

**ZESPÓŁ LABORATORIÓW TELEMATYKI TRANSPORTU  
ZAKŁAD TELEKOMUNIKACJI TRANSPORTU**



**WYDZIAŁ TRANSPORTU  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**



**LABORATORIUM EKSPLOATACJI SYSTEMÓW  
TELEKOMUNIKACYJNYCH**

**OPTIMALIZACJA PROCESU EKSPLOATACJI  
ELEKTRONICZNEGO SYSTEMU BEZPIECZEŃSTWA Z  
UWZGLĘDNIENIEM PRZEGLĄDÓW OKRESOWYCH**

**Warszawa 2007**

## A. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wskaźnikami eksploatacyjnymi elektronicznych systemów bezpieczeństwa oraz wykorzystaniem ich do optymalizacji procesu eksploatacji z uwzględnieniem przeglądów okresowych.

## B. Część teoretyczna

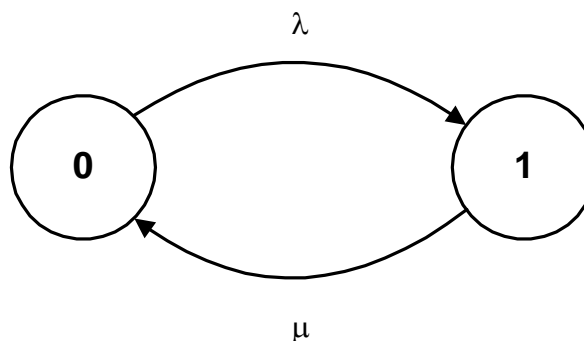
Przedstawiona w poprzednim ćwiczeniu laboratoryjnym metoda analizy struktur niezawodnościowych pozwala na wyznaczanie niezawodności poszczególnych systemów, w zależności od rodzaju struktury niezawodnościowej jaką zastosowano. Pomimo takiego podejścia przy projektowaniu i późniejszym użytkowaniu tego typu systemów, niezbędne jest także uwzględnienie wskaźnika gotowości, zgodnie ze wzorem :

$$K_g = \frac{T_m}{T_m + T_n} \quad (1)$$

gdzie:  $T_m$ - średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami,  
 $T_n$ - średni czas naprawy.

Z przedstawionych zależności wynika, że system może znajdować się w jednym z dwóch stanów (rys. 1):

- stan użytkowania (sprawności),
- stan naprawy.



Rys. 1. Graf przejść między stanem użytkowania (0) i naprawy (1)

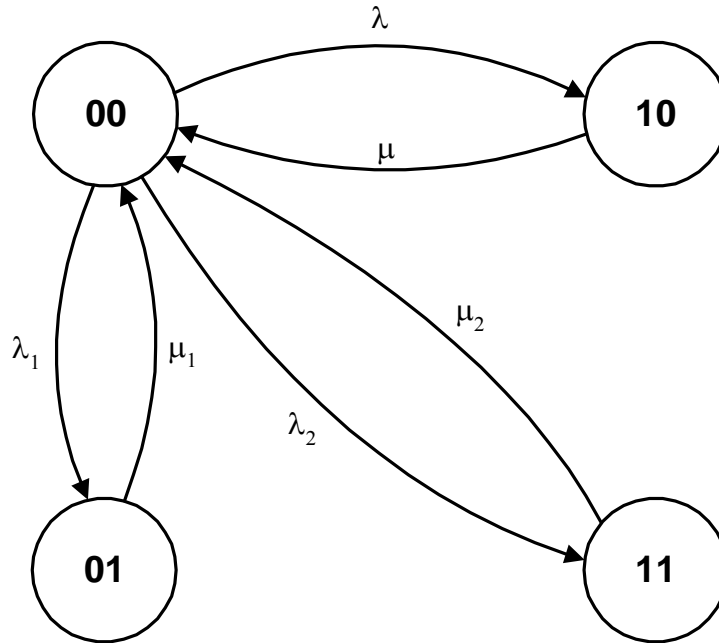
Oznaczenia na rys.:

$\lambda$  - intensywność uszkodzeń,

$\mu$  - intensywność napraw.

Przedstawiony na rys. 1 graf przejść nie zawiera wszystkich możliwych i występujących w rzeczywistości stanów. Dlatego uzupełniono go o następujące dwa stany (rys. 2):

- stan 01 (podczas którego wykonuje się podstawowe czynności wymagane zakresem obsługi),
- stan 11 (podczas którego wykonuje się rozszerzony zakres czynności).



Rys. 2. Graf przejść między stanem użytkowania (00), naprawy(10), przeglądu I (01) i II rodzaju (11)

Oznaczenia na rys.:

$\lambda$  - intensywność uszkodzeń,

$\mu$  - intensywność napraw,

$\lambda_1$  - intensywność przeglądów I rodzaju,

$\mu_1$  - intensywność realizacji przeglądów I rodzaju,

$\lambda_2$  - intensywność przeglądów II rodzaju,

$\mu_2$  - intensywność realizacji przeglądów II rodzaju.

Dla grafu przejść przedstawionego na rys. 2 można zapisać następujące równania:

$$\begin{aligned}
 -\lambda \cdot P_{00} + \mu \cdot P_{10} - \lambda_1 \cdot P_{00} + \mu_1 \cdot P_{01} - \lambda_2 \cdot P_{00} + \mu_2 \cdot P_{11} &= 0 \\
 \lambda \cdot P_{00} - \mu \cdot P_{10} &= 0 \\
 \lambda_1 \cdot P_{00} - \mu_1 \cdot P_{01} &= 0 \\
 \lambda_2 \cdot P_{00} - \mu_2 \cdot P_{11} &= 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

Przekształcając otrzymujemy:

$$P_{10} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_{00}$$

$$P_{01} = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_{00}$$

$$P_{11} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_{00}$$

Oczywiście:

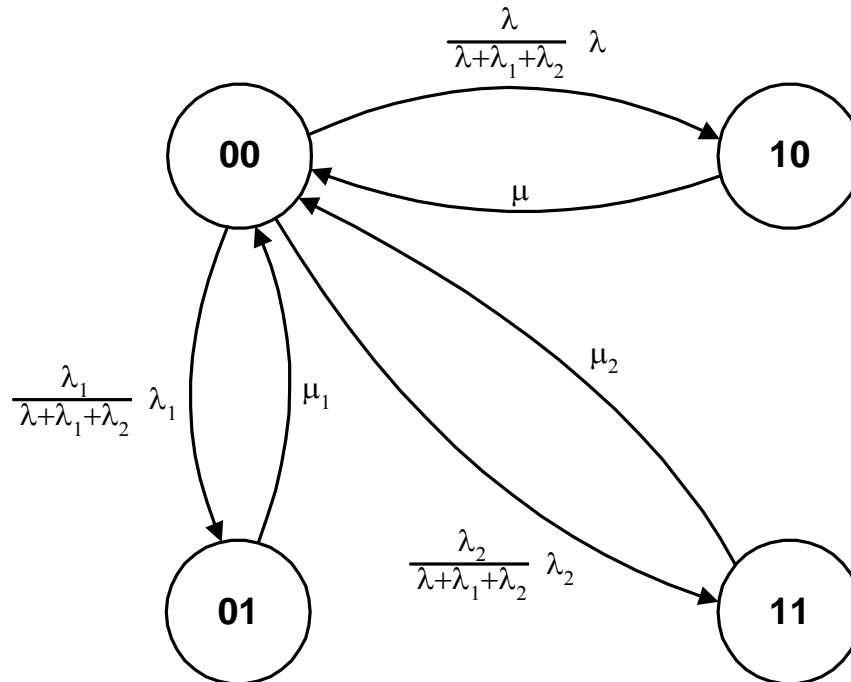
$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1$$

Zatem:

$$P_{00} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) = 1 \tag{3}$$

$$P_{00} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (4)$$

Następnie wprowadzono współczynnik, który uzależni wartości intensywności  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  od siebie (jeśli jedna z tych wartości będzie wzrastać, to pozostałe powinny maleć). Współczynnikiem tym będzie stosunek danej intensywności przejścia do sumy wszystkich intensywności naprawy, przeglądu I i II rodzaju. Graf przejść przedstawiony na rys. 2 będzie miał teraz następującą postać (rys. 3):



Rys. 3. Graf przejść między stanem użytkowania, naprawy, przeglądu I i II rodzaju (uwzględniono współczynnik korygujący)

Przeprowadzając rozważania tak jak poprzednio możemy zapisać:

$$\begin{aligned} & -\lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu \cdot P_{10} - \lambda_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \\ & + \mu_1 \cdot P_{01} - \lambda_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu_2 \cdot P_{11} = 0 \\ & \lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu \cdot P_{10} = 0 \\ & \lambda_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_1 \cdot P_{01} = 0 \\ & \lambda_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_2 \cdot P_{11} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Przekształcając otrzymujemy:

$$P_{10} = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_{00}$$

$$P_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_{00}$$

$$P_{11} = \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_{00}$$

Oczywiście:

$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1$$

Zatem:

$$P_{00} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right) = 1 \quad (6)$$

$$P_{00} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_1}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda + \lambda_1 + \lambda_2} \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)} = \quad (7)$$

$$= \frac{(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1}$$

Otrzymana zależność pozwala określić wpływ przyjętych do realizacji intensywności przeglądów I i II rodzaju na wskaźnik gotowości danego systemu (przy znanej intensywności uszkodzeń, intensywności napraw, intensywności realizacji przeglądów I i II rodzaju). Jeśli funkcja posiada maksimum, to wyznaczenie odpowiadającej mu wartości współrzędnych jakimi są intensywność przeglądów I i intensywność przeglądów II rodzaju jest wskazane, ponieważ umożliwi zwiększenie wskaźnika gotowości. Wartości te byłyby wtedy wartościami optymalnymi, zapewniającymi maksymalizację wskaźnika gotowości.

Sprawdźmy zatem czy funkcja posiada maksimum. Obliczmy pochodne funkcji:

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_1} \text{ i } \frac{dP_{00}}{d\lambda_2}$$

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_1} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot [(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1] - (\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot (\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 2 \cdot \lambda_1 \cdot \mu \cdot \mu_2)}{[(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1]^2}$$

(8)

$$\frac{dP_{00}}{d\lambda_2} = \frac{\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot [(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1] - (\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot (\mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + 2 \cdot \lambda_2 \cdot \mu \cdot \mu_1)}{[(\lambda + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + \lambda_2^2 \cdot \mu \cdot \mu_1]^2}$$
(9)

Warunkiem koniecznym, aby funkcja  $P_{00}(\lambda_1, \lambda_2)$  miała ekstremum w punkcie  $P_{00}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym})$  jest, aby pierwsze pochodne cząstkowe funkcji w tym punkcie były równe zero, tj.:

$$\begin{cases} \frac{dP_{00}}{d\lambda_1}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym}) = 0 \\ \frac{dP_{00}}{d\lambda_2}(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym}) = 0 \end{cases}$$
(10)

