

Barbara STRYCHARZ

## PRZEGLĄD METOD WYMIAROWANIA NAWIERZCHNI PODATNEJ W ASPEKTCIE JEJ TRWAŁOŚCI NA DROGACH PODLEGAJĄCYCH WPLYWOM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

**Streszczenie.** Na terenach deformowanych wpływami podziemnej eksploatacji górniczej kopalni nawierzchnia drogowa jest dodatkowo obciążona. Praktyka projektowa nie uwzględnia tego faktu w wymiarowaniu nawierzchni. Omówiono istniejące metody wymiarowania w aspekcie ich przydatności do rozwiązania omawianego problemu i przyjęte przez autora rozwiązanie praktyczne.

## REVIEW OF METHODS FOR DIMENSIONING OF FLEXIBLE PAVEMENT WITH RESPECT TO DURABILITY OF ROADS EXPOSED TO EFFECTS OF MINING

**Summary.** Road surface in areas deformed by the effects of underground coal mining bears an additional stress. Designing practice does not take this into account when dimensioning the road surface. Existing methods of dimensioning with respect to their usefulness for solving the above problems are discussed together with a practical solution adopted by the author.

## RÉVISION DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA CHAUSÉE SOUPLE DANS L'ASPECT DE SA DURÉE SUR LES ROUTES EXPOSÉES AUX INFLUENCES DE L'EXPLOATATION MINIERE

**Résumé.** Sur les terrains déformés par les influences de l'exploitation minières des minéraux la chaussée est chargée supplémentairement. La pratique de projet ne prend pas en considération ce fait pendant la détermination de la chaussée. On présente les méthodes de détermination qui existent dans l'aspect de leur utilité pour résoudre ce problème et aussi une solution pratique adoptée par l'auteur.

## 1. WPROWADZENIE

W Polsce jak również w innych krajach istnieje bardzo wiele metod projektowania konstrukcji nawierzchni podatnej. Niektóre kryją w sobie wpływ sytuacji ekonomicznej danego kraju, określony strategią kosztów budowy i utrzymania. Liczne ośrodki naukowe prowadzą intensywne badania nad optymalizacją metod projektowania uwzględniając koszty: budowy, utrzymania i eksploatacji w założonym czasokresie trwałości nawierzchni. Wiele metod zakłada pewne ryzyko niedowymiarowania. Oznacza to na przykład konstrukcję nawierzchni nieodporną na działanie mrozu. W Polsce warunek ten spełniają nawierzchnie dróg budowanych po 1983 roku [7, 8] z wyjątkiem wzmocnianych konstrukcji dróg istniejących, których ten warunek nie obejmuje.

Rzeczko niedowymiarowania występuje w Polsce również na drogach podlegających wpływom eksploatacji górniczej. Obowiązujące metody projektowania i katalogi typowych konstrukcji nie przewidują uwzględniania dodatkowego obciążenia od wpływu deformacji górniczej podłoża [3].

## 2. METODY PROJEKTOWANIA

Do początków XX wieku projektowanie nawierzchni drogowych odbywało się na podstawie doświadczenia inżyniera lub technika drogowego i na tradycji budowlanej danego kraju. Z chwilą pojawienia się na drogach samochodu ciężarowego doświadczenie to i tradycja okazały się dalece niewystarczające. Pojawiła się wówczas pierwsza teoria rozkładu naprężeń w nawierzchni i w podłożu. Obciążenie koła samochodowego przedstawiono w postaci siły skupionej  $F$ . Później wprowadzono kołową powierzchnię nacisku i przyjęcie rozkładu naprężeń według Boussinesqua, co zbliżyło teorię do rzeczywistego rozkładu naprężeń pod kołami samochodu. Wkrótce i ten model obciążenia okazał się niewystarczający.

