wozidła Komatsu HM350-2 w trakcie zmiany (8h) [%]



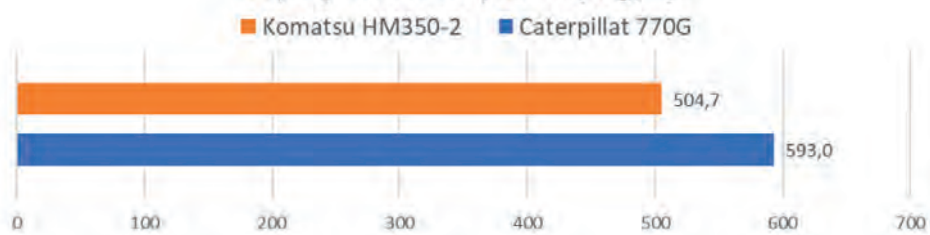
Rys. 11. Praca wozidła Komatsu HM350-2  
Fig. 11. Komatsu HM350-2 dump truck

Wydajność rzeczywista [m<sup>3</sup>/h]



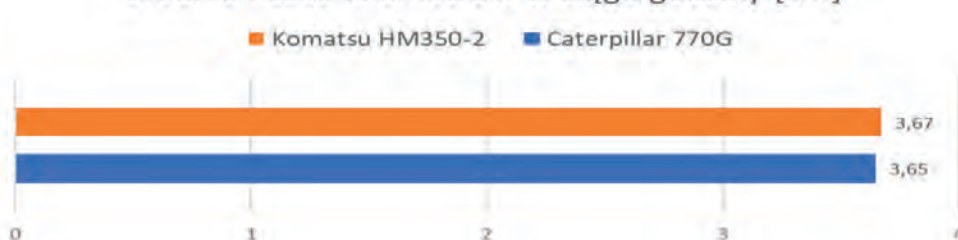
Rys. 12. Wydajność rzeczywista maszyn w metrach sześciennych  
Fig. 12. Output in cubic meters

Wydajność rzeczywista [Mg/h]



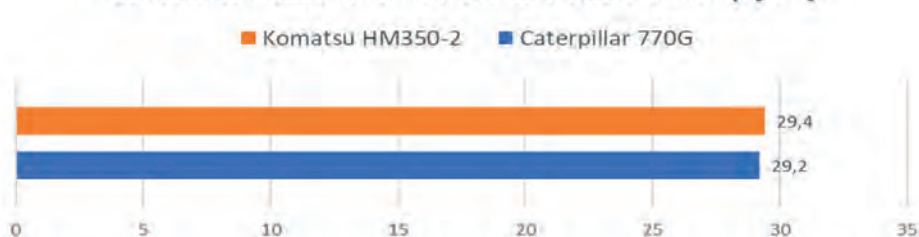
Rys. 13. Wydajność rzeczywista w tonach  
Fig. 13. Output in tonnes

Średnia liczba kilometrów w ciągu godziny [km]



Rys. 14. Średni przebieg godzinny wozidła w czasie zmiany roboczej  
Fig. 14. The average hourly mileage of the dump truck during the work shift

Całkowita liczba kilometrów w trakcie zmiany [km]



Rys. 15. Całkowity przebieg wozidła w trakcie zmiany  
Fig. 15. The total mileage of the dump truck during the work shift





Rys. 16. Wydajność kruszenia  
Fig. 16. Crushing output

Tab. 5. Wyniki 10-ciu replikacji scenariusza z parametrami o rozkładzie normalnym (współpracy kruszarki Metso LT140 z wozidłami CAT 770G i Komatsu HM350-2)

Tab. 5. Results of the 10th scenario replication with normal distribution parameters (cooperation between Metso LT140 crusher and CAT 770G and Komatsu HM350-2)

Replikacja	Wydajność kruszenia [m³/h]
1	451,4
2	459,0
3	422,4
4	407,2
5	411,0
6	433,1
7	406,4
8	463,6
9	337,0
10	306,5
Średnia	409,8
Odchylenie standardowe	48,7
Kwantyl 25%	406,6
Kwantyl 75%	446,8
Min	306,5
Max	463,6
Mediana	416,7

Przeprowadzony eksperyment wykazał, że najbardziej czasochłonną czynnością wchodzącą w skład cyklu pracy wozidła Caterpillar 770G (rys. 10) jest czas załadunku - ok. 2 godziny 14 minut oraz czas jazdy z ładunkiem – ok. 2 godziny 13 minut podczas 8-godzinnej zmiany roboczej, natomiast najkrócej wozidło przebywało w kolejce w stanie blokady – 32 minuty.

