

Katarzyna JAKOWSKA-SUWALSKA, Adam SOJDA, Maciej WOLNY  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Ekonomii i Informatyki

## WIELOKRYTERIALNY MODEL WIELKOŚCI ZAMÓWIENIA W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO<sup>1</sup>

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wielokryterialny model wielkości Zamówienia, przy założeniu że wielkość zużycia materiału jest zmienną losową o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa. W modelu przyjęto dwa kryteria: minimalizacji wielkości zamówienia oraz minimalizacji prawdopodobieństwa braku materiału w procesie produkcyjnym. Rozważono dwa sposoby skalaryzacji i na przykładzie pokazano zastosowanie zbudowanych modeli dla wyznaczenia wielkości zamówienia kleju poliuretanowego, używanego do uszczelniania wyrobisk w kopalni.

## MULTI CRITERIA MODEL OF LARGENESS OF MATERIAL ORDERS IN CARBON MINE

**Summary.** The paper presents multi-criteria model of largeness of order providing that need is random variable with continuous probability distribution. In model two criteria are assumed, minimization of largeness of order and in minimization of probability of lack of material in productive process. Two scalarization methods and shown in example employment of models for assignment of largeness of order of polyurethane adhesive in carbon mine are considered.

---

<sup>1</sup> Artykuł powstał w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 552038 „Wielokryterialne wspomaganie planowania i kontrolowania potrzeb materiałowych w przedsiębiorstwie górniczym”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## 1. Wprowadzenie

W teorii sterowania zapasami występuje wiele modeli, które pozwalają ustalić politykę ustalania zapasów i wyznaczania wielkości zamówienia. W większości modeli jako kryterium oceny rozwiązań używa się funkcji kosztów (zamawiania i utrzymania zapasów) [10], [7].

W pracach [2] i [3] przedstawiono wielokryterialne modele, na podstawie których można wyznaczyć wielkości:

- zamówienia,
- terminu zamówienia,
- wielkości zapasów magazynowych,

gdzie jako funkcji skalaryzującej użyto funkcji kosztów związanych z wielkością zamówienia, zapasów magazynowych oraz braku materiału do produkcji. W kopalniach węgla kamiennego, wchodzących w skład Kompanii Węglowej S.A., wielkość zamówienia podlegającego Ustawie o zamówieniach publicznych planuje się około roku wcześniej. Związane jest to z czasem ustalenia planów zakupów dla wszystkich kopalni oraz z czasem postępowania przetargowego. Zatem wielkość zamówienia materiału dla kopalni należy wyznaczyć jednorazowo na podstawie planów kopalni na następny rok. Do rozwiązania tego problemu zaproponowano wielokryterialny model wielkości zamówienia dla materiałów, których zużycie, a więc także zapotrzebowanie, jest zmienną losową o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa.

## 2. Konstrukcja wielokryterialnego modelu wielkości zamówienia

Niech  $X$  będzie zmienną losową, oznaczającą wielkość zużycia materiału o znanej dystrybucji  $F$ , natomiast  $x$  to wielkość zamówienia. Zgodnie z teorią zapasów należy zamówić taką ilość  $x$  materiału, aby z jak największym prawdopodobieństwem pokryła popyt na ten materiał. Wiadomo, że zamrożony w magazynie materiał zwiększa koszty przedsiębiorstwa. Należy więc zamawiać taką ilość materiału aby prawdopodobieństwo pokrycia popytu było jak największe, koszty zakupu natomiast jak najmniejsze. Ponieważ koszty zakupu zależą od wielkości zakupu, stąd należy minimalizować wielkość zakupu.

Jako funkcje kryteriów przyjęto więc:

- minimalizację wielkości zamówienia  $x$ ,
- minimalizację prawdopodobieństwa braku materiału do wykonania robót.

Jak widać, kryteria te są sprzeczne.

Model ten można zapisać w postaci:

$$\begin{cases} x \rightarrow \min \\ F(x) \rightarrow \max \\ x \geq 0 \end{cases}$$

Przyjmijmy oznaczenie  $f_{celu}(x) = (F(x); -x)$ .

W celu wyznaczenia rozwiązań efektywnych wielokryterialnego problemu najczęściej wprowadza się skalaryzację zagadnienia ([1], [4], [5], [6]). W przypadku rozważanego modelu będzie ona miała postać:

$$\max(s(u, f_{celu}(x)) : x \in Q) \quad u \in U,$$

gdzie:

$u$  – wektor parametrów sterujących,

$s : U \times Y \rightarrow R$  – funkcja skalaryzująca,

$Q$  – zbiór ograniczeń.