Pojawienie się na drogach wielkich samochodów ciężarowych o dopuszczalnej ogólnej masie pojazdów do 50 Mg i naciskach na oś do 200 kN oraz budowa autostrad i dróg ruchu o dużej przepustowości były inspiracją do opracowania bardzo wielu nowych metod wymiarowania. Przegląd najnowszych osiągnięć z dziedziny projektowania nawierzchni

prezentowany jest na Międzynarodowych Kongresach Drogowych, organizowanych co 4 lata, oraz na Konferencjach Międzynarodowych nt. "Projektowanie nawierzchni asfaltowych". Dokonano podziału metod na:

- empiryczne,
- teoretyczno-empiryczne,
- teoretyczne.

Do rozwoju metod wymiarowania nawierzchni przyczyniło się wiele instytucji i ośrodków badawczych. Najważniejsze z nich to:

- AASHO - Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Drogowych,
- AASHTO - Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Drogowych i Transportu,
- CE - Korpus Inżynierów w Stanach Zjednoczonych,
- AI - Instytut Asfaltowy w Stanach Zjednoczonych,
- SHELL - holenderska firma naftowa,
- DORNII - Instytut Drogowy w Moskwie,
- OSZD - Organizacja Współpracy Kolei Krajów Socjalistycznych,
- TRRL - Instytut Drogowy Wielkiej Brytanii,
- LCPC - Laboratorium Dróg i Mostów w Paryżu,
- IBDiM - Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie.

### 2.1. Metody empiryczne

Metody empiryczne powstały na podstawie wieloletnich badań na specjalnych drogach doświadczalnych i na kołowych torach doświadczalnych tzw. kołowrotach. Efektem pierwszych badań wykonanych w Stanach Zjednoczonych A.P. była metoda CBR (California Bearing Ratio) opracowana w Kalifornii w latach 1928-1929 [15]. Metoda ta miała później wiele modyfikacji. W latach 1958-1960 AASHO (Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Drogowych) przeprowadziło wielkie badania drogowe. W ciągu 25 miesięcy samochody ciężarowe przejechały po 836 odcinkach doświadczalnych na 6 pętlach drogowych, razem 27 mln kilometrów. Efektem badań były "Tymczasowe Wytyczne Projektowania Nawierzchni" opublikowane w 1961 roku. Na bazie tego programu powstała (w 1964) w USA Metoda Instytutu Asfaltowego, w której grunt podłoża określał kalifornijski wskaźnik nośności CBR.

W Europie wskaźnik CBR zastosowano do oceny nośności w metodach wymiarowania [15]: brytyjskiej, szwajcarskiej, francuskiej oraz polskiej (która jest modyfikacją metody amerykańskiej i obowiązuje od 1967 [11]).

W latach 60, na podstawie badań wykonanych w kraju, powstała metoda PJ-IBD, opracowana przez prof. inż. Jana Pachowskiego (PJ) w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów (IBD), zatwierdzona przez Ministra Komunikacji do stosowania w 1966 [10].

Wymienione metody podają wzory lub wykresy do obliczenia całkowitej grubości konstrukcji opierając się na wskaźnikach nośności podłoża i materiałów konstrukcyjnych oraz wskaźnikach określających obciążenie ruchem.

## 2.2. Metody teoretyczno-empiryczne [15, 13]

Metody te łączą w sobie doświadczenia zdobyte w wykonawstwie i badaniach z analizą teoretyczną stanu naprężeń i odkształceń. Najczęściej w takich metodach analizę teoretyczną zawiązuje się do następujących kryteriów projektowania:

- max. naprężenie lub odkształcenie przy rozciąganiu na spodzie warstw bitumicznych,
- maksymalne naprężenie lub odkształcenie przy rozciąganiu na spodzie warstw sprężystych (np. warstw związanych cementem),
- maksymalne naprężenie lub odkształcenie pionowe w podłożu.

Dwa pierwsze kryteria opisywane są zmęczeniem materiałów, które jest powodem powstawania spękań nawierzchni. Trzecie kryterium zabezpiecza przed nadmiernym odkształceniem trwałym podłoża.

Metody teoretyczno-empiryczne to: DORNII, OSZD, SHELLA, METODA INSTYTUTU ASFALTOWEGO i inne. W zmodyfikowanych wersjach tych metod do obliczania naprężeń i odkształceń wykorzystuje się programy komputerowe.

