ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1964
Seria: BUDOWNICTWO z. 13 Nr kol. 125

CZESŁAW LEWINOWSKI

EKONOMICZNE PROJEKTOWANIE NAWIERZCHNI DROGOWYCH ORAZ SKRZYŻOWAŃ DRÓG Z KOLEJĄ

Streszczenie: W pierwszej części artykułu omówiono zależności występujące pomiędzy kosztami eksploatacyjnymi taboru samochodowego, a kosztami utrzymania nawierzchni drogowych w należności od natężenia ruchu samochodowego. W drugiej części artykułu podano formę rachunku ekonomicznego uzasadniającego budowę skrzyżowania dwupoziomowego drogi z koleją w zależności od ogólnego kosztu transportu samochodowego.

WSTĘP

Powszechnym zjawiskiem współczesnego społeczeństwa jest stały wzrost zapotrzebowania na usługi komunikacyjne.

Miasta europejskie, a w tym i polskie, budowane na przestrzeni stuleci, nie są przystosowane do tak dużego natężenia ruchu samochodowego, a tak charakterystycznego dla drugiej połowy XX wieku. Nic też dziwnego, że ten gigantyczny wzrost motoryzacji na Zachodzie (tablica nr 1), tak zaskoczył planistów miejskich, że muszą oni posługiwać się rozwiązaniami doraźnymi, aby ruch samochodowy w ogóle mógł się odbywać. Często można się spotkaz z opiniami fachowców zagranicznych, którzy mówią, że jesteśmy w Polsce w tym szczęśliwym położeniu, że możemy jeszcze nasze miasta przystosować do nadchodzących

Tablica 1

Wskaźniki motoryzacji w niektórych krajach kapitalistycznych i w Polsce lata 1950 i 1960[1)]

(samochody osobowe plus taksówki)

Lp.	Kraj	Rok 1950			Rok 1960			% wzrostu
		Liczba samochodów osobowych w tys.	Liczba mieszkańców przypadająca na jeden samochód	Liczba samochodów osobowych na 1000 mieszkańców	Liczba samochodów osobowych w tys.	Liczba mieszkańców przypadająca na jeden samochód	Liczba samochodów przypadana 1000 mieszkańców	
1	USA	40334	4	250	63488	3	333	33
2	Kanada	1907	7	145	4104	4	250	72
3	Nowa Zelandia	239	8	125	537	4	250	100
4	Australia	768	11	91	2065	5	200	120
5	Szwecja	253	28	36	1210	6	167	364
6	Wielka Brytania	2317	22	45	5610	9	111	147
7	Francja	1500	28	36	5430	8	125	247
8	Szwajcaria	147	32	31	560	10	100	223
9	NRF	598	80	13	5343	10	100	870
10	Dania	118	36	28	408	11	91	225
11	Belgia	247	32	31	650	14	71	129
12	Włochy	342	135	7	1995	25	40	471
13	India	154	2325	0,4	290	1492	0,7	75
14	Polska[2)]	24[3)]	1000	1,0	117	250	4	300

1) Na podstawie: Basic Road Statistics 1962. British Road Federation.

2) Dane na podstawie rocznika statycznego dla roku 1948 i dla roku 1961.

3) Dane dla roku 1948 z autobusami włącznie.

czasów. Opinie te wynikają z tego, że liczba samochodów przypadająca na 1000 mieszkańców w Polsce w stosunku do krajów zachodnich jest mała, niemniej jednak i w naszych miastach przy istniejącym natężeniu ruchu samochodowego, występują trudności komunikacyjne, sprowadzające się w konsekwencji do zatorów potoku samochodów w przeciążonych węzłach ulicznych i na skrzyżowaniu dróg publicznych z koleją. Opierając się na danych zagranicznych możemy powiedzieć, że stan motoryzacji w Polsce jest dopiero w stadium początkowego rozwoju.

Stały wzrost liczby samochodów jaki obserwujemy w Polsce w ostatnich latach (tablica nr 2) oraz stawiane zadania przewozowe przed transportem samochodowym (tablica nr 3), kształtują potrzeby w zakresie gospodarki drogowej, a względy ekonomiczne wymagają, aby ogólny koszt transportu samochodowego był jak najmniejszy. Rozwój motoryzacji w Polsce wymaga rozbudowy i modernizacji istniejącej sieci drogowej wraz z jej budowlami inżynierskimi (mosty, wiadukty, itp.).

Na ogół, zarówno projektantom jak i odpowiednim jednostkom administracji państwowej, znany jest koszt budowy jednego mb drogi lub mostu, mniej natomiast znany jest koszt eksploatacji pojazdów samochodowych oraz straty spowodowane jednopoziomowymi skrzyżowaniami dróg publicznych z koleją.

W niniejszym artykule, w części pierwszej omówione zostaną zależności, występujące pomiędzy kosztami eksploatacyjnymi taboru samochodowego, a kosztami utrzymania nawierzchni drogowych w zależności od natężenia ruchu samochodowego.

