

CZESŁAW LEWINOWSKI

EKONOMICZNE UZASADNIENIE BUDOWY
NOWYCH MOSTÓW I WIADUKTÓW
JAKO FUNKCJI KOSZTÓW TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO

Streszczenie. W artykule zanalizowano zwiększony koszt transportu na skutek objazdów przy mostach o niewystarczającej nośności oraz wyprowadzono wzory na podstawie których można ustalić opłacalność budowy nowego obiektu w zależności od natężenia ruchu i długości objazdu.

Stały wzrost ilości samochodów jaki datuje się w Polsce od roku 1956 będzie niewątpliwie postępował dalej i będzie coraz szybszy. Rozwój przemysłu samochodowego sprawę tę całkowicie przesądza.

Dla przykładu podam, że w latach 1953-1959 nastąpił w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym duży wzrost ilości pojazdów mechanicznych a zwłaszcza motocykli, przy czym liczba pojazdów przypadająca na 1000 mieszkańców osiągnęła w roku 1959 następujące wielkości:

- | | | |
|----------------------|---------------------------|--------------------|
| a) motocykli | - 27 poj. na 1000 mieszk. | (wzrost do 800%) |
| b) samochody osobowe | - 7 poj. | " (wzrost do 350%) |
| c) " ciężarowe | - 7 poj. | " (wzrost do 250%) |

Ilość pojazdów mechanicznych w GOP na 1000 mieszkańców (w pojazdach umownych - E) wg hipotezy motoryzacyjnej wyniesie:

| | sam. osob. | | sam. cięż. | | motocykli | |
|---------------|------------|---|------------|---|-----------|---------|
| Etap 1965 rok | 20 x 1 | + | 16 x 1,5 | + | 40 x 0,5 | = 64 E |
| Perspektywa | 60 x 1 | + | 20 x 1,5 | + | 60 x 0,5 | = 120 E |

lub

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n X_n \cdot K_n}{\sum K_n} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (X_n - \bar{X})^2} \quad (6)$$

lub

$$s = \sqrt{\frac{\sum \cdot K_n (X_n - \bar{X})^2}{\sum K_n}} \quad (7)$$

gdzie:

X - koszt jednego wozokilometra w danym przedsiębiorstwie transportowym w zł,

K - ilość przejechanych wozokilometrów w danym przedsiębiorstwie transportowym.

Wzór (4) ma zastosowanie wtedy jeżeli ilość przejechanych wozokilometrów jest równa w różnych przedsiębiorstwach.

W wypadku gdy ilość przejechanych wozokilometrów w poszczególnych przedsiębiorstwach transportowych jest różna należy stosować wzór (5).

Doświadczalna wielkość \bar{X} jest estymatorem parametru D zaś wielkość S jest estymatorem σ .

Estymatory obliczone wg wzorów (4) i (5) mają tę własność, że są bliskie wartości parametrów prawdziwych, gdy ilość przedsiębiorstw transportowych w których przeprowadzono obliczenia kosztów własnych jednego wozokilometra jest dostatecznie duża.

Mając średnią jednostkową kosztów własnych \bar{X} na jeden wozokilometr oraz odchylenie standartowe S przedział ufności¹⁾ kosztów własnych na jeden wozokilometr przy stopniu zaufania $\alpha = 1$ możemy wyrazić wzorem:

$$P \left\{ \bar{X} - \frac{\lambda p \cdot S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + \frac{\lambda p \cdot S}{\sqrt{n}} \right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt \quad (8)$$

¹⁾ Przedziałem ufności jest taki przedział liczbowy wyznaczony na podstawie danych kosztów jednego wozokilometra w różnych przedsiębiorstwach transportowych, w których jest zawarta z określonym prawdopodobieństwem wielkość badana.

oznaczenia

$\lambda_p = \lambda$ - odpowiadająca prawdopodobieństwu $P = P/100$ nazywa się p-procentową wartością standaryzowanej zmiennej normalnej.

