

Anna ŻAK

## PRĘDKOŚĆ POJAZDÓW NA DROGACH OBJĘTYCH WPLYWAMI EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

**Streszczenie.** W wyniku podziemnej eksploatacji górniczej węgla kamiennego powstają odkształcenia terenu, które powodują deformacje obiektów, w tym także dróg kołowych. Przedstawiono wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na prędkości osiągane przez pojazdy na zdeformowanych odcinkach dróg. Zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości na odcinkach badawczych. Zaproponowano sposób wyznaczania racjonalnych ograniczeń prędkości na odcinkach o nierównych nawierzchniach.

## SPEED OF AUTOMOTIVE VEHICLES ON ROADS SITUATED IN MINING AREAS

**Summary.** Due to the underground mining activity there arise surface area distortions causing deformations of the objects include roads situated. The author deals with the effect of mining activity-related road distortions on the speed achieved by automotive vehicles on the deformed sections of the roads. In the paper are presented the results of studies carried out on sections of the roads. The author proposes a way for the introducing rational speed limits on roads' sections with uneven surface.

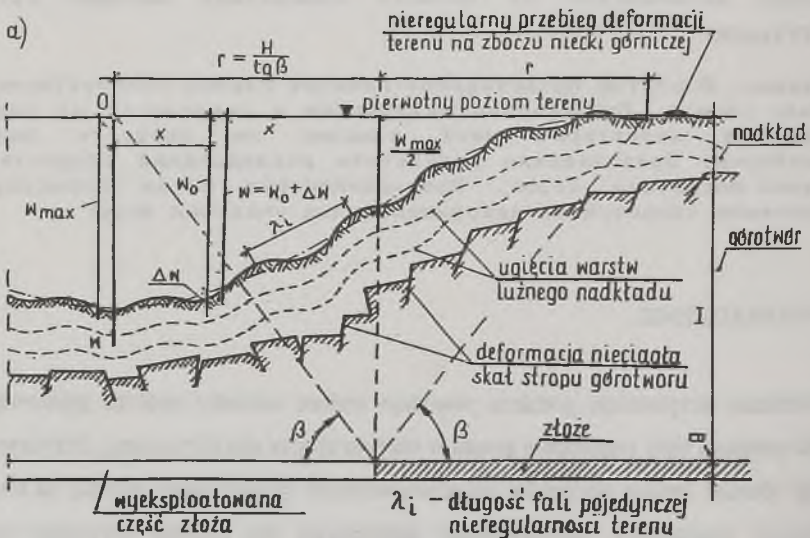
## СКОРОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ НА ДОРОГАХ ПОДЛЕЖАЩИХ ВЛИЯНИЮ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Резюме.** В статье представлено влияние горной эксплуатации на профиль дороги. Возникающие деформации в зависимости от своего размера и характера имеют влияние на скорость разных автомобилей. Представлено результаты исследований скорости на неровных покрытиях дорог. Предложено новый метод определения ограничения скорости на деформированных участках дорог.

### 1. WPROWADZENIE

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje zmianę nośności podłoża gruntowego w wyniku spękania bądź rozpełzanie gruntu w obrębie zbocza niecki górniczej. Przyczynia się do tego również zmiana warunków gruntowo-wodnych (zawilgocenie gruntu) na terenach górniczych. Dodatkowo, niejednorodnie deformujące się podłoże wywołuje lokalne deformacje drogi w profilu podłużnym.

Droga kołowa, jako budowla liniowa o bardzo dużej długości, wykazując cechy podobne do ustroju liniowego wiotkiego, odkształca się w zasadzie na ogół biernie, w ślad za deformującym się w płaszczyźnie pionowej podłożem, o ile kształt zboczy niecki przyjmie formy regularne - opisywane według znanych teorii prognozowania wpływów górniczych [4]. Wówczas dochodzi praktycznie do zgodności przemieszczeń nawierzchni i jej wygiętego podłoża. Z praktyki wiadomo, że rzeczywisty kształt profilu niecki obniżeniowej wykazuje pewne losowe odchylenie od modelu matematycznego, jakim go opisujemy. Górnotwór, ulegając procesowi destrukcji nad wyrobiskiem, dzieli się na liczny zbiór brył skalnych, o różnej wielkości. Przemieszczają się one w kierunku wybranych przestrzeni pokładu. Bryły te zsuwając się, tworzą lokalne nierówności [6] na powierzchni wyginającego się podłoża (rys.1). Amplitudy i długości fal tych lokalnych nierówności zależne są od: rodzaju skał budujących górnotwór, rodzaju i grubości nadkładu, głębokości zalegania pokładu, systemu eksploatacji górniczej oraz prędkości wybierania. Zjawisko powstawania nieregularnych form zboczy niecek górniczych ma podstawowe znaczenie dla pracy budowli liniowych, a do tych zaliczamy drogi samochodowe. Powstające lokalne nierówności o długości zwykle od kilku do kilkudziesięciu metrów deformują drogi m.in. w przekroju podłużnym, zmieniając niekorzystnie pierwotne warunki profilowe.