W części drugiej przeprowadzony zostanie rachunek ekonomiczny uzasadniający budowę skrzyżowania dwupoziomowego w zależności od istniejącego lub przewidywanego natężenia ruchu

Tablica 2

Liczba samochodów w Polsce[1)]

Lp.	Wyszczególnienie	Ilość pojazdów samochod. w roku					% wzrostu do roku 1965
		1956 = = 100%	1957	1958	1959	1965[2)]	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	samochody osobowe	44790	61944	83922	104574	210000	473
2	samochody ciężarowe	82780	99507	109676	115599	156600	189
3	motocykle	236483	331189	461363	550994	750000	318
4	ciągniki	114700	122500	133732	155159	176400	154
5	autobusy i inne	7351	8150	9234	11297	14500	197
6	r a z e m	486104	623290	797927	937623	1307500	270

1) Fr. Koryciński - Drogownictwo, marzec 1961 r.

2) Przewidywana liczba pojazdów samochodowych

Tablica 3

Zadania przewozowe w latach 1960 i 1965

Lp.	Wyszczególnienie	Zadania przewozowe w roku		% wzrostu
		1960	1965	
1	przewóz ładunków	390 mln ton	525 mln ton	134
2	przewóz osób	425 mln osób	638 mln osób	150

samochodowego i kolejowego oraz wynikające straty w transporcie samochodowym na skutek postoju pojazdów przed rogatką.

1. ZALEŻNOŚCI WYSTĘPUJĄCE POMIĘDZY KOSZTEM EKSPLOATACYJNYM TABORU SAMOCHODOWEGO, A KOSZTEM UTRZYMANIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Koszty eksploatacyjne taboru samochodowego, przypadające na jeden m^2 jezdni w ciągu jednego roku, przy znanym natężeniu ruchu w ciągu jednej doby, możemy obliczyć przy pomocy wzoru

$$K_e = \frac{365}{1000 \cdot b} W_{km} (P_A \cdot k_A + P_{sc} \cdot k_{sc} + P_{so} \cdot k_{so} + \ldots$$

$$\ldots + P_{n-1} \cdot k_{n-1} + P_n \cdot k_n) \qquad (1)$$

gdzie:

K_e - koszty eksploatacyjne taboru samochodowego, przypadające na jeden m^2 jezdni w ciągu jednego roku w zł,

b - szerokość jezdni w m,

W_{km} - ilość wozo-km przypadających na 1 m^2 jezdni w ciągu doby,

k_A, k_{sc}, k_{so}, k_n - koszt własny jednego wozo-km dla: autobusów, samochodów ciężarowych, samochodów osobowych itp.,

P_A, P_{sc}, P_{so}, P_n - procentowy udział autobusów, samochodów ciężarowych, samochodów osobowych itd., w ogólnej ilości wozo/km przypadających na jeden m^2 jezdni w ciągu doby.

Koszt własny jednego wozo-km przy nawierzchni ulepszonej (betonowa, asfalto i smołobetonowa) wynosi [1]:

dla autobusów	k_A	= 3,541 zł za jeden wozo/km
" sam. ciężarowych	k_{sc}	= 2,416 zł " " "
" sam. osobowych	k_{so}	= 1,879 zł " " "

Wskaźnik kosztów przewozu samochodami w zależności od rodzaju nawierzchni zgodnie z "Normatywem technicznym projektowania dróg samochodowych" str. 91 wynosi od 1,00 do 1,60. W tablicy nr 4 zestawiono koszty eksploatacyjne taboru samochodowego obliczone ze wzoru (1) przypadające na 1 m^2 jezdni przy szerokości b = 6,00 m oraz natężeniu ruchu N = 655 pojazdów na dobę w obu kierunkach, a w tym: 35 autobusów, 320 samochodów ciężarowych i 300 samochodów osobowych.

1.1. Koszt utrzymania 1 m^2 jezdni w ciągu jednego roku

Koszt utrzymania jednego m^2 jezdni w ciągu jednego roku składa się z kosztów:

a) remontu bieżącego,

b) remontu kapitalnego.

Na podstawie okresów czasu pracy poszczególnych rodzajów nawierzchni, można określić, procentowy stosunek powierzchni poddanej bieżącemu i kapitalnemu remontowi, wykonanych na tej samej "powierzchni odniesienia" w okresie jednego roku.

---

[1] Mgr Wł. Dąbrowski "Rachunek ekonomiczny efektywności inwestycji modernizacji dróg" Drogownictwo nr 9/62 str. 215.

Powierzchnie, które podlegają w roku remontowi kapitalnemu można obliczyć ze stosunku założonej "powierzchni odniesienia" przyjętej w naszych obliczeniach w wysokości 1000 m^2 do średniego okresu czasu pracy określonej nawierzchni.

$$P_{r.k} = \frac{P_o}{O_p} \tag{2}$$

gdzie:

P_{rk} - powierzchnia podlegająca remontowi kapitalnemu,

P_o - powierzchnia odniesienia,

O_p - średni czasokres pracy danej nawierzchni.

Powierzchnia podlegająca remontowi bieżącemu równa się powierzchni odniesienia pomniejszonej o powierzchnię poddaną remontowi kapitalnemu tj.

$$P_{rb.} = P_o - P_{rk.} \tag{3}$$

gdzie:

P_{rb} - powierzchnia podlegająca remontowi bieżącemu, pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2).