Wartości ze wzorów (4), (5), (16) i (17) należy obliczyć oddzielnie dla trolejbusów, autobusów, samochodów ciężarowych, taksówek bagażowych, taksówek osobowych itp.

Wielkość strat w skali rocznej na skutek zwiększenia długości drogi przejazdu taboru samochodowego o wielkość L_1 w km można obliczyć ze wzoru:

$$\sum K = n_r \cdot \left[\mu_A \cdot N_A^d + \mu_{T-us} \cdot N_{T-us}^d + \mu_{sc} \cdot N_{sc}^d + \mu_{tb} \cdot N_{tb}^d + \mu_{t.os} \cdot N_{t.os}^d \right] \cdot L_1 = K_j \cdot L_1 \quad (9)$$

gdzie:

\bar{n}_r - średnia ważona ilość dni pracy taboru samochodowego w ciągu roku,

N^d - średnia ilość przejeżdżających samochodów w ciągu doby,

(znak N_A^d - oznacza ilość przejeżdżających autobusów na dobę

N_{T-us}^d - ilość przejeżdżających trolejbusów na dobę itp.).

Oznaczając przez:

J - nakłady inwestycyjne

q - współczynnik opłacalności

n - okres eksploatacji

$\sum_0^n R$ - koszty eksploatacyjne w całym okresie eksploatacyjnym

$\sum_0^n K$ - suma strat w ciągu roku na skutek zwiększenia długości drogi przejazdu o wielkość L_1 .

Możemy obliczyć wskaźnik efektywności inwestycji ze wzoru:

$$E = \frac{J + J \cdot n \cdot q + \sum_0^n R}{n \cdot \Sigma K} \quad (10)$$

Oznaczając wyrażenie w nawiasie pomnożone przez n_r ze wzoru (9) przez K_j otrzymamy:

$$E = \frac{J + J \cdot n \cdot q + \sum_0^n R}{n \cdot K_j \cdot L_1}$$

stąd możemy obliczyć L_{\min}

$$L_{\min} = \frac{J + J \cdot n \cdot q + \sum_0^n R}{n \cdot K_j \cdot E} \quad (11)$$

Budowa nowego obiektu będzie ekonomicznie uzasadniona wtedy jeżeli drogę transportu samochodowego zmniejszymy o wielkość określoną wzorem:

$$L \geq \frac{J + J \cdot n \cdot q + \sum_0^n R}{n \cdot K_j \cdot E} \quad (12)$$

We wzorze (10), (11) i (12) występuje charakterystyczna wielkość "q" nazywana "współczynnikiem opłacalności nakładów inwestycyjnych".

Współczynnik ten ustalany jest przez PKPG przy Radzie Ministrów i na okres obecnego planu pięcioletniego wynosi 0,07 do 0,10 w zależności od branży.

Współczynnik efektywności inwestycji wynosi od 6% do 20% wobec tego budowa nowego obiektu opłaca się przy $E \leq 20\%$.

Przykład liczbowy

Dane liczbowe do niniejszego przykładu wzięto dla jednego z wiaduktów na terenie Śląska; wiadukt ten zamknięty jest dla ruchu samochodowego od roku 1957.

Zamknięcie wiaduktu spowodowało zwiększenie długości drogi transportu samochodowego o wielkość L_1 .