## 2.3. Metody teoretyczne [15, 14]

Na początku lat osiemdziesiątych różne ośrodki naukowo-badawcze podjęły próby opracowania metod czysto teoretycznych. Do opisanego zachowania nawierzchni zastosowano trzy kryteria klasyczne uszkodzeń:

- spękania,
- odkształcenia w przekroju poprzecznym (koleiny),
- odkształcenia w profilu podłużnym (nierówności).

Modele projektowania nawierzchni nawiązują do tych trzech kryteriów:

- model zmęczeniowy do spękań,
- model stałych odkształceń do kolein,
- model równości do odkształceń w profilu podłużnym.

Podstawę wymienionych modeli stanowią:

- teoria sprężystego ośrodka wielowarstwowego,
- znajomość właściwości stosowanych materiałów drogowych,
- roczny rozkład temperatury wpływający na zachowanie się konstrukcji jezdni,
- hipoteza rozkładu naprężeń w podatnej konstrukcji jezdni i podłożu.

W modelach najczęściej wykorzystuje się uogólnioną teorię Burmistera, która umożliwia obliczenie naprężeń i odkształceń w ośrodku wielowarstwowym zwykle za pomocą programu komputerowego. Jednakże we wniosku z V Konferencji dotyczącej nawierzchni podatnych (asfaltowych), która odbyła się w Delft w 1982 r., podkreślono, że metody teoretyczne mogą być stosowane na szeroką skalę tylko po ich doświadczalnej weryfikacji.

### 3. KATALOGI TYPOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

W niektórych krajach katalogi typowych rozwiązań są w powszechnym użyciu. Są one najprostszą formą pomocy przy projektowaniu nawierzchni. W Europie najwcześniej opracowano katalogi w RFN, potem we Francji. Pierwsza edycja polskiego katalogu pojawiła się w 1977 roku. Teraz obowiązują jej dwie uaktualnione wersje z 1983 (dla dróg) [8] i z 1990 (dla ulic) [7]. Mimo stosunkowo szybkiego wdrażania w polskich biurach programów komputerowych, do projektowania geometrii dróg, katalogi typowych nawierzchni są nadal powszechnie stosowane przez projektantów.

Projektowanie konstrukcji nawierzchni wg polskiego katalogu obejmuje:

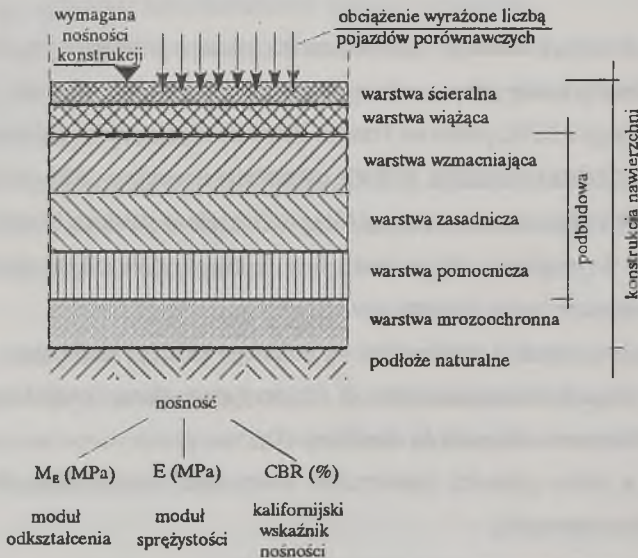
- określenie kategorii obciążenia ruchem  $R_1$ , (dla przyjętego okresu trwałości nawierzchni),
- określenie klasy nośności podłoża drogowego  $G_1$ ,
- odczytanie z tablic grubości nawierzchni zastępczej i rzeczywistej dla przyjętych rozwiązań materiałowych,
- sprawdzenie warunku wymaganej mrozoodporności.