W pracy przyjęto dwa sposoby skalaryzacji:

$$s(f_{celu}(x)) = -\frac{x}{F(x)}$$

oraz

$$s(u, f_{celu}(x)) = u_1 F(x) - u_2 x, \quad u_1, u_2 \geq 0, \quad u_1 + u_2 = 1.$$

Rozważane więc będą dwa odrębne modele:

$$\frac{x}{F(x)} \rightarrow \min \quad x \in Q \quad (1)$$

$$u_1 F(x) - u_2 x_u \rightarrow \max, \quad x_u \in Q, \quad u_1, u_2 \geq 0, \quad u_1 + u_2 = 1, \quad (2)$$

gdzie  $x_u$  to zunitaryzowane [6] wartości  $x$ .

Za pomocą obu modeli znajdujemy punkt równowagi pomiędzy wielkością zamówienia  $x$  a prawdopodobieństwem  $F(x) = P(X \leq x)$  w taki sposób, że wielkość zamówienia  $x$  będzie w jak największym stopniu pokrywała popyt na zamawiany materiał. W modelu drugim decydent dodatkowo może ustalić takie wartości parametrów sterujących, aby znalezione rozwiązanie było satysfakcjonujące, to znaczy aby wartość  $x$  nie przekraczała pewnej zadanej przez niego wartości, a prawdopodobieństwo  $F(x)$  było odpowiednio duże.

W zależności od postaci rozkładu zmiennej  $X$  modele (1) i (2) będą miały różną postać zbioru ograniczeń  $Q$ .

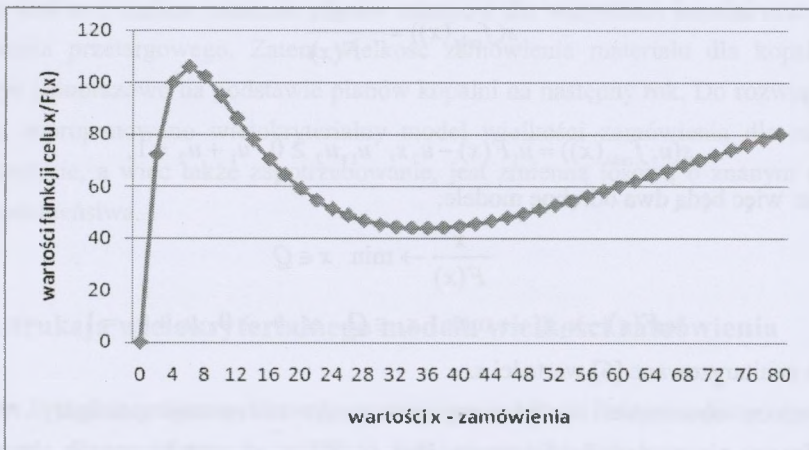
## 2.1. Modele wielkości zamówienia dla wielkości zużycia o rozkładzie normalnym

Niech wielkość zużycia materiału będzie zmienną losową o rozkładzie normalnym z parametrami:

- wartością oczekiwaną  $m$ ,
- odchyleniem standardowym  $\sigma$ ,
- dystrybuantą  $F_{m,\sigma}$ ,
- funkcją gęstości  $f_{m,\sigma}$ .

Stwierdzono, że przy zadanej wielkości  $m$  postać funkcji celu  $\frac{x}{F_{m,\sigma}}$  zagadnienia (1) zależy od wielkości odchylenia  $\sigma$ .

Na rysunkach 1 i 2 pokazano, przy zadanej wartości  $m$ , przykładowe kształty funkcji celu  $\frac{x}{F_{m,\sigma}}$  zagadnienia (1) dla różnych wartości odchylenia  $\sigma$ .

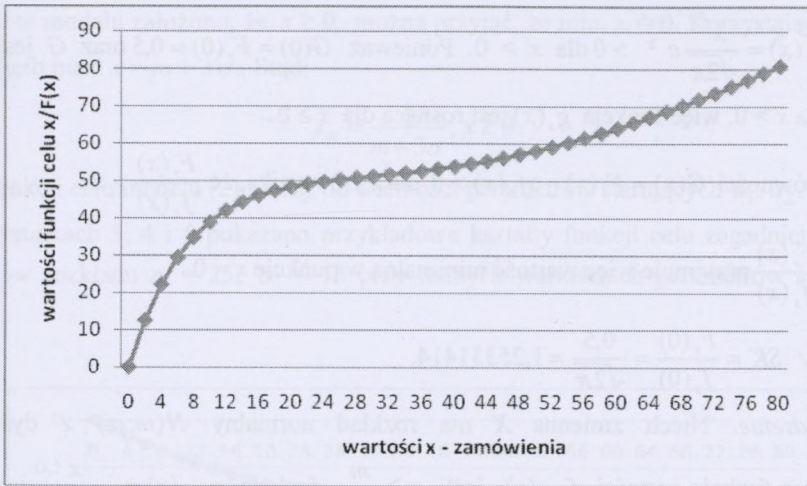


Rys. 1. Kształt funkcji  $\frac{x}{F_{m,\sigma}}$  dla parametrów  $m = 25$ ,  $\sigma = 12$

