

Czasopismo

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 102

BUDOWNICTWO 18



BYDGOSZCZ - 1983

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 102

BUDOWNICTWO 18



BYDGOSZCZ - 1983

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
doc. dr hab. Juliusz Skonieczny

REDAKTORZY NAUKOWI
doc. dr hab. Witold Czarnecki
dr inż. Jan Lorkowski

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Halina Kosiolkiewicz, Alfons Grzenkiewicz

Wydano za zgodą Rektora
Akademii Techniczno-Rolniczej
w Bydgoszczy

ISSN 0208-6379

**WYDAWNICTWO UCZELNIANE AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ
W BYDGOSZCZY**

Wyd. I. Nakład 100+50 egz. Ark. wyd. 6,7. Ark. druk. 6,5. Papier powiel. kl.V, 70×100cm. Oddano do druku 17.03.83 r. Druk ukończono w kwietniu 1983 r. Zam. nr 158/83. Cena 84 zł MNSzWiT K-7
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR

SPIS TREŚCI

1. Jan Gadomski - Zastosowanie różnic strzałek dla badania krzywych poziomych	5
2. Tomasz Szczuraszek, Jan Kempa - Strefa wpływu krzywej poziomej	12
3. Tomasz Szczuraszek - Analityczny sposób określania średniej prędkości samochodu w zależności od niwelety drogi	22
4. Andrzej Jęchorek - Rozkład sił działających na poszczególne koła pojazdu swobodnie toczącego się po łuku kołowym - ujęcie statyczne w aspekcie warunku bezpieczeństwa na zarzucanie	36
5. Mieczysław Pawłowski - Parametry ruchu pieszego	51
6. Romuald Napierała - Zastosowanie wapna posodowego jako środka zwiększającego przyczepność lepiszcz bitumicznych do kruszyw	67
7. Romuald Napierała - Stabilizacja gruntów pyłami cementowymi	80
8. Romuald Napierała - Zastosowanie pyłów cementowych jako wypełniacza do mieszanek mineralno-asfaltowych	86
9. Zbigniew Ciesielski, Maciej Kordian Kumor - Ocena przydatności oznaczania iłu płoceńskiego analizą całkowitą metodą odplawiania .	95

Jan Gadomski

ZASTOSOWANIE RÓŻNIC STRZAŁEK DO BADANIA KRZYWYCH POZIOMYCH

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania różnic strzałek do określania niektórych parametrów geometrycznych krzywych poziomych. Zaproponowano również zastosowanie przedziałów ufności do wyróżniania poszczególnych elementów składowych geometrii trasy drogowej w planie.

1. Wstęp

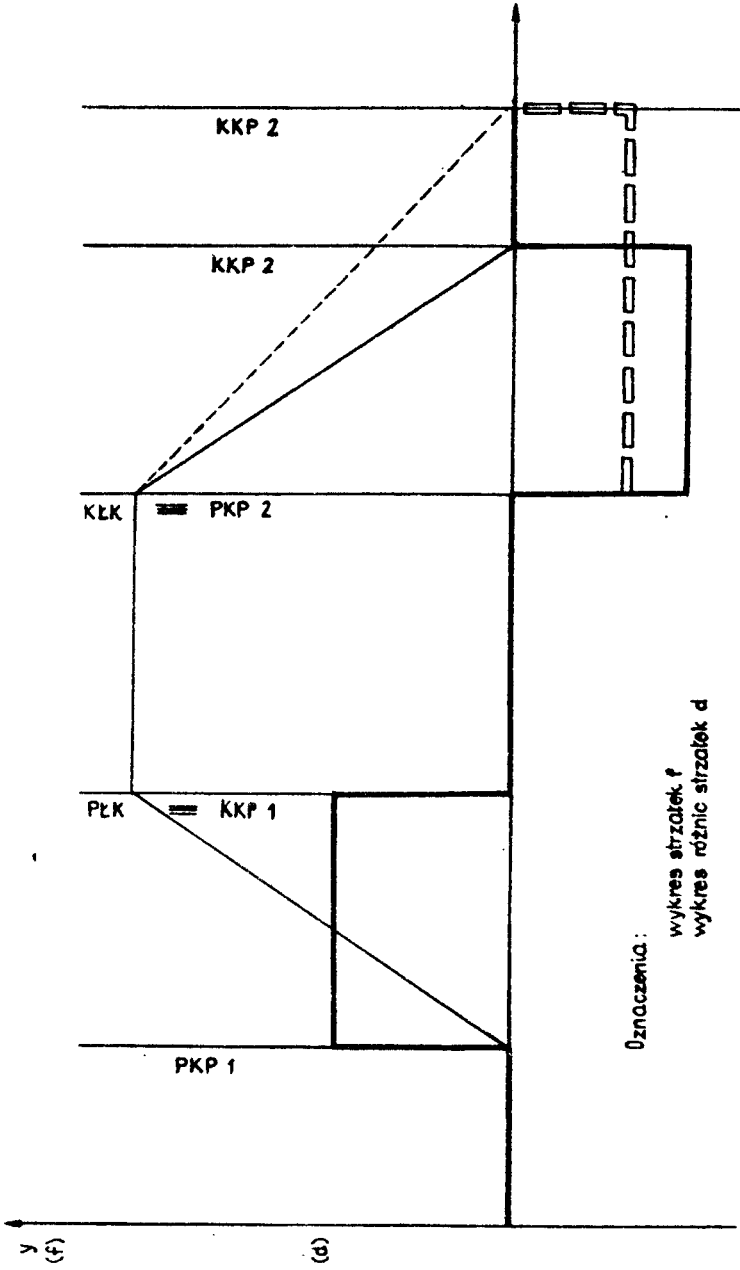
Podczas prowadzenia prac inwentaryzacyjnych tras drogowych zachodzi konieczność ustalenia parametrów geometrycznych krzywych poziomych. Najczęściej dokonuje się tego za pomocą pomiaru strzałek, które następnie opracowuje się metodą wykreslną, analityczno - graficzną lub analityczną. W przypadku opracowania metodą wykreslną sporządza się wykres strzałek, który służy do określenia rodzaju występującej krzywej oraz ustalenia parametrów charakteryzujących dany rodzaj krzywych. Na wykresie strzałek łuk kołowy powinien odwzorować się jako linia prosta pozioma, a kłotoidalna krzywa przejściowa jako prosta ukośna. Ze względu na błędy ustalenia położenia badanych punktów, dokładności wykonania drogi oraz dokładności pomiaru strzałek, rzeczywisty wykres ma przebieg linii łamanej. Proste charakteryzujące dany rodzaj krzywych, a zarazem aproksymujące wyniki pomiarów należy wykreślić tak, aby w miarę możliwości powierzchni płaskie zawarte między wykresem rzeczywistym /łamanym/ i teoretycznym kompensowały się wzajemnie, a sumy kwadratów różnic $\sum v^2$ między strzałkami rzeczywistymi a wyaproksymowanymi były minimalne $\sum v^2 = \min$.

2. Opracowanie wykresów z uwzględnieniem warunku $\sum v^2 = \min$.

Mając szereg wyników obserwacji tej samej wielkości, wartością najodpowiedniejszą tej wielkości jest średnia arytmetyczna, bowiem daje ona najmniejszą sumę kwadratów błędów $\sum v^2 = \min$. Chcąc na wykresie strzałek wykreślić najlepszą prostą poziomą określającą łuk kołowy i spełniającą warunek $\sum v^2 = \min$ należy obliczyć wartość średniej arytmetycznej strzałek w obszarze badanej krzywej. Proste ukośne, charakteryzujące krzywe przejściowe, również powinny być wykreślone tak, aby suma kwadratów odchylek v była równa minimum. Można tego dokonać graficznie drogą kolejnych prób lub dokonując złożonych operacji rachunkowych.

Wiadomo, że kolejne teoretyczne strzałki dla kłotoidalnej krzywej przejściowej stanowią postęp arytmetyczny o stałej różnicy

$$d = \frac{\Delta l^3}{2A^2}$$



Rys.1. Wykres pomierzonych strzałek i wykres różnic strzałek

lub dla innego schematu pomiaru strzałek [2]

$$d = i^2 \left(\frac{\Delta L^3}{2A^2} \right)$$

gdzie:

ΔL - długość odcinków na krzywej

A - parametr krzywej przejściowej

i - liczba odcinków ΔL od początku krzywej przejściowej od miejsca pomiaru strzałki

Natomiast różnice teoretyczne strzałek dla łuku kołowego są równe zero. Na wykresie różnic strzałek sporządzonych tak jak wykres pomierzonych strzałek, krzywe przejściowe i łuk kołowy odwzorowują się jako proste równoległe /poziome/ do osi x /rys.1/. Proste odnoszące się do łuku kołowego pokrywają się z poziomą osią x, a proste klotoidalnych krzywych przejściowych odległe są od osi x o wielkość stałej różnicy kolejnych strzałek d . Wykres różnic pomierzonych strzałek będzie z tych samych powodów co i wykres strzałek linią łamaną. Znalezienie najlepszej prostej poziomej charakteryzującej klotoidalną krzywą przejściową i spełniającej warunek $[\overline{v}] = \min$. polega również na obliczeniu średniej arytmetycznej różnic strzałek w odpowiednim zakresie krzywej. W ten sposób obliczone wartości średnie i następnie wykreślone jako najlepsze proste, pozwalają na określenie parametrów z błędami najmniejszymi z możliwych.

Posługując się wykresem różnic strzałek można wyznaczyć parametr krzywej przejściowej A . Parametr ten oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$A = \sqrt{\frac{\Delta L^3}{2d}}$$

lub

$$A = i \sqrt{\frac{\Delta L^3}{2d}}$$

Taki sposób obliczenia parametru A jest dogodniejszy niż za pomocą wykresu strzałek, ponieważ nie jest potrzebna znajomość długości krzywej przejściowej L i promienia R .

Błąd parametru można określić za pomocą wzoru:

$$m_A = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{d} \cdot m_d$$

lub

$$m_A = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{d} \cdot m_d$$

gdzie:

$$m_d = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$$

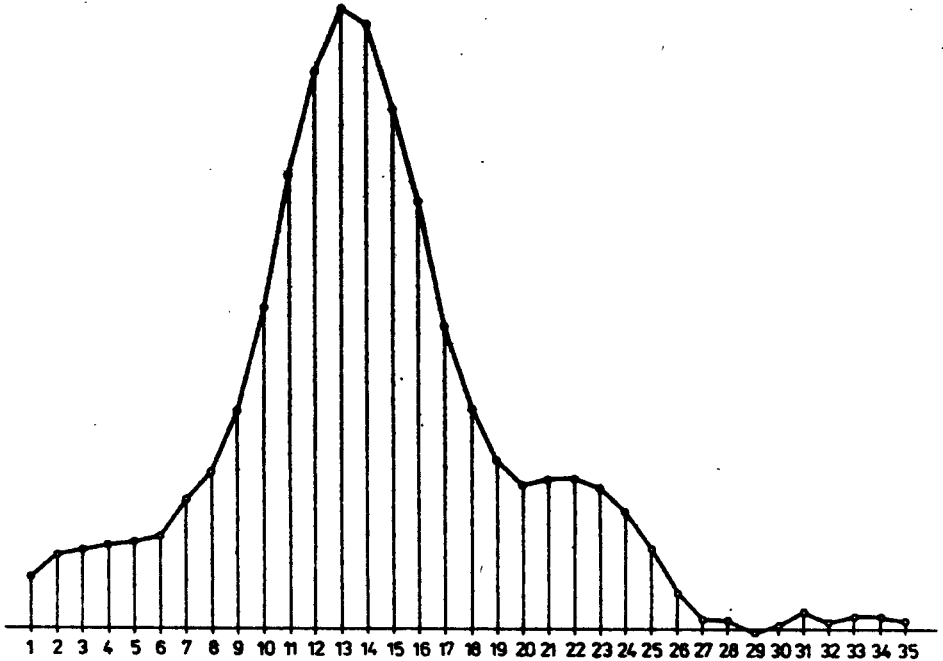
natomiast:

v - różnica między rzeczywistą różnicą strzałek d_i a wartością średnią d

n - liczba różnic strzałek w obrębie krzywej przejściowej

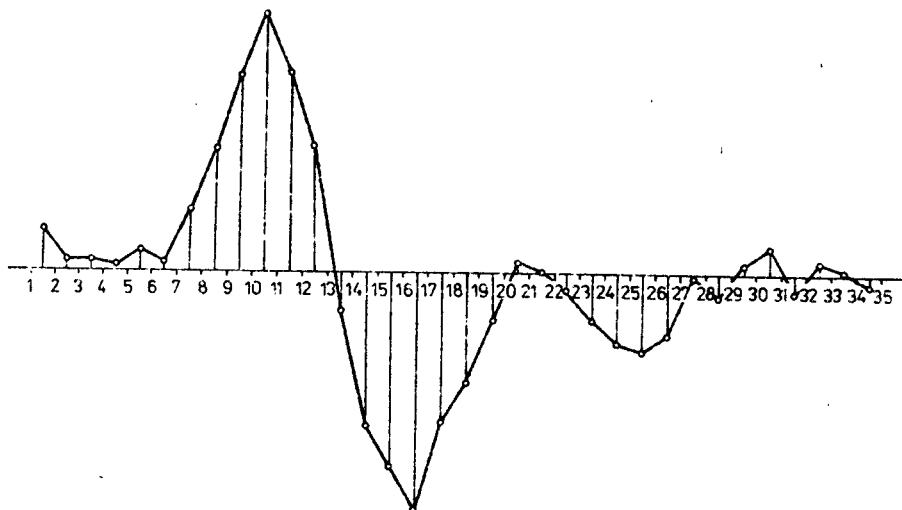
3. Badanie typu krzywych

Do wyokrąglenia założeń trasy drogowej stosuje się z reguły luki kołowe i klotoidy jako krzywe przejściowe. Krzywe te najczęściej występują ze sobą w różnych połączeniach. Wykres różnic strzałek pozwala na wykrycie typu zrealizowanej w terenie odpowiedniej krzywej. Jako przykład przedstawiono wykres strzałek pomierzonych na drodze Z 21 Świebodzin - Skąpe km 4 + 300 /rys.2/. Z wykresu tego wynika, że prawdopodobnie zostały zrealizowa-



Rys.2. Wykres pomierzonych strzałek /skala 1:20/

ne klotoidalne krzywe przejściowe, bowiem strzałki warstają i następnie maleją. Po sporządzeniu wykresu różnic strzałek nie widać potwierdzenia powyższych przypuszczeń, ponieważ różnice sąsiednich strzałek nie układają się wzdłuż linii prostych poziomych równoległych do osi x /rys.3/. Na wykresie różnic strzałek systematycznie rosną i w drugiej części krzywej maleją. Świadczy to o tym, że nie zostały zrealizowane krzywe przejściowe jak było założone, lecz inne bliżej nieokreślone.

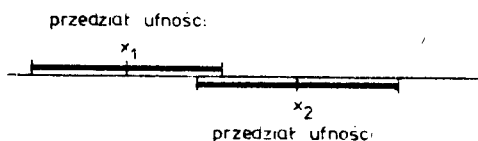
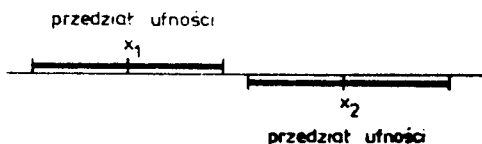


Rys.3. Wykres różnic strzałek /skala 1:10/

4. Badanie występowania krzywych za pomocą przedziałów ufności

W przypadku występowania błędów określenia strzałek występuje zagadnienie poprawnej interpretacji sporządzonego wykresu strzałek. Problem pojawia się z chwilą ustalenia zakresu występowania łuku kołowego, czy też zakresu krzywych przejściowych. Nasuwa się również pytanie, czy mając pomiarzone strzałki z błędami można zaliczyć badany odcinek jeszcze do prostej, czy już do krzywej przejściowej lub też zaliczyć odcinek krzywej do łuku kołowego albo odwrotnie. Do takich badań nadaje się wykres różnic strzałek i tzw. wykres przedziałów ufności.

Badanie to polega na sprawdzeniu zgodności dwóch wyników i stwierdzeniu czy należą one do tej samej wielkości fizycznej czy też nie /rys. 4 i 5/.

Rys.4. Ilustracja zgodności wyników x_1 i x_2 /należą do tej samej wielkości fizycznej/Rys.5. Ilustracja braku zgodności wyników x_1 i x_2 /należą do różnych wielkości fizycznych/

Przy badaniu krzywych poziomych najczęściej mamy do czynienia z próbą o dużej objętości, a ponadto mamy możliwość skorygowania wyznaczonego błędu $m_{\bar{d}}$ posługując się wcześniejszymi ocenami górnych granic błędów, np. posługując się ustaleniami dokładności określenia osi drogi, która ma istotny wpływ na rozrzut wyników [1]. Biorąc to pod uwagę oraz założenie o normalności rozkładu populacji generalnej, można zastosować do oszacowania granic tzw. klasyczny przedział ufności

$$P(\bar{d} - t_{\alpha} \cdot m_{\bar{d}} \leq d \leq \bar{d} + t_{\alpha} \cdot m_{\bar{d}}) = 1 - \alpha$$

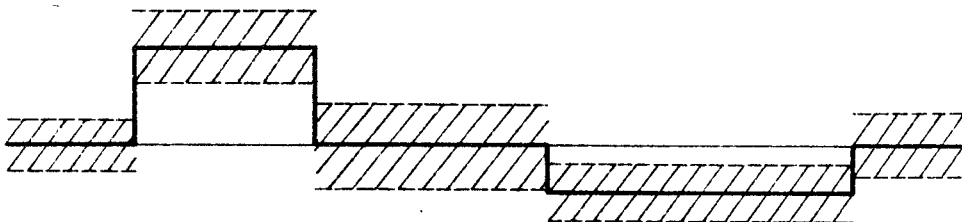
gdzie:

- d - wartość prawdziwa
- \bar{d} - wartość średnia
- $m_{\bar{d}}$ - średni błąd wartości średniej
- t_{α} - granica średniego błędu dla poziomu ufności
- α - poziom ufności

W praktyce drogowej najczęściej przeprowadza się badania dla poziomu ufności $\alpha = 0,95$. W związku z tym, mamy do czynienia ze standardowym przedziałem ufności o następującej postaci:

$$P(\bar{d} - 1,96 m_{\bar{d}} \leq d \leq \bar{d} + 1,96 m_{\bar{d}}) = 0,95$$

Po naniesieniu granic przedziałów ufności na wykres różnic strzałek i wykreśleniu linii równoległych otrzymamy przedziały ufności, które zawierają poszukiwaną wielkość d . Jeżeli sąsiednie przedziały ufności nie pokrywają się /rys.6/, to można stwierdzić z prawdopodobieństwem α , że występu-



Rys.6. Wykres przedziałów ufności dla różnic strzałek $|d|$

ją różne składowe krzywej poziomej. W przypadku, kiedy pokrywają się to z takim samym prawdopodobieństwem α można zaliczyć badany obszar do jednego z sąsiednich elementów krzywej, bowiem różnice sąsiednich wartości średnich \bar{d} okazały się nieistotne. Po stwierdzeniu występowania kłopotliwych krzywych przejściowych możemy przystąpić do wyznaczania interesujących parametrów. Parametry wyznaczone w każdym innym przypadku są problematyczne.