Obowiązujące obecnie w Polsce katalogi [7, 8] zostały opracowane na podstawie metody PJ-IBD [10], CBR [11] i OSŹD [12], i powinny być uaktualnione ze względu na:

- zmieniające się warunki obciążenia (szczególnie dla autostrad),
- nowe materiały konstrukcyjne nawierzchni (betony asfaltowe modyfikowane, geosyntetyki itp.),
- wykazane w licznych opracowaniach [1, 2, 4, 5, 17] dodatkowe obciążenie konstrukcji od wpływu deformacji górniczej podłoża.

#### 4. WPŁYW WYMAGANEJ NOŚNOŚCI NAWIERZCHNI NA JEJ TRWAŁOŚĆ W OBSZARZE WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

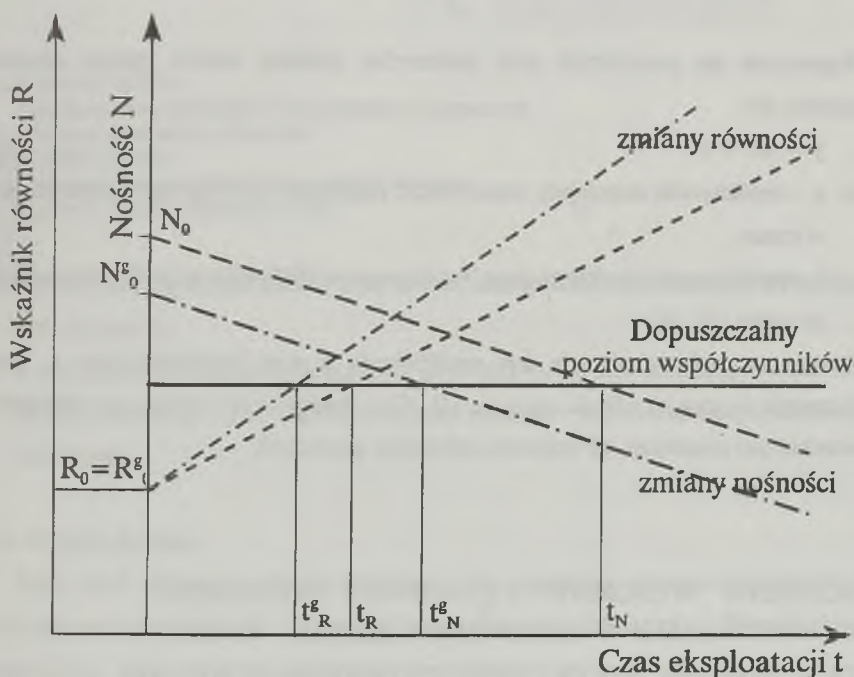
Istotną cechą nawierzchni podatnych jest ich stosunkowo mała wytrzymałość na zginanie i ścinanie, w związku z czym dopuszczalne obciążenie nawierzchni zależy w bardzo dużym stopniu od nośności podłoża. Nośność podłoża i nośność nawierzchni charakteryzuje się przez moduł odkształcenia ( $M_E$ ), moduł sprężystości ( $E$ ) i kalifornijski wskaźnik nośności (CBR) (rys. 1).



Rys. 1. Schemat wielowarstwowej nawierzchni podatnej  
Fig. 1. Scheme of multilayer flexible pavement

Wpływ oddziaływań górniczej eksploatacji powoduje zmianę warunków pracy nawierzchni, co jest z kolei powodem różnych jej uszkodzeń i deformacji (rozerwania, garby, sfalowania itp.). Od wielu lat prowadzone są w tym zakresie liczne obserwacje terenowe, badania laboratoryjne i prace badawcze. Najważniejsze z nich to: [2, 17, 1, 4]. W opracowaniu [1] wykazano istotny wpływ odkształceń  $\varepsilon$  na nawierzchnię.

Ingeruje ono w zasadniczą cechę podłoża, jaką jest jego nośność obniżając tym samym wymaganą nośność nawierzchni. Wykazano również [17] wpływ eksploatacji górniczej na tworzenie się dodatkowych nierówności podłużnych. Czy zmiany te obniżą trwałość nawierzchni? Zdecydowanie tak (rys. 2).



