

dr inż. ALICJA SOŁOWCZUK<sup>1</sup>

## WYBÓR RODZAJU REMONTU LUB PRZEBUDOWY DROGI ZE WZGLĘDU NA JEJ WARTOŚCI UŻYTKOWE

Obecnie decyzję o rodzaju remontu nawierzchni podejmuje się na podstawie wyników z badań diagnostycznych, a decyzję o zakresie ewentualnej przebudowy fragmentu drogi na podstawie warunków przepustowości i bezpieczeństwa ruchu. W jednym i drugim przypadku nie wykonuje się żadnego szacowania oczekiwanych korzyści, tj. czy rzeczywiście w wyniku przebudowy lub remontu poprawiły się wartości użytkowe drogi. Jedynym świadectwem uzyskanej poprawy jest liczba wypadków drogowych, jakie zdarzyły się po wykonanym remoncie lub przebudowie. W Politechnice Szczecińskiej opracowano metodę oceny wartości użytkowych ze względu na parametry geometryczne drogi i cechy eksploatacyjne nawierzchni, pozwalającą szacować prędkości w obu porównywanych przypadkach, tj. „przed” i „po” wykonaniu prac drogowych. Wynikiem oceny wartości użytkowych jest uzyskany efekt ekonomiczny, na który składają się koszty: ochrony środowiska, użytkowników, eksploatacji pojazdów i prognozowanych wypadków drogowych.

**Słowa kluczowe:** rodzaj remontu, przebudowa drogi, wartości użytkowe, wypadki drogowe, prędkość, ochrona środowiska, eksploatacja pojazdów

### 1. WPROWADZENIE

Jednym z najistotniejszych parametrów drogi charakteryzujących jej wartości użytkowe jest prędkość, z jaką pojazdy mogą się po niej bezpiecznie poruszać. Pomijając własności silnika, efektywności układu hamulcowego, stanu amortyzatorów i opon jest ona uzależniona od cech geometrycznych drogi, stanu nawierzchni, natężenia ruchu i jego struktury, a także od zachowania się innych użytkowników dróg, warunków atmosferycznych i upodobań kierowców. Prędkość nie jest stała wzdłuż całej długości drogi, lecz jest zmienna w czasie i przestrzeni. Powszechnie uważa się ją za najważniejszy uogólniony parametr projektowanej drogi, decydujący o jej przynależności do danej funkcjonalnej i technicznej kategorii [1].

Wartości użytkowe drogi (prędkość, dopuszczalne parametry pojazdów, wygoda jazdy i bezpieczeństwo ruchu, przepustowość i stopień obciążenia ruchem, oddziaływanie na środowisko) charakteryzują pod względem praktycznym i eksploatacyjnym dowolną drogę. Kierowca poruszający się po danej drodze powinien być uprzedzony o tym, z jaką prędkości i obciążeniem ma po niej jechać, gdzie znajdują się miejsca niebezpieczne itd. Prędkość związana jest prawie ze wszystkimi pozostałymi wartościami użytkowymi, gdyż zależy ona od parametrów geometrycznych drogi i cech eksploatacyjnych nawierzchni, które równocześnie

---

<sup>1</sup> alicja.solowczuk@ps.pl, Politechnika Szczecińska KDMiMB

określają większość wartości użytkowych.

Istniejący w Polsce system oceny stanu dróg SOSN [3], na podstawie którego zarządca drogi podejmuje decyzje o remoncie, uwzględnia tylko ocenę cech eksploatacyjnych nawierzchni. Ocena stanu dróg jako całości budowli drogowej jest potrzebna przede wszystkim do planowania wszelkich prac drogowych, inwestycji drogowych i analiz ruchu drogowego itd., w celu efektywnego ich wykorzystania. Obowiązująca od 2000 r. „Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych” [4] oceniając koszty i korzyści społeczne całkowicie opiera się na – *prędkości projektowej* i usystematyzowanej w sposób tabelaryczny *prędkości podróży* (uzależnionej od prędkości projektowej). Także system HDM-4 w części dotyczącej kosztów i korzyści użytkowników dróg opiera się w głównej mierze na prędkości. Przy stosowaniu wymienionej wyżej *Instrukcji* można ocenić podstawowe kryteria, tj. zmniejszenie liczby wypadków i zmniejszenie uciążliwości dla środowiska. Kryteria związane ze zmniejszeniem kosztów eksploatacji pojazdów i oszczędności czasu przy ustalaniu priorytetów ekonomicznych zajmują zarówno w *Instrukcji* jak i w HDM-4, dalsze miejsca. Przy stosowaniu *Instrukcji* [4] można obliczyć efekt ekonomiczny każdego wariantu remontu lub przebudowy za pomocą wskaźnika *IRR*. Określenie efektu ekonomicznego danego rozwiązania sprowadza się do wielokrotnych obliczeń kosztów w zależności od prędkości projektowej drogi  $v_{pr}$  i prędkości podróży  $v_{po}$ . W przypadku remontu istniejących dróg wybudowanych kilkadziesiąt lat temu mogą to być tylko wartości zbliżone, gdyż ówczesne prędkości projektowe  $v_{pr}$  znacznie różniły się od obecnych.