5. Podsumowanie

Do opracowania pomierzonych w terenie strzałek nadaje się wykres różnic strzałek z następujących powodów:

- można ustalić rodzaj krzywej /łuk kołowy, krzywa przejściowa/,
- w prosty sposób zapewnić spełnienie warunku $[vv] = \min.$ dla klotoidalnej krzywej przejściowej,
- za pomocą przedziałów ufności stwierdzić z odpowiednim prawdopodobieństwem występowanie krzywej przejściowej,
- określić parametr A bez znajomości długości L i promienia R,
- bezpośrednio w terenie obliczyć parametr A, bez sporządzania wykresu, poprzez obliczenie wartości średniej różnic w danym zakresie krzywej,
- wyznaczyć parametr A mierząc tylko pewien odcinek krzywej przejściowej.

Literatura

- [1] Gadomski J., Kempa J., Szczuraszek T.: Dokładność określenia osi drogi. /złożony do druku w Zeszytach Naukowych ATR/.
- [2] Gadomski J., Kempa J., Szczuraszek T.: Określenie parametrów geometrii cznych krzywych za pomocą wykresów strzałek pomierzonych w stosunku do długich cięciw. /złożony do Drogownictwa/.
- [3] Ney B.: Metody statystyczne w geodezji. AGH, Kraków 1976.
- [4] Praca zbiorowa - Geodezja inżynierska. T. I. PPWK, Warszawa 1979.

APPLICATION OF ARROW DIFFERENCES TO TESTING HORIZONTAL CURVES

Summary

Application of arrow differences to state some geometrical parameters of the horizontal curves has been studied. Application of confidence intervals to distinguish particular components of highway geometry in the horizontal plan is also proposed.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНОСТИ СТРЕЛОК В ИССЛЕДОВАНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Резюме

В работе приведены возможности применения разности стрелок для определения некоторых геометрических параметров горизонтальных кривых. Предложена возможность применения доверительных интервалов для определения отдельных составляющих элементов автомобильных дорог в плане.

Tomasz Szczuraszek
Jan Kempa

STREFA WPŁYWU KRZYWEJ POZIOMEJ

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących określenia długości odcinków przyległych do krzywych poziomych, na których następuje zmiana prędkości pojazdu wywołana geometrią krzywych. Rozważania ograniczono do analizy tego odcinka, zwanego przez autorów strefą wpływu, na dwupasmowych drogach dwukierunkowych o szerokości jezdni 6,0 m. Uzyskane wyniki długości stref wpływu można wykorzystać do ustalenia minimalnych długości prostych między kolejnymi krzywymi w planie, minimalnych długości pasów wyłączenia oraz ustaleń położenia przekroju drogi przy badaniach ruchu na odcinkach prostych.

1. Wstęp

Jednym z ważniejszych problemów inżynierii ruchu jest sposób reagowania przez kierowców na zmianę warunków ruchu. Wiąże się to bowiem z poziomem bezpieczeństwa i płynności jazdy, a tym samym w znaczny sposób może wpływać na zasady projektowania dróg. Niewątpliwie najczęstszą przyczyną zmiany warunków ruchu, na jakie napotyka kierowca jest zmiana geometrycznego przebiegu drogi. Typowym przykładem może być ruch z prostej na krzywą poziomą, gdzie pojazdy redukują swoją prędkość dostosowując ją do warunków geometrii krzywej. Przykład ten jest też z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu szczególnie ważnym, ponieważ właśnie przy takim zestawie elementów trasy, przy odpowiednim ich doborze, możemy mieć do czynienia z największymi spadkami prędkości pojazdów.

Autorzy w niniejszym artykule postawili za cel określenie długości odcinków przyległych do krzywej poziomej, na których następuje zmiana prędkości pojazdu wywołana geometrią krzywej. Rozważania ograniczono do analizy tego odcinka, zwanego dalej przez autorów strefą wpływu, na dwupasmowych drogach dwukierunkowych o szerokości jezdni 6,0 m.

2. Opis przeprowadzonych badań

Badania służące rozwiązaniu postawionego we wstępie problemu przeprowadzone zostały w miesiącu lipcu i wrześniu 1980 roku przez Koło Naukowe Inżynierii Ruchu ATR pod kierunkiem autorów artykułu, na drogach województwa bydgoskiego, koszalińskiego i słupskiego.

Wybrany teren badawczy odpowiadał następującym założeniom:

- droga dwupasmowa, dwukierunkowa,
- szerokość jezdni 6,0 m,
- nawierzchnia bitumiczna,
- odległość przeszkód bocznych równa minimum 1,80 m,

- jezdnia sucha,
- odległość widoczności większa od 450 m,
- brak ograniczeń prędkości, teren nie zabudowany,
- profil podłużny o pochyleniu maksimum do $\pm 2\%$,
- prosta poprzedzająca krzywą o długości minimum około 800 m,
- pobocza nieumocnione,
- krzywe poziome stanowiły łuki kołowe z symetrycznymi krzywymi przejściowymi o parametrze klotoidy zbliżonym do wartości $0,5 R / \text{naj}$ - częściej spotykane w praktyce drogowej [1],
- pochylenie poprzeczne jezdni na łuku zgodne z ustaleniami [2].

Badania polegały na określeniu profilu prędkości pojazdów osobowych i ciężarowych na długości 350 m przed krzywą poziomą oraz około 100 m na samej krzywej. Profil ten wyznaczono poprzez pomiar prędkości chwilowych w odstępach co 25 m. Prędkości chwilowe natomiast mierzono za pomocą stoperów o dokładności odczytu 0,1 s. na bazie o długości 50 m. Schemat rozmieszczenia stanowisk oraz baz pomiarowych przedstawiono na rys.1.

Badaniami w sumie objęto strefy wpływu ośmiu krzywych, które charakteryzowały się /tabela 1/:

- wartością promieni - od 105 - 350 m,
- wartością kątów zwrotu - około 40° i 70° .

Tabela 1

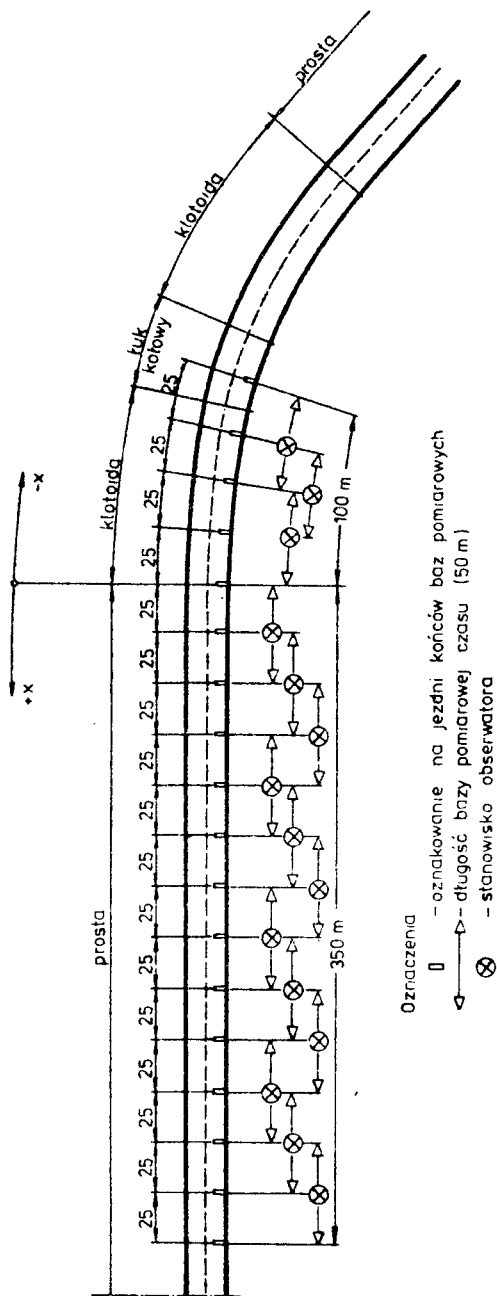
Parametry geometryczne badanych krzywych

Lp.	Promień m	Kąt zwrotu stopnie
1	2	3
1	105	38,08
2	280	71,25
3	180	36,33
4	260	43,25
5	250	36,50
6	100	75,00
7	200	71,05
8	350	71,25

Ponadto przy analizie stref wpływu wykorzystano niektóre wyniki badań prędkości podróży na samych krzywych, zawarte w pracy [1].

3. Analiza wyników badań

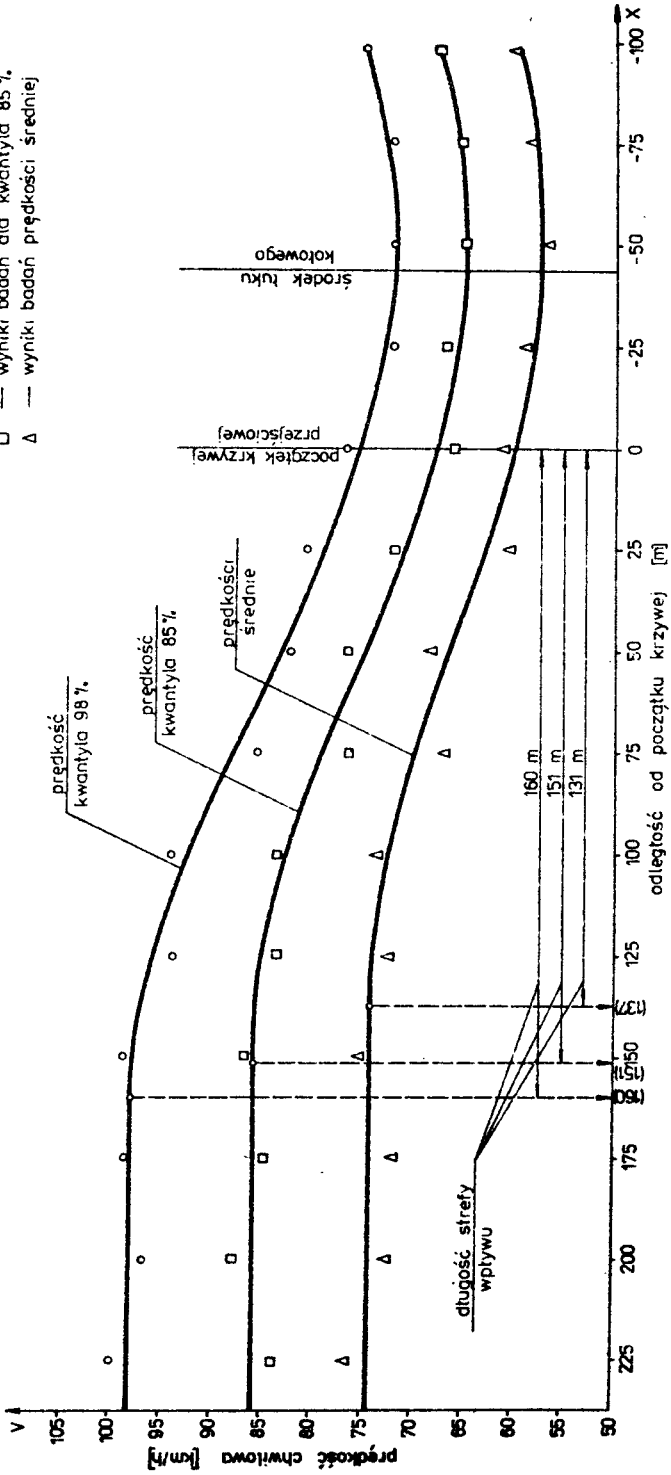
Otrzymane na podstawie badań profile prędkości umożliwiły określenie odcinków przed krzywymi poziomymi, na których kierowcy obniżają prędkość swoich pojazdów w wyniku zmiany warunków geometrycznych drogi. Długości tych odcinków wyznaczające analizowane strefy wpływu, określono dla wszystkich badanych krzywych, dla dwóch rodzajów pojazdów, to jest osobowych i ciężarowych, oraz trzech poziomów prędkości, to jest kwantyla 98%, 85% i wartości średniej. Dla zilustrowania tej części analizy wyników badań, na



Rys.1. Schemat rozmieszczenia stanowisk oraz baz pomiarowych

Oznaczenia

- — wyniki badań dla kwantyla 98 %
- — wyniki badań dla kwantyla 85 %
- △ — wyniki badań prędkości średniej



Rys.2. Profil prędkości pojazdów osobowych dla krzywej 0 R=105 m i $OC = 38.08^\circ$

rys.2 przedstawiono przykładowo wybrane profile prędkości oraz wyznaczone na ich podstawie strefy wpływu jakie uzyskano dla pojazdów osobowych dla jednej z badanych krzywych.

W konsekwencji opracowania profili prędkości sporządzono na rys.3/dla pojazdów osobowych/ i 4 /dla pojazdów ciężarowych/ zależności długości strefy wpływu od promienia krzywej dla dwóch kątów zwrotu: 40° i 70° . Przy określaniu tych zależności wykorzystano również niektóre wyniki badań prędkości podróży na krzywej zawarte w pracy [1]. Założono mianowicie, że zanik różnicy prędkości podróży między prostą a krzywą jest jednoznaczny z zanikiem odcinka strefy wpływu. Stąd można było wyznaczyć na podstawie wspomnianej pracy krzywe o najmniejszej wartości promienia w danej grupie kątów zwrotu, dla których strefa wpływu jest równa zero.

Ponadto, ponieważ badany poligon nie obejmował krzywych o promieniu 50 m, zależności przedstawione na rys. 3 i 4 ekstrapolowano do wartości tego promienia. Bezpośrednie badania bowiem strefy wpływu przed taką krzywą są kłopotliwe ze względu na trudności w znalezieniu odpowiednio długiej prostej. Natomiast fakt, że krzywe o takiej wartości promienia są jeszcze spotykane w naszym kraju, i to nawet na drogach o wyższych klasach technicznych, nasuwał konieczność chociaż szacunkowego określenia długości strefy wpływu. Krzywe takie ze względu na bezpieczeństwo ruchu wymagają dość znacznego obniżenia prędkości pojazdu w stosunku do odcinka prostego. Stąd znajomość szczególnie ich stref wpływu może być cenną wskazówką w pewnych rozwiązaniach praktycznych.

Analizując powyżej opisane zależności, można stwierdzić, że wraz ze zmniejszeniem promienia oraz zwiększeniem kąta zwrotu rośnie długość strefy wpływu. Zanika ona dla promieni większych od około 450 m.

Dla najbardziej niekorzystnego z rozpatrywanych układów geometrycznych krzywej, to jest o promieniu $R = 50$ m i kącie zwrotu $\alpha = 70^{\circ}$ długości stref wpływu dochodzą do wartości:

a/ dla pojazdów osobowych:

- 255 m - przy prędkości kwantyla 98%,
- 240 m - przy prędkości kwantyla 85%,
- 225 m - przy prędkości średniej,

b/ dla pojazdów ciężarowych:

- 220 m - przy prędkości kwantyla 98%,
- 210 m - przy prędkości kwantyla 85%,
- 200 m - przy prędkości średniej.

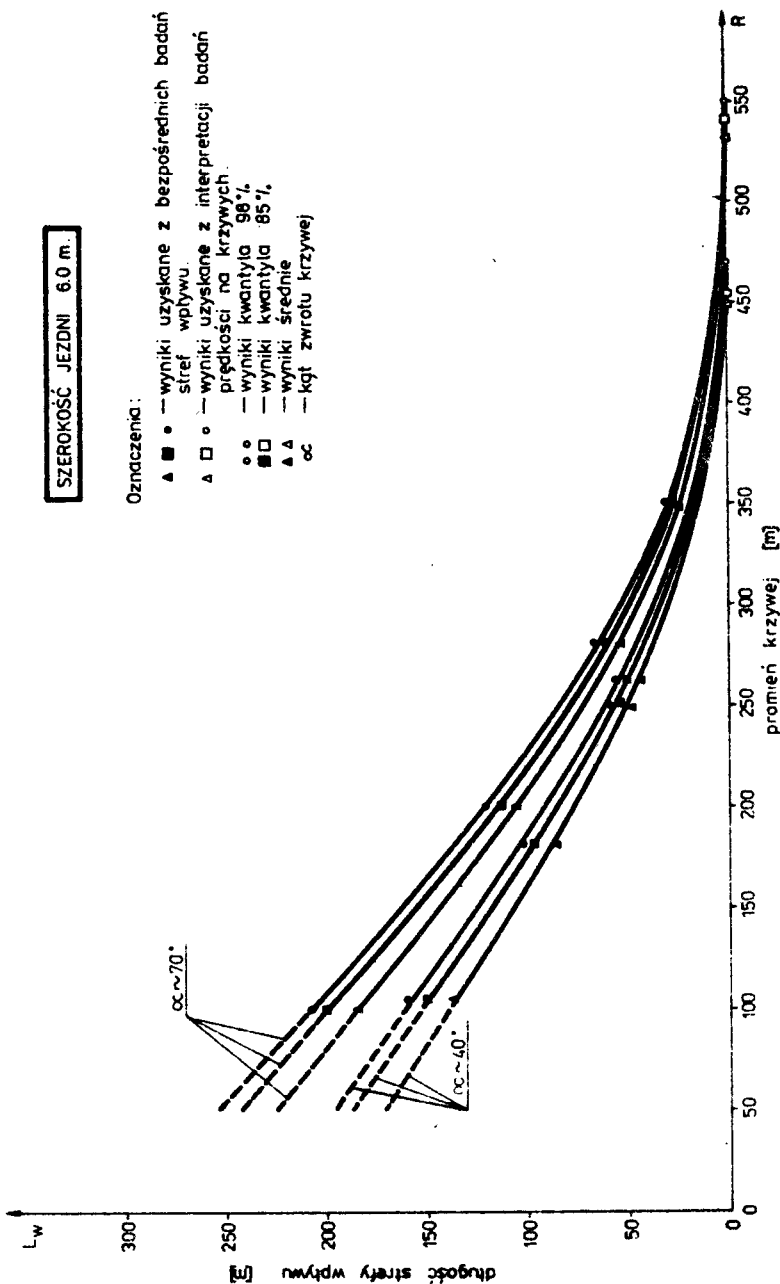
Jak wynika z powyższego zestawienia wyników oraz z porównania rys. 3 i 4 pojazdy osobowe korzystają przed tymi samymi krzywymi z większych stref wpływu niż pojazdy ciężarowe. Przyczyną tego jest niewątpliwie fakt, że pojazdy osobowe muszą między prostą a krzywą wytracić większą różnicę prędkości niż wolniej jadące pojazdy ciężarowe [1]. Stąd przy zachowaniu tego samego poziomu wygody ruchu poprzez zachowanie takiego samego opóźnienia, pojazdy te wymagają na to obniżenia prędkości dłuższych odcinków drogi.