Fig. 1. Form of function  $\frac{x}{F_{m,\sigma}}$  for parameters  $m = 25$ ,  $\sigma = 12$

Z postaci funkcji celu  $\frac{x}{F_{m,\sigma}(x)}$  wynika, że przy ograniczeniu  $x \geq 0$  przyjmuje ona wartość minimalną w punkcie  $x = 0$ . Aby otrzymać rozwiązanie optymalne  $x \neq 0$ , należy w zagadnieniu (1) jako zbiór rozwiązań dopuszczalnych przyjąć:





Rys. 2. Kształt funkcji  $\frac{x}{F_{25,21}(x)}$  dla parametrów  $m = 25$ ,  $\sigma = 20$

Fig. 2. Form of function  $\frac{x}{F_{25,21}(x)}$  for parameters  $m = 25$ ,  $\sigma = 20$

$$Q = \{x \in R : x \geq x_{lower}\},$$

gdzie  $x_{lower}$  to najmniejsza dopuszczalna wartość  $x$ . W tym celu decydent może zadać wartość  $p_{lower}$  minimalnego prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania. Zagadnienie (1) przyjmie wtedy postać:

$$\frac{x}{F_{m,\sigma}(x)} \rightarrow \min \quad F_{m,\sigma}(x) \geq p_{lower}, \quad x \geq 0 \quad (1.1)$$

Wartość funkcji  $\frac{x}{F_{m,\sigma}(x)}$  zależy od wielkości odchylenia standardowego. Jak widać, w przypadku gdy funkcja celu jest stale niemalejąca (ma postać jak na rysunku 2), to rozwiązaniem optymalnym zagadnienia (1.1) jest wartość  $x$ , dla której  $F_{m,\sigma}(x) = p_{lower}$ . Wynika stąd, że w powyższym przypadku nie ma potrzeby stosowania modelu (1) do znalezienia wielkości zamówienia.

### 2.1.1. Analiza własności funkcji $\frac{x}{F_{m,\sigma}(x)}$

*Lemat.* Niech zmienna  $Z$  ma standardowy rozkład normalny  $N(0;1)$  z dystrybuantą  $F_s$  oraz funkcją gęstości  $f_s$ . Funkcja  $g_s(x) = \frac{x}{F_s(x)}$  jest funkcją rosnącą dla  $x \geq 0$ .

Dowód. Wykażemy, że  $g_s'(x) > 0$ , a więc że  $G(x) = F_s(x) - x f_s(x) > 0$ .

Mamy  $G'(x) = \frac{x^2}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} > 0$  dla  $x > 0$ . Ponieważ  $G(0) = F_s(0) = 0,5$  oraz  $G$  jest funkcją rosnącą dla  $x > 0$ , więc funkcja  $g_s(x)$  jest rosnącą dla  $x \geq 0$ .

Z nierówności  $G(x) = F_s(x) - xf_s(x) > 0$  dla  $x \geq 0$  wynika, że  $\frac{F_s(x)}{f_s(x)} > x$ .

Funkcja  $\frac{F_s(x)}{f_s(x)}$  przyjmuje więc wartość minimalną w punkcie  $x = 0$ .

Oznaczmy  $SK = \frac{F_s(0)}{f_s(0)} = \frac{0,5}{\sqrt{2\pi}} \approx 1,25331414$ .

*Twierdzenie.* Niech zmienna  $X$  ma rozkład normalny  $N(m; \sigma)$  z dystrybuantą  $F_{m,\sigma}(x)$  oraz funkcją gęstości  $f_{m,\sigma}(x)$ . Jeśli  $\sigma \geq \frac{m}{SK}$ , funkcja  $g_{m,\sigma}(x) = \frac{x}{F_{m,\sigma}(x)}$  jest funkcją rosnącą dla  $x \geq 0$ .

*Dowód.* Niech  $x \geq 0$ . Funkcja  $g_{m,\sigma}(x) = \frac{x}{F_{m,\sigma}(x)}$  jest rosnącą, gdy  $F_{m,\sigma}(x) - xf_{m,\sigma}(x) > 0$ . Ze związków :

$$f_{m,\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma} f_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right),$$

$$F_{m,\sigma}(x) = F_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)$$

wynika, że  $F_{m,\sigma}(x) - xf_{m,\sigma}(x) = F_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) - \frac{x}{\sigma} f_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)$ .

Podstawiając  $z = \frac{x-m}{\sigma}$ , otrzymujemy  $F_{m,\sigma}(x) - xf_{m,\sigma}(x) = f_s(z) \left( \frac{F_s(z)}{f_s(z)} - z - \frac{m}{\sigma} \right)$ .

Ponieważ  $\sigma \geq \frac{m}{SK}$ , spełniona jest nierówność  $F_{m,\sigma}(x) - xf_{m,\sigma}(x) > 0$ , co dowodzi, że funkcja  $g_{m,\sigma}(x)$  jest rosnącą.