W różnych krajach, celem sprostania podobnym zadaniom, opracowano własne metody oceny stanu dróg. W zależności od posiadanej wiedzy i osiągnięć naukowych w tej dziedzinie drogownictwa, metody oceny stanu dróg uwzględniają kilka lub kilkanaście cech drogi. Obecnie w stosowanych w kraju i za granicą metodach oceny stanu dróg zawężono je tylko do stanu samej nawierzchni [2], przy czym szczególną uwagę zwrócono na jej trzy podstawowe cechy eksploatacyjne, przede wszystkim na równość podłużną i poprzeczną oraz właściwości przeciwpoślizgowe. Nie ocenia się w nich natomiast drogi jako całości.

## 2. KOLEJNOŚĆ SZACOWANIA PRĘDKOŚCI

W 2005 r. w Politechnice Szczecińskiej opracowano model szacowania prędkości ze względu na parametry geometryczne drogi i cechy eksploatacyjne nawierzchni (rys. 1). Według opracowanego modelu można szacować prędkość w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni na dwupasowych drogach dwukierunkowych przy istniejącym stanie drogi, jak i przy jej stanie prognozowanym. Za prognozowany stan przyjęto drogę po ukończonym remoncie nawierzchni, albo po wykonaniu prac utrzymaniowych lub po przebudowie drogi i związanych z nią zmianach paramentów geometrycznych.

W opracowanym modelu prędkości mogą być szacowane w odniesieniu do trzech typów przekroju poprzecznego, tj. dwupasowej drogi dwukierunkowej z poboczami gruntowymi i szerokości jezdni 6 i 7 m oraz dwupasowej drogi dwukierunkowej z poboczami utwardzonymi i szerokości jezdni 7 m.

Dane z paszportu dróg i z badań prowadzonych w ramach SOSN: typ przekroju poprzecznego drogi, szerokość jezdni, $l_z$ , $K$ , $R$ , $\gamma$ , $I$ , $L$ , $d$ , $l_b$ , $l_b+l_k$ , $k$ , $IRI$ , $S_{BB}$ , położenie odcinka, lokalne ograniczenia prędkości, skrzyżowania i przejazdy kolejowe				
<b>Etap I</b>	$v_{85p} = v_{85w} - f(l_z)$			
<b>Etap II</b>	$v_{85o} = v_{85p} - f(K) = [v_{85w} - f(l_z)] - f(K)$			
<b>Etap III</b>	$W_1 = \frac{v_{85}^{(R,\gamma)}}{v_{85o}}$		$W_2 = \frac{v_{85}^{(I,L)}}{v_{85o}}$	
	$W_{(1-2)} = W_M W_W^{(0,7-0,05I)}$	$W_M = \min\{W_1, W_2\}$ $W_W = \max\{W_1, W_2\}$	$v_{85(1-2)} = W_{(1-2)} v_{85o}$	
<b>Etap IV</b>	$W_3 = \frac{v_{85}^{(SBB)}}{v_{85o}}$	$W_4 = 1,023 - 0,208 \cdot 2,98^{-d}$	$W_5 = \frac{v_{85}^{(I)}}{v_{85o}}$	$W_6 = \frac{v_{85}^{(k)}}{v_{85o}}$
		$W_{(4,5)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$		$W_{(6,7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$
		$W_M = \min\{W_4, W_5\}$		$W_M = \min\{W_6, W_7\}$
		$W_W = \max\{W_4, W_5\}$		$W_W = \max\{W_6, W_7\}$
	$W_{(3-7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$	$W_M = \min\{W_{4-7}, W_3\}$ $W_W = \max\{W_{4-7}, W_3\}$	$v_{85(3-7)} = W_{(3-7)} v_{85o}$	
<b>Etap V</b>	$W_{(1-7)} = W_M W_W^{W_M(0,33-0,01I)}$	$W_M = \min\{W_{(1-2)}, W_{(3-7)}\}$ $W_W = \max\{W_{(1-2)}, W_{(3-7)}\}$	$v_{85(1-7)} = W_{(1-7)} v_{85o}$	
<b>Etap VI</b>	$W_8 = f(\text{położenie odcinka})$ $W_9 = f(\text{lokalne ograniczenie prędkości})$ $W_{10} = f(\text{skrzyżowania i przejazdy kolejowe})$			
<b>Etap VII</b>	$W(P)_j = \Omega [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j-1}}]$		$W(N)_j = \Lambda [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j+1}}]$	