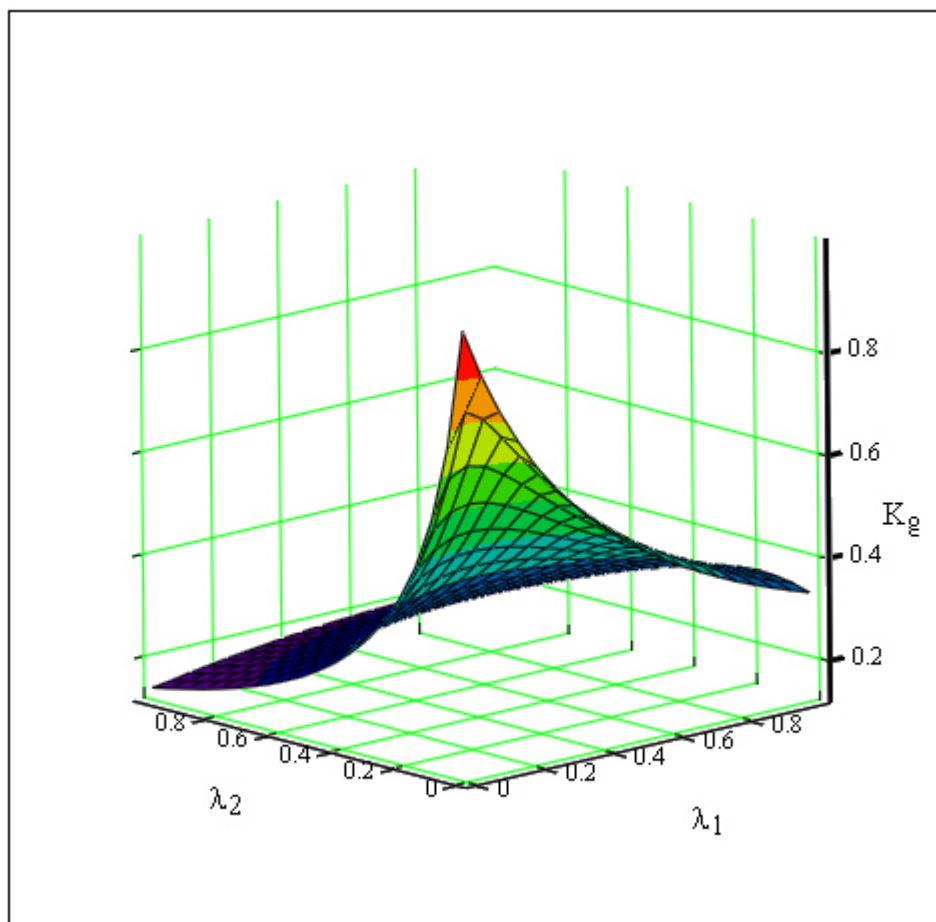
Wyznaczenie analityczne rozwiązania układu równań jest bardzo złożone. Dlatego też zastosowano wspomaganie komputerowe i wykorzystano program Mathcad 2001 Professional. Umożliwia on zobrazowanie graficzne funkcji  $P_{00}(\lambda_1, \lambda_2)$ . Pozwala to na przybliżone wyznaczenia wartości współrzędnych  $(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym})$  odpowiadających maksimum. Zobrazowano to przykładem 1.

### Przykład 1

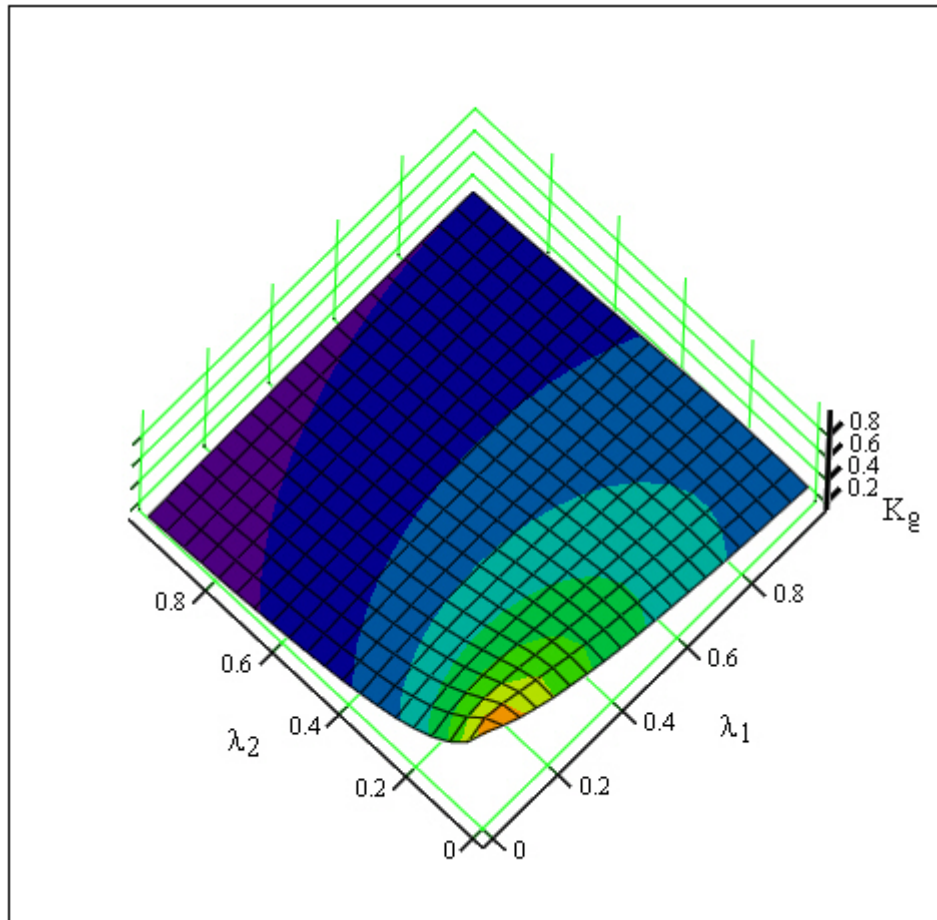
Przyjęto, że:

- intensywność uszkodzeń  $\lambda = 1,2027 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to systemowi, którego niezawodność wynosi 0,9),
- intensywność napraw  $\mu = 0,0666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi naprawy 15 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów I rodzaju  $\mu_1 = 0,5 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 2 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów II rodzaju  $\mu_2 = 0,1666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 6 [h]).

Dla tak przyjętych założeń otrzymano wykres, który został przedstawiony na rys. 4 (widok od strony osi poziomych układu współrzędnych) i 5 (widok od „góry”).