### 2.1.2. Analiza własności funkcji $u_1 F(x) - u_2 x_u$

Aby sprowadzić wartości  $x$  do postaci porównywalnej z  $F_{m,\sigma}(x)$ , w modelu (2) należy zastosować unitaryzację. Zostanie od tego wykorzystana następująca reguła [6]:

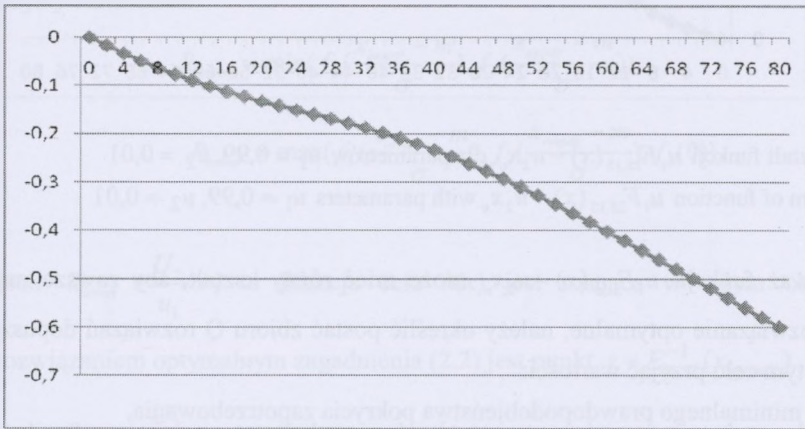
$$x_u = \frac{x - \min x}{\max x - \min x}, \quad x \geq 0. \quad (3)$$

Ponieważ w modelu założono, że  $x \geq 0$ , można przyjąć, że  $\min. x = 0$ . Korzystając z reguły  $3\sigma$ , przyjęto  $\max. x = m + 3\sigma$ . Stąd:

$$x_u = \frac{x}{m + 3\sigma}, x \geq 0.$$

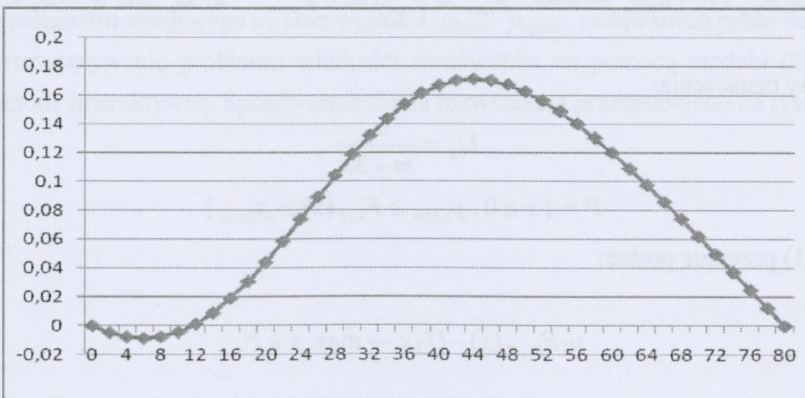
Kształt funkcji celu modelu (2) zależy od wielkości parametrów sterujących  $u_1, u_2$ .

Na rysunkach 3, 4 i 5 pokazano przykładowe kształty funkcji celu zagadnienia (2) dla parametrów rozkładu  $m = 25$ ,  $\sigma = 15$  przy różnych wartościach parametrów sterujących  $u_1, u_2$ .



Rys. 3. Kształt funkcji  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  dla parametrów  $u_1 = 0,2, u_2 = 0,8$

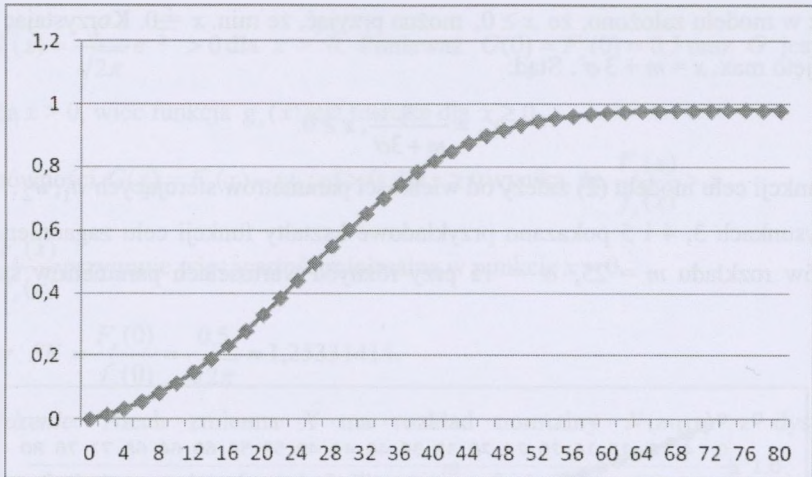
Fig. 3. Form of function  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  with parameters  $u_1 = 0,2, u_2 = 0,8$



