

CZESŁAW LEWINOWSKI

Katedra Komunikacji Miejskich

RACHUNEK EKONOMICZNY MODERNIZACJI
NAWIERZCHNI DROGOWEJ W ZALEŻNOŚCI OD NATĘŻENIA RUCHU

Streszczenie. W artykule omówiono formę rachunku ekonomicznego modernizacji nawierzchni drogowych w zależności od istniejącego natężenia ruchu samochodowego i ogólnego kosztu transportu.

W s t ę p

Stały wzrost natężenia ruchu samochodowego jaki obserwujemy w ostatnich latach w Polsce, zwłaszcza w miastach i strefach podmiejskich, powoduje trudności komunikacyjne prowadzące się w konsekwencji do zatorów w różnych punktach miasta. Występujące trudności komunikacyjne oraz stale wzrastające zadania przewozowe, stawiane przed transportem samochodowym spowodowały, że ostatnio zaczęto się zajmować zagadnieniami inżynierii ruchu oraz rentownością inwestycji drogowych. Wzrastające zadania przewozowe kształtują potrzeby w zakresie budowy i modernizacji dróg a względy ekonomiczne wymagają aby ogólny koszt transportu samochodowego był jak najmniejszy. Rentowność nowo budowanej względnie modernizacji starej nawierzchni zależna jest od istniejącego lub przewidywanego natężenia ruchu samochodowego. Rentowność nawierzchni drogowej lub ulicznej zwiększa się wraz ze wzrostem natężenia ruchu samochodowego na danej trasie drogowej (ulicy) w granicach od 0 do określonego natężenia N dopuszczalnego dla danego rodzaju nawierzchni.

W niniejszym artykule zostanie omówiona rentowność modernizacji nawierzchni ulicznych z nieulepszonych na ulepszone (betonowa, asfaltobetonowa i smołobetonowa) w zależności od:

- 1) natężenia ruchu samochodowego,
- 2) ogólnego kosztu transportu samochodowego,

- 3) kosztu utrzymania danego rodzaju nawierzchni,
- 4) rodzaju nawierzchni i okresu trwałości danej nawierzchni.

1. Ogólny koszt transportu samochodowego

Ogólny koszt transportu samochodowego składa się z kosztu eksploatacji pojazdu K_e i kosztu utrzymania nawierzchni drogowej K_u , w odniesieniu do jednego m^2 jezdni.

Koszt eksploatacji pojazdu (K_e) przypadający na jeden m^2 jezdni w ciągu jednego roku, przy znanym natężeniu ruchu w ciągu jednej doby możemy obliczyć przy pomocy wzoru:

$$K_e = \frac{0,365}{b} \cdot \sum_{x=1}^{x=i} N_x \cdot K_x \quad (1)$$

gdzie:

- b - szerokość jezdni w m,
- N_x - ilość pojazdów danego rodzaju (np. autobusy, samochody osobowe, samochody ciężarowe itp.) przejeżdżających w obu kierunkach w ciągu doby,
- K_x - koszt własny jednego wozokilometra (wozokm) danego rodzaju pojazdu w zł,
- K_e - koszt eksploatacji taboru samochodowego, przypadający na jeden m^2 jezdni w ciągu jednego roku.

Koszt własny jednego wozokm przy nawierzchni ulepszonej wynosi [2]:

dla autobusów $K_A = 3,541$ zł za jeden wozokm

dla sam. ciężarowych $K_{SC} = 2,416$ zł za - " -

dla sam. osobowych $K_{SO} = 1,879$ zł za - " -

Koszt utrzymania jednego m^2 jezdni w ciągu jednego roku składa się z kosztu remontu bieżącego K_{rb} i kosztu remontu kapitalnego K_{rk} , który możemy obliczyć ze wzoru:

$$K_u = K_{rb} + K_{rk} \quad (2)$$

gdzie:

- K_u - koszt utrzymania jednego m^2 danego rodzaju nawierzchni w ciągu jednego roku w $z\$/m^2$,
 K_{rb} - koszt remontu bieżącego jednego m^2 danego rodzaju nawierzchni w ciągu jednego roku w $z\$/m^2$,
 K_{rk} - koszt remontu kapitalnego jednego m^2 danego rodzaju nawierzchni w ciągu jednego roku w $z\$/m^2$.