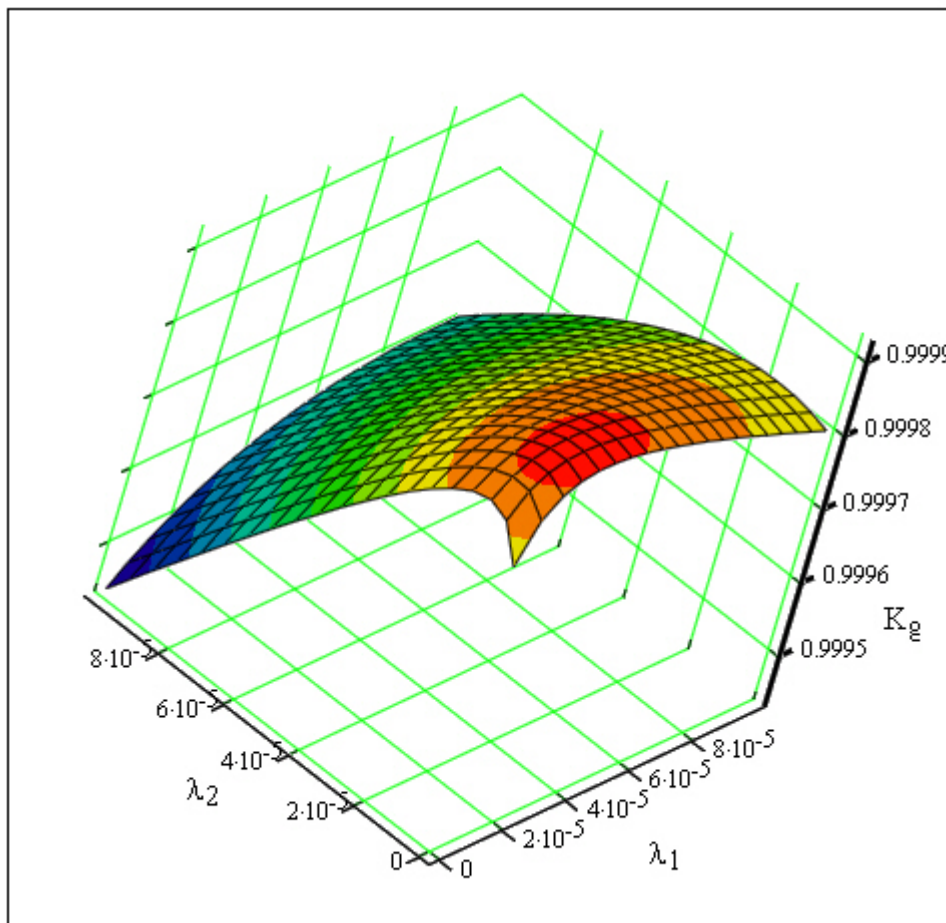
Rys. 4. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju  $\lambda_1$  i intensywności przeglądów II rodzaju  $\lambda_2$



Rys. 5. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju  $\lambda_1$  i intensywności przeglądów II rodzaju  $\lambda_2$  (widok z „góry”)

Analizując je można stwierdzić, że wartość wskaźnika gotowości  $K_g$  osiąga maksimum dla wartości intensywności przeglądu I i II rodzaju zawartych w przedziale  $(0, 0.1)$ . Aby precyzyjnie (graficznie) określić wartości poszukiwanych intensywności niezbędne jest zmniejszenie maksymalnych wartości na osiach poziomych układu współrzędnych. Po analizie przyjęto je jako wartość: 0,0001. Dla tych warunków otrzymano wykres przedstawiony na rys. 6.





Rys. 6. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji intensywności przeglądów I rodzaju  $\lambda_1$  i intensywności przeglądów II rodzaju  $\lambda_2$  (dla max. wartości poziomych układu współrzędnych  $=0,0001$ )

Wartości współrzędnych  $(\lambda_{1optym}, \lambda_{2optym})$  odpowiadające maksimum są następujące:

$$\lambda_{1optym} = 2 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$$

$$\lambda_{2optym} = 6 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{h} \right]$$

Zostały one odczytane z rys. 6. Dla tych współrzędnych wartość wskaźnika gotowości jest maksymalna.

Przedstawiona metoda optymalizacji przeglądów I i II rodzaju umożliwia wyznaczenie optymalnych intensywności przeglądów, dla których wskaźnik gotowości  $K_g$  przyjmuje wartość maksymalną. W rzeczywistych warunkach pracy tych systemów przeglądy dokonywane są z różnymi intensywnościami, które nie są wartościami optymalnymi. Wynika to z konieczności poniesienia nakładów finansowych przez właściciela za dokonane przeglądy. Dlatego też rzeczywiste przeglądy tych systemów przeprowadzane są z intensywnościami mniejszymi niż optymalne. Zachodzi więc konieczność określenia zależności pomiędzy intensywnościami przeglądów i poniesionymi kosztami a wskaźnikiem gotowości.

Wprowadźmy współczynniki, które uzależnią wartości intensywności  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  od siebie. Niech:

$k_1$  – współczynnik przeglądu I rodzaju

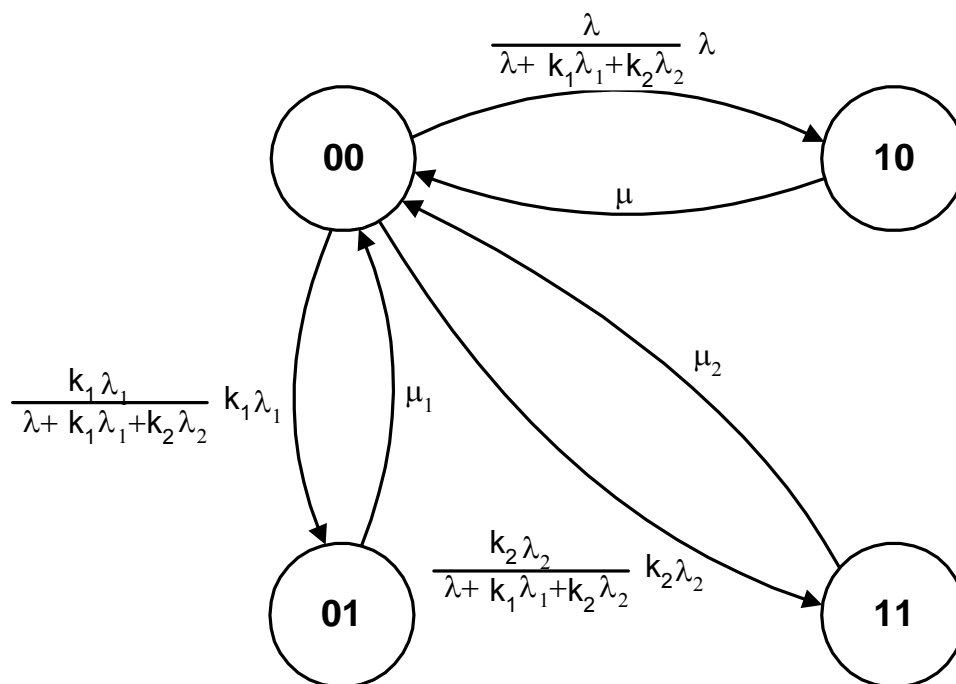
$k_2$  – współczynnik przeglądu II rodzaju

Oczywiście suma powyższych współczynników musi wynosić 1:

$$k_1 + k_2 = 1$$

(czyli nakłady finansowe będą zawsze takie same. Zmienia się tylko proporcja intensywności obu przeglądów). W przypadku, gdy któryś ze współczynników wzrośnie (czyli wzrośnie także odpowiadająca mu intensywność przeglądu), to drugi maleje (czyli zmniejszy się odpowiadająca mu intensywność przeglądu).