Rys. 1. Kilkuetapowy model szacowania prędkości ze względu na wybrane cechy drogi  
Fig. 1. A several-stage model of estimated speed with regard to selected properties of the road

Prędkości w ruchu swobodnym najpierw szacuje się w zależności od każdej cechy drogi oddzielnie, następnie oblicza się współczynniki  $W_i$  i w końcowym efekcie szacuje się łączny wpływ rozpatrywanych cech drogi na prędkość.

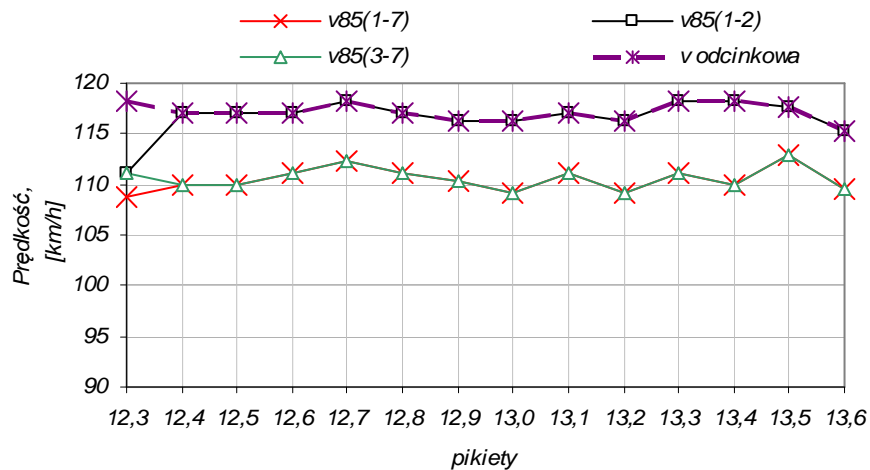
### 3. KOLEJNOŚĆ POSTĘPOWANIA PRZY PODEJMOWANIU DECYZJI O REMONCIE LUB PRZEBUDOWIE DROGI

Po oszacowaniu wpływu oddzielnych cech drogi na prędkości  $v_{85(1-7)}$ ,  $v_{85sr(1-7)}^o$  i  $v_{85sr(1-7)}^c$  zarządca drogi powinien podjąć wyjściowe decyzje o prognozowanych pracach na podstawie