Rys.2. Wpływ deformacji górniczej podłoża na trwałość nawierzchni

Fig.2. Effect of distortion caused by mining activity on the durability of the road surface

$N_0$  - wyjściowa wartość nośności

$t_N$  - czas trwałości ze względu na nośność

$N_0^g$ ,  $t_N^g$  - jw. w warunkach deformacji górniczych

$R_0$  - wyjściowa wartość równości

$t_R$  - czas trwałości ze względu na równość

$R_0^g$ ,  $t_R^g$  - jw. w warunkach deformacji górniczej

Zagadnienie trwałości nawierzchni bitumicznej sprowadza się do trzech podstawowych warunków [6]:

- 1 - zapewnienia wymaganej nośności nawierzchni,
- 2 - zapewnienia wymaganej równości nawierzchni,
- 3 - zagwarantowania wymaganej szorstkości (współczynnik tarcia).

Miarą trwałości jest czas utrzymania tych właściwości na poziomie nie niższym od dopuszczalnego (rys.2). Proste pochyłe przedstawiają umownie przebieg pogarszania się właściwości mechanicznych i eksploatacyjnych. Przecięcie prostych z dopuszczalnym poziomem parametrów wyznacza na osi czasu trwałość ze względu na nośność  $t_N$  i równość  $t_R$ .

Pogarszanie się powyższych cech nawierzchni podatnej zostało opisane prostym równaniem [6]:

$$y = ax + b \quad (1)$$

gdzie:  $a$  - współczynnik określający intensywność pogarszania się właściwości nawierzchni w czasie,

$b$  - współczynnik charakteryzujący "wyjściową wartość" cechy w chwili oddania drogi do ruchu ( $N_0, R_0$ ).

Podatny na wpływy górnicze jest współczynnik  $a$  przy określeniu czasu  $t_R$  oraz współczynnik  $b$  przy określaniu czasu  $t_N$  [1]. Czas trwałości ze względu na szorstkość nawierzchni jest niezależny od wpływów deformacji górniczych.

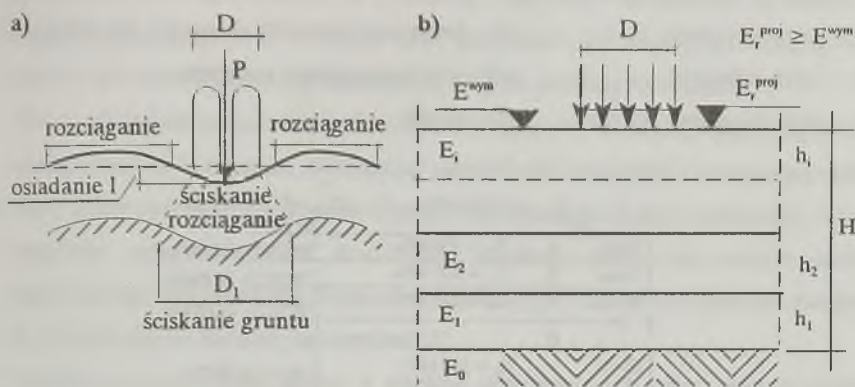
## 5. OBLICZENIE "WYJŚCIOWEJ" $N_0$ NOŚNOŚCI NAWIERZCHNI ul. GÓRNOŚLĄSKIEJ W KATOWICACH METODĄ DORNII UWZGLĘDNIAJĄC WPŁYW GÓRNICZEJ DEFORMACJI PODŁOŻA

### 5.1. Założenia metody [15, 9]

Metoda opracowana pod kierunkiem prof. N.N. Iwanowa opiera się na następujących założeniach:

- 1) jako kryterium wytrzymałości (nośności) nawierzchni przyjmuje się maksymalne dopuszczalne odkształcenie nawierzchni, które jest spowodowane działaniem powtarzających się obciążeń (rys. 3),





Rys.3. Metoda DORNII

- a) działanie koła samochodu w fazie odkształceń krytycznych  
 b) schemat konstrukcji nawierzchni

Fig.3. DORNI Method

- a) functioning of a car wheel during critical distortion  
 b) scheme of road surface construction

- 2) nośność poszczególnych warstw, całej nawierzchni i podłoża charakteryzuje się modułem odkształcenia  $E_i$ ,  
 3) w celu określenia naprężeń i odkształceń wielowarstwowej nawierzchni sprowadza się ją do równoważnej jej - pod względem rozkładu naprężeń - jednowarstwowej i jednorodnej nawierzchni.