Graf przejść przedstawiony na rys. 3 będzie miał teraz następującą postać (rys. 7):



Rys. 7. Graf przejść między stanem użytkowania, naprawy, przeglądu I i II rodzaju uwzględniający współczynniki przeglądów ( $k_1$  i  $k_2$ )

Przeprowadzając rozważania tak jak poprzednio możemy zapisać:

$$\begin{aligned}
 & -\lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu \cdot P_{10} - k_1 \cdot \lambda_1 \cdot \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} + \\
 & + \mu_1 \cdot P_{01} - k_2 \cdot \lambda_2 \cdot \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} + \mu_2 \cdot P_{11} = 0 \\
 & \lambda \cdot \frac{\lambda}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu \cdot P_{10} = 0 \\
 & k_1 \cdot \lambda_1 \cdot \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_1 \cdot P_{01} = 0 \\
 & k_2 \cdot \lambda_2 \cdot \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot P_{00} - \mu_2 \cdot P_{11} = 0
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Przekształcając otrzymujemy:

$$P_{10} = \frac{\lambda}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} \cdot P_{00}$$

$$P_{01} = \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\mu_1} \cdot P_{00}$$

$$P_{11} = \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\mu_2} \cdot P_{00}$$

Oczywiście:

$$P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1$$

Zatem:

$$P_{00} \cdot \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\mu_1} + \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\mu_2} \right) = 1 \quad (12)$$

$$P_{00} = \frac{1}{\left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{\lambda}{\mu} + \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{\mu_1} + \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{k_2 \cdot \lambda_2}{\mu_2} \right)} =$$

$$= \frac{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 + k_2 \cdot \lambda_2) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (k_1 \cdot \lambda_1)^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (k_2 \cdot \lambda_2)^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (13)$$

Otrzymana zależność pozwala określić wpływ przyjętych do realizacji intensywności przeglądów I i II rodzaju z uwzględnieniem współczynników przeglądów ( $k_1$  i  $k_2$ ) na wskaźnik gotowości danego systemu (przy znanej intensywności uszkodzeń, intensywności realizacji przeglądów I i II rodzaju). W dalszych rozważaniach przyjmujemy, że znamy już wcześniej obliczone optymalne intensywności przeglądów I i II rodzaju:

$$\lambda_1 = \lambda_{1optym}$$

$$\lambda_2 = \lambda_{2optym}$$

Tak więc równanie (13) przyjmie następującą postać:

$$P_{00} = \frac{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} + k_2 \cdot \lambda_{2optym}) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} + k_2 \cdot \lambda_{2optym}) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (k_1 \cdot \lambda_{1optym})^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (k_2 \cdot \lambda_{2optym})^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (14)$$

Wyznaczenie analityczne rozwiązania równania (14) jest bardzo złożone. Dlatego też zastosowano wspomaganie komputerowe i wykorzystano program Mathcad 2001 Professional. Umożliwia on zobrazowanie graficznie funkcji  $P_{00}(k_1, k_2)$ . Zobrazowano to przykładem 2.

### Przykład 2

Przyjęto, że:

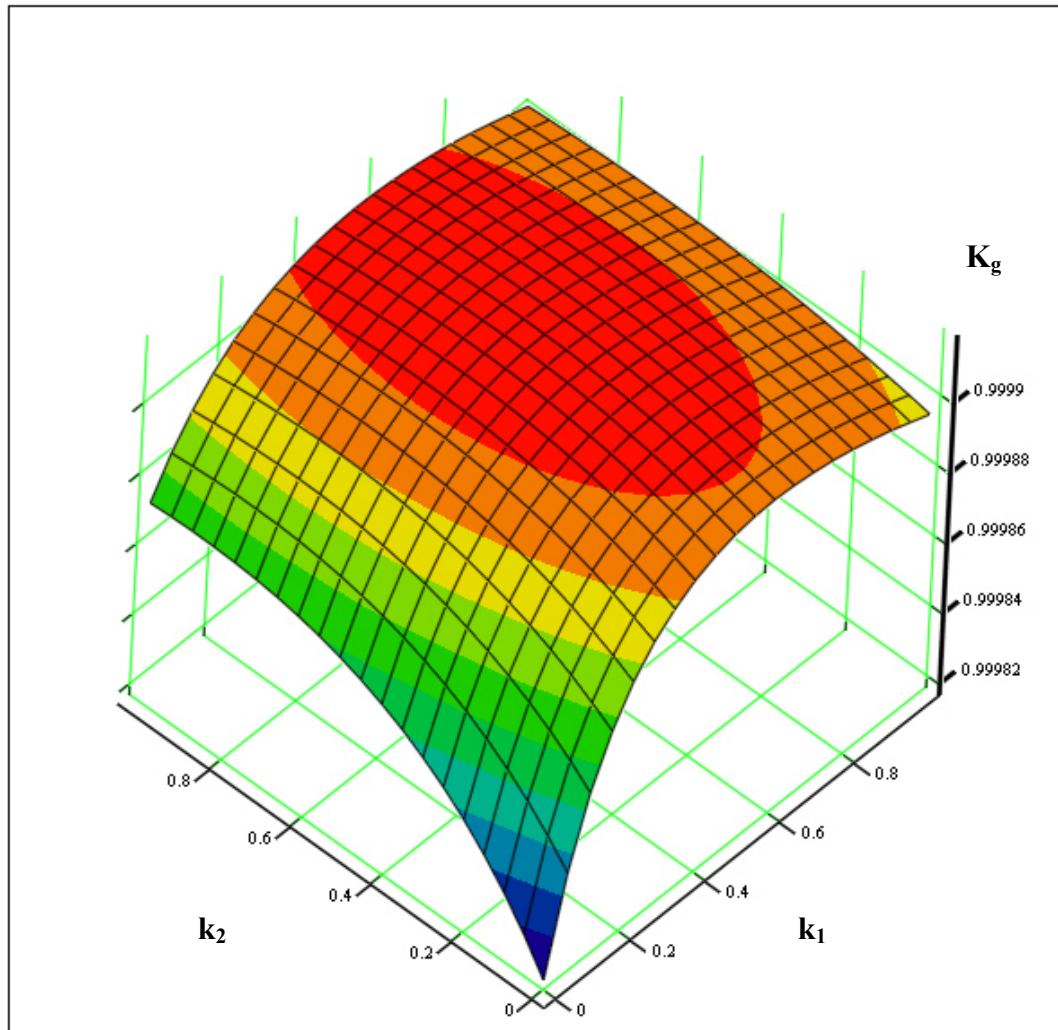
- intensywność uszkodzeń  $\lambda = 1,2027 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to systemowi, którego niezawodność wynosi 0,9),
- intensywność napraw  $\mu = 0,0666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi naprawy 15 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów I rodzaju  $\mu_1 = 0,5 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 2 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów II rodzaju  $\mu_2 = 0,1666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 6 [h]),
- intensywność przeglądów I rodzaju  $\lambda_{1_{optym}} = 2 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$ ,
- intensywność przeglądów II rodzaju  $\lambda_{2_{optym}} = 6 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{h} \right]$ .