Stanem pracy wozidła Komatsu HM350-2 (rys. 11) trwającym sumarycznie najdłużej był czas jazdy z ładunkiem – ok. 2 godziny 14 minut oraz czas załadunku, krótszy niż wozidła CAT ze względu na mniejszą pojemność – 1 godzinę 54 minuty. Najkrócej trwała czynność wyładunku 27 minut.

Wykresy wydajnościowe zostały opracowane zarówno w stosunku do objętości przewiezionego materiału (rys. 12), jak i masy urobku (rys. 13). Przyjęto gęstość granitu 2,64 Mg/m<sup>3</sup>.

Na rysunkach 14 i 15 przedstawiono wartości przebiegu maszyn średnio w ciągu godziny oraz całkowitej ilości kilometrów przejechanych w trakcie zmiany roboczej.

Wynikiem sumy wydajności obu maszyn transportowych jest wykres wydajności rzeczywistej kruszarki Metso LT140 (rys. 16).

## Podsumowanie

Wprowadzona do symulacji scenariuszy stochastycznych przestrzeń probabilistyczna została uzyskana poprzez zastosowanie rozkładów prawdopodobieństwa wyników kilkugodzinnego pomiaru czasów cyklu pracy maszyn pracujących w kopalni.

Artykuł szczegółowo przedstawia procedury tworzenia modelu w programie FlexSim z użyciem dostępnych, w wersji demonstracyjnej, narzędzi. Zaimportowane do programu modele 3D pozwoliły na odwzorowanie infrastruktury kopalni oraz maszyn w niej pracujących.

W pracach poruszających tematykę symulacji współpracy maszyn, oprócz badania wpływu rozkładu prawdopodobieństwa na uzyskane wyniki, można przeprowadzić eksperymenty polegające na porównaniu wyników scenariuszy bezawaryjnych warunków funkcjonowania maszyn oraz uwzględniających awaryjność poszczególnych elementów układu technologicznego.

Wygenerowane przez program diagramy ukazują procentowy udział poszczególnych czynności wchodzących w cykl pracy wozideł, całkowity dzienny przebieg, średni przebieg w ciągu godziny pracy oraz wskaźniki wydajnościowe określające objętość i masę dostarczonego urobku do kruszarki przez poszczególne wozidła.

Żałowane wozidła miały do pokonania drogę po wzniesieniu o długości około 200 metrów, co niewątpliwie było powodem tego, że we wszystkich scenariuszach jazda z ładunkiem obejmowała największy zakres czasu w trakcie zmiany roboczej. Ze względu na złożoność cyklu pracy koparki, czas załadunku należał również do czynności najbardziej czasochłonnych. Wozidło podjeżdżające pod koparkę zawsze stara się ustawić w najlepszym położeniu względem koparki, co powoduje na ogół pewne straty czasowe. Głównym źródłem czasochłonności cyklu załadunkowego są cykle pracy koparki spowodowane pojemnością skrzyni wozidła, która determinuje ich liczbę (Czaplicki, 2006). Poprawnie przeprowadzona symulacja pozwala dostrzec „wąskie gardła” i wskazuje możliwe kierunki optymalizacji, która rzetelnie przeprowadzona spowoduje zmniejszenie kosztów oraz zwiększenie efektywności wydobywania, a także produkcji co w konsekwencji zwiększy zysk przedsiębiorstwa.