Całkowity koszt utrzymania 1 m^2 jezdni w ciągu jednego roku możemy obliczyć ze wzoru:

$$K_J = K_{rb.} + K_{rk.} \tag{4}$$

gdzie:

K_u - całkowity koszt utrzymania w odniesieniu do 1 m^2 jezd ni w ciągu jednego roku w zł,

$K_{rb.}$ - koszt remontu bieżącego w odniesieniu do 1 m^2 jezdni w ciągu jednego roku w zł,

$K_{rk.}$ - koszt remontu kapitalnego w odniesieniu do 1 m^2 jezd ni w ciągu jednego roku w zł.

Wielkość kosztów K_u i K_e dla poszczególnych rodzajów nawierzchni zestawiono w tablicy nr 4. Jak wynika z tablicy 4 łączne koszta transportu samochodowego $K_e + K_u$, 1 m^2 nawierzchni w zależności od rodzaju wynoszą od 95,57 zł do 151,67 zł z czego koszty utrzymania 1 m^2 nawierzchni stanowią od 2,76% do 9,35% kosztu ogólnego. Koszty eksploatacyjne taboru wynoszą odpowiednio od 90,65% do 96,24%.

Z powyższego zestawienia wynika, że nie opłaca się oszczędzać na utrzymaniu i wykonawstwie nawierzchni drogowych, a należy budować nawierzchnie ulepszone, dla obniżenia kosztów eksploatacji pojazdów, gdyż one mają decydujący wpływ na łączne koszty przewozu.

Dla przykładu, gdybyśmy zwiększyli koszt utrzymania 1 m^2 nawierzchni w ciągu jednego roku o 250%, co odpowiada kosztowi ułożenia na istniejącej jezdni tłuczniowej - nawierzchni bitumicznej lekkiej wzmocnionej, to już nam się to opłaca, jeżeli koszt eksploatacji taboru odniesiony do 1 m^2 jezdni zmniejszy się o:

$$128{,}94 + 2{,}5 \cdot 9{,}09 - p \cdot 128{,}94 = 128{,}94 \rightarrow p$$

Tablica 4

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Wskaźnik kosztu przewozu	K_e w zł/m^2	K_u w zł/m^2	K_e+K_u w zł/m^2	$\frac{K_u}{K_e+K_u} 100$
1	betonowa asfalto i smołobetonowe	1,00	92,19 92,19	3,38 5,76	95,57 97,95	3,54 % 5,87 %
2	kostkowa: a) na podsypce piaskowej	1,10	101,41	6,03	107,44	5,85 %
	b) na podsypce cem. piaskowej	1,10	101,41	4,29	105,70	4,05 %
3	klinkier drogowy a) na podsypce piaskowej	1,10	101,41	10,42	111,83	9,35 %
	b) na podsypce cem. - piaskowej	1,10	101,41	10,35	111,77	9,25 %
4	Płyty kamienno-betonowe na podsypce piaskowej	1,10	101,41	5,40	106,81	5,05 %
5	tłuczniowa	1,30	119,85	9,09	128,94	7,05 %
6	brukowcowa	1,60	147,50	4,17	151,67	2,76 %

$$p = \frac{2,5 \cdot 9,09}{128,94} \cdot 100 = 12,4\%$$

Przebudowa nawierzchni tłuczniowej na bitumiczną jest już ekonomicznie uzasadnioną, jeżeli koszty eksploatacji pojazdów zmiejszą się o 12,4% (przy założenym w naszym przykładzie natężenie ruchu samochodowego N = 655 pojazdów na dobę w obu kierunkach). Jeżeli uwzględnimy, że łączne koszta transportu przy nawierzchni bitumicznej są mniejsze od łącznych kosztów transportu przy nawierzchni tłuczniowej o 30% - to widoczne są korzyści wynikające ze stosowania nawierzchni ulepszonych. Przy systematycznym wzroście natężenia ruchu samochodowego,korzyści wynikające z przebudowy nawierzchni nieulepszonych na ulepszone będą wzrastać.

Korzyści wynikające z przebudowy nawierzchni nieulepszonych na ulepszone są następujące:

1) zmniejszenie ogólnego kosztu transportu,
2) lepsze wykorzystanie taboru samochodowego,
3) podniesienie bezpieczeństwa ruchu,
4) zwiększenie wygody jazdy.

2. ANALIZA EKONOMICZNA BUDOWY SKRZYŻOWAŃ DRÓG PUBLICZNYCH Z KOLEJĄ

Rachunek ekonomiczny zostanie przeprowadzony dla wypadku, kiedy zatrzymane pojazdy przed rogatką zdążą jeszcze wszystkie przejechać przez przejazd jednopoziomowy, w czasie między dwoma kolejnymi pociągami.

Jeżeli natomiast, zatrzymane pojazdy nie zdążą przejechać w czasie przerwy między dwoma kolejnymi pociągami, to budowa

skrzyżowania dwupoziomowego jest konieczna ze względów ruchowych, a rachunek ekonomiczny w takim wypadku może być pominięty.