Ruch samochodowy na drodze w której położony jest wiadukt charakteryzuje się następującymi wielkościami:

$$N_A^d = 50 \text{ autobusów na dobę,}$$

$$N_{so}^d = 1450-1680 \text{ samochodów osobowych na dobę,}$$

$$N_{sc}^d = 2800-3500 \text{ samochodów ciężarowych na dobę.}$$

(wielkość natężenia ruchu samochodowego na tej drodze wzięto z pomiaru dokonanego w dniu 2.10.1958 r.).

$$L_1 = 2,5 \text{ km dla autobusów oraz } L_1 = 1,6 \text{ km dla samochodów osobowych i ciężarowych.}$$

1. Obliczenie strat w skali rocznej

a) dla autobusów

Ze względu na duże wartości X_n wprowadzono nową zmienną $U_n = X_n - 3,49$.

$$\bar{X}_A = 3,49 + \bar{u} = 3,49 + \frac{155505}{69359} = 3,49 + 2,25 = 5,74$$

$$S_A = \sqrt{\frac{\sum K_n (X_n - \bar{X}_A)^2}{\sum K}} = \sqrt{\frac{33401}{69539}} = \sqrt{0,48} = 0,685$$

Obliczenie wielkości \bar{X} oraz S podano w tablicach 1 i 2

$$P\left\{ \bar{X}_A - \frac{\lambda_p \cdot S}{\sqrt{n}} < u_A < \bar{X}_A + \frac{\lambda_p \cdot S}{\sqrt{n}} \right\} = 0,99$$

dla $p = 1\%$; $\lambda_p = 2,5758$ przyjęto $\lambda_p \cong 2,58$

Tablica 1

| Klasa | Obliczenie \bar{X} | | | | Obliczenie S | | |
|-------|----------------------|---------|--------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| | X_n | K_n | $\frac{U_n}{X_n} = 3,49$ | $U_n \cdot K_n$ | $(X_n - \bar{X})$ | $(X_n - \bar{X})^2$ | $K_n(X_n - \bar{X})^2$ |
| 1 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 3,49 | 2278 | 0,00 | 0,000 | 2,25 | 5,063 | 11534 |
| 2 | 4,91 | 1052 | 1,42 | 1494 | 0,83 | 0,689 | 723 |
| 3 | 5,36 | 1921 | 1,87 | 3692 | 0,38 | 0,144 | 277 |
| 4 | 5,45 | 19253 | 1,96 | 37740 | 0,29 | 0,084 | 1637 |
| 5 | 5,49 | 4425 | 2,00 | 8850 | 0,25 | 0,062 | 274 |
| 6 | 5,57 | 2003 | 2,08 | 4166 | 0,17 | 0,029 | 58 |
| 7 | 5,63 | 1435 | 2,14 | 3701 | 0,11 | 0,0121 | 17 |
| 8 | 5,64 | 14241 | 2,15 | 30618 | 0,10 | 0,010 | 142 |
| 9 | 5,68 | 2208 | 2,19 | 4836 | 0,06 | 0,004 | 9 |
| 10 | 5,81 | 1705 | 2,32 | 3956 | 0,07 | 0,005 | 8 |
| 11 | 5,93 | 1426 | 2,44 | 3479 | 0,19 | 0,036 | 51 |
| 12 | 5,96 | 5254 | 2,47 | 12977 | 0,22 | 0,048 | 252 |
| 13 | 6,05 | 1034 | 2,56 | 2647 | 0,31 | 0,096 | 99 |
| 14 | 6,14 | 1544 | 2,65 | 4091 | 0,40 | 0,160 | 247 |
| 15 | 6,34 | 2082 | 2,85 | 5933 | 0,60 | 0,360 | 749 |
| 16 | 6,45 | 270 | 2,96 | 80 | 0,71 | 0,504 | 136 |
| 17 | 6,67 | 1520 | 3,18 | 4834 | 0,93 | 0,865 | 1315 |
| 18 | 7,11 | 2318 | 3,62 | 8391 | 1,37 | 1,877 | 4351 |
| 19 | 7,27 | 2004 | 3,78 | 7575 | 1,53 | 2,340 | 4689 |
| 20 | 8,14 | 1386 | 4,65 | 6445 | 2,40 | 5,760 | 7983 |
| Sumy | | 69359,0 | | 155505 | | 17,148 | 33401 |