Na podstawie okresów czasu pracy poszczególnych rodzajów nawierzchni, można określić procentowy stosunek powierzchni poddanej bieżącemu i kapitalnemu remontowi wykonanej na tej samej powierzchni odniesienia w okresie jednego roku. Przyjmując powierzchnię odniesienia $P_0 = 1000 m^2$ otrzymamy:

$$P_{r.k} = \frac{P_0}{O_p} \quad \text{oraz} \quad P_{r.b} = P_0 - P_{r.k} \quad (2a)$$

gdzie:

- P_{rk} - powierzchnia podlegająca remontowi kapitalnemu w m^2 ,
 $P_0 = 1000 m^2$ - powierzchnia odniesienia,
 O_p - średni czasokres pracy danej nawierzchni w latach,
 P_{rb} - powierzchnia podlegająca remontowi bieżącemu w m^2 .

W tabelicy 1 podano okres pracy poszczególnych nawierzchni oraz koszt utrzymania jednego m^2 jezdni w ciągu roku " K_u " przy założonej powierzchni odniesienia $P_0 = 1000 m^2$.

Całkowity koszt transportu samochodowego możemy obliczyć ze wzoru:

$$K_{cał.} = K_c + K_u = \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_x \cdot K_x + K_{rb} K_{rk} \quad (3)$$

gdzie:

- $K_{cał.}$ - całkowity koszt transportu samochodowego w odniesieniu do jednego m^2 jezdni w ciągu jednego roku w $z\$/m^2$ jezdni.

Pozostałe oznaczenia jak we wzorach poprzednich.

Tablica 1

T y p nawierzchni	Rodzaj nawierzchni	Okres pracy lat	K _u w zł/m ²
ulepszony ciężki	z kostki kamiennej na zaprawie cementowej z kostki kamiennej na podsypce żwirowej klinkierowa na podsypce cem.-piaskowej betonowa bitumiczna	30 + 40 20 + 25 20 + 25 25 + 35 12 + 15	4,29 6,06 10,33 3,38 5,76
ulepszony średni	bitumiczna asfaltowa smołowa	15 + 20 10 + 12	5,73
ulepszony lekki	bitumiczna	4 + 6	8,32
nieulepszony	tłuczniowa brukowcowa	5 + 8 15 + 20	9,09 4,17

Wielkość oraz rodzaj (autobusy, sam. osobowe, sam. ciężarowe itp.) natężenia ruchu samochodowego, potrzebnego nam do obliczenia $K_{cał}$, ze wzoru (3) na danej trasie bierzemy z pomiarów dokonanych na interesującym nas odcinku. Z pomiarów natężenia ruchu uzyskamy ilość przejeżdżających pojazdów w obu kierunkach oraz procentowy udział w dobowym natężeniu ruchu autobusów, samochodów ciężarowych, samochodów osobowych itp. Mając dobowe natężenie ruchu samochodowego, koszt utrzymania jednego m^2 jezdni oraz procentowy udział w tym natężeniu poszczególnych rodzajów pojazdów, a następnie znając koszt własny jednego wozokm dla danego rodzaju pojazdu przy określonej nawierzchni, możemy obliczyć ze wzoru (3) całkowity koszt transportu samochodowego w odniesieniu do jednego m^2 jezdni w ciągu jednego roku.

2. Rachunek ekonomiczny modernizacji nawierzchni ulicznych

Rachunek ekonomiczny modernizacji nawierzchni ulicznych przeprowadzimy w oparciu o "Instrukcję w sprawie efektywności mniejszych inwestycji oraz przedsięwzięć organizacyjno-technicznych" (zwłaszcza związanych z realizacją postępu technicznego oraz produkcją eksportową i zastępującą import), wydaną przez Komisję Planowania przy Radzie Ministrów w dniu 29 maja 1962 r.

Nawierzchnie uliczne podlegające modernizacji, której głównym celem jest obniżka kosztu transportu samochodowego należy ocenić wg wzoru

$$\frac{U}{J} > q \quad (4)$$

gdzie:

- J - nakłady inwestycyjne potrzebne na modernizację jednego m^2 starej (istniejącej) nawierzchni,
- q - współczynnik opłacalności (q = 0,20 odpowiada warunkowi pięcioletniego czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych przy okresie eksploatacji $t \geq 15$ lat zmodernizowanej nawierzchni).