2.1. STRATY CZASU W TRANSPORCIE SAMOCHODOWYM SPOWODOWANE PRZEJAZDAMI

Czas w jakim nastąpi przerwanie ruchu samochodowego na skutek przejazdu jednego pociągu możemy wyrazić wzorem:

$$T_1 = t_o + \frac{L_p + B_p}{v_p} \tag{5}$$

gdzie:

t_o - czas zamknięcia przejazdu przed nadejściem pociągu w sekundach,

L_p - długość pociągu w m,

B_p - szerokość przejazdu mierzona po osi toru kolejowego w m,

v_p - szybkość pociągu w m/sek.

Jeżeli w dalszym ciągu oznaczymy przez: q - odstęp czasu między nadjeżdżającymi pojazdami do skrzyżowania w sek., i - jeden i-ty z "n" zatrzymanych pojazdów - to czas postoju poszczególnych pojazdów przed rogatką wyniesie:

1) czas postoju 1 pojazdu - $P_1 = T_1 - \frac{1}{2} \cdot q$

2) " " 2 " - $P_2 = T_1 - \frac{1}{2} q - q = T_1 - q \left(\frac{1}{2} + 1\right)$

3) " " 3 " - $P_3 = T_1 - \frac{1}{2} q - q - q = T_1 - q \left(\frac{1}{2} + 2\right)$

Czas postoju i-tego pojazdu wyniesie

$$P_i = T_1 - \frac{1}{2} q (i - 1) = T_1 - q (i - \frac{1}{2}) =$$

$$= T_1 - q (\frac{2i - 1}{2}) = T_1 - \frac{1}{2} q (2i - 1) \qquad (6)$$

Strata czasu zatrzymanych pojazdów przed przejazdem wynosi

1) dla 1 pojazdu $S_1 = P_1 + D_1 = T_1 - \frac{1}{2} q + D_1$

2) " 2 " $S_2 = P_2 + D_1 = D_2 = T_1 - q (\frac{1}{2} + 1) + D_1 + D_2$

3) " 3 " $S_3 = P_3 + D_1 + D_2 + D_3 = T_1 - q (\frac{1}{2} + 2) + D_1 + D_2 + D_3$

4) " i-tego " $S_i = P_i + \sum_{x=1}^{x=i} D_x = T_1 - \frac{1}{2} q (2i-1) + \sum_{x=1}^{x=i} D_x$

(7)

gdzie:

D_x - odstęp czasu ruszania i-tego pojazdu od chwili odemknięcia przejazdu w sek,

D - okres czasu między pojazdami ruszającymi z postoju z przed skrzyżowania w sek.

Suma strat czasu "n" pojazdów zatrzymujących się przed skrzyżowaniem wynosi:

$$T = n \cdot T_1 - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2} q (1i - 1) + \sum_{x=1}^{x=n} \sum_{x=1}^{x=i} D_x \qquad (8)$$

ponieważ $\sum_{x=1}^{x=n} \frac{1}{2} - q\ (2i-1) = \frac{1}{2} q\ (1+3+5+7+ \ldots + 2\ n - 1) =$

$= \frac{1}{2} q \cdot n^2$ to wzór (8) przybierze postać:

$$T = n \cdot T_1 - \frac{1}{2} q \cdot n^2 + \sum_{x=1}^{x=n} \sum_{x=1}^{x=i} D_x \qquad (9)$$

Zakładając w pierwszym przybliżeniu, $D = const$ to znaczy $\sum_{x=1}^{x=n} \sum_{x=1}^{x=i} D_x = \sum_{x=1}^{x=n} D$, a następnie uwzględniając, że

$\sum_{x=1}^{x=n} D = (1+2+3+ \ldots\ldots n) \cdot D = \frac{n(n+1)}{2} \cdot D$, to wzór (9) przybierze postać $T = n.T_1 - \frac{1}{2} q \cdot n^2 + \frac{n(n+1)}{2} D$ ..... (10).

Należy wyraźnie podkreślić, że "D" jest wielkością zmienną. Wartość D_x otrzymujemy z pomiarów dokonanych na danym skrzyżowaniu i jest ono zależne od warunków lokalnych oraz rodzaju pojazdów (sam.osobowe, samochody ciężarowe, autobusy itp.).

Według danych angielskich wielkość D (wg Greenschields) dla samochodów osobowych jest zawarta w granicach od 3,8 do 2,1 sek.

Przy $x = 1$, $D_x = 3{,}8$ sek.
" $x = 6$, $D_x = 2{,}1$ sek.
dla $x \geqslant 6$, $D_x = const. = 2{,}1$ sek.

Wielkości D_x oraz $\sum_{x=1}^{x=i} D_x$ dla samochodów osobowych wg danych angielskich zestawiono w tablicy nr 5. Jak wynika z tablicy nr 5

$$\sum_{x=1}^{x=n} \sum_{x=1}^{x=i} D_x = \frac{2,1\ n\ (n+1)}{2} + 3,7\ n - B \qquad (11)$$

Wartości B otrzymano z sumowania ostatniej kolumny tablicy nr 5 i zestawiono w tablicy nr 6. Tablica nr 6 wskazuje nam, że dla $n > 4$, $B = \text{const.} = 3,5$.