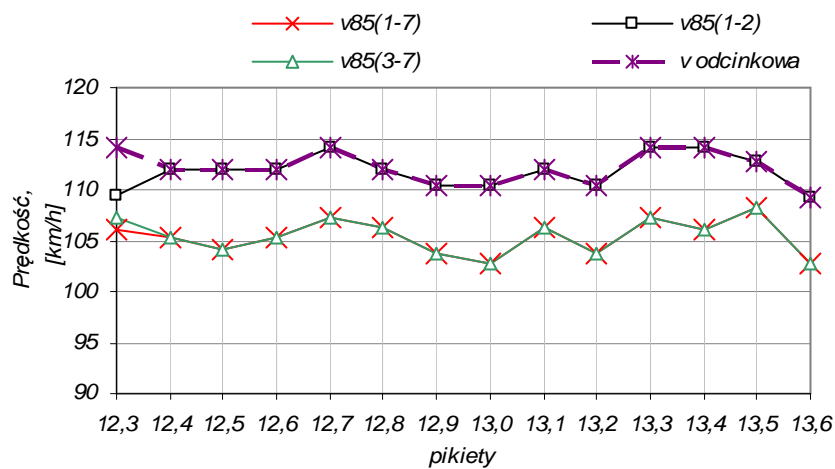
minimalnej prędkości  $v_{85\min}$ . Na rys. 2 przedstawione są wykresy profili prędkości na dwóch fragmentach drogi o krętości 5 /km i 33 °/km oraz jednakowych wartościach pozostałych cech drogi. Zarządca drogi, analizując otrzymane wartości prędkości, może wybrać w odniesieniu, do jakiego fragmentu drogi remont jest konieczny lub może być pożądany, a na jakim fragmencie natychmiastowy, ze względu na niewielkie wartości oszacowanych prędkości.

Np. na przykładowej drodze remont nawierzchni jest konieczny na odcinku 12,8–13,6, a na odcinku 12,3 –12,8 można na razie tylko zastosować frezowanie garbów kolein (rys. 2 c i d). Takie rozwiązania zarządca drogi może przyjąć jako jeden z pierwszych wariantów remontu. Drugim wariantem może być remont nawierzchni i poboczy na całym rozpatrywanym fragmencie drogi. Na rys. 2 także są przedstawione korzyści otrzymane po przeprowadzeniu drugiego wariantu remontu  $\Delta v_{85} = v_{85(1-7)} - v_{85(1-2)}$ .

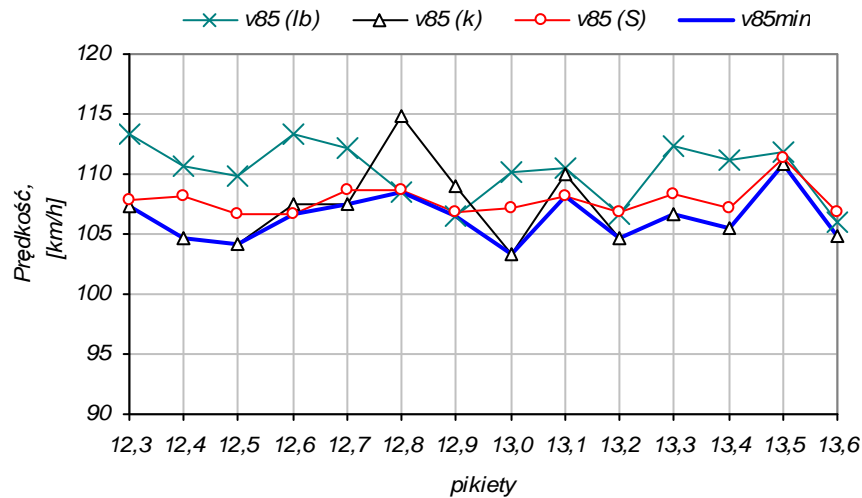
a) krętość trasy równa 5 [°/km]



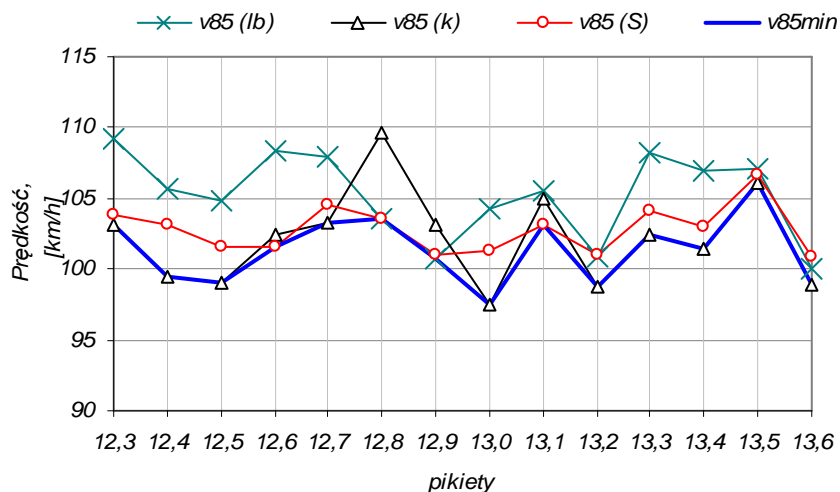
b) krętość trasy równa 33 [°/km]



c) krętość trasy równa 5 [°/km]