Na podstawie wyznaczonych stref wpływu, jak również profili prędkości sporządzono na rys. 5 dodatkową zależność dla pojazdów osobowych.

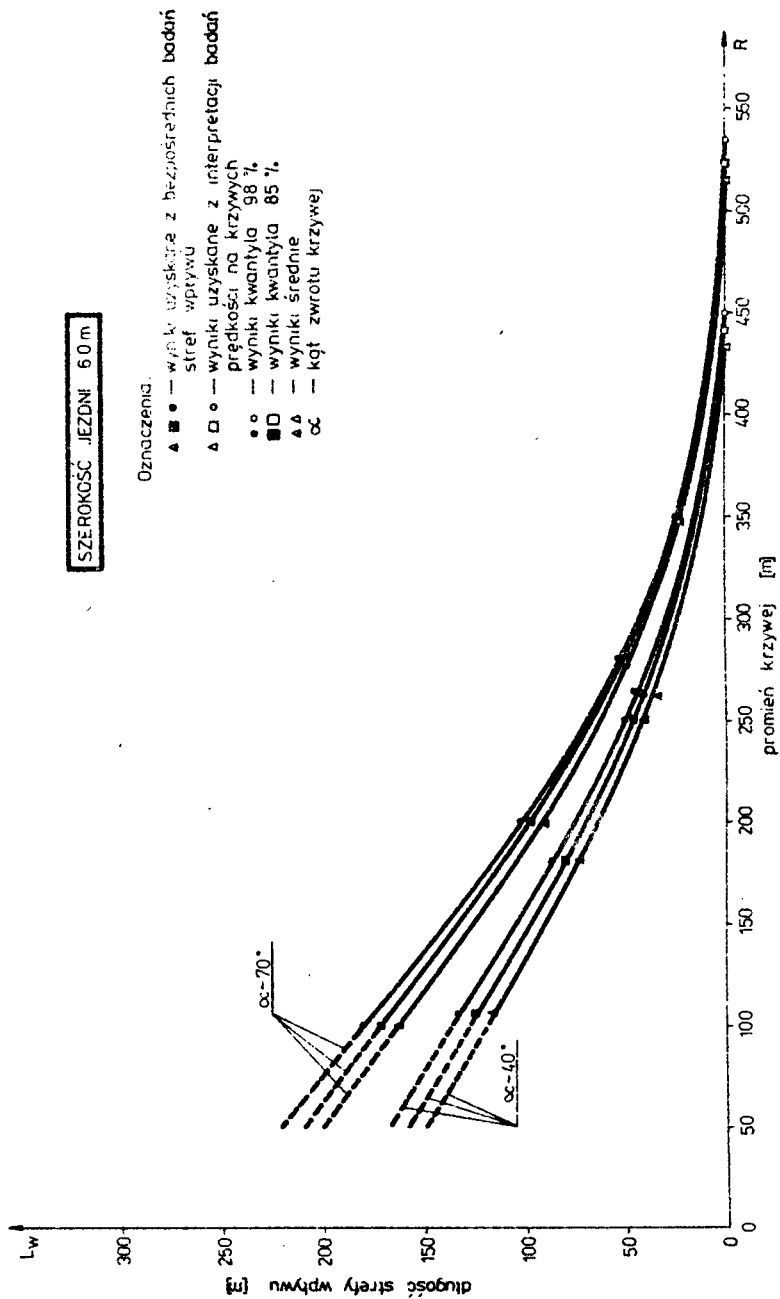
SZEROKOŚĆ JEZDNI 6.0 m.

Oznaczenia:

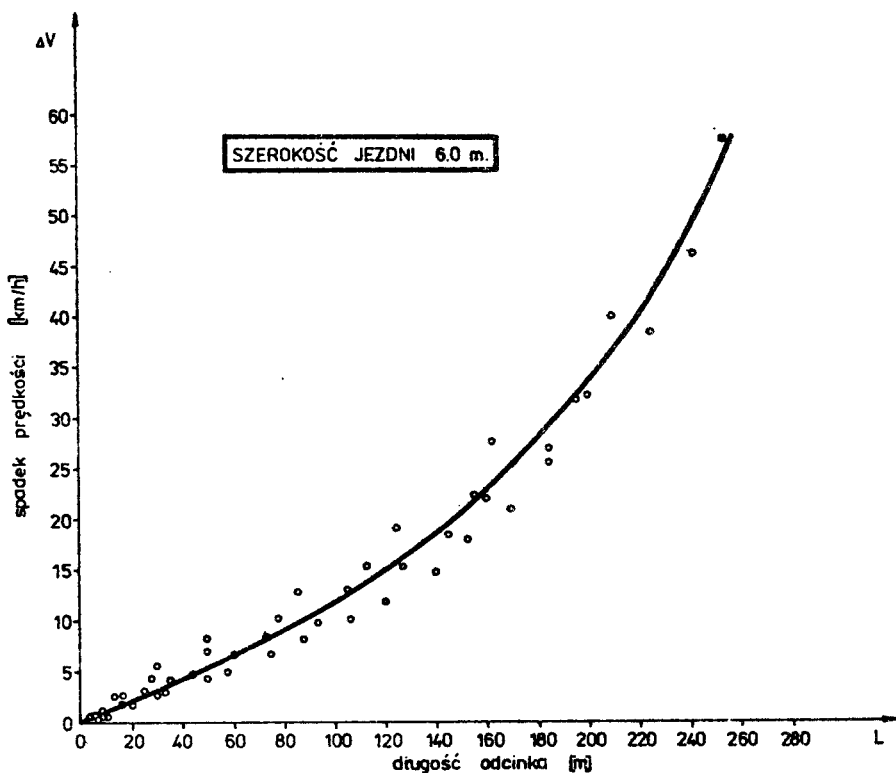
- ▲ ■ ● — wyniki uzyskane z bezpośrednich badań
- ▲ □ ○ — wyniki uzyskane z interpretacji badań
- ○ — wyniki kwantyla 98%,
- □ — wyniki kwantyla 85%,
- ▲ ▲ — wyniki średnie
- oc — kąt zwrotu krzywej



Rys. 3. Zależność długości strefy wpływu pojazdów osobowych do promienia krzywej



Rys.4. Zależność długości strefy wpływu pojazdów ciężarowych do promienia krzywej



Rys.5. Wykorzystywanie przez pojazdy osobowe długości odcinków do zredukowania prędkości ΔV

Przedstawia ona długość odcinków, które wykorzystują kierowcy tych pojazdów przy zredukowaniu danej różnicy prędkości. Przy analizie tak opracowanych wyników nie stwierdzono istotnych różnic w długościach tych odcinków dla poszczególnych kwantyli prędkości, jak i geometrii krzywych. Sugeruje to, że długość tego odcinka zależy głównie od różnicy prędkości jaką pojazd musi wytracić. Ponadto zauważono, że dla pojazdów ciężarowych długości tych odcinków były nieznacznie mniejsze, co z kolei sugeruje, że kierowcy obu analizowanych rodzajów pojazdów korzystają przy zmianie prędkości ruchu z podobnych opóźnień.

Znajomość powyższej zależności może być podstawą niektórych rozwiązań praktycznych związanych z projektowaniem geometrycznym drogi. I tak na przykład może ona służyć do określenia minimalnych, niezbędnych wstawek między sąsiednimi krzywymi poziomymi w celu zapewnienia płynności ruchu. Ponadto na jej podstawie, jak również wyników badań prędkości podróży na krzywych i odcinkach prostych zawartych w pracy [1] można określić wartości opóźnień, z jakich korzystają kierowcy przy zmianie warunków ruchu. Wielkości te z kolei mogą być przydatne przy analizie minimalnych długości pasów wyłączeniowych na skrzyżowaniach dróg.

Zależności przedstawione na rys. 3 i 4 mogą być bezpośrednio przydatne dla określenia położenia przekroju do badań ruchu na odcinku prostym, który zapewniłby uniknięcie wpływu na wyniki pomiaru innych elementów planu drogi.

W dalszych swoich pracach autorzy przedstawiają pełne rozwiązania proponowanych ustaleń dotyczących projektowania dróg.

4. Wnioski

1. Długość strefy wpływu rośnie wraz ze zmniejszeniem wartości promienia i zwiększeniem kąta zwrotu krzywej.
2. Strefa wpływu zanika dla krzywych o promieniach około 450 m.
3. Największe wartości stref wpływu są dla pojazdów osobowych i dochodzą do wartości aż 255 m.
4. Wyniki długości stref wpływu można wykorzystać do ustalenia minimalnych długości prostych między kolejnymi krzywymi w planie, minimalnych długości pasów wyłączenia oraz do ustaleń położenia przekroju drogi przy badaniach ruchu na odcinkach prostych.

Literatura

- [1] Kempa J., Szczuraszek T.: Badania warunków ruchu na krzywych poziomych. Cz.2. Bydgoszcz 1981. Praca niepublikowana
- [2] Komentarz do Normatywu Technicznego Projektowania Dróg Samochodowych klasy III, IV i V. NTP - DT - 22. Warszawa 1974
- [3] Praca zbiorowa - Drogowe warunki ruchu samochodów. WKŁ, Warszawa 1969

EFFECT OF HORIZONTAL CURVE

Summary

Findings presented in the paper concern the designation of section lengths adjacent to horizontal curves where a change of car speed is caused by curve geometry. Sections in two-lane two-way roads 6 meters wide have been analysed. These sections are called "an influence zone" by the authors. The obtained results can be used to determine minimum lengths of straight lines between succeeding curves on the location plan, minimum lengths of exit lanes and road section positions in traffic studies on straight stretches.

ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ

Резюме

В статье представлены результаты исследований касающиеся определения длины участков смежных к горизонтальным кривым, на которых выступает изменение скоростей, вызванное геометрией кривых. Рассуждения ограничиваются анализом этого участка, который авторы называют зоной влияния на двухполосной двухнаправленной дороге; ширина проезжей части 6,0 м. Полученные результаты длины зон влияния можно использовать для определения минимальной длины прямых между очередными кривыми в плане, минимальной длины полос выключения, а также для определения положения профиля дороги при исследовании движения на прямых участках.

Tomasz Szczuraszek

ANALITYCZNY SPOSÓB OKREŚLANIA ŚREDNIEJ PRĘDKOŚCI SAMOCHODU
W ZALEŻNOSCI OD NIWELETY DROGI

W pracy przedstawiono analityczny sposób określenia prędkości samochodu osobowego i ciężarowego w zależności od profilu drogi. Sposób ten umożliwia oszacowanie rozkładu prędkości odpowiadającego przeciętnym warunkom rzeczywistym, obserwowanym na dwupasowych drogach dwukierunkowych w kraju.

Zamieszczone w artykule tabele współczynników równania ruchu pozwalają na stosunkowo proste i szybkie dokonywanie obliczeń.

1. Prędkość samochodu a teoria ruchu

Zakres pracy samochodu poruszającego się po odcinku prostym w planie możemy podzielić na cztery strefy (rys.1). Pierwsza strefa, charakterystyczna dla ruchu samochodu na wzniesieniach, oraz na małym spadku, obejmuje wykorzystanie dodatniego poboru mocy od silnika. Druga, charakterystyczna dla średnich spadków drogi, to ruch przy zerowym poborze mocy, przy wyłączonej skrzyni biegów. Do trzeciej strefy natomiast zaliczamy ruch samochodu na dużym spadku w czasie hamowania silnikiem, to znaczy gdy silnik pobiera moc od kół. I wreszcie do czwartej zaliczamy ruch na bardzo dużych spadkach, gdy hamowanie silnikiem nie wystarcza i zachodzi konieczność użycia hamulców.

1.1. Ruch samochodu przy dodatnim poborze mocy silnika

Na prostym odcinku drogi w planie, równanie ruchu samochodu przy wykorzystaniu siły napędowej na kołach napędzających można przedstawić w następującej ogólnej postaci [1]:

$$P_k = P_b + P_w + P_f + P_p \quad (1)$$

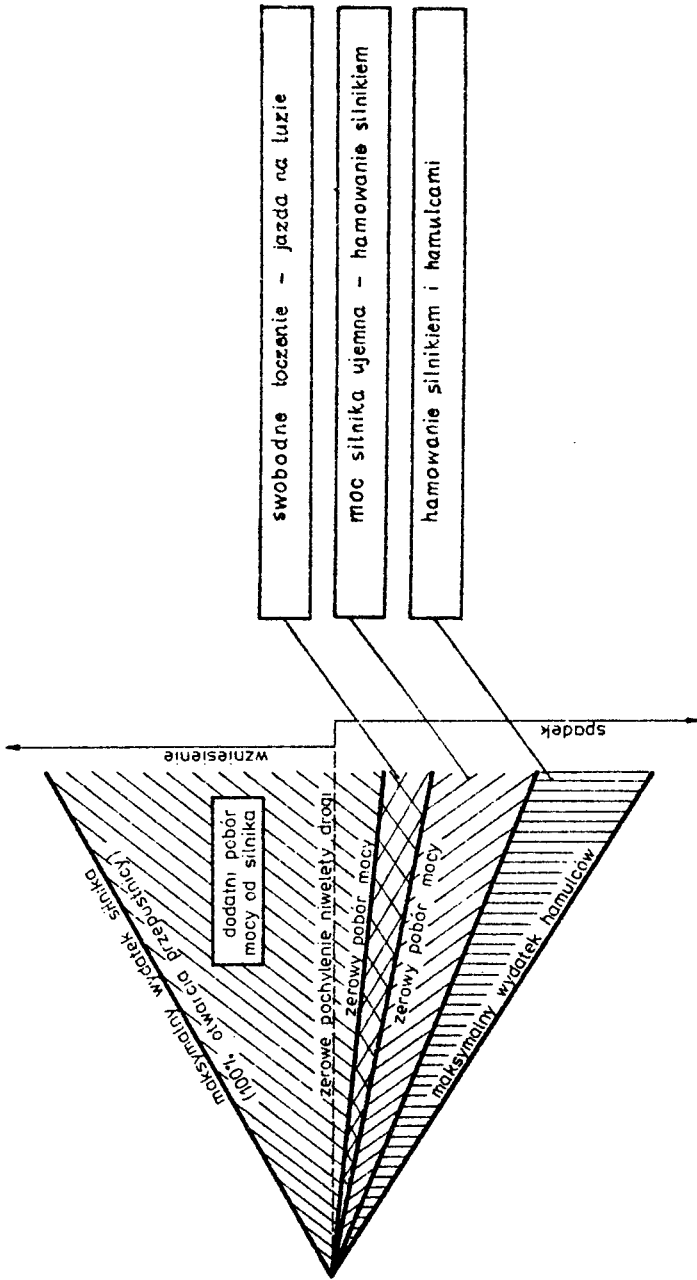
gdzie:

P_k - siła napędowa na kołach napędowych w [N]:

$$P_k = \frac{735,4 \cdot N_s \cdot i_{st} \cdot i_{bi}}{n_s \cdot r_t} \cdot \eta_m \quad (2)$$

P_b - siła oporu bezwładności w [N]:

$$P_b = \frac{G_i}{g} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} \cdot v \cdot G \quad (3)$$



Rys.1. Schemat zakresu pracy silnika

P_w - siła oporu wzniesienia w [N] /w przypadku spadku siła ta przyjmuje znak ujemny/:

$$P_w = \pm i_1 \cdot G \quad (4)$$

P_f - siła oporu toczenia w [N]:

$$P_f = f_x \cdot G \quad (5)$$

P_p - siła oporu powietrza w [N]:

$$P_p = 0,638 \cdot C \cdot F \cdot v^2 \quad (6)$$

$$\left(0,638 = \frac{\rho}{2} , \quad - \text{gęstość powietrza w } \left[\frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^4} \right] \right)$$

N_s - moc użyteczna silnika [kW]

n_s - prędkość obrotowa silnika, [rad/s]

i_{st} - stałe przełożenie obrotów

i_{bi} - wybieralne przełożenie skrzyni biegów

r_t - promień toczny koła, [m]

η_m - sprawność mechanizmów napędowych

G_i - współczynnik mas wirujących

g - przyspieszenie ziemskie, [m/s²]

x - wartość odciętej w układzie współrzędnych x, v [m] /odległość położenia od punktu początkowego/

v - prędkość pojazdu, [m/s]

G - ciężar samochodu brutto, [N]

i_1 - pochylenie drogi w wartości bezwzględnej

f_x - współczynnik oporu toczenia

$$f_x = f_0 / 1 + A_1 \cdot v^2 / \quad (7)$$

f_0 - współczynnik podstawowego oporu toczenia

A_1 - współczynnik dodatkowego oporu toczenia

$$A_1 = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ dla nawierzchni bitumicznych [1]}$$

V - prędkość pojazdu, km/h

C - współczynnik kształtu nadwozia

F - powierzchnia czołowa samochodu, [m²]

Jeżeli podstawimy zależności (3), (4), (5) do wzoru (1) otrzymamy:

$$D_x = f_x \pm i_1 + \frac{C F}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \cdot v \quad (8)$$

gdzie:

D_x - wartość wskaźnika dynamicznego w punkcie x drogi:

$$D_x = \frac{P_k - P_p}{G} \quad (9)$$

Ponieważ na podstawie pracy [2] przy 100% otwarciu przepustnicy mamy:

$$N_s = \beta_1 \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot n_s - \beta_2 \left(\frac{60}{2\pi}\right)^3 \cdot n_s^3 \quad (10)$$

gdzie:

β_1, β_2 - współczynniki stałe, otrzymane drogą matematycznej obróbki zewnętrznej charakterystyki silnika przy pełnym /100%/ otwarciu przepustnicy,

stąd dla dowolnego otwarcia przepustnicy można założyć, że:

$$N_s = \beta_1 \cdot \mu_1 \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot n_s - \beta_2 \cdot \mu_2 \left(\frac{60}{2\pi}\right)^3 \cdot n_s^3 \quad (11)$$

gdzie:

μ_1, μ_2 - współczynniki uwzględniające wpływ stopnia otwarcia przepustnicy na moc użyteczną silnika

Podstawiając zamiast n_s [1]:

$$n_s = \frac{i_{st} \cdot i_{bi}}{r_t} \cdot v \quad (12)$$

otrzymamy na podstawie wzoru (9) po podstawieniach (2), (6), i (11):

$$D_x = \frac{1}{G} \left\{ \frac{7025,9 \cdot i_{st} \cdot i_{bi}}{r_t} \cdot \eta_m \cdot \beta_1 \cdot \mu_1 + \left[\frac{641340 \cdot i_{st}^3 \cdot i_{bi}^3}{r_t^3} \cdot \eta_m \cdot \beta_2 \cdot \mu_2 + 0,638 \cdot C \cdot F \right] \cdot v^2 \right\} \quad (13)$$

Przyrównanie stronami wzorów (8) i (13) da nam ostateczne równanie ruchu samochodu, które w postaci ogólnej można zapisać:

$$\frac{\partial v}{\partial x} \cdot v = av^2 + c \quad (14)$$

gdzie:

a, c - współczynniki równania:

$$a = \frac{g}{61 \cdot G} \left(\frac{641340 \cdot i_{st}^3 \cdot i_{bi}^3}{r_t^3} \cdot \eta_m \cdot \beta_2 \cdot \mu_2 + \right.$$

* Jednostki poszczególnych członów tego wzoru są niezgodne, co wynika z empirycznego charakteru jego wyprowadzenia [2].

$$+ 0,638 \cdot C \cdot F + f_0 \cdot A_1 \cdot 12,96 \cdot G) \quad (15)$$

$$c = \frac{g}{61} \left(\frac{7025,9 \cdot i_{st} \cdot i_{b1}}{r_t \cdot G} \cdot \eta_m \cdot \beta_1 \cdot \mu_1 + \right. \\ \left. - f_0 \mp i_1 \right) \quad (16)$$

- znak dodatni przed i_1 występuje w przypadku ruchu na spadku drogi.

Po rozwiązaniu równania różniczkowego (14) uzyskamy następujące zależności na:

- prędkość chwilową samochodu:

$$v_x = \sqrt{(v_0^2 + \frac{c}{a}) \cdot e^{2ax} - \frac{c}{a}} \quad (17)$$

- czas jazdy od punktu początkowego:

$$t_x = \frac{1}{\sqrt{-4ac}} \ln \left(\frac{2ac - \sqrt{-4ac}}{2ac + \sqrt{-4ac}} \right) \cdot \frac{2av_0 + \sqrt{-4ac}}{2av_0 - \sqrt{-4ac}} \quad (18)$$

- długość przebytej drogi od punktu początkowego

$$x = \frac{1}{2a} \ln \left(\frac{av^2 + c}{av_0^2 + c} \right) \quad (19)$$

gdzie:

v_0 - prędkość początkowa samochodu w punkcie $x = 0$, [m/s]

1.2. Inne przypadki ruchu samochodu

Na odcinku spadku oprócz przypadku ruchu samochodu z wykorzystaniem siły napędowej na kołach* napędzających można wyróżnić:

- ruch siłą bezwładności - swobodne toczenie:

$$P_w - P_f - P_p - P_r - P_b = 0 \quad (20)$$

- ruch przy hamowaniu samochodu silnikiem:

$$P_w - P_f - P_p - P_{n1} - P_b = 0 \quad (21)$$

- ruch przy hamowaniu samochodu silnikiem i hamulcem:

$$P_w - P_f - P_p - P_{n1} - P_{n2} - P_b = 0 \quad (22)$$

gdzie:

P_r - siła strat w układzie napędowym w [N] wg pracy [3]:

$$P_r = \frac{(2 + 0,025 \cdot v) \cdot G_a}{1000} \quad (23)$$

G_a - ciężar samochodu z pełnym ładunkiem [N]

P_{n1} - siła hamowania silnikiem zredukowana do kół napędowych N - wg pracy [3]:

$$P_{n1} = 93,2 \cdot v_n + \frac{0,25 \cdot G_a \cdot v}{1000} \quad (24)$$

v_n - pojemność skokowa silnika [1]

P_{n2} - siła hamowania hamulców [N] - wg pracy [3]:

$$P_{n2} = \gamma_n \cdot G \quad (25)$$

γ_n - współczynnik jednostkowej siły hamowania:

$$\gamma_n = \frac{P_{n2}}{P_{n2max}} \cdot \varphi \quad (26)$$

φ - współczynnik szepności kół do nawierzchni

P_{n2} - siła hamowania hamulców [N]

P_{n2max} - maksymalna siła hamowania hamulców [N]

Ponieważ, jak wynika z badań [4], założenie:

$$P_r(v) \approx P_r(v_{sr}) = \text{const}$$

oraz

$$P_{n1}(v) \approx P_{n1}(v_{sr}) = \text{const}$$

gdzie:

v_{sr} - średnia prędkość samochodu na odcinku płaskim [m/s]

nie powoduje większych błędów w wynikach końcowych /mniej niż 3%/ , stąd ostateczne równanie ruchu samochodu dla rozważanych przypadków można zapisać również:

$$\frac{\partial v}{\partial x} \cdot v = a' \cdot v^2 + c' \quad (27)$$

Rozwiązanie powyższego równania różniczkowego będzie analogiczne do wzo - rów (17), (18) i (19), a współczynniki a' i c' przyjmą następującą postać:

- a' dla wszystkich analizowanych przypadków ruchu:

$$a' = \frac{g}{\sigma_1 \cdot G} (-3,6^2 \cdot f_o \cdot A_1 \cdot G - 0,638 \cdot C \cdot F) \quad (28)$$

- c' dla swobodnego toczenia:

$$c' = \frac{g}{\sigma_1 \cdot G} (i_1 G - f_o \cdot G - 0,002 \cdot G_a - 0,00009 \cdot G_a \cdot v_{sr}) \quad (29)$$

- c' dla ruchu przy hamowaniu silnikiem:

$$c' = \frac{g}{6i_1 \cdot G} (i_1 \cdot G - f_0 \cdot G - 93,2 \cdot v_n - 0,0009 \cdot G_a \cdot v_{\delta r}) \quad (30)$$

- c' dla ruchu przy hamowaniu silnikiem i hamulcami:

$$c' = \frac{g}{6i_1 \cdot G} (i_1 \cdot G - f_0 \cdot G - 93,2 \cdot v_n - \gamma_n \cdot G - 0,0009 \cdot G_a \cdot v_{\delta r}) \quad (31)$$

2. Charakterystyka modelowego samochodu osobowego i ciężarowego w warunkach krajowych

W każdym potoku ruchu biorą udział samochody o bardzo zróżnicowanych właściwościach dynamicznych, i to zarówno w grupie samochodów osobowych jak i ciężarowych. Stąd, aby można było prowadzić teoretyczną analizę rozkładów prędkości, która mogłaby być reprezentatywna w stosunku do rzeczywistej, należałoby scharakteryzować samochody spełniające warunki modelowych.

W tym celu założono, że najlepszym kryterium doboru samochodów modelowych jest średni wskaźnik mocy jednostkowej N_{γ} obserwowany w ruchu drogowym w danej grupie rodzajowej. Przedstawia on bowiem najbardziej miarodajnie właściwości trakcyjne samochodu, które decydują o rozkładzie prędkości przy określonych oporach ruchu.

Badania, służące określeniu tego wskaźnika wykonano w 1977 r. na drogach: E 22, E 7 i E 83. Polegały one na zapisie magnetofonowym rodzajów, marek i typów przejeżdżających samochodów oraz stopnia ich załadowania. Informacje te umożliwiły przypisanie każdemu pojazdowi nominalnej wartości N_{γ} , a uzyskane rozkłady gęstości wskaźników mocy jednostkowych dla grupy samochodów osobowych /samochody osobowe, mikrobusy i furgony/ oraz ciężarowych /samochody ciężarowe i autobusy/ umożliwiły oszacowanie podstawowych statystyk tego wskaźnika /tab.1/.

Tabela 1

Wyniki badań średniego wskaźnika mocy jednostkowej N_{γ}

Średnia wartość N_{γ} [KM/Mg]	Przedział ufności średniej [KM/Mg]	Odchylenie standardowe [KM/Mg]	Przedział ufności odchylenia standardowego [KM/Mg]	Wielkość badanej próby
SAMOCOHODY CIĘŻAROWE				
11,2	11,1-11,4	3,1	3,0 - 3,3	1514
SAMOCOHODY OSOBOWE				
35,6	35,1-36,0	11,1	10,9 -11,5	2854

Analizując wartości wskaźników mocy jednostkowej typowych samochodów produkcji krajowej stwierdzono, że najbliższą średniej z badań posiada:

- w grupie samochodów osobowych:
Warszawa 203 / $N_T = 34,5 \text{ KM/Mg/}$,
- w grupie samochodów ciężarowych:
Star 25 / $N_T = 12,0 \text{ KM/Mg/}$.

Uznając, zgodnie z wcześniejszym założeniem, te samochody jako modelowe, przedstawiono w tabelach 2, 3, 4 i 5 ich charakterystykę poprzez określenie wartości współczynników równań ruchu (14) i (27) /niezbędnych do dalszych analiz rozkładów prędkości / zamieszczone w tabelach 3 i 5 wy -

Wartość współczynnika $a \times 10^3$

Tabela 2

Stopień otwarcia przepustnicy [%]	WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA „ $a \times 10^3$ ”							
	Samochód osobowy			Samochód ciężarowy				
	rodzaj biegu			rodzaj biegu				
	I	II	III	I	II	III	IV	V
100	-5,61	-1,65	-0,72	-40,67	-9,09	-1,92	-0,73	-0,61
95	-4,50	-1,39	-0,66	-32,18	-7,26	-1,61	-0,67	-0,58
90	-4,29	-1,34	-0,65	-30,56	-6,91	-1,55	-0,66	-0,57
85	-4,40	-1,37	-0,66	-31,37	-7,08	-1,58	-0,67	-0,57
80	-4,77	-1,45	-0,68	-34,20	-7,69	-1,68	-0,69	-0,58
75	-5,08	-1,52	-0,69	-36,62	-8,21	-1,77	-0,70	-0,59
70	-5,61	-1,65	-0,72	-40,67	-9,09	-1,92	-0,73	-0,61
65	-6,24	-1,79	-0,75	-45,52	-10,13	-2,10	-0,76	-0,63
60	-7,08	-1,99	-0,79	-52,00	-11,53	-2,34	-0,81	-0,65
55	-7,98	-2,19	-0,83	-58,86	-13,01	-2,59	-0,86	-0,68
50	-9,30	-2,50	-0,89	-68,97	-15,19	-2,96	-0,98	-0,72
45	-10,61	-2,80	-0,95	-79,07	-17,37	-3,33	-1,00	-0,76
40	-13,26	-3,41	-1,08	-99,29	-21,73	-4,08	-1,14	-0,84
35	-18,10	-4,53	-1,31	-136,49	-29,76	-5,45	-1,40	-0,99
30	-23,10	-5,69	-1,55	-174,90	-38,03	-6,87	-1,67	-1,14
25	-28,11	-6,85	-1,78	-213,30	-46,33	-8,28	-1,94	-1,29
20	-33,64	-8,13	-2,05	-255,76	-55,49	-9,85	-2,23	-1,45
15	-38,28	-9,20	-2,27	-291,34	-63,17	-11,16	-2,48	-1,59

Wartość współczynnika "c"

stopień otwar- cia przepu- stnicy [%]	WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA $c = c_1 \cdot c_2 \cdot i_1$								
	Samochód osobowy			Samochód ciężarowy					
	rodzaj biegu			rodzaj biegu					
	I	II	III	I	II	III	IV	V ₁	
	WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA c_1								
100	2,014	1,396	0,854	1,691	1,323	0,774	0,446	0,330	
95	1,847	1,277	0,777	1,552	1,211	0,705	0,403	0,296	
90	1,774	1,224	0,744	1,491	1,162	0,675	0,384	0,281	
85	1,700	1,172	0,710	1,430	1,113	0,645	0,365	0,266	
80	1,658	1,142	0,691	1,395	1,085	0,627	0,354	0,257	
75	1,637	1,127	0,681	1,378	1,071	0,619	0,349	0,253	
70	1,616	1,112	0,671	1,360	1,057	0,610	0,343	0,249	
65	1,585	1,089	0,657	1,334	1,036	0,597	0,335	0,243	
60	1,564	1,074	0,647	1,317	1,022	0,589	0,330	0,238	
55	1,543	1,060	0,637	1,299	1,008	0,580	0,325	0,234	
50	1,512	1,037	0,623	1,273	0,987	0,567	0,316	0,228	
45	1,491	1,022	0,613	1,255	0,973	0,558	0,311	0,224	
40	1,480	1,015	0,609	1,247	0,966	0,554	0,308	0,221	
35	1,449	0,992	0,594	1,221	0,945	0,541	0,300	0,215	
30	1,428	0,977	0,584	1,203	0,931	0,532	0,295	0,211	
25	1,407	0,962	0,575	1,186	0,917	0,524	0,289	0,207	
20	1,386	0,947	0,565	1,169	0,903	0,515	0,284	0,202	
15	1,365	0,932	0,555	1,151	0,889	0,506	0,279	0,198	
bez względ- u na stop. otwar- cia przepu- stnicy	WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA c_2								
	6,67	8,38	9,15	4,91	7,62	8,94	9,36	9,42	
UWAGA: Znak dodatni przed c_2 występuje w przypadku spadku drogi.									

Tabela 4

Wartość współczynnika a'

WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA „ $a' \times 10^4$ ”							
Samochód osobowy			Samochód ciężarowy				
rodzaj biegu			rodzaj biegu				
I	II	III	I	II	III	IV	V
-3,45	-4,34	-4,74	-2,39	-3,71	-4,35	-4,56	-4,58

Tabela 5

Wartość współczynnika c'

WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA $c' = c'_1 + c'_2 \times i_1$								
Sposób ruchu samochodu	Samochód osobowy			Samochód ciężarowy				
	rodzaj biegu			rodzaj biegu				
	I	II	III	I	II	III	IV	V
	WARTOŚĆ WSPÓLCZYNNIKA c'_1							
swobodne toczenie	- 0,147			- 0,131				
hamowanie silnikiem	-0,170	-0,214	-0,234	-0,167	-0,252	-0,296	-0,310	-0,312
hamowanie silnikiem i hamulcami $\gamma_h = 0,001$	-0,237	-0,298	-0,325	-0,212	-0,329	-0,386	-0,404	-0,406
hamowanie silnikiem i hamulcami $\gamma_h = 0,02$	-0,304	-0,382	-0,416	-0,261	-0,405	-0,475	-0,498	-0,500
hamowanie silnikiem i hamulcami $\gamma_h = 0,03$	-0,371	-0,466	-0,507	-0,310	-0,481	-0,564	-0,592	-0,594
WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA c'_2								
bez względu na warunki ruchu	6,67	8,38	9,15	4,91	7,62	8,94	9,36	9,42

rażenia określające współczynnik "c" i C'" wynikają ze wzorów (16), (29), (30) i (31).

3. Geometria drogi a sposób ruchu samochodu

Rozkłady prędkości określone bezpośrednio na podstawie teorii ruchu bardzo często nie pokrywają się z badanymi wartościami na konkretnym odcinku drogi. Przyczyną takich niezgodności jest wpływ czynników, które nie są uwzględniane we wzorach teoretycznych. Należą do nich między innymi założenia:

- najczęściej ruch odbywa się przy częściowym otwarciu przepustnicy, zależnym od oporów ruchu,
- przy wyborze prędkości przez kierowców duży wpływ mają ich przyzwyczajenia do sposobu ruchu,
- kierowca sam ocenia warunki ruchu, dostosowując do nich prędkość samochodu.