(Harald Cramer: Matematyczne metody w statystyce strona 534 tablica 2)

$$P \left\{ 5,74 - \frac{2,58 \cdot 0,685}{\sqrt{20}} < \mu_A < 5,74 + \frac{2,58 \cdot 0,685}{\sqrt{20}} \right\} = 0,99$$

$$5,30 < \mu_a < 6,07 \text{ z\$/wozkm}$$

$$K_A = n \cdot N_A^d \cdot \mu_A \cdot L_1 = 360 \cdot 50 [5,30 \div 6,07] \cdot 2,5 =$$

$$\cong 0,239 \div 0,273 \text{ mln. z\$/rocznie.}$$

b) dla samochodów osobowych

Wielkości \bar{X}_{so} oraz S_{so} obliczono w tablicy 2 z której to:

$$\bar{X}_{so} = 1,85 + \bar{u} = 1,85 + \frac{18792}{45556} = 2,26$$

$$S_{so} = \sqrt{\frac{\sum K_n (x_n - \bar{x})^2}{\sum K_n}} = \sqrt{\frac{2743}{45556}} = \sqrt{0,603} \cong 0,775$$

$$P \left\{ 2,26 - \frac{2,58 \cdot 0,775}{\sqrt{11}} < \mu_{so} < 2,26 + \frac{2,58 \cdot 0,775}{\sqrt{11}} \right\} = 0,99$$

$$1,64 < \mu < 2,83 \text{ z\$/wozokm}$$

$$K_{so} = n \cdot N_{so}^d \cdot \mu_{so} \cdot L_1 = 340 [(1450 \div 1680)(1,64 \div 2,83)] \cdot 1,5 =$$

$$= 1,294 \div 2,445 \text{ mln. z\$/rocznie}$$

Tablica 2

| Klasa | Obliczenie \bar{X} | | | | | | | | Obliczenie S | |
|-------|----------------------|-------|--------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------|--|--------------|------|
| | X_n | K_n | $\frac{U_n}{X_n} = 1,85$ | $U_n \cdot K_n$ | $(X_n - \bar{X})$ | $(X_n - \bar{X})^2$ | $K_n(X_n - \bar{X})^2$ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
| 1 | 1,85 | 239 | 0,00 | 0,0 | 0,41 | 0,168 | 40 | | | |
| 2 | 2,09 | 28027 | 0,24 | 6736 | 0,07 | 0,005 | 140 | | | |
| 3 | 2,38 | 8077 | 0,53 | 4281 | 0,12 | 0,014 | 113 | | | |
| 4 | 2,59 | 761 | 0,74 | 563 | 0,33 | 0,101 | 769 | | | |
| 5 | 2,81 | 94 | 0,76 | 71 | 0,35 | 0,123 | 12 | | | |
| 6 | 2,66 | 3681 | 0,81 | 2981 | 0,40 | 0,160 | 589 | | | |
| 7 | 2,67 | 2113 | 0,82 | 1733 | 0,41 | 0,168 | 355 | | | |
| 8 | 2,78 | 1030 | 0,91 | 957 | 0,50 | 0,250 | 257 | | | |
| 9 | 2,80 | 1376 | 0,95 | 1307 | 0,54 | 0,292 | 402 | | | |
| 10 | 2,85 | 113 | 1,00 | 113 | 0,59 | 0,398 | 45 | | | |
| 11 | 2,95 | 45 | 1,10 | 49 | 0,69 | 0,476 | 21 | | | |
| Sumy | | 45556 | | 18792 | | | | | | 2743 |

Analogicznie należy obliczyć straty spowodowane zwiększeniem długości drogi przejazdu samochodów ciężarowych. Ze względu na brak danych kosztu jednego wozokilometra w przykładowym tym przyjęto wielkość najmniejszą wynoszącą 1,90 mil zł rocznie.

Straty ogółem spowodowane zwiększeniem długości drogi przejazdu wynoszą: $K = 3,533 - 4,718$ mln zł rocznie.