Rys. 1: Rzeczywisty przebieg deformacji terenu na zboczu niecki górniczej  
 Fig. 1. Real distribution of the subsoil deformations of the mining slope

## 2. DEFORMACJE DRÓG W PROFILU

Deformacje niwelety pojawiające się na trasach drogowych na terenach szkód górniczych powodują obniżenie płynności i komfortu jazdy. Stanowią także zagrożenie bezpieczeństwa ruchu z uwagi na możliwość zakłóceń pracy systemu odwodnienia, tworzenie się zalewisk czy też niecek bezodpływowych. Uszkodzenia zniekształcające profil podłużny wystąpiły między innymi na drogach [5]:

- krajowych nr: 15 (400m), 93 (320m), 929, 930 (200m),
- wojewódzkich nr: 14506 (150m), 14672.

Najczęściej deformacje dotyczą zarówno profilu podłużnego, jak i poprzecznego, towarzyszyć im mogą odkształcenia nawierzchni, takie jak: garby, pęknięcia, przełomy oraz odwrócenie spadku urządzeń odwadniających.

W ramach badań na odcinkach doświadczalnych [6] pomierzono deformacje profili na 11 odcinkach dróg zdeformowanych górniczo o łącznej długości 5374.5 m. Na podstawie przeprowadzonej analizy określono długości powstałych nierówności w profilu podłużnym (tablica 1).

Tablica 1

Procentowy udział długości nierówności na odcinkach doświadczalnych

Długość nierówności [m]	Udział [%]
0 - 5	44.90
5 - 50	45.40
> 50	9.70

Do badań prędkości pojazdów wybrano 4 odcinki dróg o sfałowanych niweletach, podatnej nawierzchni w dobrym stanie technicznym, na zamiejskich drogach krajowych. Na wytypowanych do pomiaru odcinkach nie występują deformacje wymuszające gwałtowne ograniczenie prędkości, np. garby, progi.

### 3. POMIAR PRĘDKOŚCI POJAZDÓW NA ODCINKACH DOŚWIADCZALNYCH [2]

#### 3.1 Charakterystyka drogowo-ruchowa odcinków doświadczalnych

Do pomiarów wybrano odcinki o znanych deformacjach profili podłużnych, przebadanych w pracy [6], których charakterystykę przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Charakterystyka odcinków do badań prędkości

Odcinek	I	II	III	IV
Rodzaj drogi	DK 92	DK1	DK 908	DK 4
Przekrój drogi	1/2	2/2	1/2	1/2
Szerokość pasa ruchu [m]	3.50	3.50	3.00	4.50
Prędkość [km/h]	90.00	90.00	40.00	90.00
Widoczność	b.dobra	b.dobra	ograniczona	b.dobra
Obciążenie ruchem	b.ciężki	b.ciężki	lekki	b.ciężki

Wszystkie pomiary wykonywane były przy słonecznej pogodzie, suchej nawierzchni. Przedział czasowy badań mieścił się w godzinach 10-16 i dotyczy dnia roboczego.

#### 3.2. Wyniki przeprowadzonych pomiarów prędkości

Ogółem na wszystkich odcinkach pomiarowych pomierzono łącznie w obu kierunkach prędkości 3.101 pojazdów w pięciu grupach rodzajowych:

- 1.268 samochodów osobowych,
- 700 samochodów dostawczych,
- 646 samochodów ciężarowych,
- 487 samochodów ciężarowych z przyczepami.

Na każdym z odcinków, w sposób wyrzykowy, zbadano podobne liczbowo grupy rodzajowe pojazdów. Na podstawie danych z pomiaru określono przedziały prędkości, z jakimi poruszały się pojazdy na każdym z odcinków (tablica 3).