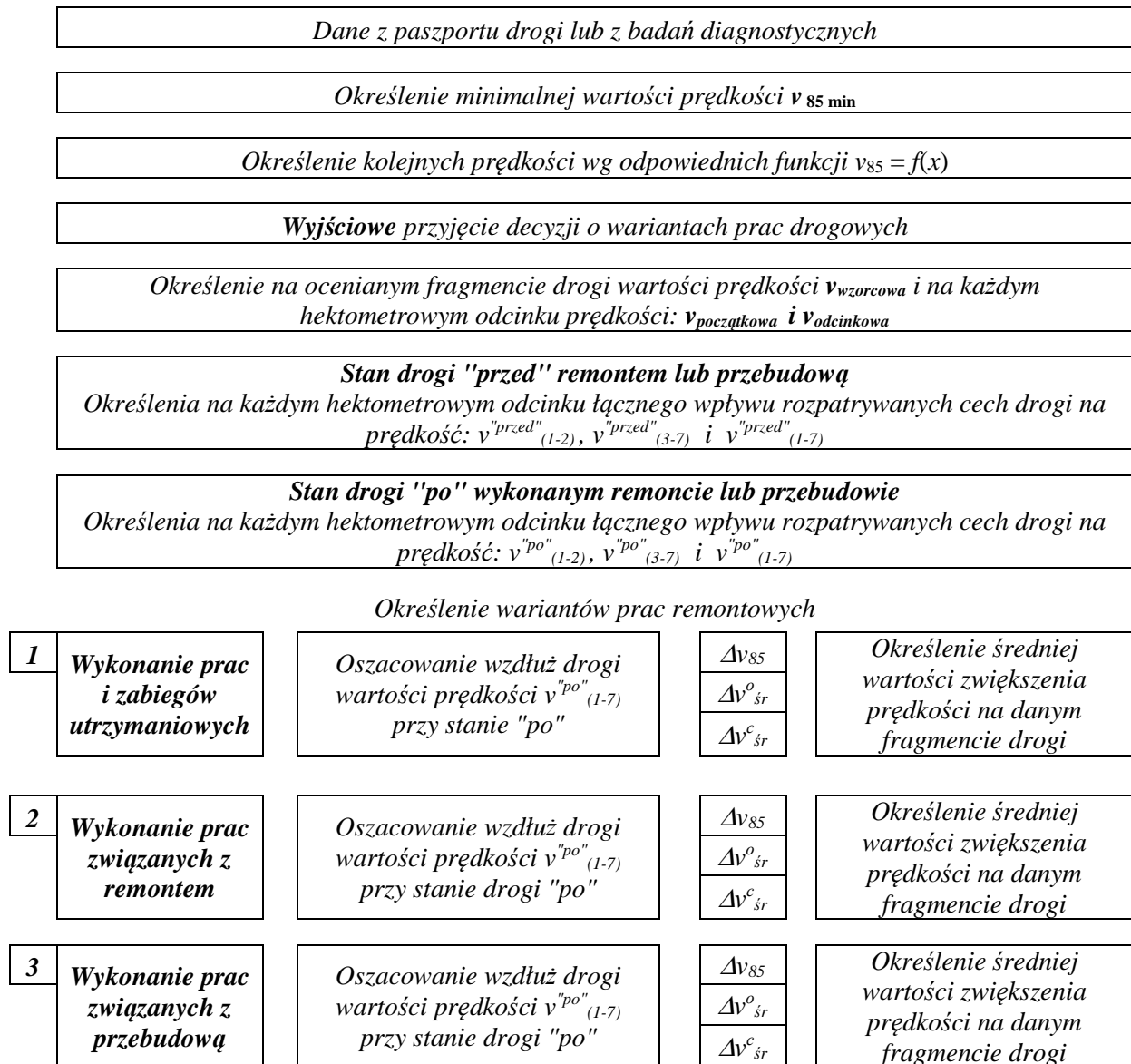
d) krętość trasy równa 33 [°/km]