W celu uwzględnienia tych dodatkowych czynników, jak również uściślenia sposobu ruchu samochodu w konkretnych warunkach geometrycznych drogi, przeprowadzono badania obejmujące:

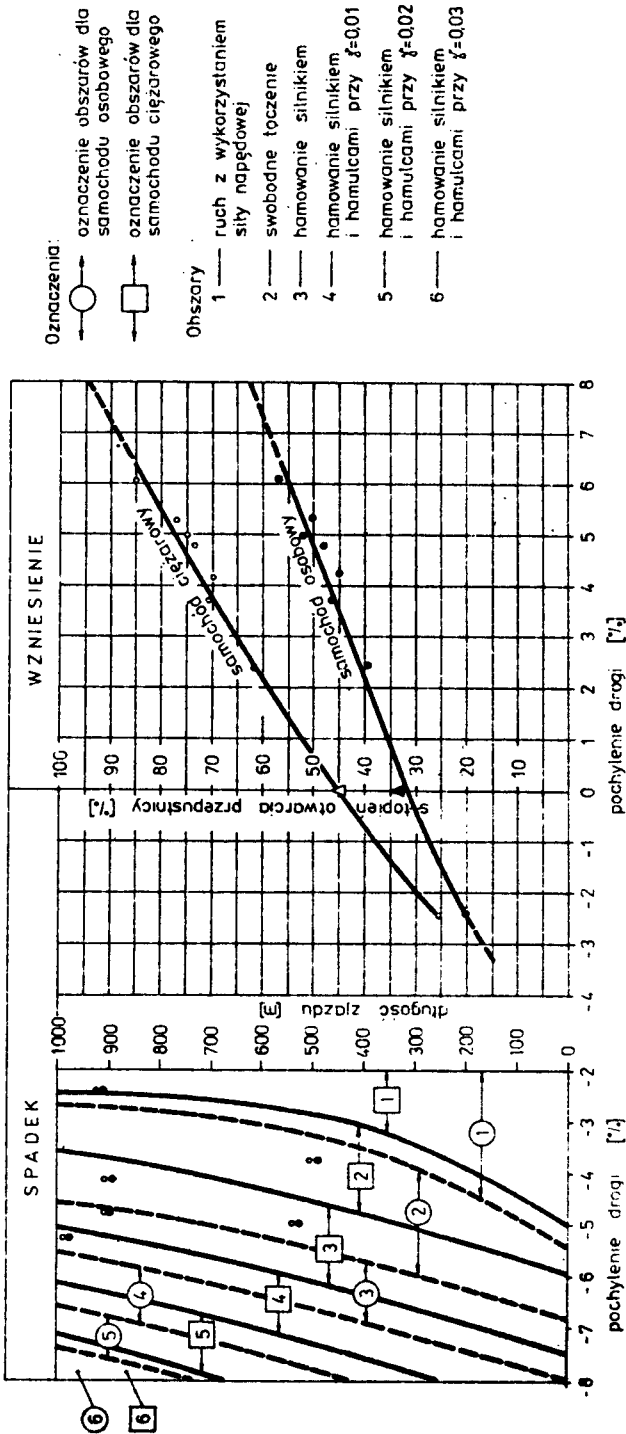
- 7 odcinków wzniesień o pochyleniach od 2,5% do 6,1% i długościach od 500 m do ok. 1000 m,
- 1 odcinka prostego o pochyleniu 0% i długości ok. 600 m,
- 6 odcinków spadku o pochyleniach od 2,5% do 5,2% i długościach od 500 m do ok. 1000 m.

Badania te były wykonane w 1977 r. na dwupasowych drogach dwukierunkowych [4]. Obejmowały one pomiar średnich prędkości chwilowych na początku i końcu danego odcinka, oraz średnich prędkości podróży dla samochodów osobowych i ciężarowych jadących w warunkach swobodnych /bez wpływu innych użytkowników drogi/.

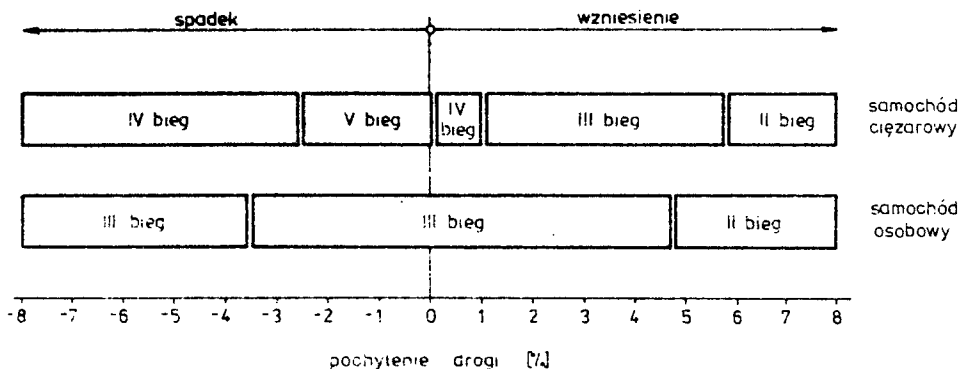
Porównanie wyników badań z rozkładami teoretycznymi dla samochodów modelowych, drogą kolejnych przybliżeń /obliczenia wykonano na maszynie cyfrowej Odra 1204/ dało odpowiedź najbardziej prawdopodobnego sposobu jazdy w zależności od geometrycznego ukształtowania drogi. Uzyskane wyniki tej analizy przedstawiono na rys. 2 i 3.

Niewątpliwie najtrudniejsze ustalenia w tej kwestii są dla odcinków spadków, zwłaszcza o większych długościach. Na odcinkach tych kierowcy bowiem najczęściej korzystają ze zmiennego sposobu jazdy. Stąd, aby dokładnie móc odtworzyć na nich warunki ruchu należałoby znać charakter tych zmian. Zbyt mała liczba badań jednakże uniemożliwiała tak dokładną analizę i w ostatecznych ustaleniach, zawartych na rys.2 przyjmowano tylko jeden sposób ruchu na całym odcinku, który najbardziej przybliżał warunki rzeczywiste.

Ponadto na odcinkach spadków, ze względu na brak pełnego zakresu badań, obejmujących wszystkie kombinacje parametrów geometrycznych, dokonano ekstrapolacji wyników. Kierowano się przy tym, ustalając najbardziej prawdopodobny sposób ruchu, głównie prędkościami końcowych samochodów. Jak wynika bowiem z badań [3] kierowcy w trakcie jazdy na odcinkach spad-



Rys.2. Sposób ruchu samochodów modelowych w zależności od geometrycznego ukształtowania drogi



Rys. 3. Rodzaj przyjmowanego biegu dla samochodów modelowych w zależności od pochylenia drogi

ków zachowują prędkości końcowe o wartości zależnej od pochylenia i długości odcinka, nie przekraczając przy tym określonego jej wzrostu w stosunku do odcinka poziomego.

4. Podsumowanie

Określenie rozkładu prędkości pojedynczego samochodu w zależności od geometrii drogi jest bardzo przydatne w wielu analizach dotyczących warunków i bezpieczeństwa ruchu. Przydatność przedstawionego rozwiązania do tych analiz jest tym większa, że umożliwia ona oszacowanie rozkładu prędkości odpowiadającego przeciętnym warunkom rzeczywistym, obserwowanym na dwupasowych drogach dwukierunkowych. Opracowane w tym celu tabele współczynników równania ruchu pozwalają na stosunkowo proste i szybkie dokonanie obliczeń.

W celu praktycznego zastosowania omawianej metody do określenia profilu prędkości samochodu na zadanym odcinku drogi, należy w pierwszym rzędzie wydzielić odcinki jednorodne pod względem ukształtowania geometrycznego /proste o stałym pochyleniu, łuki pionowe o stałym promieniu/. Następnie dla każdego z tych odcinków, w wybranych jego punktach, kolejno przeprowadzić obliczenia prędkości chwilowej /według wzoru (17), ustalając najpierw z rys. 2 i 3 rodzaj i sposób ruchu, a następnie z odpowiednich tabel /2 i 3 lub 4 i 5/ wartości współczynników równania ruchu.

Przy obliczaniu prędkości chwilowej w wybranym punkcie łuku pionowego, należy uprzednio określić faktyczne nachylenia drogi w tym punkcie według wzoru:

$$i_1 \cong i_{ST} + \frac{x_{ST}}{R} \quad (32)$$

gdzie:

i_{ST} - pochylenie podłużne odcinka poprzedzającego łuk pionowy lub pochylenie pierwszej stycznej łuku

x_{ST} - odległość mierzona po stycznej od początku łuku pionowego do określonego punktu na łuku pionowym [m]

R - promień łuku pionowego [m]

- znak "+" we wzorze występuje w przypadku określenia pochylenia na łuku wklęsłym, natomiast znak "-" występuje w przypadku łuku wypukłego

Literatura

- [1] Dębicki M.: Teoria samochodu. Teoria napędu. WNT, Warszawa 1971
- [2] Bielski A.E.: Rasczioty skrostiej dwizienja na avtomobilnych dorogach. Transport, Moskwa 1966
- [3] Praca zbiorowa: Drogowe warunki ruchu samochodów. WKŁ, Warszawa 1969
- [4] Szczuraszek T.: Wpływ niektórych parametrów ruchowych i drogowych na straty czasu samochodów osobowych, określony na podstawie modelu symulacyjnego. Praca doktorska, Gdańsk 1980

ANALYTIC METHOD OF DETERMINING MEAN SPEED OF CARS AND LORRIES DEPENDING ON HIGHWAY SLOPE

Summary

An analytic method of qualifying the speed of passenger cars and lorries according to highway slope is presented in the study. It enables to estimate speeds conforming to average real conditions observed in two-lane two-way roads in Poland. Tables of the equation of motion coefficients inserted into the paper make calculations comparatively quick and simple.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ АВТОМАШИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

Резюме

В работе представлен аналитический метод определения скоростей легковых и грузовых машин в зависимости от профиля дороги. Этот метод даёт возможность оценить распределение скоростей отвечающее средним действительным условиям на наблюдаемых двухполосных, двухнаправленных дорогах в стране.

Помещённые в статье таблицы коэффициентов уравнения движения дают возможность произвести расчёты довольно легко и быстро.

Andrzej Jęchorek

ROZKŁAD SIŁ DZIAŁAJĄCYCH NA POSZCZEGÓLNE KOŁA POJAZDU
SWOBODNIE TOCZĄCEGO SIĘ PO ŁUKU KOŁOWYM-UJĘCIE STATY-
CZNE W ASPEKTCIE WARUNKU BEZPIECZENSTWA NA ZARZUCENIE

W pracy dokonano rozkładu siły pochodzącej od ciężaru oraz siły odśrodkowej, działających na poszczególne koła czterokołowego pojazdu swobodnie toczącego się po łuku kołowym. Szczegółowej analizy dokonano dla jednego schematu zawieszenia. Ponadto wyprowadzono wzór na prędkość graniczną, przy której wewnętrzne tylne koło osiąga pełne wykorzystanie współczynnika szepności bocznej.

1. Wstęp

Publikowany w podręcznikach budowy dróg [5], [6] wzór określający najmniejszy dopuszczalny promień łuku kołowego poziomego

$$R = \frac{v^2}{127(\mu_b \pm i_o)} \quad (1)$$

czyli

$$v = \sqrt{127R(\mu_b \pm i_o)}$$

gdzie:

- R - promień łuku poziomego [m]
- v - prędkość pojazdu [km/h]
- μ_b - współczynnik szepności bocznej
- i_o - pochylenie poprzeczne jezdni w łuku

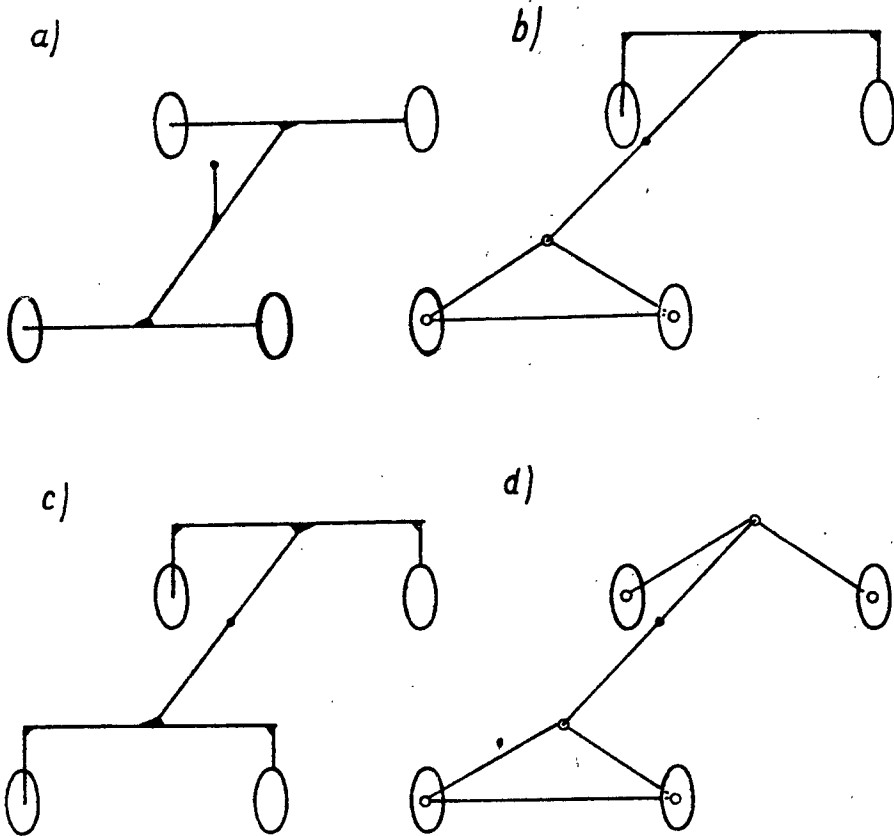
zakłada równomierne wykorzystanie współczynnika szepności przez wszystkie koła pojazdu. W rzeczywistości założenie to stanowi uproszczenie, bowiem siły działające na poszczególne koła pojazdu swobodnie toczącego się po łuku są zróżnicowane tym bardziej, im wyżej jest położony środek ciężkości pojazdu oraz im większa jest wartość siły odśrodkowej.

Celem niniejszej pracy jest wykazanie różnic między prędkością bezpieczną, z jaką pojazd swobodnie toczący się może przejechać przez łuk poziomy o określonym promieniu, liczoną wg wzoru (1), a analogiczną prędkością wyliczoną z uwzględnieniem nierównomiernego rozkładu sił działających na koła tego samego pojazdu przy założeniu nieprzekroczenia przez koło wartości określonego współczynnika szepności.

2. Rozkład sił działających na poszczególne koła czterokołowego pojazdu swobodnie toczonego się po łuku poziomym

2.1. Przyjęte modele przekazywania obciążenia na poszczególne koła

Na rys. 1 przedstawiono cztery modele przykazywania obciążenia na poszczególne koła czterokołowego pojazdu.



Rys.1. Schematy statyczne układu zawieszenia

Stanowią one cztery schematy statycznie niewyznaczalne. Obliczenia poszczególnych wartości relacji dokonano dla wszystkich przedstawionych modeli w oparciu o [1],[2],jednakże w opracowaniu zamieszczono jedynie obliczenia wykonane dla modelu przedstawionego na rys. 1a. Natomiast dla pozostałych modeli zamieszczono jedynie wartości wykorzystywanych współczynników sztywności dla poszczególnych kół, gdyż sposób ich wyznaczania był podobny. Rozkładu poszczególnych sił czynnych dokonano metodą sił.

2.2. Rozkład sił działających na poszczególne koła - model 1 /rys.1a/

2.2.1. Siły działające na pojazd poruszający się po łuku poziomym

Korzystając z [3] i [4] można wyszczególnić następujące siły działające na pojazd poruszający się po łuku poziomym

- siła ciężkości przyłożona w środku ciężkości

$$Q = m \cdot g \quad [N] \quad (2)$$

gdzie:

m - masa pojazdu [kg]

g - przyspieszenie ziemskie = $9,81 \text{ m/s}^2$

- siła odśrodkowa przyłożona w środku ciężkości

$$N = \frac{m \cdot v^2}{R_N} \quad [N] \quad (3)$$

gdzie:

m - masa pojazdu [kg]

v - prędkość liniowa pojazdu [m/s]

R_N - promień łuku toru środka ciężkości [m]

- siły bierne w postaci reakcji nawierzchni przełożone w środku powierzchni styku koła z nawierzchnią, o wartości i kierunku będących funkcją

$$P_i = f/m, R_N, v, i_o, \beta_i, x_N, y_N, z_N \quad [N] \quad (3a)$$

gdzie:

m, R_N, v - jak we wzorze (2) i (3)

i_o - pochylenie poprzeczne jezdni w łuku

β_i - kąt pomiędzy promieniem do środka ciężkości a osią x w płaszczyźnie /Opx/ [$^\circ$]/rys.2/

x_N, y_N, z_N - współrzędne środka ciężkości pojazdu w układzie oxyz [m]

Nie uwzględniono oporów toczenia oraz oporów powietrza i siły pochodzącej od wiatru bocznego.

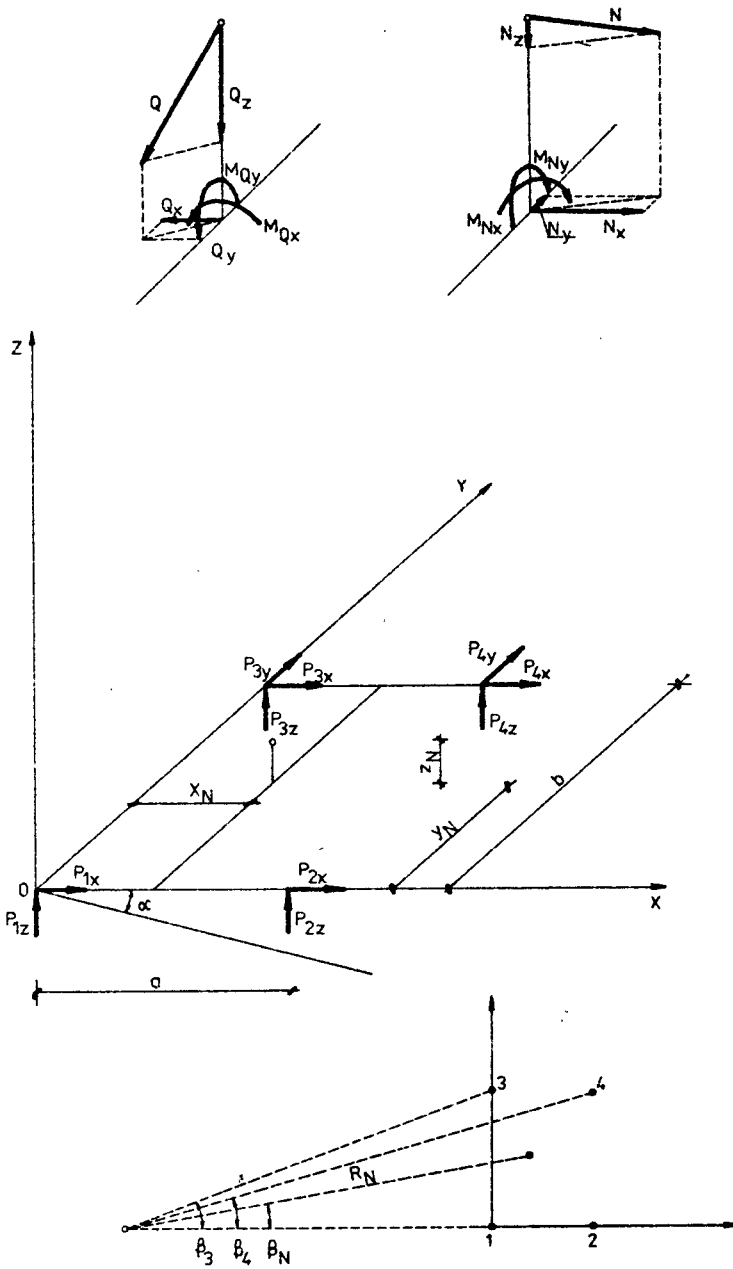
2.2.2. Założenia do rozkładu

a/ przyjęto pojazd dwuosiowy czterokołowy,

b/ siłę ciężkości przypadającą na i -te koło przyjęto w funkcji położenia rzutu środka ciężkości pojazdu na płaszczyznę xoy i przyłożono ją w środku powierzchni styku koła z nawierzchnią,

c/ siłę odśrodkową przyłożoną w środku ciężkości pojazdu rozłożono na cztery równoległe siły przyłożone w środkach powierzchni styku koła z nawierzchnią,

d/ pochylenie podłużne jezdni przyjęto $i = 0$.