Wielkość "U" jest sumą oszczędności uzyskanej dzięki obniżce kosztów ogólnych transportu samochodowego " $K_e + K_u$ "

oraz ewentualnemu zwiększeniu się przelotności przekroju jezdni ulic po modernizacji i może być obliczone ze wzoru:

$$U = K_{en} + K_{un} - (K_{eu} + K_{uu}) \quad (5)$$

Wstawiając do wzoru (5) wartość za $K_{eu} + K_{uu}$ ze wzoru (3) i (2) otrzymamy, że:

$$\begin{aligned} U &= \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_x \cdot K_{xn} + K_{rbn} + K_{rkn} - \\ &- \left(\frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_x (K_{xu} + K_{rbu} + K_{rku}) \right) = \\ &= \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} (N_x \cdot K_{xn} - N_x \cdot K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (6) \end{aligned}$$

przy stałym N_x wzór przybierze postać:

$$U = \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_i (K_{xn} - K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (7)$$

gdzie:

K_{xn} - koszt własny jednego wozu-km przy nawierzchni nieulepszonej dla danego rodzaju pojazdu (np. autobusy, samociężarowe itp.),

K_{xu} - koszt własny jednego wozu-km przy nawierzchni ulepszonej dla danego rodzaju pojazdu,

K_{un} - koszt utrzymania jednego m^2 nawierzchni nieulepszonej w ciągu jednego roku w $zł/m^2$,

K_{uu} - koszt utrzymania jednego m^2 nawierzchni ulepszonej w ciągu jednego roku w $zł/m^2$.

Pozostałe oznaczenia jak we wzorach poprzednich.

Wstawiając za "U" wyrażenie ze wzoru (6) do wzoru (4) otrzymamy:

$$\frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} (N_x \cdot K_{xn} - N_x \cdot K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} > q \quad (8)$$

Ze wzoru (8) możemy obliczyć, przy jakich nakładach inwestycyjnych przypadających na jeden m² nawierzchni potrzebnych na modernizację przy znanym natężeniu ruchu N_x, koszcie własnym jednego wozu-km przy nawierzchni ulepszonej i nieulepszonej oraz przy znanym K_{un} i K_{uu} modernizacji nawierzchni ulicznej jest ekonomicznie uzasadniona.

Przy współczynniku opłacalności q = 0,2 to znaczy przy okresie pracy nawierzchni ulicznej zmodernizowanej nie krótszej niż 15 lat wielkość q₀J możemy obliczyć ze wzoru:

$$0,2 J < \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} (N_x \cdot K_{xn} - N_x \cdot K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (9)$$

Przy stałym N_x wzór przybierze postać:

$$0,2 J < \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_i (K_{xn} - K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (10)$$

Jeżeli okres pracy nawierzchni jest mniejszy od 15 lat, to współczynnik opłacalności q należy podwyższyć. Podwyższenia tego dokonuje się w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do skrócenia okresu eksploatacji nawierzchni wg wzoru

$$q' = \frac{q \cdot 15}{t}$$

(gdzie t = okres eksploatacji) a wzór 9) przybierze postać:

$$3 \cdot J < t \cdot \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} (N_x \cdot K_{xn} - N_x \cdot K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (11)$$

i odpowiednio przy stałym N_x otrzymamy:

$$3.J < t. \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=i} N_x (K_{xn} - K_{xu}) + K_{un} - K_{uu} \quad (12)$$

Postępować tak należy przy przewidywanym okresie eksploatacji nawierzchni zmodernizowanej dłuższym od 6 lat. Poniżej tej granicy (6 lat) oblicza się wielkość q według kryteriów dla inwestycji szybko rentujących się.

3. Modernizacja nawierzchni ulicznych jako inwestycji szybko rentujących się w zależności od natężenia ruchu samochodowego

Modernizacje nawierzchni ulicznej z unieulpszonej na ulepszoną przy znanym względnie przewidywanym natężeniu ruchu samochodowego N_x , uznaje się jako inwestycje szybko rentujące się, jeżeli zostanie spełniona nierówność (4) przy

$$q = 0,33 + \frac{1}{t} + p \quad (13)$$

gdzie:

- t - okres przyszłej eksploatacji nawierzchni zmodernizowanej, ustalony w oparciu o obowiązujące stawki amortyzacyjne,
- p - stosunek rocznych odsetek od kredytu bankowego do całości nakładów J.

Jeżeli nie korzystamy z kredytu bankowego, to wówczas wielkości p nie ujmujemy się we wzorze na współczynnik q .

Wielkość q określona wzorem (13) odpowiada warunkowi trzyletniego czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych przez przyrost zysku, przy uwzględnieniu faktu, że wielkość kosztów przyjęta w rachunku nie obejmuje amortyzacji jak również, że część nakładów inwestycyjnych jest obciążona odsetkami od kredytu bankowego.