Rys. 2. Przykładowe profile prędkości na odcinkach dróg, z różną krętością i jednakowymi wartościami pozostałych cech drogi

Wynikiem przeprowadzonego remontu nawierzchni i poboczy na fragmencie drogi, z wzorcową wartością krętości ( $K = 5^\circ/\text{km}$ ), będzie zwiększenie prędkości  $v_{85}$  średnio o 7 km/h (rys. 2 b). Natomiast na krzywoliniowym odcinku (12,3–12,4) po przeprowadzonym remoncie różnica prędkości będzie wynosić ok. 2 km/h, gdyż na tym odcinku największy wpływ na prędkość ma istniejący łuk poziomy, a nie stan nawierzchni.

Proponowaną kolejność oceny stanu dróg i podjęcie decyzji o rodzaju prac drogowych przedstawiono na rys. 3. Przy opracowaniu wariantów prac związanych z utrzymaniem, remontem i przebudową w proponowanej metodzie zaproponowano oszacowanie korzyści, jakie otrzyma pojedynczy kierowca  $\Delta v_{85}$  lub ogół kierowców  $\Delta v_{85}^o$  i  $\Delta v_{85}^c$ . Przy oszacowaniu korzyści autorka zaproponowała zgodnie z zasadami przedstawionymi [4] określać zniżenie kosztów eksploatacji pojazdów przy różnym stanie nawierzchni, koszty zniżenia emisji toksycznych składników spalin i, a także koszt oszczędności czasu kierowcy.



Rys. 3. Kolejność oceny stanu dróg i przyjęcia wariantów prac drogowych

Fig. 3. Sequence of road condition evaluation and assumptions of road work variants

W celu oszacowania korzyści należy określić wielkości średnie prędkości potoku pojazdów. Na podstawie danych z pomiarów terenowych, autorka określiła, że przy strukturze rodzajowej ruchu  $p_c = 0,05 - 0,25$ , udział samochodów w ruchu swobodnym wynosi ok. 20 – 40 %. W tab. 1 zestawiono odpowiednie wartości stosunku prędkości potoku do prędkości w ruchu swobodnym. Uwzględniając, że wszystkie zależności prędkości od cech drogi, wykorzystywane w ocenie stanu dróg są określone dla ruchu swobodnego, to posługując się wartościami stosunków prędkości (tab. 1), można oszacować prędkości potoków pojazdów.

Tabl. 1. Stosunek prędkości potoku do prędkości w ruchu swobodnym  
 Table 1. Proportion of traffic stream to free flow traffic speed

$\frac{v_{sr}^o(\text{potok})}{v_{85}}$	$\frac{v_{85}(\text{potok})}{v_{85}}$	$\frac{v_{sr}^o}{v_{85}}$	$\frac{v_{sr}^o(\text{potok})}{v_{sr}^o}$	$\frac{v_{sr}^c(\text{potok})}{v_{sr}^c}$
0,75 – 0,81	0,85 – 0,98	0,83 – 0,87	0,85 – 0,95	0,95 – 0,99

Podstawą analizy efektywności ekonomicznej analizowanych prac remontowych jest identyfikacja dwóch wariantów: zerowego *WO* i inwestycyjnego *WI* [4]. Wariant *WO*, tj. „*nie robić*” oznacza stan drogi bez przeprowadzania robót inwestycyjnych lub modernizacyjnych. Wariant *Wito* wariant, w którym określa się nakłady inwestycyjne ponoszone w pierwszym i ewentualnie w następnych latach oraz koszty utrzymania odcinka nowego lub zmodernizowanego. Analizę ekonomiczną inwestycji drogowych przeprowadza się obliczając oddzielne koszty każdego elementu, a następnie wykonuje się obliczenia zbiorcze.