Rys.2. Schemat sił czynnych i biernych działających na pojazd toczący się swobodnie po łuku poziomym.

2.2.3. Rozkład sił czynnych działających na i-te koło

$$P_{iz} = P_{iz}^{Q_z} + P_{iz}^{M_{Nx}} + P_{iz}^{N_z} + P_{iz}^{M_{Qx}} + P_{iz}^{M_{Ny}} + P_{iz}^{M_{Qy}} \quad (4)$$

$$P_{ix} = P_{ix}^{Q_x} + P_{ix}^{N_x} \quad (5)$$

$$P_{iy} = P_{iy}^{N_y} + P_{iy}^{Q_y} \quad (6)$$

2.2.3.1. Wyznaczenie sił składowych P_{iz}

a/ wyznaczenie sił $P_{iz}^{Q_z}$

$$P_{1z}^{Q_z} = \frac{Q_z (a - x_N) (b - y_N)}{ab} \quad (7)$$

$$P_{2z}^{Q_z} = \frac{Q_z x_N (b - y_N)}{ab} \quad (8)$$

$$P_{3z}^{Q_z} = \frac{Q_z (a - x_N) y_N}{ab} \quad (9)$$

$$P_{4z}^{Q_z} = \frac{Q_z x_N \cdot y_N}{ab} \quad (10)$$

gdzie:

$$Q_z = Q \cos \alpha = mg \cos / \text{arc tg } i_O / \quad (11)$$

a, b, x_N, y_N - jak na rys.2

b/ wyznaczenie sił $P_{iz}^{M_{Nx}}$

$$P_{1z}^{M_{Nx}} = \frac{N_x z_N (b - y_N)}{ab} \quad (12)$$

$$P_{2z}^{M_{Nx}} = \frac{N_x z_N (b - y_N)}{ab} \quad (13)$$

$$P_{3z}^{M_{Nx}} = \frac{N_x z_N y_N}{ab} \quad (14)$$

$$P_{4z}^{M_{Nx}} = \frac{N_x z_N y_N}{ab} \quad (15)$$

gdzie:

$$N_x = \frac{mv^2}{R_N} \cos / \text{arc tg } i_O / \cos \beta_N \quad (16)$$

zaś

$$R_N = \sqrt{(R + x_N)^2 + y_N^2}$$

$$\beta_N = \arctg \frac{Y_N}{R + x_N}$$

c/ wyznaczenie sił P_{1z}^N

$$P_{1z}^N = \frac{N_z (a - x_N) (b - y_N)}{ab} \quad (17)$$

$$P_{2z}^N = \frac{N_z x_N (b - y_N)}{ab} \quad (18)$$

$$P_{3z}^N = \frac{N_z (a - x_N) Y_N}{ab} \quad (19)$$

$$P_{4z}^N = \frac{N_z x_N Y_N}{ab} \quad (20)$$

gdzie:

$$N_z = N \sin / \arctg i_0 / \quad (21)$$

d/ wyznaczenie sił P_{1z}^{Qx}

$$P_{1z}^{Qx} = \frac{Q_x z_N (b - y_N)}{ab} \quad (22)$$

$$P_{2z}^{Qx} = \frac{Q_x z_N (b - y_N)}{ab} \quad (23)$$

$$P_{3z}^{Qx} = \frac{Q_x z_N Y_N}{ab} \quad (24)$$

$$P_{4z}^{Qx} = - \frac{Q_x z_N Y_N}{ab} \quad (25)$$

gdzie

$$Q = mg \sin / \arctg i_0 / \cos \beta_N \quad (26)$$

e/ wyznaczenie sił P_{1z}^{NY}

$$P_{1z}^{NY} = - \frac{N_y z_N (a - x_N)}{ab} \quad (27)$$

$$P_{2z}^{NY} = - \frac{N_y z_N x_N}{ab} \quad (28)$$

$$P_{3z}^{NY} = \frac{N_y z_N (a - x_N)}{ab} \quad (29)$$

$$P_{4z}^{NY} = \frac{N_y z_N x_N}{ab} \quad (30)$$

gdzie

$$N_y = \frac{mv^2}{R_N} \cos / \arctg i_0 / \sin \beta_N \quad (31)$$

f/ wyznaczenie sił $P_{1z}^{M_{OY}}$

$$P_{1z}^{M_{OY}} = \frac{Q_Y z_N (a - x_N)}{ab} \quad (32)$$

$$P_{2z}^{M_{OY}} = \frac{Q_Y z_N x_N}{ab} \quad (33)$$

$$P_{3z}^{M_{OY}} = \frac{Q_Y z_N (a - x_N)}{ab} \quad (34)$$

$$P_{4z}^{M_{OY}} = -\frac{Q_Y z_N x_N}{ab} \quad (35)$$

gdzie

$$Q_Y = mg \sin / \text{arc tg } i_0 / \sin \beta_N \quad (36)$$

2.2.3.2. Wyznaczenie sił składowych P_{ix}

a/ wyznaczenie sił $P_{ix}^{Q_x}$

$$P_{1x} = -\frac{Q_x (a - x_N) (b - y_N)}{ab} \quad (37)$$

$$P_{2x} = -\frac{Q_x x_N (b - y_N)}{ab} \quad (38)$$

$$P_{3x} = -\frac{Q_x y_N (a - x_N)}{ab} \quad (39)$$

$$P_{4x} = -\frac{Q_x x_N y_N}{ab} \quad (40)$$

b/ wyznaczenie sił $P_{ix}^{N_x}$

$$P_{1x}^N = \frac{N_x (a - x_N) (b - y_N)}{ab} \quad (41)$$

$$P_{2x}^N = \frac{N_x x_N (b - y_N)}{ab} \quad (42)$$

$$P_{3x}^N = \frac{N_x y_N (a - x_N)}{ab} \quad (43)$$

$$P_{4x}^N = \frac{N_x x_N y_N}{ab} \quad (44)$$

2.2.3.3. Wyznaczenie sił składowych P_{iy} a/ wyznaczenie sił $P_{iy}^{N_y}$

$$P_{1y}^{N_y} = 0 \quad (45)$$

$$P_{2y}^{N_y} = 0 \quad (46)$$

$$P_{3y}^{N_y} = \frac{N_y (a - x_N)}{a} \quad (47)$$

$$P_{4y}^{N_y} = \frac{N_y x_N}{a} \quad (48)$$

b/ wyznaczenie sił $P_{iy}^{Q_y}$

$$P_{1y}^{Q_y} = 0 \quad (49)$$

$$P_{2y}^{Q_y} = 0 \quad (50)$$

$$P_{3y}^{Q_y} = - \frac{Q_y (a - x_N)}{a} \quad (51)$$

$$P_{4y}^{Q_y} = - \frac{Q_y x_N}{a} \quad (52)$$

3. Wyznaczenie wykorzystywanej wartości współczynnika szepności bocznej

Przez pojęcie wykorzystywanej wartości współczynnika szepności bocznej należy rozumieć dla poszczególnych kół pojazdu stosunek składowej reakcji prostopadłej do płaszczyzny koła a przyłożonej w środku powierzchni styku koła z nawierzchnią do składowej reakcji normalnej do powierzchni styku. Stosunek ten wyraża się następującym wzorem ogólnym.

$$\mu_{bi} = \frac{P_{ix} \cos \beta_i + P_{iy} \sin \beta_i}{P_{iz}} \quad (53)$$

Przeprowadzono analizę wartości μ_{bi} dla pojazdu o wymiarach $a = 1,5m$, $b = 3,0m$ i o środku ciężkości w punkcie o współrzędnych $x_N = 0,75$, $y_N = 1,50$, $z_N = 0,70$ o masie $m = 1000$ kg, przy różnych wartościach promienia R i odpowiedniego kąta pochylenia poprzecznego α . Przy tych samych założeniach wyznaczono wartości dla pozostałych modeli zawieszenia /rys.1b,c,d/.

W tabeli 1 zestawiono wartości dla czterech modeli przy $R = 100$ mm i $\alpha = \text{tg } \alpha = 0,07$ i $V = 60$ km/h = $16,67$ m/s. W przykładzie 1 przedstawiono tok obliczeń dla modelu "a"

Przykład 1

dane: $a = 1,50$ $b = 3,00$ [m]

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 0, x_2 = 1,50, x_3 = 0, x_4 = 1,50 \\ y_1 = 0, y_2 = 0, y_3 = 3,00, y_4 = 3,00 \\ x_N = 0,75 \\ y_N = 1,50 \\ z_N = 0,70 \\ R = 100,00 \text{ [m]} \\ R_N = 100,76 \text{ [m]} \\ i_0 = \operatorname{tg} \alpha = 0,070 \\ V = 60 \text{ km/h} = 16,67 \text{ [m/s]} \end{array} \right\} \text{ [m]}$$

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{y_i}{R + x_i}$$

$$\sin \beta_i = \frac{y_i}{\sqrt{(R + x_i)^2 + y_i^2}}$$

$$\cos \beta_i = \frac{R + x_i}{\sqrt{(R + x_i)^2 + y_i^2}}$$

i	$\operatorname{tg} \beta_i$	$\sin \beta_i$	$\cos \beta_i$
1	0	0	1,000
2	0	0	1,000
3	0,030	0,030	1,000
4	0,030	0,030	1,000
dla śr. c. N	0,015	0,015	1,000

$$\sin \alpha = 0,070$$

$$\cos \alpha = 0,998$$

$$m = 1000 \text{ [kg]}$$

wg (2)

$$Q = mg = 1000 \cdot 9,81 = 9810,00 \text{ [N]}$$

wg (3)

$$N = \frac{mv^2}{R_N} = \frac{1000 \cdot 16,67^2}{100,76} = 2757,93 \text{ [N]}$$

wg (12)

$$Q_z = Q \cos \alpha = 9810,00 \cdot 0,998 = 9790,38 \text{ [N]}$$

wg (26)

$$Q_x^* = Q \sin \alpha \cos \beta_N = 9810,00 \cdot 0,070 \cdot 1,00 = 686,70 \text{ [N]}$$

wg (36)

$$Q_y = Q \sin \alpha \sin \beta_N = 9810,00 \cdot 0,070 \cdot 0,015 = 10,30 \text{ [N]}$$

wg (21)

$$N_z = N \sin \alpha = 2757,93 \cdot 0,070 = 193,06 \text{ [N]}$$

wg (16)

$$N_x = N \cos \alpha \cos \beta_N = 2757,93 \cdot 0,998 \cdot 1,00 = 2752,41 \text{ [N]}$$

wg (31)

$$N_y = N \cos \alpha \sin \beta_N = 2757,93 \cdot 0,998 \cdot 0,015 = 41,29 \text{ [N]}$$

Wyznaczamy μ_{b1} dla koła "1"

wg (53)

$$\mu_{b1} = \frac{P_{1x} \cos \beta_1 + P_{1y} \sin \beta_1}{P_{1z}}$$

korzystając z (5), (37), (41) wyznaczamy P_{1x}

$$P_{1x} = - \frac{Q_x (a-x_N) (b-y_N)}{ab} + \frac{N_x (a-x_N) (b-y_N)}{ab} = \frac{(a-x_N) (b-y_N)}{ab} (N_y - Q_x)$$

korzystając z (6), (45), (49) otrzymujemy

$$P_{1y} = 0 + 0 = 0$$

korzystając z (4), (7), (12), (17), (22), (27), (32) wyznaczamy

$$\begin{aligned} P_{1z} &= \frac{Q_z (a-x_N) (b-y_N)}{ab} - \frac{N_x z_N (b-y_N)}{ab} + \frac{N_z (a-x_N) (b-y_N)}{ab} + \\ &+ \frac{Q_x z_N (b-y_N)}{ab} - \frac{N_y z_N (a-x_N)}{ab} + \frac{Q_y z_N (a-x_N)}{ab} = \frac{(a-x_N) (b-y_N)}{ab} (Q_z + N_z) \\ &+ \frac{z_N (b-y_N)}{ab} (Q_x - N_x) + \frac{z_N (a-x_N)}{ab} (Q_y - N_y) \end{aligned}$$

$$\frac{(a-x_N) (b-y_N)}{ab} = \frac{(1,50 - 0,75) (3,00 - 1,50)}{1,50 \cdot 3,00} = 0,25$$

$$\frac{z_N(b-y_N)}{ab} = \frac{0,70(3,00 - 1,50)}{1,50 \cdot 3,00} = 0,23$$

$$\frac{z_N(a-x_N)}{ab} = \frac{0,70(1,50 - 0,75)}{1,50 \cdot 3,00} = 0,12$$

Wstawiając do (53) otrzymujemy

$$\begin{aligned} \mu_{b1} &= \frac{0,25(2752,41 - 686,70) \cdot 1,00 + 0,00 \cdot 0,00}{0,25(9790,38 + 193,06) + 0,23(686,70 - 2752,41) + 0,12(10,30 - 41,29)} \\ &= \frac{516,43}{2017,03} = 0,256 \end{aligned}$$

wyznaczamy μ_{b2} dla kąta "2"
wg (53) mamy

$$\mu_{b2} = \frac{P_{2x} \cos \beta_2 + P_{2y} \sin \beta_2}{P_{2z}}$$

korzystając z (5), (38), (42) otrzymujemy

$$P_{2x} = \frac{Q_x z_N(b-y_N)}{ab} + \frac{N_x x_N(b-y_N)}{ab} = \frac{x_N(b-y_N)}{ab} (N_x - Q_x)$$

korzystając z (6), (46), (50) otrzymujemy

$$P_{2y} = 0 + 0 = 0$$

korzystając z (4), (8), (13), (18), (23), (28), (33) otrzymujemy

$$\begin{aligned} P_{2z} &= \frac{Q_z x_N(b-y_N)}{ab} + \frac{N_z z_N(b-y_N)}{ab} + \frac{N_z x_N(b-y_N)}{ab} - \frac{Q_x z_N(b-y_N)}{ab} \\ &\quad - \frac{N_y z_N x_N}{ab} + \frac{Q_y z_N x_N}{ab} \\ &= \frac{x_N(b-y_N)}{ab} (Q_z + N_z) + \frac{z_N(b-y_N)}{ab} (N_x - Q_x) + \frac{z_N x_N}{ab} (Q_y - N_y) \end{aligned}$$

$$\frac{x_N(b-y_N)}{ab} = \frac{0,75(3,00 - 1,50)}{1,50 \cdot 3,00} = 0,25$$

$$\frac{z_N x_N}{ab} = \frac{0,70 \cdot 0,75}{1,50 \cdot 3,00} = 0,12$$

wstawiając do (53) otrzymujemy

$$\begin{aligned} \mu_{b2} &= \frac{0,25 (2752,41-686,70) \cdot 1,00 + 0,00 \cdot 0,00}{0,25(9790,38+193,06) + 0,23 (2752,41-686,70) + 0,12 (10,30-41,29)} \\ &= \frac{516,43}{2967,25} = 0,174 \end{aligned}$$

Wyznaczamy μ_{b3} dla koła "3"

wg (53) mamy

$$\mu_{b3} = \frac{P_{3x} \cos \beta_3 + P_{3y} \sin \beta_3}{P_{3z}}$$

korzystając z (5), (39), (43) otrzymujemy

$$P_{3x} = -\frac{Q_x y_N (a-x_N)}{ab} + \frac{N_x y_N (a-x_N)}{ab} = \frac{y_N (a-x_N)}{ab} (N_x - Q_x)$$

korzystając z (6), (47), (51) otrzymujemy

$$P_{3y} = \frac{N_y (a-x_N)}{a} - \frac{Q_y (a-x_N)}{a} = \frac{a-x_N}{a} (N_y - Q_y)$$

korzystając z (4), (9), (14), (19), (24), (29), (34) otrzymujemy

$$\begin{aligned} P_{3z} &= \frac{Q_z y_N (a-x_N)}{ab} - \frac{N_x z_N y_N}{ab} + \frac{N_z y_N (a-x_N)}{ab} + \frac{Q_x z_N y_N}{ab} + \frac{N_y z_N (a-x_N)}{ab} - \\ &- \frac{Q_y z_N (a-x_N)}{ab} = \frac{y_N (a-x_N)}{ab} (Q_z + N_z) + \frac{z_N y_N}{ab} (Q_x - N_x) + \\ &+ \frac{z_N (a-x_N)}{ab} (N_y - Q_y) \end{aligned}$$

$$\frac{y_N (a-x_N)}{ab} = \frac{1,50 (1,50-0,75)}{1,50 \cdot 3,00} = 0,25 \quad \frac{a-x_N}{a} = \frac{1,50 - 0,75}{1,50} = 0,50$$

$$\frac{z_N y_N}{ab} = \frac{0,70 \cdot 1,50}{1,50 \cdot 3,00} = 0,23$$

Wstawiając do (53) otrzymujemy

$$\begin{aligned} \mu_{b3} &= \frac{0,25 (2752,41-686,70) \cdot 1,00 + 0,50 (41,29-10,30) \cdot 0,030}{0,25(9790,38+193,06) + 0,23 (686,70-2752,41) + 0,12(41,29-10,30)} = \\ &= \frac{516,89}{2024,47} = 0,256 \end{aligned}$$

Wyznaczamy μ_{b4} dla koła "4"
wg (53) mamy

$$\mu_{b4} = \frac{P_{4x} \cos \beta_4 + P_{4y} \sin \beta_4}{P_{4z}}$$

korzystając z (5), (40), (44) otrzymujemy:

$$P_{4y} = \frac{N_y x_N}{a} - \frac{Q_y x_N}{a} = \frac{x_N}{a} (N_y - Q_y)$$

korzystając z (4), (10), (15), (20), (25), (30), (35) otrzymujemy :

$$P_{4z} = \frac{Q_z x_N y_N}{ab} + \frac{N_x z_N y_N}{ab} + \frac{N_z x_N y_N}{ab} - \frac{Q_x z_N y_N}{ab} + \frac{N_y z_N x_N}{ab} - \frac{Q_y z_N x_N}{ab} =$$

$$= \frac{x_N y_N}{ab} (Q_z + N_z) + \frac{z_N y_N}{ab} (N_x - Q_x) + \frac{z_N x_N}{ab} (N_y - Q_y)$$

$$\frac{x_N y_N}{ab} = \frac{0,75 \cdot 1,50}{1,50 \cdot 3,00} = 0,25 \quad \frac{x_N}{a} = \frac{0,75}{1,50} = 0,50$$

Wstawiając do (53) otrzymujemy :

$$\begin{aligned} \mu_{b4} &= \frac{0,25 (2752,41 - 686,70) \cdot 1,000 + 0,50 (41,29 - 10,30) \cdot 0,030}{0,25(9790,38 + 193,06) + 0,23(2752,41 - 686,70) + 0,12(41,29 - 10,30)} = \\ &= \frac{516,89}{2974,69} = 0,174 \end{aligned}$$

Tabela 1

Zestawienie wartości μ_{bi}

μ_{bi} model	μ_{b1}	μ_{b2}	μ_{b3}	μ_{b4}
a	0,256	0,174	0,256	0,174
b	0,256	0,174	0,256	0,174
c	0,256	0,174	0,256	0,174
d	0,256	0,174	0,256	0,174

Jak wynika z tabeli 1 nie występują różnice w wykorzystywanej wartości współczynnika szepności dla określonego koła przy różnym schemacie zawieszenia. Istotne zaś różnice występują w ramach każdego modelu między wartościami współczynnika dla kół wewnętrznych / "1" i "3" / oraz ze wewnętrznych / "2" i "4" /. Wynika stąd, że koła wewnętrzne w miarę wzrostu prędkości prędzej osiągną pełną wartość współczynnika szepności aniżeli

koła zewnętrzne. Jest to skutkiem w głównej mierze zmniejszonego nacisku pionowego na koła wewnętrzne. W momencie przekroczenia przez którekolwiek z kół wartości współczynnika szepności powstaje niebezpieczeństwo utraty stateczności pojazdu.