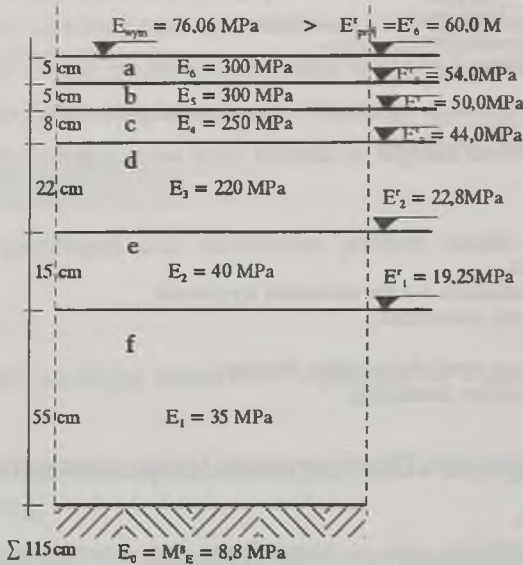
## 5.2. Wyniki obliczeń

Dane OUG (Okręgowy Urząd Górniczy) oraz ekspertyza górniczo-geologiczna [5] wykazały występowanie I, II i III kategorii w przebiegu projektowanej ul. Górniośląskiej w Katowicach.

Konstrukcję nawierzchni obliczoną przez projektanta [16] na podstawie obowiązującego katalogu sprawdzono metodą DORNII. Do obliczeń wprowadzono dodatkowe obciążenie wynikające z wpływu deformacji górniczej podłoża. Wyniki obliczeń wykazały, że projektowana do realizacji konstrukcja [16] (łącznie z warstwą mrozoochronną) nie ma wymaganej nośności na odcinkach leżących w obszarze III kategorii wpływów (rys. 4).

Materiały poszczególnych warstw:

- (a) - beton asfaltowy, (d) - kruszywo łamane 0/4 ulepszone 3% dodat. asfaltu,  
 (b) - beton asfaltowy, (e) - stabilizacja piasku cementem,  
 (c) - masa mineralno-asfaltowa, (f) - piasek.



Rys.4. Sprawdzenie zależności  $E'_{proj} \geq E_{wym}$  dla konstrukcji przyjętej w opracowaniu [16] do realizacji  
 Fig.4. Test of relationship  $E'_{proj} \geq E_{wym}$  for construction put in practice [16]

## 6. WNIOSKI

1. Obowiązujące i powszechnie stosowane przez projektantów polskie katalogi nawierzchni nie uwzględniają dodatkowego obciążenia konstrukcji wpływami eksploatacji górniczej podłoża.
2. Na podstawie przeglądu metod można stwierdzić, iż obowiązujące w Polsce katalogi nawierzchni wymagają modyfikacji, gdyż zostały opracowane na bazie metod dalece już niewystarczających.
3. Nowe generacje metod wymiarowania są stosowane w Polsce wyłącznie w ośrodkach naukowo-badawczych.

4. Wykazano, że nawierzchnie w obszarze wpływów eksploatacji górniczej są niedowymiarowane, ponieważ projektanci korzystają z obowiązujących katalogów, w których nie ma rozwiązań dla nawierzchni dróg na terenach górniczych.
5. Nieuwzględnienie dodatkowego obciążenia od wpływów deformacji górniczej podłoża obniża trwałość nawierzchni zwiększając częstotliwość remontów i koszty utrzymania.
6. Nowe prawo geologiczno-górnictwa wymaga zabezpieczenia każdej konstrukcji, w tym i drogowej, przed wpływami eksploatacji górniczej, jeżeli taki wpływ zostanie udowodniony. W świetle tego wymagania należałoby jak najszybciej dokonać uzupełnień w obowiązującym katalogu nawierzchni [3].
7. Problem jest szczególnie istotny w aspekcie przebiegających przez obszary górnicze autostrad (realizowanej A-4 i planowanej A-1). Optymalizacja kosztów budowy i utrzymania jest w tym przypadku koniecznością.