Dla tak przyjętych założeń otrzymano wykres, który został przedstawiony na rys. 8. Korzystając z niego należy uwzględnić równanie:

$$k_1 + k_2 = 1$$

Tak więc obszar dalszych rozważań zawiera się w polu trójkąta ograniczonego wierzchołkami wyznaczonymi przez punkty o współrzędnych  $k_1$  i  $k_2$ :

- (0,0),
- (0,1),
- (1,0).



Rys. 8. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji współczynnika przeglądów I rodzaju  $k_1$  i współczynnika przeglądów II rodzaju  $k_2$

Analizując rys. 8 można stwierdzić, że:

- wartość wskaźnika gotowości  $K_g$  osiąga maksimum dla wartości intensywności przeglądów I i II rodzaju odpowiadającym wartościom optymalnym. Dla wartości mniejszych (czyli mniejszych nakładów finansowych) wskaźnik  $K_g$  maleje.
- istnieje nieliniowa zależność między współczynnikami  $k_1$  i  $k_2$  a wskaźnikiem gotowości. Dlatego też w przypadku mniejszych nakładów finansowych niż te dla których mamy optymalne wartości intensywności przeglądów I i II rodzaju, należy wyznaczyć nowe optymalne intensywności obu przeglądów dla których nastąpi maksymalizacja wskaźnika gotowości.

Wprowadźmy współczynnik  $C$ , który będzie określał nakłady finansowe przeznaczone na przeglądy I i II rodzaju. Przyjmijmy, że:

- $C = 2$  dla optymalnych intensywności przeglądów I i II rodzaju ( $K_g = \max.$ ),
- $C = 0$  dla intensywności przeglądów I i II rodzaju = 0 (brak przeglądów).

Równanie (14) przyjmie następującą postać:

$$P_{00} = \frac{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C + k_2 \cdot \lambda_{2optym} \cdot C) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C + k_2 \cdot \lambda_{2optym} \cdot C) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C)^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (k_2 \cdot \lambda_{2optym} \cdot C)^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (15)$$

Dla  $C = 2$  oraz  $k_1 = k_2 = 0,5$  (czyli nakłady i intensywności obu przeglądów odpowiadające wartościom optymalnym dla których  $K_g = \max.$ ) równanie 15 przyjmie następującą postać:

$$P_{00} = \frac{(\lambda + \lambda_{1optym} + \lambda_{2optym}) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + \lambda_{1optym} + \lambda_{2optym}) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (\lambda_{1optym})^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (\lambda_{2optym})^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (16)$$

Równanie (16) jest równaniem (7) w którym intensywności przeglądów I i II rodzaju są intensywnościami optymalnymi, czyli zapewniającymi maksymalizację wskaźnika gotowości.

Dla  $C = 0$  (czyli braku nakładów finansowych na przeglądy) równanie (15) przyjmie następującą postać:

$$\begin{aligned} P_{00} &= \frac{(\lambda + 0 + 0) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + 0 + 0) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (0)^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (0)^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} = \\ &= \frac{\lambda \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{\lambda \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \end{aligned} \quad (17)$$

Równanie (17) przedstawia zależność, gdzie brak jest dokonywania przeglądów. Takie rozwiązanie przedstawiono na rys. 1.

Zobrazowanie graficzne równania (15) w przestrzeni trójwymiarowej jest niemożliwe z uwagi na fakt występowania 3 zmiennych:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $C$ . Dlatego zastosowano zależność:

$$k_1 + k_2 = 1 \quad , \quad \text{więc:} \quad k_2 = 1 - k_1$$

Stosując powyższą zależność równanie (15) przyjmie następującą postać:

$$P_{00} = \frac{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C + (1 - k_1) \cdot \lambda_{2optym} \cdot C) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{[\lambda + k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C + (1 - k_1) \cdot \lambda_{2optym} \cdot C] \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (k_1 \cdot \lambda_{1optym} \cdot C)^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + [(1 - k_1) \cdot \lambda_{2optym} \cdot C]^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (18)$$

Stosując wspomaganie komputerowe i program Mathcad 2001 Professional zobrazowano graficznie funkcję  $P_{00}(k_1, C)$ . Przedstawia to przykład 3.