Tab. 6. Wyniki 10-ciu replikacji scenariusza cyklu pracy wozidła CAT 770G z parametrami o rozkładzie normalnym  
 Tab. 6. Results of the 10th replication of the CAT770G dump truck operation scenario with normal distribution parameters

Numer replikacji	Załadunek [%]	Rozładunek [%]	Awaria/przerwa [%]	Jazda bez ładunku [%]	Jazda z ładunkiem [%]	W kolejce [%]	Wydajność rzeźczywista [m <sup>3</sup> /h]	Wydajność rzeźczywista [Mg/h]	Śr. liczba kilometrów w ciągu godz. [km]	Całkowita liczba kilometrów w ciągu zmiany [km]
1	30,0	6,5	8,0	18,2	32,2	5,0	240,6	629,1	4,23	33,9
2	30,6	6,7	7,9	18,7	33,5	2,5	243,8	637,3	4,37	34,9
9	24,2	6,2	24,1	12,3	21,8	11,4	189,8	496,3	2,87	23,0
10	22,6	5,9	37,9	11,4	20,1	2,0	175,8	459,6	2,66	21,3
Średnia	28,1	6,8	14,9	15,6	27,8	6,7	226,8	593,0	3,65	29,2
Odchylenie standardowe	2,7	0,7	9,3	2,3	4,2	3,9	23,6	61,7	0,54	4,3
Kwantyl 25%	27,8	6,4	7,9	15,0	26,4	3,6	229,1	598,9	3,49	27,9
Kwantyl 75%	29,7	7,1	15,7	17,8	31,6	9,1	240,0	627,6	4,14	33,2
Min	22,6	5,9	5,4	11,4	20,1	2,0	175,8	459,6	2,66	21,3
Max	32,3	8,4	37,9	18,7	33,5	14,5	257,0	672,0	4,37	34,9
Mediana	28,5	6,6	14,0	15,5	27,6	6,0	232,1	606,7	3,63	29,0

Tab. 7. Wyniki 10-ciu replikacji scenariusza cyklu pracy wozidła Komatsu HM350-2 z parametrami o rozkładzie normalnym  
 Tab. 7. Results of the 10th replication of the Komatsu HM350-2 dump truck operation scenario with normal distribution parameters

Numer replikacji	Załadunek [%]	Rozładunek [%]	Awaria/przerwa [%]	Jazda bez ładunku [%]	Jazda z ładunkiem [%]	W kolejce [%]	Wydajność rzeźczywista [m <sup>3</sup> /h]	Wydajność rzeźczywista [Mg/h]	Śr. liczba kilometrów w ciągu godz. [km]	Całkowita liczba kilometrów w ciągu zmiany [km]
1	27,3	5,9	6,8	18,1	32,6	9,2	221,9	580,1	4,28	34,3
2	28,2	6,3	2,7	18,8	33,7	10,3	226,6	592,3	4,40	35,2
9	19,4	4,8	11,4	12,5	21,9	30,0	155,5	406,5	2,88	23,0
10	16,8	4,8	2,5	11,8	20,2	43,9	138,3	361,5	2,65	21,2
Średnia	23,8	5,7	7,4	15,8	28,0	19,4	193,1	504,7	3,67	29,4
Odchylenie standardowe	3,4	0,6	4,1	2,3	4,2	10,2	27,0	70,5	0,55	4,4
Kwantyl 25%	22,8	5,3	3,5	14,9	26,8	11,0	186,0	486,1	3,51	28,1
Kwantyl 75%	26,4	6,1	10,8	17,8	31,9	21,5	214,9	561,7	4,19	33,5
Min	16,8	4,8	2,5	11,8	20,2	9,2	138,3	361,5	2,65	21,2
Max	28,2	6,6	15,4	18,8	33,7	43,9	226,6	592,3	4,4	35,2
Mediana	24,1	5,6	7,1	15,6	27,9	18,1	195,7	511,7	3,7	29,3

## Literatura

- [1] Czaplicki J., *Modelowanie procesu eksploatacji systemu koparki wywrotki*, Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, 2006 tom z. 275, s. 1-144
- [2] Kozioł, W., Uberman, R., 1994. *Techologia i organizacja transportu w górnictwie odkrywkowym*. Wydawnictwo AGH, Kraków. s. 10, 171-173, 186, 193, 207, 208, 214, 216. 229-230
- [3] Malewski, J., Modrzejewski, Sz., 2008. *Modelowanie i optymalizacja procesów wydobycia i produkcji kruszyw łamanych*. Instytut Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor-Instytut”, Wrocław. s. 3, 4, 6, 36-40, 44, 50, 58



Wojcieszów Połom

fol. Zespół Pracowni NS w IGO „Poltegor-Instytut”