Wstawiając do wzoru (9) wartość na $\sum_{x=1}^{x=n} \sum_{x=1}^{x=i} D_x$ ze wzoru (11) otrzymamy stratę czasu "n" zatrzymanych pojazdów przed skrzyżowaniem jednopoziomowym drogi z koleją.

$$T = n \cdot T_1 - \frac{1}{2} q.n^2 + \frac{2,1\ n\ (n+1)}{2} + 3,7.n - B \qquad (12)$$

gdzie:

n - ilość pojazdów zatrzymanych przed przejazdem.

Obliczając pierwszą pochodną ze wzoru (12) i porównując ją do zera otrzymamy max. liczbę zatrzymanych pojazdów przed przejazdem w czasie T_1

$$\frac{dT}{dn} = 0, \quad \frac{dT}{dn} = T_1 - n.q + \frac{2,1\ (n+1)}{2} + \frac{2,1\ n}{2} + 3,7 = 0 \longrightarrow n$$

$$n = \frac{T_1 + 4,75}{q - 2,1} \qquad (13)$$

Tablica 5

x=i	D_x	$\sum_{x=1}^{x=i} \cdot D_x$	n
1	3,8 = 2,1 + 1,7	2,1+1,7=2,1 +3,7 - 2,00	1
2	3,1 = 2,1 + 1,0	4,2+2,7=2,1i+3,7 - 1,00	2
3	2,7 = 2,1 + 0,6	6,3+3,5=2,1i+3,7 - 0,40	3
4	2,4 = 2,1 + 0,3	8,4+3,6=2,1i+3,7 - 0,10	4
5	2,2 = 2,1 + 0,1	10,5+3,7=2,1i+3,7 - 0,00	5
6	2,1 = 2,1 + 0,0	12,6+3,7=2,1i+3,7 - 0,00	6
7	2,1 = 2,1 + 0,0	14,7+3,7=2,1i+3,7 - 0,00	7
n	2,1 = 2,1 + 0,0	2,1n+3,7=2,1i+3,7 - 0,00	n

Tablica 6

n	B
1	2,0
2	2,0 + 1,0 = 3,0
3	2,0 + 1,0 + 0,4 = 3,4
4	2,0 + 1,0 + 0,4 + 0,1 = 3,5
5	2,0 + 1,0 + 0,4 + 0,1 + 0,0 = 3,5
6	2,0 + 1,0 + 0,4 + 0,1 + 0,0 + 0,0 = 3,5
7	2,0 + 1,0 + 0,4 + 0,1 + 0,0 + 0,0 + 0,0 = 3,5
n	2,0 + 1,0 + 0,4 + 0,1 + 0,0 + 0,0 + 0,0 + 0,0 = 3,5

Wzór (13) jest słuszny dla D_x zmiennego od 3,8 do 2,1 sek. Przy ruchu mieszanym (sam. osobowe, sam. ciężarowe itp.) należy na danym skrzyżowaniu dokonać pomiaru zmiennej wartości D_x, osobno dla sam. osobowych, sam. ciężarowych itp. oraz ich procentowy udział w ogólnej liczbie pojazdów zatrzymujących się przed skrzyżowaniem. Mając te dane możemy łatwo obliczyć średni przedział zmienności $D_{x\acute{s}r}$.

Obliczone straty czasu w transporcie samochodowym wg wzoru (12) dotyczą tylko strat wynikłych na skutek postoju zatrzymanych pojazdów przed skrzyżowaniem na jednym paśmie ruchu.

Jeżeli do czasu T określonego ze wzoru (12) dodamy straty czasu spowodowane hamowaniem pojazdu aż do zatrzymania się a następnie uzyskanie szybkości $v_{śr}$ w stosunku do pojazdów jadących z szybkością $v_{śr}$ (gdyby przejazdu nie było lub istniałoby skrzyżowanie dwupoziomowe) to otrzymamy <u>całkowitą stratę czasu pojazdów zatrzymujących się przed przejazdem na jednym paśmie ruchu.</u>

Na przejechanie drogi $L_1 = l_{1h} + l_{1p}$ w m przez samochody jadące z szybkością $v_{śr}$ gdyby przejazdu nie było potrzebny jest czas

$$t_{sn} = \frac{l_{1h} + l_{1p}}{v_{śr}} \tag{14}$$

Na przejechanie drogi L_2 przez samochody zatrzymujące się przed skrzyżowaniem potrzebny jest czas t_{sz}

$$t_{sz} = \frac{V_{śr}}{a} + \frac{V_{śr}}{a_1} \tag{15}$$

Różnica pomiędzy czasem t_{sz} i t_{sn} da nam dodatkową stratę czasu przez samochody zatrzymujące się przed przejazdem

$$T_1^d = \frac{V_{śr}}{a} + \frac{V_{śr}}{a_1} - \left(\frac{l_{1h} + l_{1p}}{v_{śr}}\right)$$

a po wyrażeniu l_{1n} i l_{1p} jako funkcji $f(a, a_1$ i $V_{śr})$ otrzymamy, że

$$T_1^d = \frac{v_{śr}}{2}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}\right) \text{ w sek} \qquad (16)$$

We wzorach (14), (15) i (16) wprowadzono następujące oznaczenia:

l_{1h} - długość drogi hamowania w m aż do zatrzymania się po jazdu, przy opóźnieniu nadawanym przez hamulce "a" w m/sek^2.

l_{1p} - długość drogi potrzebnej do uzyskania szybkości od $v = 0$ do $v = v_{śr}$ przy przyśpieszeniu "a_1" w m/sek^2.