Przyjmując metodę korzyści/koszty do oszacowania stopnia efektywności wykonanych prac oblicza się wskaźnik *B/C* (Benefit/Cost Ratio), wyrażający stosunek otrzymanych korzyści do poniesionych kosztów. Wskaźnik ten jest to – stosunek sumy zdyskontowanych rocznych korzyści do sumy zdyskontowanych rocznych kosztów drogowych netto w badanym okresie [4]:

$$\frac{B}{C} = e = \left| \frac{\sum_{t=1}^T v_{rt} NB_t}{\sum_{t=1}^T v_{rt} NC_t} \right| \quad (1)$$

gdzie: *B/C = e* – wskaźnik efektywności ekonomicznej;  $v_{rt}$  – czynnik dyskontujący w kolejnym roku *t* badanego okresu,  $NB_t$  – oszczędności użytkowników w kolejnym roku *t* badanego okresu przy danej stopie dyskontowej, PLN;  $NC_t$  – koszty drogowe w kolejnym roku *t* przy danej stopie dyskontowej, PLN; *T* – okres zbiorczy sumowanych kosztów, lata.

Koszty każdego wariantu prac drogowych określa się za pomocą dyskontowania kolejnych składników w poszczególnych wariantach: zerowym *WO* i inwestycyjnym *WI* (na istniejącej drodze, a także na drodze wyremontowanej lub przebudowywanej):

—  $K_c$  – koszty użytkowników dróg wynikające z oszczędności czasu pasażerów i kierowców;

—  $K_w$  – koszty prognozowanych wypadków drogowych;

—  $K_s$  – koszty ochrony środowiska (koszt emisji toksycznych składników spalin);

—  $K_e$  – koszty eksploatacji pojazdów.

Po określeniu kosztów oblicza się nakłady drogowe netto  $NC_t$ , które wylicza się jako różnicę nakładów drogowych poniesionych na przebudowę, remonty lub odnowę w wariantach zerowym i inwestycyjnym  $NC_t = C_t^{WO} - C_t^{WI}$  oraz oszczędności użytkowników dróg i środowiska  $NB_t$ , które wylicza się jako różnicę nakładów drogowych w wariantach zerowym i

inwestycyjnym  $NB_t = (B_t^{WO} - B_t^{WI})$ . Następnie oblicza się korzyści netto (*Net Value*) w każdym roku  $NV_t$ , czyli sumę oszczędności użytkowników dróg i środowiska  $NB_t$  i nakładów drogowych netto  $NC_t$ , stanowiące zysk niezdyktowany w każdym analizowanym roku  $NV_t = NB_t + NC_t$ . Po zastosowaniu czynników dyktujących przy założonej stopie dyktowej  $r$ , odpowiednio do rocznej  $NV_t$ , sumuje się zdyskontowane korzyści netto  $NV_t$  wszystkich lat badanego okresu i otrzymuje się  $NPV_r$  (zdyskontowany zysk netto, zdyskontowaną wartość netto).

W przedstawionym powyżej szacowaniu efektu ekonomicznego wykorzystuje się zarówno oddzielne zależności prędkości od cech drogi (rys. 2 c i d), jak i łączny wpływ na prędkość parametrów geometrycznych oraz cech eksploatacyjnych nawierzchni (rys. 2 a i b), a także koszty jednostkowe określone w *Instrukcji* [4]: użytkowników, eksploatacji samochodów, emisji toksycznych składników spalin i wypadków drogowych. Np. zarządca drogi wybierając do wykonania dany rodzaj prac drogowych, otrzymuje w zależności od liczby proponowanych wariantów remontu kilka wskaźników  $B/C$ . Mając obliczone koszty poszczególnych wariantów może wybrać do realizacji ten wariant, który uzyska najkorzystniejszą wartość  $B/C$ . W innym przypadku np. zarządca drogi może oszacować, co bardziej opłaca się wykonać na danej drodze. Na przykład zarządca drogi może wybierać, czy korzystniejszy będzie remont tylko nawierzchni, którą według badań diagnostycznych sklasyfikowano w klasie D (poziom krytyczny), czy też uwzględniając dodatkowo jeszcze wzrost obciążenia drogi ruchem w najbliższych latach, w danym przypadku bardziej efektywne będzie wykonanie poszerzenia jezdni i budowa poboczy utwardzonych. W obu wspomnianych przypadkach najpierw szacuje się prognozowane prędkości w obu wariantach, a następnie zależne od nich koszty: ochrony środowiska, użytkowników, eksploatacji pojazdów i prognozowanych wypadków drogowych. Uzyskane wartości wskaźnika  $B/C$  mogą być podstawą podjęcia decyzji o remoncie lub przebudowie w oparciu o szacowane wartości użytkowe.