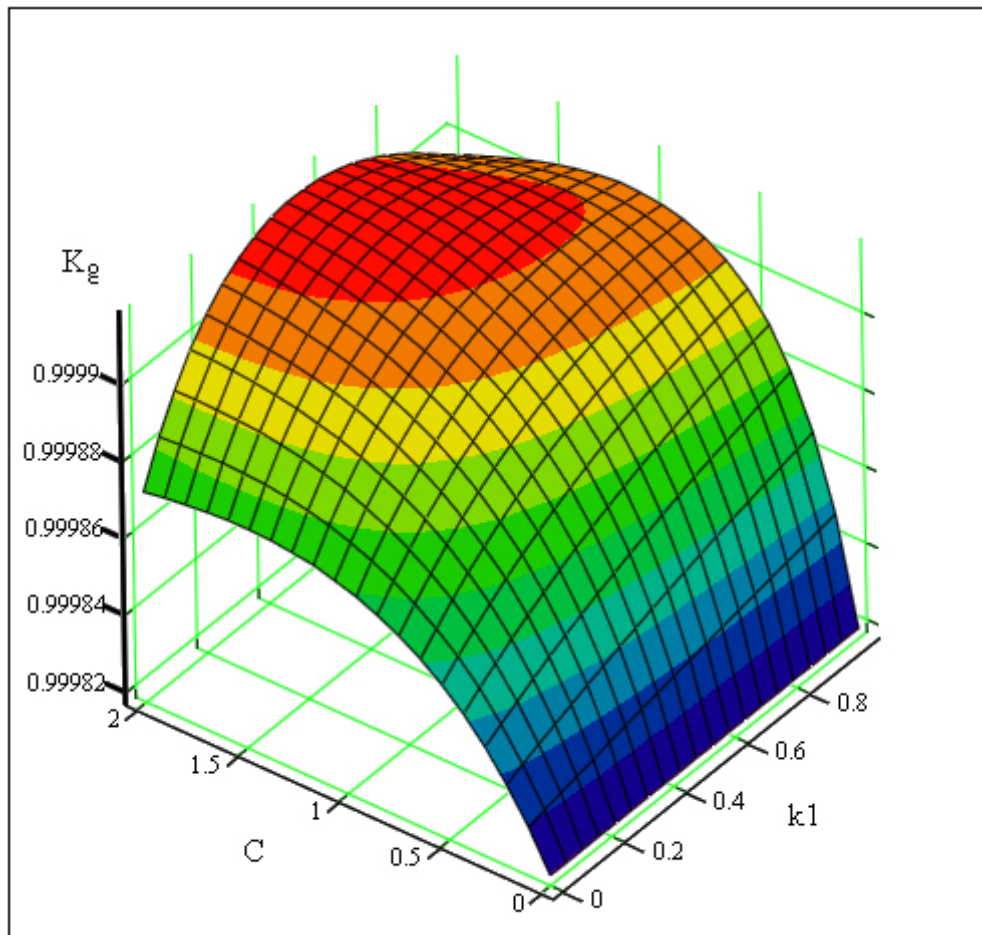
### Przykład 3

Przyjęto, że:

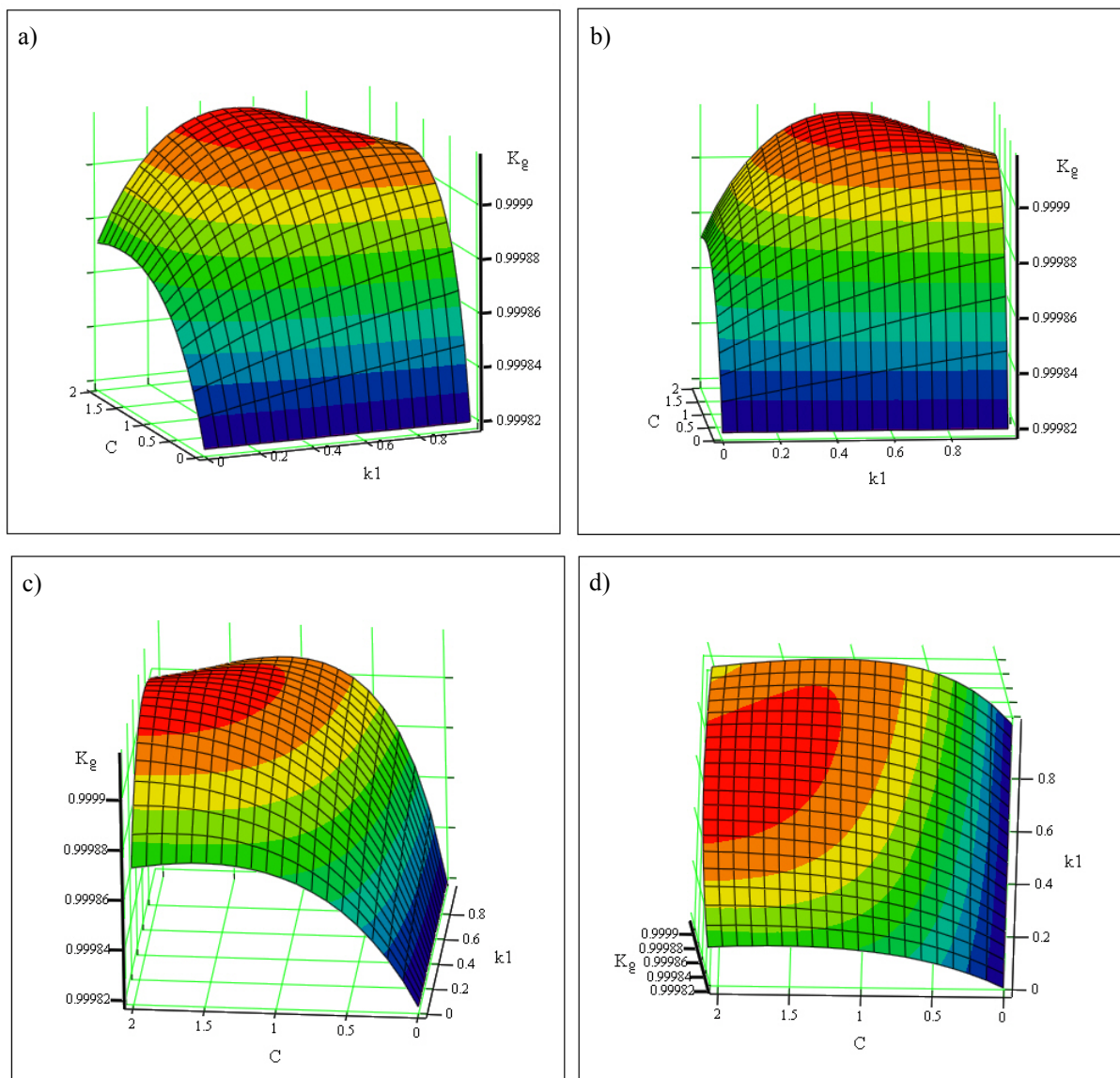
- intensywność uszkodzeń  $\lambda = 1,2027 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to systemowi, którego niezawodność wynosi 0,9),
- intensywność napraw  $\mu = 0,0666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi naprawy 15 [h]),