4. Wyznaczenie prędkości, przy której powstaje niebezpieczeństwo utraty stateczności

Osiągnięcie przez koło pojazdu pełnej wartości współczynnika szepności bocznej, jako własności fizycznej układu koło - nawierzchnia, stanowi granicę, przekroczenia której może spowodować utratę stateczności pojazdu.

Na podstawie przeprowadzonych przez autora obliczeń nie zamieszczonych w niniejszej pracy wynika, że kołem, które osiąga największą wartość wykorzystywanego współczynnika szepności jest przednie lub tylne koło wewnętrzne. Zależy to od położenia środka ciężkości pojazdu względem osi kół. Jeśli środek ciężkości położony jest bliżej tylnej osi wówczas tym kołem będzie wewnętrzne tylne. Dla tego koła wyprowadzono wzór na prędkość graniczną, przekroczenie której doprowadzi do przekroczenia wartości współczynnika szepności bocznej.

Wyprowadzenia dokonano odpowiednio przekształcając wzór (53). W rezultacie uzyskano:

$$v = \sqrt{\frac{R_N [\mu_b g \cdot \cos \alpha (a-x_N) (b-y_N) + \mu_b g \cdot \sin \alpha \cos \beta_N z_N (b-y_N) + \mu_b g \cdot \sin \alpha \sin \beta_N z_N (a-x_N) + g \cdot \sin \alpha \cos \beta_N \cos \beta_1 (a-x_N) (b-y_N)]}{\cos \alpha \cos \beta_N \cos \beta_1 (a-x_N) (b-y_N) - \mu_b \sin \alpha (a-x_N) (b-y_N) + \mu_b \cos \alpha \cos \beta_N z_N (b-y_N) + \mu_b \cos \alpha \sin \beta_N z_N (a-x_N)}} \quad (54)$$

[m/s]

We wzorze tym μ_b oznacza wartość współczynnika szepności bocznej.

W tabeli 2 zestawiono wartości prędkości granicznej wyznaczonej ze wzoru (54) oraz ze wzoru (1) dla pojazdu z przykładu 1 i dla zakresu promieni 50-250. Przyjęto $\mu_b = 0,3$

Tabela 2

Prędkości graniczne dla pojazdu z przykładu 1

R m	V (1) km/h	V ₍₅₄₎ km/h
50	48,5	44,6
100	68,5	62,9
150	84,0	77,0
200	96,9	88,9
250	108,4	99,3

5. Wnioski

Z przeprowadzonych rozważań wynikają następujące wnioski:

1. W przypadku rozpatrywania zagadnienia rozkładu sił działających na poszczególne koła pojazdu w ujęciu statycznym bez uwzględnienia sił obwodowych /pochodzących od napędu lub hamowania/ oraz oporu ruchu, nie ma istotnego znaczenia zastępczy schemat statyczny pojazdu.
2. Wewnętrzne koła pojazdu wcześniej niż zewnętrzne osiągają pełną wartość współczynnika szepności bocznej.
3. Wartości prędkości granicznych, przy których koła wewnętrzne osiągają pełną wartość współczynnika szepności są o około 10% mniejsze od analogicznych prędkości wyznaczonych ze wzoru (1) nie uwzględniającego nierównomiernego rozkładu sił na poszczególne koła. Przy korzystaniu zatem ze wzoru (1) dla wyznaczenia wartości ograniczenia prędkości na łuku z uwagi na bezpieczeństwo należy uwzględnić poprawkę zmniejszającą wyznaczoną wartość o ok. 10%.

Literatura

- [1] Gierszewski M.: Ramy. Obliczenia statyczne. Warszawa 1955
- [2] Jastrzębski P., Solecki R., Szykiewicz J.: Kratownice. Obliczenia statyczne. Arkady, Warszawa 1970
- [3] Lanzendoerfer J., Szczepaniak C.: Teoria ruchu samochodu. WkŁ, Warszawa 1980
- [4] Mitschke M.: Dynamika samochodu. WkŁ, Warszawa 1977
- [5] Stypułkowski B.: Drogi kołowe i węzły drogowe. PWN, Warszawa 1979
- [6] Walawski J.: Droga - bezpieczeństwo ruchu. WkŁ, Warszawa 1980

FORCES DISTRIBUTION ACTING ON WHEELS OF MOTOR VEHICLE MOVING ON
CIRCULAR ARC-STATIC ANALYSIS OF SLIP SAFETY

Summary

There is described in the paper the distribution of the gravity and centripetal forces on any wheel of the motor vehicle. This vehicle moves naturally on the circular arc. The analysis for the one scheme of the suspension is shown in detail. The formula of the limited velocity when the internal wheel has full utilization of the adhesiveness index is described in the paper.

РАЗЛОЖЕНИЕ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТДЕЛЬНЫЕ КОЛЕСА Поезда ИДУЩЕГО ПО ГОРИ -
ЗОНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ В АСПЕКТЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАНОСА

Резюме

В работе произведено разложение силы происходящей от тяжести и от центробежной силы, действующих на отдельные колеса поезда идущего по горизонтальной кривой. Детальный анализ выполнен для одной схемы подвески. Кроме этого выведена формула предельной скорости, при которой внутреннее заднее колесо подвески использует коэффициент бокового сцепления.

Mieczysław Pawłowski

PARAMETRY RUCHU PIESZEGO

W opracowaniu przedstawiono parametry ruchu pieszego, ich charakterystykę, wielkość i występujące między nimi wzajemne zależności. W projektowaniu i wymiarowaniu urządzeń dla ruchu pieszego należy zwrócić szczególną uwagę na jego specyfikę, wielowarunkowe uzależnienia i cechy lokalne.

1. Wstęp

Ruch pieszey, zwłaszcza masowy, ma wiele podobieństwa do ruchu kołowego i prawie wszystkie cechy ruchu pieszego można scharakteryzować za pomocą parametrów charakteryzujących ruch kołowy [19]. Parametry ruchu pieszego są ważnymi danymi w pracy projektantów, urbanistów i architektów służącymi do wymiarowania, projektowania, kształtowania i optymalizacji powierzchni i dróg przeznaczonych dla tego ruchu. Ich określenie w konkretnych warunkach lokalizacji urządzeń: projektowanych lub modernizowanych wpływa na dokładność prowadzonych prac, a tym samym na bezpieczeństwo, jak i sprawność ruchu pieszego.

Do parametrów ruchu pieszego należą:

- jednostka ruchu pieszego,
- prędkość jednostki ruchu pieszego,
- prędkość ruchu pieszego,
- potok ruchu pieszego,
- natężenie ruchu pieszego,
- gęstość ruchu pieszego,
- struktura rodzajowa ruchu pieszego,
- struktura kierunkowa ruchu pieszego,
- odstęp między jednostkami ruchu pieszego w rzędzie,
- odstęp między jednostkami ruchu pieszego w kolumnie,
- poziom swobody ruchu pieszego,
- zatory w ruchu pieszym /"kolejki"/,
- przepustowość ruchu pieszego.

Każdy z wymienionych parametrów wymaga odpowiedniej definicji i charakterystyki. W niniejszym opracowaniu omówiono w ten sposób wszystkie w/w parametry poza przepustowością ruchu pieszego, której podano jedynie definicję, z uwagi na rozległą literaturę na ten temat oraz występujące różnice poglądów poszczególnych autorów co do oceny wielkości przepustowości urządzeń ruchu pieszego. Jej pełna charakterystyka stanowić będzie temat oddzielnego opracowania.

2. Charakterystyka parametrów ruchu pieszego

Korzystając z różnych źródeł i badań własnych autora przedstawiono poniżej charakterystykę parametrów ruchu pieszego, określając ich wielkość, zmienność i wzajemne zależności.

2.1. Jednostka ruchu pieszego

Jednostką ruchu pieszego jest osoba pozostająca w ruchu naturalnym, jakim jest ruch pieszcy.

Brak jest pojęcia "jednostka umowna", jakie występuje w ruchu kołowym. Próbowano jednak dokonać przeliczeń i ustalić proporcję między jednostką ruchu pieszego, a jednostką umowną ruchu kołowego, w wyniku których przyjęto, że jednostce umownej ruchu kołowego odpowiada 10 jednostek ruchu pieszego [1]. Przeliczenie to ma zastosowanie przy określaniu rodzaju przejść dla pieszych, przy wchodzeniu w kolizję z ruchem kołowym.

2.2. Prędkość jednostki ruchu pieszego /prędkość pieszego/

Prędkością jednostki ruchu pieszego jest prędkość poruszania się pieszego na danym odcinku drogi lub urządzenia wyrażona, w: m/s, m/min, km/h.

Z uwagi na różnorodność cech dynamicznych poszczególnych jednostek ruchu pieszego, autorzy podają częściej prędkość danej grupy pieszych: wiekowej lub rodzajowej. Takie uproszczenie ułatwia określenie na drodze badań empirycznych wielkości tego parametru, którym jest wielkość średnia z badań reprezentantów danej grupy.

Wartości prędkości zamieszczono odpowiednio w tabelach 1 i 2.

Tabela 1

Prędkość jednostki ruchu pieszego

autor	prędkość m/s
Krüntzer/Kothe	1,00
Teichgräber	1,39
Leibbrandt	1,25 - 1,39
Stramentow	1,11

wg poz. [8]

Tabela 2

Prędkość grup pieszych

rodzaj grupy	prędkość [m/s]
mężczyźni do 35 lat	1,60
mężczyźni powyżej 35 lat	1,50
kobiety do 50 lat	1,40
kobiety powyżej 50 lat	1,30

c.d.tabeli 2

młodzież	1,80
kobiety z małymi dziećmi	0,80
	wg poz. [14]
kobiety z małymi dziećmi	0,70
dzieci od 6 do 10 lat	1,70
kobiety powyżej 50 lat	1,30
kobiety do 50 lat	1,40
mężczyźni powyżej 55 lat	1,50
mężczyźni 40 do 55 lat	1,60
mężczyźni do 40 lat	1,70
młodzież obojga płci	1,80
	wg poz. [7]
dorośli do pracy	1,39
przeciętnie	1,11
dzieci, starsi	0,69
	wg poz. [8]

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań własnych autora.

Tabela 3

Prędkość grup pieszych

rodzaj grupy	prędkość [m/s]
młodzież obojga płci	1,53
dorośli do 50 lat	1,20
starsi powyżej 50 lat	1,15
dzieci, kobiety z wózkami	1,09

Przedstawione w tabeli 3 wyniki badań uzyskano w następujących warunkach techniczno - ruchowych :

długość odcinka pomiarowego $l = 36 \text{ m}$

pochylenie, odcinek poziomy $i = 0,00$

słonecznie $+14^{\circ}\text{C}$

szerokość przekroju poprzecznego $s = 14 \text{ m}$

ruch wyłącznie pieszy

natężenie ruchu poniżej $23 \left[\frac{\text{osób}}{\text{min} \cdot \text{m}} \right]$

co odpowiada poziomowi

swobody ruchu A /patrz:poziom swobody ruchu/

data: kwiecień 1980 r.

Można uznać, że ze względu na długość odcinka pomiarowego są to prędkości chwilowe dla wyszczególnionych grup pieszych.

Czynnikiem zmniejszającym prędkość jednostki ruchu pieszego jest długość drogi jednorazowego przemieszczenia pieszego.

Występujące różnice w prędkościach poszczególnych grup pieszych wynikają z dominacji dwóch grup czynników, od których zależy poruszanie się pieszego, a mianowicie:

- czynniki zależne od pieszego i bezpośrednio z nim związane / płeć, wiek, osobowość, doświadczenie w poruszaniu się w określonych warunkach ruchu, znajomość przepisów ruchu, itp./,
- czynniki niezależne od pieszego i bezpośrednio z nim nie związane /warunki atmosferyczne, stan drogi pieszego, kształt i wyposażenie techniczne urządzeń, stopień izolacji od innych rodzajów ruchu, a także gęstość ruchu, rodzaj potoku, dyscyplina ruchu /trzymanie się prawej strony itp./.

2.3. Prędkość ruchu pieszego

Jest to najczęściej średnia prędkość potoku ruchu pieszego, t.j. wszystkich pieszych poruszających się w jednym kierunku, na danym odcinku drogi przemieszczenia pieszego. Zależna jest przede wszystkim od gęstości tego ruchu. Zależność ta w pracy [12] została określona następującym wzorem:

$$v = a - b \cdot G \quad (1)$$

gdzie:

- v - prędkość ruchu pieszego $[m/s]$
- G - gęstość ruchu pieszego $[osób/m^2]$
- a, b - współczynniki charakterystyczne

Wartości współczynników a i b wahają się w zależności od: miast, kraju, rodzaju ruchu, a nawet rasy i temperamentu pieszych i wynoszą:

$$\text{dla Anglii } a = 1,29 [m/s], \quad b = 0,32 \left[\frac{m^3}{osób \cdot s} \right]$$

$$\text{dla Polski } a = 1,79 [m/s], \quad b = 1,04 \left[\frac{m^3}{osób \cdot s} \right]$$

Wartość prędkości ruchu pieszego przedstawiono w tabeli 4, a współczynniki zmniejszające wartość prędkości z powodu wzniesienia drogi w tabeli 5.

Tabela 4

Prędkość ruchu pieszego

autor	prędkość [m/s]
Bartoszewski, Lessaer [2]	1,10-1,70
Korte [4]	1,40
Koziński [5]	1,10
Latoszek [7]	1,20 ^{xx/}
Pęciński [11]	1,10
Piechocki [12]	1,38
Oehm [10]	1,30 ^{x/}
Sieklucki [15]	1,10

x/ przy gęstości 0,7 [osób/m²]
 xx/ przy ruchu swobodnym

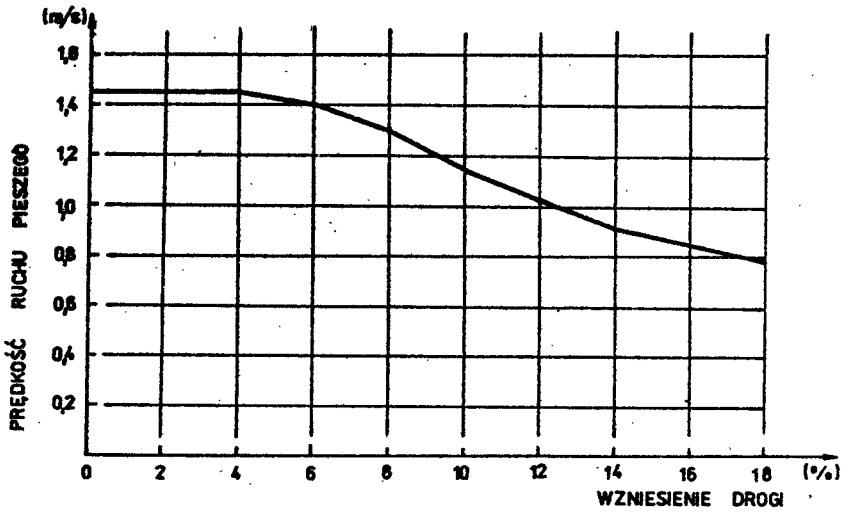
Tabela 5

Prędkość ruchu pieszego w zależności od wzniesienia

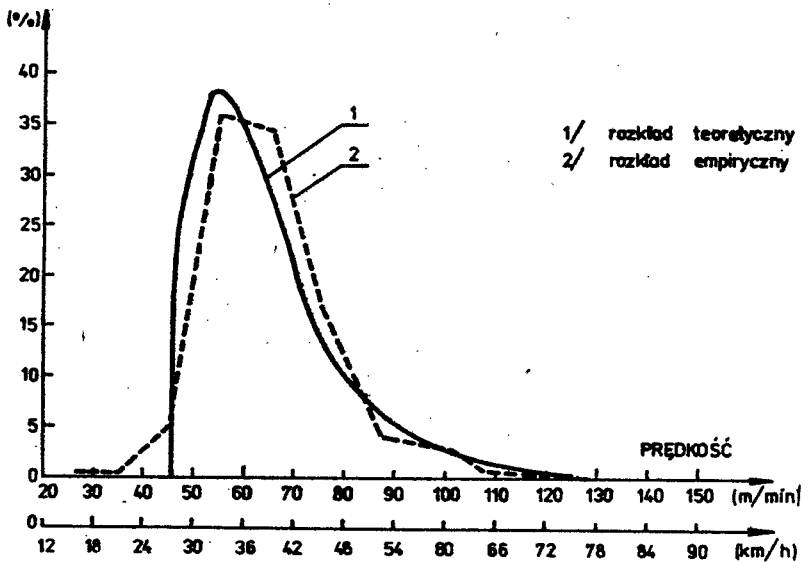
wzniesienie [%]	współczynnik x/	prędkość [m/s]
1	2	3
0 - 4	1,00	1,45
6	0,97	1,40
8	0,90	1,30
10	0,79	1,15
12	0,71	1,03
14	0,63	0,91
16	0,59	0,86
18	0,55	0,80
w przypadku schodów bez spoczników prędkość pionowa	-	0,30

x/ współczynnik przedstawiony w tabeli ustalono przy prędkości ruchu pieszego 1,45 [m/s] osiągniętej przy pochyleniu 0,0 [%] wg poz. [3]

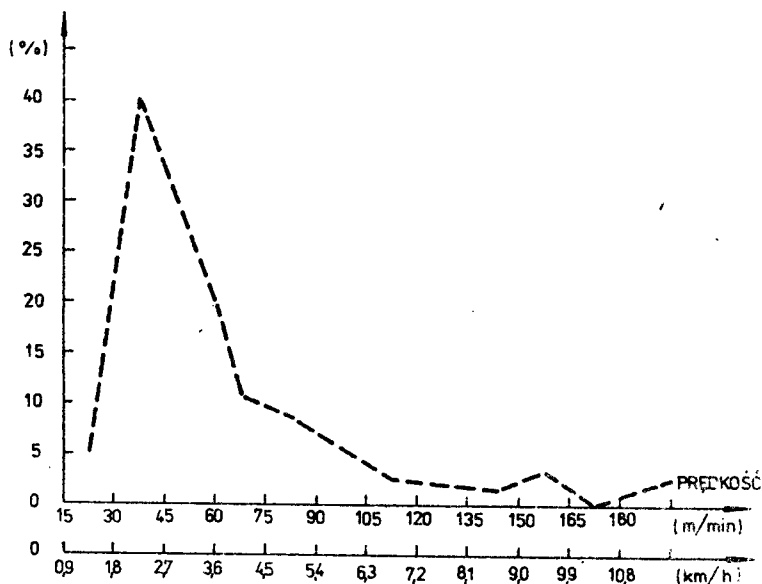
Na rys.1 przedstawiono graficzny obraz prędkości w zależności od wzniesienia, a na rysunkach 3,4,5 odpowiednio rozkłady prędkości ruchu pieszego na odcinku prostym i poziomym, na schodach w górę i na schodach w dół.