$v_{śr}$ - średnia szybkość pojazdów poruszających się po drodze w m/sek.

Całkowita strata czasu samochodów zatrzymujących się przed skrzyżowaniem wyrazi się wzorem:

$$T_{sz} = T + T_1^d \text{ w sek} \qquad (17)$$

Oprócz czasu obliczonego ze wzoru (17) powstają dodatkowe straty T_2^d spowodowane przez pojazdy nie zatrzymujące się przed przejazdem, lecz zmuszone do obniżenia szybkości na przejeździe. Straty te obliczamy w stosunku do pojazdów jadących ze stałą szybkością $v_{śr}$ (gdyby przejazdu nie było lub istniałoby skrzyżowanie dwupoziomowe).

Na przejechanie drogi $L_2 = l_{2h} + l_{prz.} + l_{2p}$ w m przez samochody nie zatrzymujące się lecz obniżające szybkość potrzebny jest czas $t_{s.zw}$, który możemy obliczyć ze wzoru

$$t_{s.zw.} = \frac{v_{śr.} - v_{prz.}}{a} + \frac{l_{prz.}}{v_{prz.}} + \frac{v_{śr.} - v_{prz.}}{a_1} =$$

$$= v_{śr.} - v_{prz.} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}\right) + \frac{l_{prz.}}{v_{prz.}} \qquad (18)$$

Na przejechanie drogi L_2 przez samochody jadące z szybkością $v_{śr.}$ potrzebny jest czas:

$$t_{1s.n.} = \frac{L_2}{v_{śr.}} = \frac{l_{2h} + l_{prz.} + l_{2p}}{v_{śr.}} \qquad (19)$$

Mając czas $t_{s.zw.}$ oraz $t_{1.sn.}$ możemy obliczyć T_2^d, który możemy wyrazić wzorem:

$$T_2^d = t_{s.zw.} - t_{1.sn.} = v_{śr.} - v_{prz.} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a1}\right) +$$

$$+ \frac{l_{prz}}{v_{prz}} - \left(\frac{l_{2h} + l_{prz.} + l_{2p}}{v_{śr.}}\right)$$

a po wyrażeniu l_{2n} i l_{2p} jako funkcji $f(v_{śr}, v_{prz}, a$ i $a_1)$ otrzymamy:

$$T_2^d = v_{śr.} \cdot v_{prz.} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}\right) - \frac{v_{śr.}^2 - v_{prz.}^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}\right) + \frac{l_{prz.}}{v_{prz.}} \qquad (20)$$

We wzorach (18), (19) i (20) wprowadzono następujące oznaczenia:

l_{2h} - długość drogi w m potrzebnej do obniżenia szybkości od $v = v_{śr.}$ do $v = v_{prz.}$ w m/sek,

$l_{prz.}$ - długość przejazdu mierzone po osi drogi w m,

l_{2p} - długość drogi potrzebnej do osiągnięcia szybkości od $v = v_{prz.}$ do $v = v_{śr.}$ w m/sek,

$v_{śr.}$ - średnia szybkość pojazdów poruszających się po drodze w m/sek,

$v_{prz.}$ - szybkość pojazdów poruszających się po przejeździe w m/sek,

a - opóźnienie nadawane przez hamulce w m/sek^2,

a_1 - przyśpieszenie samochodu w m/sek^2.

Sumaryczna strata czasu w transporcie samochodowym, spowodowana przez samochody zatrzymujące się i zwalniające przed przejazdem w stosunku do pojazdów jadących ze stałą szybko-

ścią, gdyby przejazdu nie było lub istniałoby skrzyżowanie dwupoziomowe, możemy obliczyć ze wzoru:

$$T^{str.}_{sum.} = T + T^{d}_{1} + T^{d}_{2} \text{ w sek.} \qquad (21)$$

Znając wartość $T^{str.}_{sum.}$ ze wzoru (21) możemy obliczyć całkowitą stratę czasu pojazdów w ciągu doby na jednym paśmie ruchu, która wynosi:

$$T^{dob.}_{str.} = T \cdot N_p + T^{d}_{1} \cdot n \cdot N_p + T^{d}_{2} (N_s - n \cdot N_p) \text{ w sek} \qquad (22)$$

gdzie:

N_p - liczba przejeżdżających przez przejazd pociągów w ciągu doby w obu kierunkach,

N_s - liczba pojazdów samochodowych przekraczających przejazd w obu kierunkach w ciągu doby.