Rys. 4. Kształt funkcji  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  dla parametrów  $u_1 = 0,5, u_2 = 0,5$

Fig. 4. Form of function  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  with parameters  $u_1 = 0,5, u_2 = 0,5$





Rys. 5. Kształt funkcji  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  dla parametrów  $u_1 = 0,99, u_2 = 0,01$

Fig. 5. Form of function  $u_1 F_{25,15}(x) - u_2 x_u$  with parameters  $u_1 = 0,99, u_2 = 0,01$

Ponieważ funkcja  $u_1 F_{m,\sigma}(x) - u_2 x_u$  może mieć różny kształt, aby zawsze można było znaleźć rozwiązanie optymalne, należy określić postać zbioru  $Q$  rozwiązań dopuszczalnych. Można w tym celu przyjąć wartości:

- $p_{lower}$  minimalnego prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania,
- $p_{upper}$  maksymalnego prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania.

Zagadnienie (2) przyjmie postać:

$$u_1 F_{m,\sigma}(x) - u_2 x_u \rightarrow \max, \quad p_{upper} \geq F_{m,\sigma}(x) \geq p_{lower}, \quad u_1, u_2 \geq 0, \quad u_1 + u_2 = 1 \quad (2.1)$$

Przyjmijmy oznaczenia:

$$U_2 = \frac{u_2}{m + 3\sigma},$$

$$P = \{x \geq 0 : p_{upper} \geq F_{m,\sigma}(x) \geq p_{lower}\}$$

Model (2.1) przyjmie postać:

$$u_1 F_{m,\sigma}(x) - U_2 x \rightarrow \max, \quad x \in P. \quad (2.2)$$



Jeśli funkcja celu jest rosnąca, to jej wartość maksymalna jest przyjmowana w punkcie  $x = x_{upper}$ , dla którego  $F_{m,\sigma}(x) = p_{upper}$ . W przypadku gdy funkcja celu jest malejąca, to jej wartość maksymalna jest przyjmowana w punkcie  $x_{lower}$ , dla którego  $F_{m,\sigma}(x) = p_{lower}$ .

Funkcja celu  $h(x) = u_1 F_{m,\sigma}(x) - U_2 x$  jest rosnąca w zbiorze  $P$ , jeśli  $h'(x) = u_1 f_{m,\sigma}(x) - U_2 > 0$ . Stąd  $\frac{u_1}{\sigma} f_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) - U_2 > 0$ . Zatem funkcja celu jest rosnąca, gdy  $f_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) > \frac{U_2}{u_1} \sigma$   $x \in P$ , jest natomiast malejąca, gdy  $f_s\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) < \frac{U_2}{u_1} \sigma$   $x \in P$ .

Przyjmijmy oznaczenia:

$$R_{lower} = \min\left(f_s\left(\frac{x_{lower} - m}{\sigma}\right), f_s\left(\frac{x_{upper} - m}{\sigma}\right)\right),$$

$$R_{lower} = \max\left(f_s\left(\frac{x_{lower} - m}{\sigma}\right), f_s\left(\frac{x_{upper} - m}{\sigma}\right), f_s(0)\right).$$

Mamy:

1. Jeżeli  $R_{lower} > \frac{U_2}{u_1} \sigma$ , to funkcja celu  $h(x)$  jest rosnąca w całym obszarze  $P$

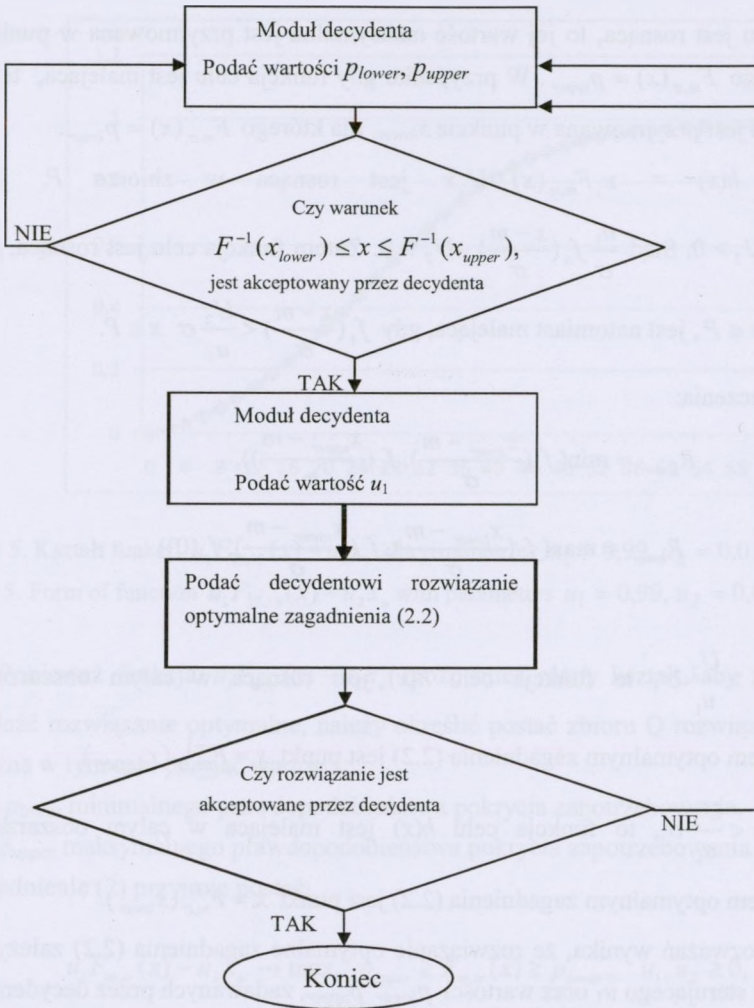
i rozwiązaniem optymalnym zagadnienia (2.2) jest punkt  $x = F_{m,\sigma}^{-1}(x_{upper})$ .