Przy współczynniku opłacalności $q = 0,33 + \frac{1}{t} + p$, modernizacja nawierzchni będzie inwestycją szybko rentującą się jeżeli zostanie spełniona nierówność:

$$(0,33 + \frac{1}{t} + p) \cdot J < \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=1} (N_{x_{zn}} \cdot K_{x_{zn}} - N_{x_{zu}} \cdot K_{x_{zu}}) + K_{un} - K_{uu} \quad (14)$$

i przy stałym N_x otrzymamy:

$$(0,33 + \frac{1}{t} + p) \cdot J < \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=1} N_x (K_{x_{zn}} - K_{x_{zu}}) + K_{un} - K_{uu} \quad (15)$$

3. Przykład liczbowy rachunku ekonomicznego

Rachunek ekonomiczny przeprowadzimy na przykładzie przebudowy nawierzchni tłuczniowej na nawierzchnię bitumiczną typu średniego. Natężenie ruchu na istniejącej nawierzchni tłuczniowej wynosi:

1) $N_x = 220$ pojazdów/dobę, a w tym:

- a) autobusów $N_A = 20$ na dobę
- b) sam. cięż. $N_{sc} = 100$ "
- c) sam. osob. $N_{so} = 100$ "

Razem 220 pojazdów/dobę

2) $b = 6,00$ m (szerokość jezdni)

3) $N_{un} = 9,09$ zł/m² - koszt utrzymania 1 m² nawierzchni tłuczniowej w ciągu roku.

4) $N_{uu} = 5,73$ zł/m² - koszt utrzymania jednego m² w ciągu jednego roku nawierzchni bitumicznej typu średniego,

5) Koszt własny jednego wozokm dla nawierzchni ulepszonej przyjęto: [2]

- a) dla autobusów $K_{Au} = 3,541$ zł
- b) dla sam. ciężar. $K_{Scu} = 2,416$ zł
- c) dla sam. osobow. $K_{Sou} = 1,879$ zł

- 6) Wskaźnik kosztu przewozu przyjęto zgodnie z Normatywem technicznym projektowania dróg samochodowych, dla nawierzchni tłuczniowej 1,30.
- 7) Koszt ułożenia jednego m² nawierzchni bitumicznej typu średniego przyjęto średnio 42 zł/m²

Rozwiązanie

Ponieważ okres pracy nawierzchni asfaltowej typu średniego wynosi od 15 do 20 lat wobec tego w rachunku naszym posłużymy się wzorem:

$$0,2 J < \frac{0,365}{b} \sum_{x=1}^{x=1} N_i (K_{xm} - K_{xm}') + K_{um} - K_{uu}$$

Przyjmując $J = 42 \text{ zł/m}^2$ otrzymamy:

$$0,2 \cdot 42,0 < \frac{0,365}{6,00} 1,30 (20 \cdot 3,541 + 100 \cdot 2,416 + 100 \cdot 1,879) -$$

$$-(20 \cdot 3,541 + 100 \cdot 2,416 + 100 \cdot 1,879) + 9,09 - 5,73$$

$$0,2 \cdot 42,0 < 0,061 1,30 (70,82 + 241,60 + 197,90) -$$

$$-(70,82 + 241,60 + 197,90) + 3,36$$

$$0,2 \cdot 42,0 < 0,061 1,30 \cdot 510,32 - 510,32 + 3,36$$

$$0,2 \cdot 42,0 < 0,061 \cdot 153,09 + 3,36$$

$$0,2 \cdot 42,0 < 9,34 + 3,36 = 12,70 \text{ zł/m}^2$$

ponieważ

$$0,2 \cdot 42,0 < 12,70$$

$$8,40 < 12,70$$

Przebudowa nawierzchni tłuczniowej na nawierzchnię bitumiczną przy istniejącym natężeniu ruchu samochodowego jest już ekonomicznie uzasadniona, jeżeli roczne straty poniesione przez transport samochodowy są $\geq 8,40$ zł/m². W przykładzie naszym straty te wynoszą 12,70 zł/m². Ponieważ warunek równania (4) jest spełniony więc inwestycja jest rentowna.

Przy natężeniu ruchu samochodowego $N_x = 325$ pojazdów na dobę, a w tym: 30 autobusów, 145 samochodów ciężarowych i 150 samochodów osobowych i pozostałych danych jak w przykładzie poprzednim przebudowa nawierzchni tłuczniowej na nawierzchnię bitumiczną typu średniego, będzie inwestycją szybko rentującą się, co wynika z następującego przeliczenia.

$$(0,33 + \frac{1}{n} + p) \cdot J < \frac{0,365}{b} \left(\sum_{x=1}^{x=1} N_{xm} \cdot K_{xm} - \sum_{x=1}^{x=1} N_{x1} \cdot K_{x1} \right) + K_{u1} - K_{u2}$$