Różnica pomiędzy proponowaną metodą oceny wartości użytkowych a sposobem przedstawionym w *Instrukcji* [4], polega na tym, że w niej wykorzystuje się przede wszystkim model szacowania prędkości na drogach o trzech typach przekroju poprzecznego przy różnych wartościach: krętości trasy, odległości widoczności, promienia łuku poziomego i kąta zwrotu trasy, pochylenia podłużnego, odległości przeszkód bocznych, równości podłużnej i poprzecznej, właściwości przeciwpoślizgowych i różnym utrzymaniu poboczy gruntowych. Natomiast w dotychczasowej praktyce drogowej wszystkie obliczenia ekonomiczne wykonuje się na podstawie *Instrukcji* [4], w zależności od prędkości projektowej, która identyfikuje się w głównej mierze tylko z niektórymi parametrami geometrycznymi drogi i nie odzwierciedla szeregu cech eksploatacyjnych i utrzymaniowych.

## LITERATURA

- [1] Datka St., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu*, WKŁ wyd. 2, Warszawa 1997
- [2] Godlewski D.: *Zagadnienia systemowe związane z utrzymaniem jezdni drogowych*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991
- [3] *System oceny stanu nawierzchni SOSN*, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2002



- [4] Szrajber J, Kretkiewicz B.: *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2000

## THE SELECTION OF ROAD REPAIR OR RECONSTRUCTION WITH REGARD TO UTILISABLE VALUES

Currently the decision concerning the type of road surface repair is undertaken on the basis of results of diagnostic research, and the decision concerning the range of prospective reconstruction of a section of a given road is made on the basis of traffic capacity and safety conditions. In neither case is an estimation of the anticipated advantages made, with the result that it remains unclear as to whether the utilisable values of the road were increased after repair or reconstruction. The only evidence of improvement is the number of road accidents which take place following the repair or reconstruction. At the Szczecin University of Technology, a method of estimation of the utilisable values considering the geometric parameters of the road and exploitation characteristics of the pavement has been developed, which allows the speeds in both cases to be estimated, i.e. "before" and "after" the road work. The result of the estimation of the utilisable values is the economic effect obtained, which includes the following costs: natural environment protection, users, vehicle use and predicted road accidents.

**Keywords:** road surface repair, reconstruction road, utilisable values, natural environment protection, vehicle use, predicted road accidents.

## WAHL DER REPARATUR- ODER UMBAUART DER STRASSE IM HINBLICK AUF IHRE GEBRAUCHSWERTE

Gegenwärtig wird die Entscheidung über die Art der Reparatur der Straßendecke auf Grundlage von Ergebnissen der diagnostischen Untersuchungen getroffen und die Entscheidung über den Umfang eines eventuellen Umbaus eines Straßenabschnittes auf Grundlage der Durchlassfähigkeit und der Verkehrssicherheit. Sowohl im ersten als auch im zweiten Fall werden keine Schätzungen des zu erwartenden Nutzens angestellt, das ist ob sich im Ergebnis des Umbaus oder der Reparatur die Gebrauchswerte der Straße verbessert haben. Das einzige Zeugnis der erzielten Verbesserung ist die Anzahl der Verkehrsunfälle, die nach der ausgeführten Reparatur oder nach dem ausgeführten Umbau passierten. An der Technischen Universität Szczecin wurde eine Methode der Bewertung der Gebrauchswerte nach geometrischen Parametern der Straße und Betriebseigenschaften der Straßendecke erstellt, die in beiden verglichenen Fällen, das heißt "vor" und "nach" dem Ausführen der Straßenarbeiten, das Einschätzen der Geschwindigkeiten erlaubt. Das Ergebnis der Bewertung der Gebrauchswerte ist der erzielte wirtschaftliche Effekt, welcher sich aus folgenden Kosten zusammensetzt: Kosten des Umweltschutzes, Kosten der Benutzer, Betriebskosten der Fahrzeuge und der prognostizierten Verkehrsunfälle.

**Stichworte:** Reparatur, um Bauart Der Straße, Gebrauchswerte; Geschwindigkeit; Kosten des Umweltschutzes, Kosten der Fahrzeuge, prognostizierten Verkehrsunfälle.