2. Jeżeli  $R_{lower} < \frac{U_2}{u_1} \sigma$ , to funkcja celu  $h(x)$  jest malejąca w całym obszarze  $P$

i rozwiązaniem optymalnym zagadnienia (2.2) jest punkt  $x = F_{m,\sigma}^{-1}(x_{lower})$ .

Z powyższych rozważań wynika, że rozwiązanie optymalne zagadnienia (2.2) zależy od wielkości parametru sterującego  $u_1$  oraz wartości  $p_{lower}$   $p_{upper}$ , zadawanych przez decydena.

Przy rozwiązywaniu problemu wielkości zamówienia za pomocą modelu (2.2) należy polecić metodę interaktywną. Sposób znalezienia rozwiązania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat interaktywnej metody modelowania preferencji decydenta

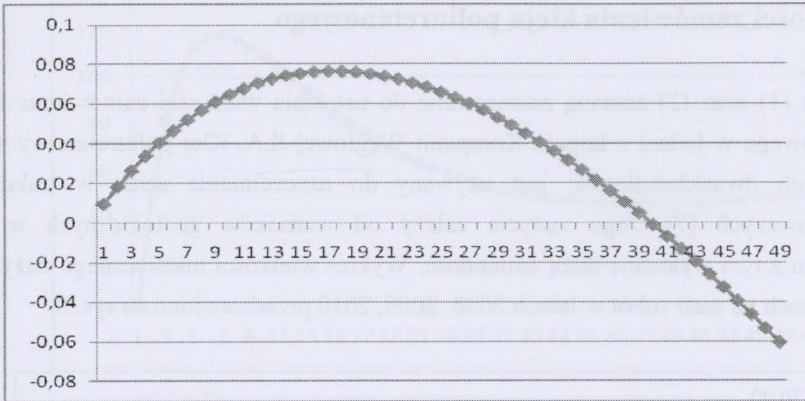
Fig. 6. Scheme of method of appointment of preference of interactive decision-maker

## 2.2. Modele wielkości zamówienia dla rozkładu wykładniczego

Niech wielkość zużycia materiału jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym z wartością oczekiwaną  $m$ . Dystrybuanta rozkładu ma postać  $F(x) = 1 - e^{-\frac{1}{m}x}$ .

Zatem funkcja celu zagadnienia (1) jest funkcją rosnącą i przyjmuje minimum w punkcie  $x = 0$ . Stąd wynika, że stosowanie jej do rozwiązywania problemu optymalnej wielkości zamówienia jest bezzasadne.

Na rys. 7 pokazano kształt funkcji celu zagadnienia (2).



Rys. 7. Kształt funkcji  $u_1F(x) - u_2x$

Fig. 7. Form of function  $u_1F(x) - u_2x$

Zagadnienie (2) w przypadku rozkładu wykładniczego będzie miało postać:

$$u_1F(x) - u_2x \rightarrow \max, \quad x \geq 0, \quad u_1, u_2 \geq 0, \quad u_1 + u_2 = 1. \quad (2.3)$$

### 2.3. Modele wielkości zamówienia dla rozkładu jednostajnego w przedziale $[a, b]$

W przypadku rozkładu jednostajnego w przedziale  $[a, b]$  funkcja celu modelu (1) ma postać  $\frac{(b-a)x}{x-a}$ ,  $x > a$  i jest funkcją nierosnącą na całym przedziale  $[a, b]$ , a więc wartość minimalną równą  $b$  przyjmuje w punkcie  $x = b$ .

Funkcja celu modelu (2) jest funkcją liniową rosnącą. Zatem w powyższym przypadku żaden z modeli (1) i (2) nie nadaje się do wyznaczania optymalnej wielkości zamówienia.