- intensywność realizacji przeglądów I rodzaju  $\mu_1 = 0,5 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 2 [h]),
- intensywność realizacji przeglądów II rodzaju  $\mu_2 = 0,1666 \left[ \frac{1}{h} \right]$  (odpowiada to czasowi przeglądu 6 [h]),
- intensywność przeglądów I rodzaju  $\lambda_{optym} = 2 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{1}{h} \right]$ ,
- intensywność przeglądów II rodzaju  $\lambda_{2optym} = 6 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{h} \right]$ .

Dla tak przyjętych założeń otrzymano wykres, który został przedstawiony na rys. 9 i 10.



Rys. 9. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji współczynnika przeglądów I rodzaju  $k_1$  i współczynnika nakładów finansowych  $C$  (widok ogólny)



Rys. 10. Zależność wskaźnika gotowości  $K_g$  w funkcji współczynnika przeglądów I rodzaju  $k_1$  i współczynnika nakładów finansowych:

*a, b* - widok od osi  $k_1$ ,  
*c, d* - widok od osi  $C$ .

Analizując rys. 9 i 10 można stwierdzić, że:

- wartość wskaźnika gotowości  $K_g$  osiąga maksimum dla  $C=2$  i  $k_1=0,5$ . Dla wartości mniejszych (czyli mniejszych nakładów finansowych) wskaźnik  $K_g$  maleje.
- istnieje nieliniowa zależność między współczynnikiem nakładów  $C$  i współczynnikiem przeglądu  $k_1$ . Dlatego też w przypadku mniejszych nakładów finansowych niż te dla których mamy  $K_g = \max.$ , należy wyznaczyć nowe optymalne intensywności obu przeglądów dla których nastąpi maksymalizacja wskaźnika gotowości.



Z przedstawionej metody optymalizacji procesu eksploatacji elektronicznego systemu bezpieczeństwa z uwzględnieniem przeglądów okresowych wynika kryterium niezbędne do jego oceny. Jest ono związane ze wskaźnikiem gotowości systemu, którego wartość powinna być maksymalna przy założonych warunkach początkowych:

- intensywności uszkodzeń  $\lambda$ ,
- intensywności napraw  $\mu$ ,
- intensywności realizacji przeglądu I rodzaju  $\mu_1$ ,
- intensywności realizacji przeglądu II rodzaju  $\mu_2$ ,
- współczynnika nakładów finansowych  $C$ .

Dla przedstawionej metody funkcja kryterium będzie miała następującą postać:

$$K_g(\lambda_1, \lambda_2, k_1, k_2) = \frac{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 \cdot C + k_2 \cdot \lambda_2 \cdot C) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}{(\lambda + k_1 \cdot \lambda_1 \cdot C + k_2 \cdot \lambda_2 \cdot C) \cdot \mu \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda^2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 + (k_1 \cdot \lambda_1 \cdot C)^2 \cdot \mu \cdot \mu_2 + (k_2 \cdot \lambda_2 \cdot C)^2 \cdot \mu \cdot \mu_1} \quad (19)$$

Poszukujemy wartości liczbowych:

- intensywności przeglądu I rodzaju  $\lambda_1$ ,
- intensywności przeglądu II rodzaju  $\lambda_2$ ,
- współczynnika przeglądu I rodzaju  $k_1$ ,
- współczynnika przeglądu II rodzaju  $k_2$ ,

dla których nieliniowa funkcja kryterium przyjmie wartość maksymalną:

$$\max_{\{(\lambda_1, \lambda_2, k_1, k_2)\}} K_g(\lambda_1, \lambda_2, k_1, k_2)$$

przy ograniczeniach:

$$k_1 + k_2 = 1$$

$$\lambda_1 \in \langle 0, 1 \rangle$$

$$\lambda_2 \in \langle 0, 1 \rangle$$

$$k_1 \in \langle 0, 1 \rangle$$

$$k_2 \in \langle 0, 1 \rangle$$

### **C. Przebieg ćwiczenia**

Wykorzystując program „Wspomaganie Decyzji Niezawodnościowo- Eksploatacyjnych Transportowych Systemów Nadzoru” określić:

- wpływ średniego czasu naprawy na wskaźnik gotowości systemu,
- wpływ średniego czasu realizacji przeglądu I rodzaju na maksymalną wartość wskaźnika gotowości systemu,
- wpływ średniego czasu realizacji przeglądu II rodzaju na maksymalną wartość wskaźnika gotowości systemu,

- wpływ nakładów finansowych na maksymalną wartość wskaźnika gotowości systemu z uwzględnieniem nakładów finansowych,
- wpływ średniego czasu realizacji przeglądów I i II rodzaju na optymalne intensywności obu przeglądów przy założeniu współczynnik nakładów finansowych na poziomie 100%,
- wpływ średniego czasu realizacji przeglądów I i II rodzaju na optymalne intensywności obu przeglądów przy założeniu współczynnik nakładów finansowych na poziomie mniejszym niż 100%.

#### UWAGA

Wartości wejściowe do programu „Wspomaganie Decyzji Niezawodnościowo-Eksploatacyjnych Transportowych Systemów Nadzoru” poda prowadzący na początku zajęć laboratoryjnych.

### **D. Literatura**

1. Instrukcje serwisowe systemów: DSC, GALAXY, RANKOR, SATEL, SIEMENS.
2. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: Bezpieczeństwo systemów. PWN, Warszawa 1993.
3. Rosiński A.: Metoda wyboru strategii eksploatacji w transportowych systemach nadzoru – rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2006.
4. Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: Niezawodność systemów technicznych. PWN, Warszawa 1990.