Tablica 3

## Prędkości osiągnięte przez pojazdy na badanych odcinkach

Odcinek	Sam. osobowe	Sam. dostawcze	Sam. ciężarowe	Sam. ciężarowe z przyczepą
	km/h			
I	50 - 95	50 - 90	50 - 75	50 - 75
II	75 - 120	75 - 115	65 - 95	65 - 85
III	40 - 70	40 - 65	40 - 60	40 - 50
IV	60 - 100	60 - 95	45 - 85	45 - 85

Określono na podstawie analizy statystycznej średnie prędkości na poszczególnych odcinkach dla wszystkich poruszających się pojazdów i dla każdej grupy rodzajowej (tablica 4).

Tablica 4

## Średnie prędkości na odcinkach badawczych

Odcinek	Śr. prędkość pojazdów	Samochody osobowe	Samochody dostawcze	Samochody ciężarowe	Sam. ciężarowe z przyczepą
	km/h				
I-a	68.50	70.30	70.10	64.40	63.90
I-b	68.00	71.30	68.70	64.20	63.10
II-a	91.40	101.10	95.30	80.70	76.00
II-b	95.20	102.30	98.80	87.30	81.50
III-a	55.00	55.50	55.30	55.30	47.00
III-b	54.90	56.90	55.00	52.10	48.10
IV-a	70.80	77.20	74.00	64.60	62.60
IV-b	73.20	88.10	82.80	75.70	73.70

Wyższe prędkości na odcinku II związane są z lepszymi warunkami drogowymi na tym odcinku - rozdzielone jezdnie, natomiast w przypadku odcinka IV zróżnicowanie prędkości można przypisać odmiennym warunkom jazdy z uwagi na ukształtowanie pionowe (kierunek IV-b - jazda po spadku).

Na podstawie sporządzonych histogramów i krzywych rozkładu prędkości chwilowych oraz dystrybuant rozkładu prędkości określono (tablica 5):

- prędkość modalną,
- medianę,
- kwantyle prędkości: 98%, 85%, 15%.

Tablica 5

## Kwantyle prędkości pojazdów na odcinkach badawczych

Odcinek	Kwantyl 98%	Kwantyl 85%	Kwantyl 15%	Mediana	Moda
	km/h				
I-a	87.00	74.00	66.00	66.00	72.50
I-b	88.00	75.00	57.00	65.00	67.50
II-a	118.00	105.00	74.00	88.00	77.50
II-b	118.00	107.00	88.00	92.00	102.50
III-a	66.00	58.00	47.00	52.00	57.50
III-b	67.00	58.00	46.00	53.00	52.50
IV-a	88.00	76.00	58.00	69.00	72.50
IV-b	95.00	85.00	69.00	87.00	82.50

Z wyjątkiem odcinka III i kierunku II-b najczęściej występująca prędkość jest mniejsza od dopuszczalnej. Na odcinku III nie jest przez kierowców respektowane ograniczenie prędkości do 40 km/h.

Długie, łagodne sfalowania niwelety nie wpływają na ograniczenie przez kierujących prędkości i nie wywołują zakłóceń w ruchu. Przy dobrych warunkach widoczności odcinka pozwalają na rozwijanie stosunkowo wysokich prędkości, które w przypadku drogi dwujezdniowej dwupasowej były nawet wyższe od dopuszczalnej. Kierunkowe zróżnicowanie prędkości na odcinku IV związane jest z ukształtowaniem odcinka drogi w profilu. Wysoki kwantyl 15% dla badanych odcinków wskazuje, że w ruchu nie występują pojazdy wolne, mogące zakłócać płynność ruchu.

#### 4. WPŁYW NIERÓWNOŚCI NAWIERZCHNI NA POJAZD

Odmienne warunki ruchu charakteryzują odcinki dróg, na których występują lokalne deformacje nawierzchni, takie jak progi, garby, wybrzuszenia. W wyniku jazdy po nierównej nawierzchni drogowej dochodzi do zmian w oddziaływaniach pionowych kół na podłoże. Zmniejsza się bezpieczeństwo jazdy, wynikające z możliwości zmniejszenia docisków kół do nawierzchni, a tym samym - wydłużające drogę hamowania. Szczególnie wrażliwe na nierówności są pojazdy ciężkie, w których zmiana wahań nacisków kół może powodować zanik szczepności i utratę kontaktu kół z jezdnią [6].