Przy "n_r" pasmach ruchu wzór (22) przybierze postać

$$T^{dob.}_{str.n_r} = (T.N_p + T^{d}_{1} \cdot n \cdot N_p + T^{d}_{2}(N_s - n \cdot N_p)) \cdot n_r \text{ w sek} \qquad (23)$$

Roczną ilość straconych wozo-godz. możemy obliczyć ze wzoru:

$$W^{rocz.}_{godz.} = \frac{1}{3600} \cdot T^{dob.}_{str.n_r} \cdot d \qquad (24)$$

gdzie:

$W^{rocz.}_{godz.}$ - roczna ilość straconych wozo/godz.

d - równoważnik rocznej ilości dni ruchu samochodowego ($d \cong 310$).

Ilość straconych wozo/kilometrów (W_{km}) w ciągu roku wynosi:

$$W_{km.} = W^{rocz.}_{godz.} \cdot V_{śr} = \frac{1}{3600} \cdot T^{dob.}_{str.n_{r.}} \cdot d \cdot V_{śr} \qquad (25)$$

gdzie:

$V_{śr}$ - średnia szybkość jazdy taboru samochodowego na danej drodze w km/godz.

Mając ilość straconych wozo-km w ciągu roku na skutek przejazdu oraz mając koszt własny jednego wozo/km straty wyrażą się wzorem:

$$K^{rocz.}_{utr.} = W_{km} (P_A \cdot K_A + P_{sc} \cdot k_{sc} + P_{sc} \cdot k_{so} + \ldots$$

$$\ldots + P_{n-1} \cdot k_{n-1} + P_n \cdot k_n) \qquad (26)^{1)}$$

---

1) Wzór (26) ma zastosowanie tylko do pojazdów będących w ruchu, gdzie czas postoju pojedynczego samochodu jest stosunkowo krótki, nie dotyczy on samochodów zaparkowanych lub samochodów znajdujących się w garażach.

gdzie:

W_{km} - roczna ilość straconych wozo-km spowodowana skrzyżowaniem jednopoziomowym,

$P_A, P_{sc}, P_{so}, P_{n-1}, P_n$ - procentowy udział autobusów, sam. ciężarowych, sam. osobowych itp. w ogólnej ilości straconych wozo-km,

$k_A, k_{sc}, k_{so}, k_{n-1}, k_n$ - koszt własny jednego wozo/km dla autobusów, sam. ciężarowych, sam. osobowych itp. w zł.

Procentowy udział poszczególnych rodzajów pojazdów w ogólnym natężeniu ruchu samochodowego bierzemy z pomiarów dokonanych na interesującym nas skrzyżowaniu jednopoziomowym.

Średni krajowy koszt własny jednego wozo-km w przedsiębiorstwach komunikacyjnych w pierwszym półroczu 1961 r. wyniósł:

1) samoochody osobowe	k_{so}	= 2,26 zł	za jeden	wozo/km	
2) taksówki bagażowe	t_{tb}	= 1,56 zł	"	"	"
3) autobusy	k_A	= 5,80 zł	"	"	"
4) trolejbusy	$k_{t.bus}$	= 7,60 zł	"	"	"
5) tramwaje	k_t	= 4,20 zł	"	"	"
6) sam. ciężarowe	k_{sc}	= 2,54 zł	"	"	"

2.3. Ogólna forma rachunku ekonomicznego

Do określenia najekonomiczniejszego rozwiązania technicznego skrzyżowania drogi z koleją, oprzemy się na wzorze, którego

uzasadnienie teoretyczne zostało podane w "Instrukcji Ogólnej" w sprawie metodyki badań ekonomicznej efektywności inwestycji wydanej przez Komisję Planowania przy Radzie Ministrów w maju 1962 r.

W niniejszym artykule rachunek ekonomiczny przeprowadzony zostanie dla dwóch przypadków:

1. Skrzyżowania jednopoziomowego drogi z koleją nie ma i mamy zadecydować, czy budować skrzyżowanie jednopoziomowe czy też dwupoziomowe.

2. Skrzyżowanie jednopoziomowe drogi z koleją istnieje i chcemy określić, czy budowa skrzyżowania dwupoziomowego jest ekonomicznie uzasadniona, czy też należy tylko dokonać modernizacji skrzyżowania jednopoziomowego.

Ad 1. Budowa skrzyżowania może być uznana jako ekonomicznie uzasadniona, jeżeli wskaźnik efektywności skrzyżowania dwupoziomowego jest mniejszy od wskaźnika efektywności skrzyżowania jednopoziomowego, t.zn. jeżeli zostanie spełniona nierówność

$$E_d < E_j \tag{27}$$

gdzie wskaźnik efektywności przy stałej wielkości produkcji wynosi:

a) dla skrzyżowania dwupoziomowego

$$E_d = \left[\frac{1}{T} \cdot J_d \left(1 + q.n_{zd}\right) + k_2 \right] \cdot b \tag{27a}$$

b) dla skrzyżowania jednopoziomowego

$$E_j = \left[\frac{1}{T} J_j \left(1+q_z \cdot n_{zj}\right)+k_j+k_{per}+K_{str.}^{rocz.}\right] \cdot b_1 \qquad (27b)$$