Straty jakie ponosi gospodarka narodowa w skali rocznej na tej trasie wynoszą od 3.533 do 4.718 mln zł rocznie podczas gdy koszt przebudowy wiaduktu wynosi 3.00 mln zł.

2. Obliczenie okresu amortyzacji

Okres amortyzacji określamy przez podzielenie wydatków inwestycyjnych na przebudowę wiaduktu przez wielkość rocznych oszczędności, jakie otrzymujemy skutkiem obniżenia kosztów własnych transportu samochodowego i kosztów własnych utrzymania drogi L_1 .

$$T_0 = \frac{J}{\Sigma K} = \frac{3,000}{3,533 + 4,718} = 8 \div 10 \text{ miesięcy.}$$

3. Obliczenie długości drogi L_1 przy której przebudowa omawianego wiaduktu jest ekonomicznie uzasadniona

Mając dane:

$$J = 3,00 \text{ mln zł}$$

$$\Sigma R = 0,003 J \cdot n$$

$$n = 40 \text{ lat}$$

$$E = 0,15$$

$$q = 0,07$$

Otrzymamy:

$$L_1 = \frac{J + J \cdot n \cdot q + \frac{n}{q} \Sigma R}{n \cdot \Sigma K \cdot E} =$$

$$= \frac{3,00 + 3,00 \cdot 40 \cdot 0,07 + 0,003 \cdot 3,0 \cdot 40}{40 (3,533 \div 4,718) \cdot 0,15} =$$

$$= \frac{11,76}{21,20 \div 28,30} = 0,430 \div 0,560 \text{ km.}$$

Przebudowa wiaduktu na tej trasie jest już ekonomicznie uzasadniona przy $L \geq 430$ m.

Uwzględniając, że wiadukt ten jest zamknięty od kilku lat otrzymamy wystarczająco jasny pogląd o poniesionych stratach.

Należy zaznaczyć, że okres amortyzacji omawianego wiaduktu będzie znacznie krótszy ponieważ w przytoczonym przykładzie ze względu na ograniczone ramy niniejszego artykułu nie uwzględniono strat poniesionych na utrzymanie nawierzchni drogowej istniejącego objazdu.

Korzyści wynikające ze zmniejszenia długości drogi transportu samochodowego są następujące:

1. Lepsze wykorzystanie transportu samochodowego.
2. Podniesienie bezpieczeństwa ruchu (na objazdach mamy zazwyczaj małą widoczność, zły stan nawierzchni drogowej, małe promienie łuków).
3. Skrócenie długości przebiegów transportu.
4. Zmniejszenie kosztów własnych transportu (koszt materiałów pędnych, smarów, zużycie opon, zmniejszenie personelu obsługującego itp.).
5. Zmniejszenie straty czasu przez pasażerów na przejazd.

Wniosek końcowy

Decyzja o szybkiej budowie względnie odbudowie każdej drogowej budowli inżynierskiej winna być uzależniona od kosztu transportu samochodowego.

Aczkolwiek budowa mostu względnie wiaduktu wydaje się pozornie kosztowna to w rzeczywistości po przeprowadzeniu dokładnego rachunku ekonomicznego jest budowlą jak najbardziej rentowną przynosząc ogromne oszczędności gospodarce narodowej.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОВОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВЫХ МОСТОВ И ВИАДУКТОВ КАК ФУНКЦИИ СТОИМОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Краткое изложение

В статье проанализировано повышенную вследствие объездов стоимость транспорта при мостах с недостаточной грузоподъемностью, а также выведено формулы, на основании которых можно определить рентабельность постройки нового объекта в зависимости от интенсивности движения и длины объезда.

ECONOMIC BASIS OF NEW BRIDGES AND VIADUCTS ERECTION

Summary

In the paper the increased cost of transport on account of passing-by the bridges with an insufficient load carrying capacity has been discussed and the formulae have been deduced on the basis of which the payability of a new bridge erection, depending on the traffic intensity and length of by-passings can be established.