Jako wielkość zamówienia  $x$  można przyjąć wartość oczekiwaną  $m = \frac{a+b}{2}$ , która pokrywa

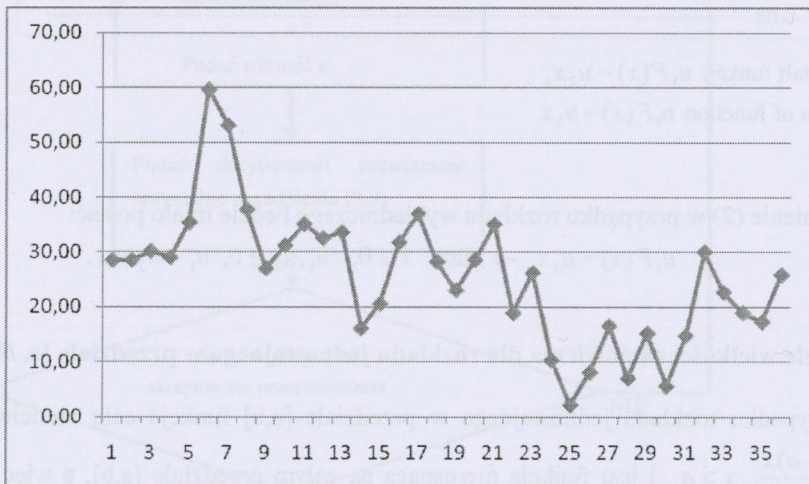
wielkość zapotrzebowania z prawdopodobieństwem  $\frac{1}{2}$ .

Można także wyznaczyć wartość  $x$ , gdy decydent uważa, że prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania powinno wynosić  $p_1$ . Wielkość zamówienia będzie wtedy wynosić  $x = p_1(b-a) + a$ .



### 3. Przykład zastosowania wielokryterialnego modelu dla ustalenia wielkości zamówienia kleju poliuretanowego

Modele (1) oraz (2) zostaną zastosowane do ustalenia wielkości zamówienia dla kleju poliuretanowego w jednej z kopalń Kompanii Węglowej S.A. Klej poliuretanowy w formie nabożów lub dwuskładnikowej jest używany do uszczelniania ścian w trakcie robót przygotowawczych [7]. Jego zużycie zależy od warunków geologicznych w kopalni i w związku z tym wykazuje dużą zmienność. Wykres wielkości miesięcznego zużycia kleju w kilogramach na metr robót w latach 2008, 2009, 2010 przedstawiono na rys. 8.

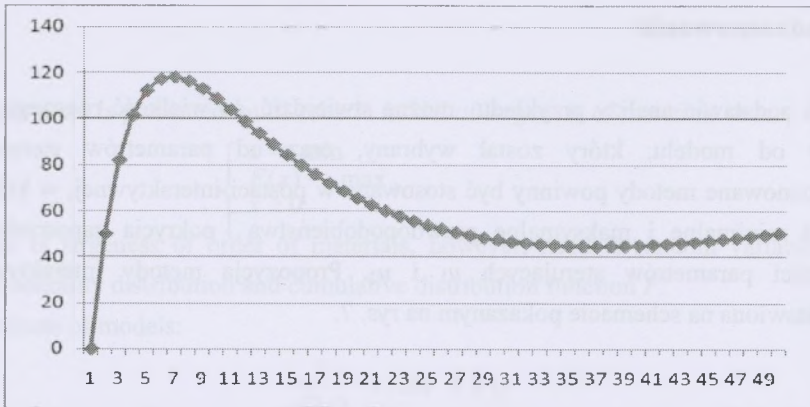


Rys. 8. Zużycie kleju w kolejnych miesiącach

Fig. 8. In consecutive month glue expendable

W dalszej części artykułu przyjęto, że wielkość zamówienia jest równa wielkości zapotrzebowania na klej. Na podstawie wielkości zużycia kleju (w kilogramach na metr robót) w ostatnich trzech latach stwierdzono (na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ), że jest ona zmienną losową o rozkładzie normalnym  $N(25,62;11,98)$ . Do wyznaczenia wielkości zamówienia zastosowano model (1). Niech wartość  $p_{lower} = 0,5$ . Kształt funkcji celu zagadnienia (1) przedstawiono na rys. 9.