##### 4.1. Analiza możliwości utraty kontaktu koła z nawierzchnią

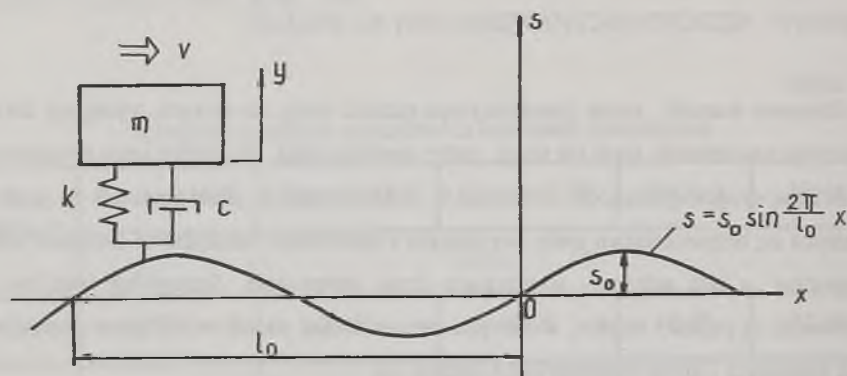
Dotychczas prowadzone badania nad tym zagadnieniem, z wykorzystaniem różnych uproszczonych modeli pojazdu, pozwalają określić m.in. częstotliwość odrywania się kół, prawdopodobieństwo zablokowania kół na skutek nierówności [1], czy też zależność czasu, w jakim koło jest oderwane od jezdni w funkcji zmian obciążenia koła [3]. Oderwanie się kół od nawierzchni stanowi zagrożenie dla użytkowników dróg. Dotychczas brak jest określenia prędkości, przy których ryzyko pojawienia się takiej sytuacji znacznie się zwiększa.

##### 4.2. Określenie prędkości krytycznej, przy której pojazd może utracić kontakt z drogą

Na wygodną i bezpieczną jazdę samochodem wpływa wiele czynników, z których ważnym jest płynność jazdy. O płynności jazdy decydują drgania nadwozia pojazdu, bezpośrednio odczuwane przez użytkowników, które ulegają zmianie w zależności od warunków drogowych oraz prędkości ruchu. W warunkach rzeczywistych pracy samochodu

występują drgania wymuszone, spowodowane nierównościami nawierzchni, a stopień ich oddziaływania zależy w głównej mierze od kształtu profilu nierówności.

Do analizy przyjęto uproszczony model pojazdu przedstawiony na rys.2. Do rozważań przyjęto, że pojazd porusza się po odkształconej nawierzchni, której profil jest sinusoidą o długości fali  $l_0$  i amplitudzie  $s_0$  (rys.2).



Rys. 2. Model pojazdu przyjęty do obliczeń  
Fig. 2. Model of vehicle

Analizując przebieg zmian wychyleń  $y(t)$  [6] można stwierdzić, że warunek kontaktu pojazdu z nawierzchnią spełnia nierówność:

$$a < f_{st}$$

gdzie:

$a$  - amplituda wychylenia pojazdu,

$f_{st} = g/\omega_0^2$  jest ugięciem statycznym pod wpływem ciężaru pojazdu,

$\omega_0$  - częstość drgań własnych.

Powyższy warunek można również zapisać w postaci:

$$a/s_0 < g/(\omega_0^2 / s_0)$$

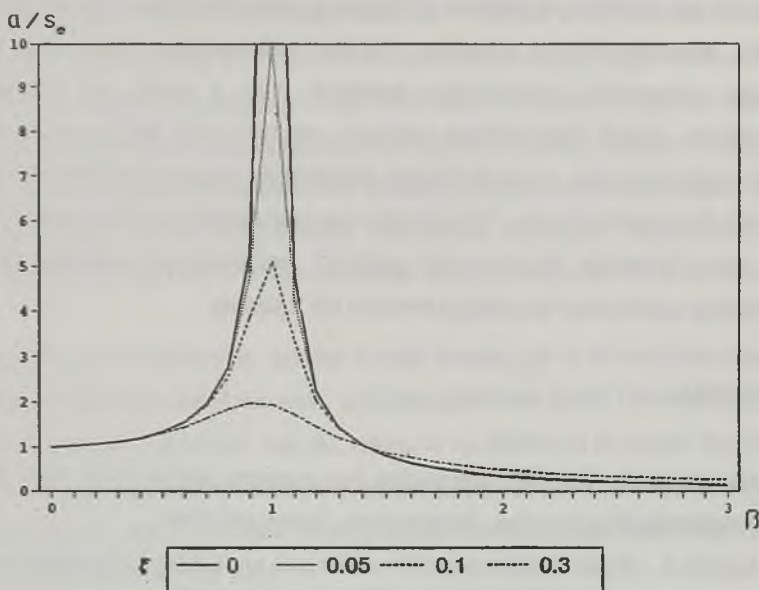
gdzie:

$(a/s_0)$  - współczynnik uwielokrotnienia amplitudy.