#### LITERATURA

- [1] Chlupalski K., Strycharz B., Żak A.: Trwałość nawierzchni podatnych na terenach górniczych. Projekt badawczy KBN, Nr 90445 91 01, Gliwice 1993.
- [2] Chlupalski K.: Zagadnienie współdziałania nawierzchni drogowej z poziomo deformującym się podłożem górniczym. Rozprawa doktorska. Pol.Śl. 1994.
- [3] Chlupalski K., Gryczmański M., Strycharz B.: Przepisy techniczno-budowlane projektowania, budowy i eksploatacji autostrad płatnych. Etap I, cz. A.I.1.3. (dla terenów górniczych). KBPDiM "Transprojekt" Kraków 1994.
- [4] Chlupalski K., Szumierz W., Żak A.: Prognozy zagrożeń górniczych ważniejszych ciągów drogowych podległych DODP. Katowice NB-170/RB-3/86.
- [5] Ekspertyza geologiczno-geologiczna ul. Gómoślaskiej opracowana przez EXPERT Sp. z o.o. w Katowicach.
- [6] Grabowski W.: Zagadnienie trwałości betonu asfaltowego w nawierzchni drogowej. Politechnika Poznańska 1985.
- [7] Katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nawierzchni ulic. BPBK "Stolica" Min. Transportu i Gospodarki Morskiej. GDDP. Warszawa 1990.
- [8] Katalog typowych Konstrukcji Jezdni Podatnych. IBDiM. Warszawa 1983.

- [9] Lewinowski Cz.: Zasady wymiarowania podatnych nawierzchni drogowych. Pol.Śl. 1977.
- [10] Projektowanie nawierzchni podatnych metodą PJ-IBD (WP-DP 20). Dziennik Budownictwa Nr 8 z dn. 11 lipca 1966, Warszawa.
- [11] Pachowski J.: Projekt instrukcji wymiarowania grubości konstrukcji jezdni drogowych nawierzchni podatnych na podstawie Kalifornijskiego Wskaźnika Nośności CBR. Praca COB i RTD Nr 3/1967.
- [12] Pachowski J.: Metoda wymiarowania konstrukcji nawierzchni podatnych na podstawie modułów sprężystości podłoża i materiałów (we współpracy z OSZD). Prace COBiRD Nr 3/1968.
- [13] Reports of Technical Committces for XVI<sup>th</sup> World Road Congress in Vienna 1979.
- [14] Report on Flexible Roads for XVII<sup>th</sup> World Road Congress in Sydney, 1983.
- [15] Rolla A.: Projektowanie nawierzchni. WKiŁ, Warszawa 1979.
- [16] ZTE modernizacji ul. Górnośląskiej odcinek od węzła "Murckowska" do węzła "Mikołowska" w Katowicach opracowane przez BPBK - Katowice.
- [17] Żak A.: Analiza wpływu pionowych przemieszczeń podłoża górniczego na stan naprężeń i odkształceń nawierzchni drogowej. Rozprawa doktorska, Politechnika Śl. 1992.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Wiesław Szumierz

Wpłynęło do Redakcji 19.05.1995 r.

## Abstract

Road surface in areas deformed by the effects of underground coal mining bears an additional stress. Designing practice does not take this into account when dimensioning the road surface. Existing methods of dimensioning with respect to their usefulness for solving the above problems are discussed together with a practical solution adopted by the author.

One of basic demands to be met for achieving road surface durability is to secure its load-carrying ability during the estimated time of use. Numerous research centers study intensively

the optimization of planning methods taking under consideration the costs of construction, exploitation and maintenance. The article reviews the most important achievements in the area of designing flexible pavements. It has been shown that catalog constructions do not meet demands with respect to road surface durability in areas deformed by mining activity.