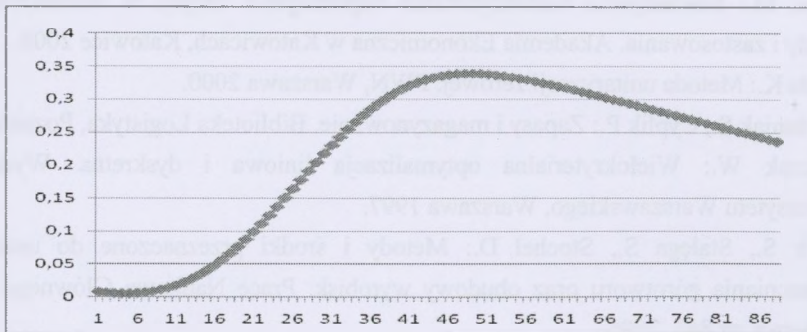


Rys. 9. Kształt funkcji  $\frac{x}{F_{25,62;11,98}(x)}$

Fig. 9. Form of function  $\frac{x}{F_{25,62;11,98}(x)}$

Rozwiązaniem optymalnym zagadnienia (1) jest  $x = 36,28$ . Prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania przy takim zamówieniu  $x$  jest równe 0,81.

W przypadku zastosowania funkcji (2) dla  $p_{lower} = 0,5$ ,  $p_{upper} = 0,95$ ,  $u_1 = u_2 = 0,5$  rozwiązaniem optymalnym jest  $x = 39,28$ , a prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania jest równe 0,84. Kształt funkcji celu przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Kształt funkcji  $u_1 F_{25,62;11,98}(x) - u_2 x_u$  dla parametrów  $u_1 = u_2 = 0,5$

Fig. 10. Form of function  $u_1 F_{25,62;11,98}(x) - u_2 x_u$  with parameters  $u_1 = u_2 = 0,5$

Dla wartości  $u_1 = 0,4$ ,  $u_2 = 0,6$  rozwiązaniem jest  $x = 33,99$ , natomiast prawdopodobieństwo pokrycia zapotrzebowania wynosi wtedy 0,76. Znając więc roczny plan wielkości robót przygotowawczych  $WP$  metrów, można wyznaczyć roczny plan zużycia kleju. Wielkość zamówienia  $Z$  na klej poliuretanowy  $Z = x \cdot WP$  kilogramów.

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie analizy przykładu można stwierdzić, że wielkość rocznego zamówienia zależy od modelu, który został wybrany, oraz od parametrów sterujących. Stąd zaproponowane metody powinny być stosowane w postaci interaktywnej, w której decydent określi minimalne i maksymalne prawdopodobieństwa pokrycia zapotrzebowania oraz wielkości parametrów sterujących  $u_1$  i  $u_2$ . Propozycja metody interaktywnej została przedstawiona na schemacie pokazanym na rys. 7.

#### Bibliografia

1. Ameljańczyk A.: Optymalizacja wielokryterialna w problemach sterowania i zarządzania. Ossolineum, 1984.
2. Jakowska-Suwalska K., Wolny M., Sojda A.: Wielokryterialny model sterowania zapasami. ZN Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie (oddane do druku w 2010 r.).
3. Jakowska-Suwalska K., Wolny M., Sojda A.: Wielokryterialne sterowanie zapasami jako element wspomagania potrzeb materiałowych. ZN GWSP (oddane do druku w 2010 r.)
4. Konarzewska-Gubała E.: Programowanie przy wielorakości celów. PWN, Warszawa 1980.
5. Nowak M.: Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka. Metody i zastosowania. Akademia Ekonomiczna w Katowicach, Katowice 2008.
6. Kukuła K.: Metoda unitaryzacji zerowej. PWN, Warszawa 2000.
7. Krzyżaniak S., Cyplik P.: Zapasy i magazynowanie. Biblioteka Logistyka, Poznań 2007.
8. Ogryczak W.: Wielokryterialna optymalizacja liniowa i dyskretna. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1997.
9. Prusek S., Stałęga S., Stochel D.: Metody i środki przeznaczone do uszczelniania i wzmacniania górotworu oraz obudowy wyrobisk. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 863, 2005.
10. Sarjusz-Wolski Z.: Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.

**Abstract**

In the paper there is presented multi-criteria model of largeness of materials orders.

$$\begin{cases} x \rightarrow \min \\ F(x) \rightarrow \max, \\ x \geq 0 \end{cases}$$

where  $x$  there is largeness of order of materials, however, need is random variable with continuous probability distribution and cumulative distribution function  $F$ .

It analyze attribute of models:

$$\frac{x}{F(x)} \rightarrow \min \quad x \in Q \quad (1)$$

$$u_1 F(x) - u_2 x_u \rightarrow \max, \quad x_u \in Q, \quad u_1, u_2 \geq 0, \quad u_1 + u_2 = 1 \quad (2)$$

behind assistance of two scalarization methods, where  $x_u$  are value  $x$  after unitarization.

Employment of model (1) and (2) show for assignment of largeness of need to polyurethane adhesive in the mine to Kompania Węglowa S.A.

## DEMAND PLANNING SUPPORT FOR POLYURETHANE ADHESIVE IN COAL MINE

*Summary:* In this paper proposal of method for polyurethane adhesive demand planning support is presented. The method is based on model of data series forecasting and stochastic model. The proposal is to combine the heuristic approach application of stochastic area. The weight factors are determined by the forecast error rate of actual forecasted values.