Dla określonego układu (dane  $\omega_0^2$  i  $s_0$ ) z warunku powyższego można wyznaczyć zakres prędkości  $v_1$ ,  $v_2$ , wewnątrz którego koło pojazdu może utracić kontakt z nawierzchnią.

Zależność amplitudy wychyleń pojazdu od prędkości jazdy  $\beta = (2\pi v)/l_0\omega_0$  przedstawia rys.3. Wynika z niego, że prędkościom  $v_1$  i  $v_2$  odpowiadają wartości  $\beta_1$  i  $\beta_2$ . Mniejszą prędkość ( $v_1 < v_2$ ), uważa się za krytyczną.



Rys.3. Przebieg zależności amplitudy "a" od prędkości v  
Fig.3. Amplitude as a function of the speed

Prędkość krytyczną można też obliczyć z równania:

$$v^4 + 2[2\xi^2 (1 - \frac{\omega_0^2 s_0}{g}) - 1] [(\frac{l_0\omega_0}{2\pi})^2 v^2] + (1 - \frac{\omega_0^2 s_0}{g}) (\frac{l_0\omega_0}{2\pi})^4 = 0$$

gdzie:

$\xi$  - współczynnik tłumienia.

Z uwagi na różnorodne charakterystyki pojazdów, związane z różnymi częstotliwościami drgań własnych i zwykle z nakładaniem się fal o zróżnicowanych częstotliwościach, ryzyko utraty kontaktu kół z nawierzchnią jest zmienne. Istotny wpływ mają występujące nierówności nawierzchni drogowej.

## 5. PODSUMOWANIE

Wskutek eksploatacji górniczej drogi kołowe, zlokalizowane w zasięgu jej wpływów, ulegają deformacjom różnego typu, w tym także zniekształcających profil podłużny. W przypadku powstania na drodze długich, łagodnych sfalowań bez lokalnych deformacji nawierzchni nie pojawiają się większe zakłócenia w ruchu drogowym wymagające redukcji prędkości poruszających się pojazdów. Lokalne zniekształcenia nawierzchni drogowej wymuszają konieczność ograniczania prędkości m.in z uwagi na bezpieczeństwo użytkowników. Jednak wprowadzenie obniżenia prędkości musi być poprzedzone analizą wyników pomiarów ruchu, z uwzględnieniem dostosowania zalecanej prędkości do charakteru i wielkości deformacji na drodze. W przypadku znacznego udziału w ruchu pojazdów ciężkich należy, przy określaniu dopuszczalnej prędkości, przeanalizować warunek związany z koniecznością zapewnienia im pełnego kontaktu kół z jezdnią.

## LITERATURA

- [1] Godlewski D.: Równość nawierzchni jako parametr jakości dróg. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Budownictwo Zeszyt 105/1989.
- [2] Kaletka A.: Prędkość ruchu pojazdów na drogach zamiejsczych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Praca Dyplomowa 1994, Politechnika Śląska.
- [3] Mitschke M.: Teoria samochodu. Dynamika samochodu, WKŁ, Warszawa 1989.
- [4] Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwem. Praca zbiorowa, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.
- [5] Chlipalski K., Strycharz B., Żak A.: Awarie dróg na terenach podlegających wpływowi podziemnej eksploatacji górniczej. Konferencja Awarie Budowlane 1995.
- [6] Żak A.: Analiza wpływu pionowych przemieszczeń podłoża górnictwem na stan naprężeń i odkształceń nawierzchni drogowej. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska 1992.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Wiesław Szumierz

**Abstract**

The author deals with the effect of mining activity-related road distortions on the speed achieved by automotive vehicles on the deformed sections of the roads. Due to the underground mining activity there arise surface area distortions causing deformations of objects situated there. They include roads which are classified as linear constructions.

Traverses show washboarding of the grade line (deformation of the longitudinal profile) or local surface distortions such as bulging, humps and faults. In the case of long mild distortions of the grade line there is no substantial effect on speed of moving vehicles. Studies were carried out on four sections of roads affected by mining activity-caused deformation, for four kinds of automotive vehicles: cars, delivery vans, trucks and trucks with trailers. Speeds achieved during tests did not show any substantial decrease due to profile distortion of the road.

A second type of deformation, related to road surface that is its local unevenness do decrease functional properties of the roads, including achievable speed. Particularly sensitive to this type of distortion are heavy vehicles, owing to the likelihood of contact loss between the wheels and the road surface. The adopted model proposes a way of determining the critical speed for this type of vehicles, forming a basis for introducing rational speed limits on roads' sections with uneven surface.