Przyjmując $t = 15$ lat oraz $p = 0$ otrzymamy:

$$\begin{aligned} (0,33 + \frac{1}{15}) \cdot J < \frac{0,365}{6,00} 1,30 (30 \cdot 3,541 + 145 \cdot 2,416 + \\ + 150 \cdot 1,879) - (30 \cdot 3,541 + 145 \cdot 2,416 + 150 \cdot 1,879) + \\ + 0,09 = 5,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,4 J < 0,061 1,30 (106,23 + 350,32 + 281,85) - \\ - (106,23 + 350,32 + 281,85) + 3,46 \end{aligned}$$

$$0,4 J < 0,061 1,30 \cdot 738,40 = 738,40 + 3,46$$

$$0,4 J < 16,97.$$

Przyjmując koszt ułożenia jednego m^2 nawierzchni bitumicznej typu średniego na istniejącej nawierzchni tłuczniowej równy 42 zł otrzymamy:

$$0,4 \cdot 42 < 16,97$$

$16,80 < 16,97$ - a więc nierówność (14) jest spełniona i modernizacja nawierzchni tłuczniowej przy natężeniu ruchu $N_x = 325$ pojazdów na dobę jest inwestycją szybko rentującą się.

Wzory wyprowadzone w niniejszym artykule mogą być stosowane do inwestycji mniejszych, a szczególnie inwestycji rad narodowych.

Odpowiednie resorty gospodarki narodowej ustalają w sposób bardziej szczegółowy jakie inwestycje należy zaliczać do inwestycji mniejszych.

4. Zakończenie

W niniejszym artykule omówiłem ogólną formę rachunku ekonomicznego modernizacji nawierzchni drogowych w zależności od istniejącego natężenia ruchu samochodowego (na danej trasie drogowej) a więc od ogólnego kosztu transportu samochodowego.

Jak wynika z powyższych rozważań, głównymi elementami rachunku są: natężenie ruchu samochodowego, koszt własny jednego wozokm. dla danego rodzaju pojazdu, koszt utrzymania poszczególnych rodzajów nawierzchni oraz koszt ułożenia jednego m^2 nawierzchni typu wyższego na istniejącej nawierzchni typu niższego. Zagadnieniem ekonomicznej efektywności modernizacji nawierzchni drogowych dotychczas interesowali się tylko nieliczni fachowcy.

Przeprowadzenie właściwego rachunku ekonomicznego napotyka na szereg trudności spowodowanych między innymi:

- 1) brakiem danych odnośnie do kosztu eksploatacyjnego taboru samochodowego przy danym rodzaju nawierzchni¹⁾,
- 2) brakiem danych odnośnie do okresu pracy nawierzchni w zależności od natężenia i struktury ruchu itp.

¹⁾ Podane w normatywie technicznym projektowania dróg samochodowych wielkości wskaźnika kosztu przewozu w zależności od rodzaju nawierzchni są wielkościami orientacyjnymi.

Stały wzrost ilości samochodów w Polsce oraz wzrastające z roku na rok znaczenie transportu samochodowego w ogólnokrajowym przewozie osób i ładunków, jest dostatecznym uzasadnieniem do rozpoczęcia bardziej szczegółowych badań nad zagadnieniem ekonomicznej efektywności inwestycji drogowych.

LITERATURA

- [1] Normatyw techniczny projektowania dróg samochodowych. Warszawa 1960 r.
- [2] Dąbrowski: "Rachunek ekonomiczny efektywności inwestycji modernizacji dróg". Drogownictwo Nr 8 i 9/62.
- [3] Instrukcja w sprawie efektywności mniejszych inwestycji oraz przedsięwzięć organizacyjnych (zwłaszcza związanych z realizacją postępu technicznego oraz produkcją eksportową i zastępującą import). KP przy RM W-wa 1962 r.
- [4] Gromnicki: "Wskaźniki kosztów utrzymania jezdni i chodników, ulic oraz dróg miejskich". Biuletyn techniczny Min.Gosp.Komunalnej. Drogi Miejskie Nr 1/10/D/61.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ
ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

С о д е р ж а н и е

В статье говорится об общей формулировке экономического расчета модернизации полотна дорог в зависимости от сумествующего напряжения автомобильного движения и общей стоимости транспорта.

DIE OEKONOMISCHE RECHNUNG DER MODERNISIERUNG
EINES STRASSEN OBERBAUES IN ABHÄNGIGKEIT
VON DER VERKEHRSINTENSITÄT

Z u s a m m e n f a s s u n g

In diesem Artikel wurden die allgemeinen Formen der oekonomischen Rechnung der Modernisierung eines Strassenoberbaues in Abhängigkeit von der Verkehrsintensität und den allgemeinen Transportkosten des Strassenverkehrs besprochen.