Podstawiając do wzoru (27) wartość na E_d i E_j otrzymamy nierówność

$$\left[\frac{1}{T} \cdot J_d\left(1+q_2 \cdot n_{zd}\right)+k_2\right] \cdot b < \left[\frac{1}{T} J_j \left(1+q_z \cdot n_{zj}\right) + \right.$$

$$\left. + K_j + k_{per} + K_{str.}^{rocz.}\right] \cdot b_1$$

<u>Ad 2.</u> Przebudowa skrzyżowania jednopoziomowego na dwupoziomowe będzie ekonomicznie uzasadniona, jeżeli spełniona zostanie nierówność

$$E_d < E_{zm} \qquad (28)$$

gdzie:

E_d - współczynnik efektywności skrzyżowania dwupoziomowego wzór (29a).

$$E_{zm} = \left[\frac{1}{T} J_{zm} + k_j + k_{prz.} + K_{str.}^{rocz.}\right] \cdot b_2 \qquad (28a)$$

We wzorach (27), (27a), (27b), (28) i (28a) wprowadzono następujące oznaczenia:

E_{zm} - wskaźnik efektywności skrzyżowania jednopoziomowego zmodernizowanego,

E_j - wskaźnik efektywności skrzyżowania jednopoziomowego,

J_d - nakłady inwestycyjne na budowę skrzyżowania dwupoziomowego,

J_j - nakłady inwestycyjne na budowę skrzyżowania jednopoziomowego,

J_{zm} - koszt modernizacji skrzyżowania jednopoziomowego,

$q_z=0,16$ - współczynnik strat w wyniku zamrożenia nakładów inwestycyjnych,

n_{zd} - średni okres zamrożenia nakładów J_d,

n_{zj} - średni okres zamrożenia nakładów J_j,

K_2 - roczne koszty eksploatacyjne skrzyżowania dwupoziomowego,

K_{per} - koszt personelu obsługującego skrzyżowanie jednopoziomowe w ciągu roku,

K_1 - roczne koszty eksploatacji skrzyżowania jednopoziomowego,

K_{str}^{rocz} - straty roczne poniesione przez transport samochodowy spowodowane skrzyżowaniem jednopoziomowym obliczone ze wzoru (26),

b - współczynnik korygujący, wyrażający wpływ długości eksploatacji na efektywność danego wariantu inwestycyjnego.

Wartość współczynnika "b" zależna jest od stosunku J_d: K_2 i okresu eksploatacji skrzyżowania dwupoziomowego, wartość "b_1" zależna jest od stosunku J_j: $(K_j + K_{per} + K_{str}^{rocz})$ i okresu eksploatacji skrzyżowania jednopoziomowego, zaś wartość współczynnika "b_2" zależna jest od stosunku J_{zm}: $(K_j + K_{per} + K_{str}^{rocz})$.
Wartości współczynnika "b" podane są w tablicach załączonych do "Instrukcji Ogólnej".

3. ZAKOŃCZENIE

W niniejszym artykule przedstawiono ogólny zarys rachunku ekonomicznego, dotyczącego stosowania odpowiednich nawierzchni drogowych oraz projektowania skrzyżowań dróg publicznych z koleją jako funkcji kosztów transportu samochodowego. Analiza ekonomiczna winna być punktem wyjściowym do wszelkich rozwiązań technicznych, każdej poważniejszej inwestycji drogowo-mostowej. Bez przesady możemy powiedzieć, że zagadnienie właściwego gospodarowania środkami finansowymi, przeznaczonymi na cele drogowo-mostowe, winno być traktowane na równi z zagadnieniami technicznymi projektowania dróg ulic i budowli inżynierskich.

LITERATURA

[1] Korte J.W.: Grundlagen der Strassenverkchrsplanung in Stadt und Land.

[2] Dąbrowski W.: Rachunek ekonomiczny efektywności inwestycji modernizacji dróg. Drogownictwo Nr 9/62.

[3] Instrukcja Ogólna: W sprawie badań ekonomicznej efektywności inwestycji PWE Warszawa 1962 r.

[4] Koryciński Fr.: Zadania gospodarki drogowej w planie pięcioletnim 1961-1965 r. Drogownictwo marzec 1961 r.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ НАСТИЛОВ И ПЕРЕКРЕСТКОВ ДОРОГ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОЛОТНОМ

Р е з ю м е

В первой части статьи описана зависимость существующая между эксплуатационными накладами автомобильного транспорта и накладами содержания дорожных настилов в зависимости от интенсивности автомобильного движения.

Во второй части статьи даётся методика экономического расчёта являющегося доказательством целесообразности строительства двухярусного перекрёстка дороги с железнодорожным полотном в зависимости от общей стоимости автомобильного транспорта.

DIE ÖKONOMISCHE PROJEKTIENUNG DER STRASSENOBERFLACHEN UND WEG EISENBAHN-KREUZUNGEN

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

Im ersten Teil der Arbeit wird der Zusammenhang der Fahrzeug-Exploitationskosten mit den Unterhaltungskosten für die Strassenoberflächen unter Berücksichtigung der Stärke des Autoverkehrs untersucht.

Der zweite Teil enthält die ökonomische Berechnung einer zweistöckigen Weg-Eisenbahn-Kreuzung unter Berücksichtigung der allgemeinen Autotransportkosten.