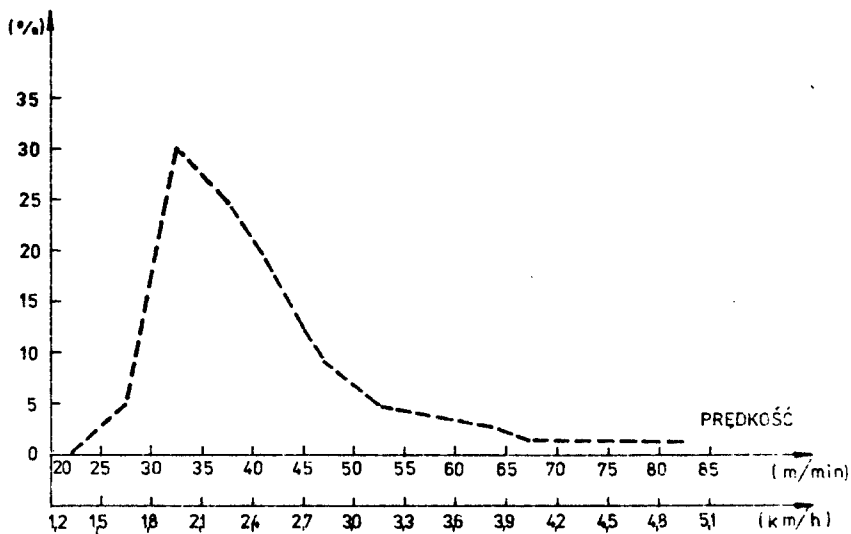
Rys.1. Zależność prędkości ruchu pieszego od wzniesienia drogi [3].



Rys.2. Rozkład prędkości ruchu pieszego na odcinku prostym i poziomym [2].



Rys. 3. Rozkład prędkości ruchu pieszego na schodach w dół [2]



Rys. 4. Rozkład prędkości ruchu pieszego na schodach w górę [2]

2.4. Potok ruchu pieszego

Stanowi zbiór jednostek ruchu pieszego /pieszych/ będący w ruchu oraz posiadający następujące cechy: kierunek i wielkość.

W tabeli 6 przedstawiono zależność prędkości ruchu pieszego od rodzaju potoku tego ruchu.

Tabela 6

Prędkość ruchu pieszego w zależności
od rodzaju potoku ruchu pieszego

rodzaj potoku	prędkość m/s
Ruch wewnętrzny wewnątrz centrum - mieszany do pracy	1,0 - 1,2
Ruch pieszych do wielkich zakładów pracy	1,2 - 1,4
Ruch handlowy w centrum miast	0,7 - 1,0
Ruch podczas imprez masowych	0,7 - 1,0

wg poz. [13]

2.5. Natężenie ruchu pieszego

Jest to liczba jednostek ruchu pieszego /pieszych/ przemieszczająca się przez określony przekrój urządzenia pieszego /np. chodnika, ciągu pieszego, biegu schodów, przejścia przez jezdnię/ w jednostce czasu.

W pracy [12] podano dwa wzory na określenie natężenia ruchu pieszego: a/ w funkcji gęstości ruchu pieszego

$$N/G = G \cdot v = a \cdot G - b \cdot G^2 \left[\frac{\text{os.}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] \quad (2)$$

b/ w funkcji prędkości ruchu pieszego

$$N/v = \frac{a}{b} \cdot v - \frac{1}{b} \cdot v^2 \left[\frac{\text{os.}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] \quad (3)$$

oznaczenia i wartości współczynników a i b jak we wzorze (1)

2.6. Gęstość ruchu pieszego

Oznacza liczbę pieszych /w ruchu lub zatrzymanych/ na określonej powierzchni. Najczęściej jednostką gęstości jest liczba pieszych przypadająca na 1 m² powierzchni urządzenia wykorzystywanego przez ten ruch.

W zależności od zachowania się w ruchu pieszy wymaga niezbędnej powierzchni komunikacyjnej. W tabeli 7 przedstawiono zależności zajmowanej powierzchni komunikacyjnej od zachowania się jednostki ruchu pieszego. W tabeli 8 podane zostały dwie klasyfikacje gęstości ruchu pieszego.

Tabela 7

Zależność wielkości zajmowanej powierzchni komunikacyjnej przez pieszego od jego zachowania się

rodzaj zachowania się osoby	zajmowana powierzchnia $m^2/os.$
stojąca	0,20 - 0,40
idąca	0,75
biegnąca	1,40

wg poz. [17]

W tabli 8 podane zostały dwie klasyfikacje gęstości ruchu pieszego.

Tabela 8

Klasyfikacja gęstości ruchu pieszego

gęstość $[osób/m^2]$	określenie ruchu pieszego
do 0,3	swobodnie
0,3 - 0,6	umiarkowanie
0,6 - 1,0	gęsto
1,0 - 1,5	bardzo gęsto
powyżej 1,5	tłok, ścisk
	<hr/>
	wg poz. [3]
0,8	gęsto
1,4	bardzo gęsto
2,0	ścisk, tłok
3,5	wielki:ścisk, tłok
	<hr/>
	wg poz. [13]

Od gęstości ruchu pieszego zależy jego prędkość. Zależność przedstawiono w tabeli 9.

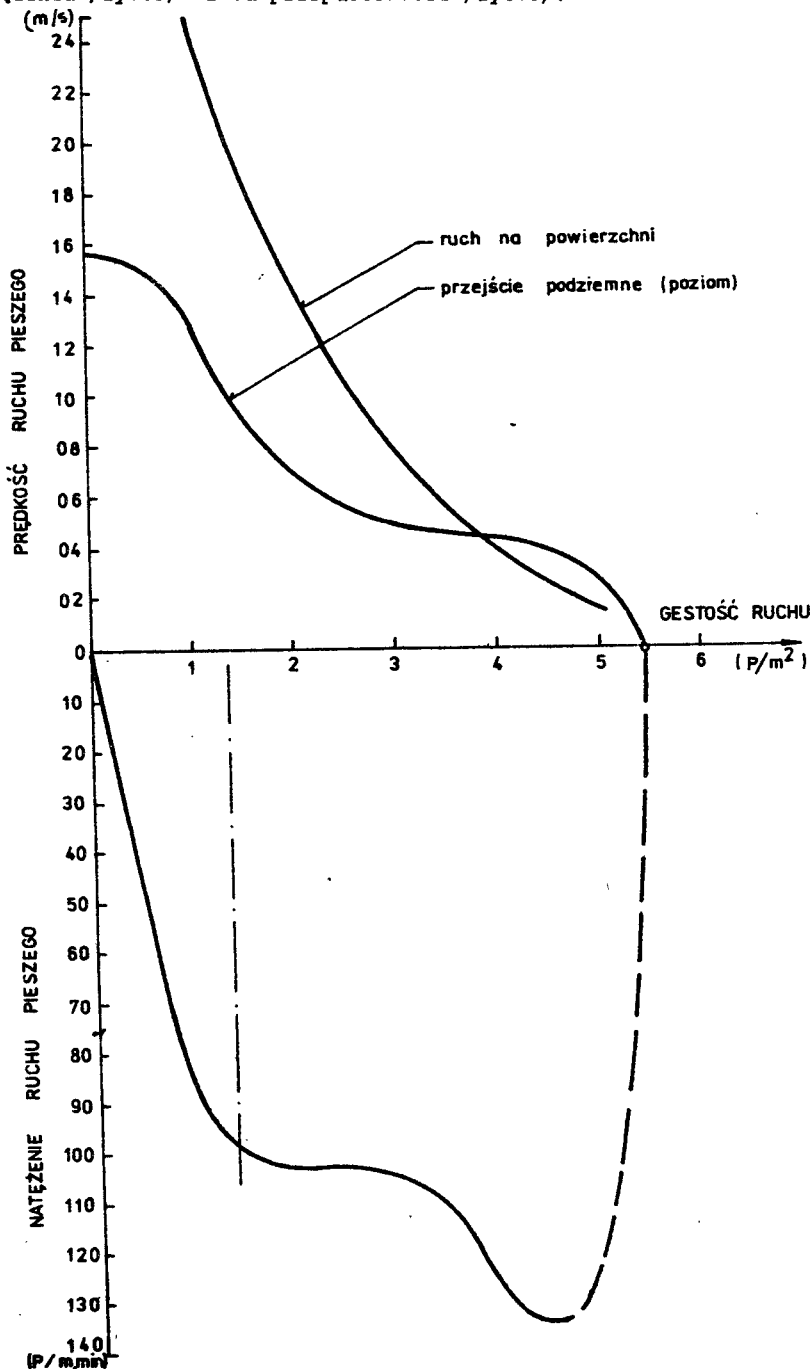
Tabela 9

Zależność prędkości ruchu pieszego od gęstości

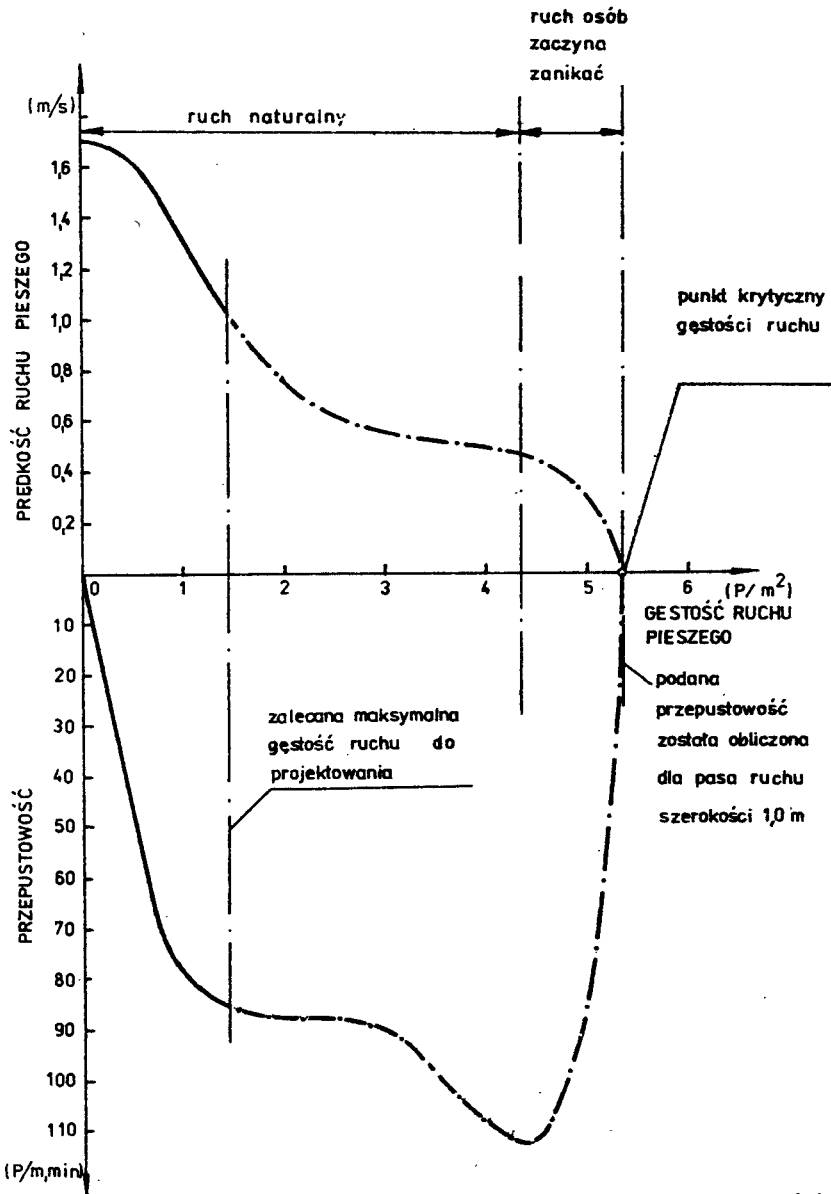
gęstość $[osób/m^2]$	prędkość $[m/s]$
0,8	1,40
1,4	1,00
2,0	0,75
3,5	0,50

wg poz. [13]

Na rys. 5 przedstawiono wykres zależności natężenia ruchu i prędkości od gęstości wg [16], a na rys. 6 zależność przepustowości i prędkości od gęstości wg [3]. Podano dwa wykresy, dla zilustrowania zależności gęstości od natężenia /rys.5/ i od przepustowości /rys.6/.



Rys.5. Zależność natężenia i prędkości od gęstości ruchu pieszeego [16]



Rys. 6. Zależność między przepustowością, prędkością a gęstością ruchu pieszego

2.7. Struktura rodzajowa ruchu pieszego

Strukturę rodzajową ruchu pieszego stanowi określenie udziału poszczególnych grup jednostek ruchu pieszego w potoku tego ruchu. Można dokonywać obliczeń struktury rodzajowej wg płci, wieku itp.

2.8. Struktura kierunkowa ruchu pieszego

za pomocą tego parametru określamy rozdział potoków ruchu pieszego na poszczególne kierunki w obrębie urządzeń wykorzystywanych przez ten ruch /np. skrzyżowania, przejścia dla pieszych i to szczególnie podziemne/.

2.9. Odstęp między jednostkami ruchu pieszego w rzędzie

Określony został szerokością pasa ruchu pieszego i wynosi 0,75 m lub 1,00 m. W przypadku biegu schodów: stałych lub ruchomych wartość ta zmienia się w granicach od 0,6 do 1,2 m, w zależności od konstrukcji i funkcji /np. domy towarowe 0,6/ 1,0 m, dworce kolejowe 1,0/1,2m/.

2.10. Odstęp między jednostkami ruchu pieszego w kolumnie

Jest zmienny i zależy od prędkości i gęstości tego ruchu. Zwykle do obliczeń przepustowości przyjmuje się wymiar 0,75 m.

2.11. Poziom swobody ruchu pieszego

Określa warunki ruchu pieszego, tj. możliwość wyboru dowolnej prędkości przez pieszego oraz zdolności wykonywania manewrów: mijania, wyprzedzania i omijania.

Rozróżnia się pięć [6] poziomów swobody ruchu: A, B, C, D, E, lub sześć [18] /dodatkowy poziom F/. W tabeli 10 przedstawiono charakterystykę poziomów swobody ruchu poprzez odpowiadające im wartości prędkości i gęstości ruchu pieszego. Podobną charakterystykę poziomów swobody ruchu jak w tabeli 10, lecz w rozbięciu na urządzenia, tj. dla dróg pieszych i dla schodów przedstawiono w tabelach 11 i 12.

Tabela 10

Charakterystyka poziomów swobody ruchu

Poziom swobody ruchu	Charakterystyka warunków ruchu	Gęstość ruchu [osób/m ²]	Prędkość ruchu [m/s]
A	Ruch swobodny umożliwiający poruszanie się z dowolną prędkością, wymijanie i wyprzedzanie	0,0 - 0,5	1,5
B	Warunki ruchu wywołują częściowe ograniczenie swobody wyprzedzania i wymijania oraz wyboru prędkości	0,5 - 1,0	1,5-1,3
C	Gęstość ruchu zmusza do poruszania się w kolumnie z ograniczoną prędkością	1,0 - 2,0	1,3-0,7
D	Zatłoczenie powoduje znaczne obniżenie prędkości i znaczne utrudnia ruch w kierunku przeciwnym	2,0 - 4,0	0,7-0,4

c.d.tabeli 10

E	Dalsze zagęszczanie grozi zatrzymaniem ruchu	powyżej 4,0	0,4-0,0
---	--	-------------	---------

wg poz. [6]

Tabela 11

Charakterystyka poziomów swobody ruchu na drogach dla pieszych
/chodnikach, ciągach pieszych/

Poziom swobody ruchu	Gęstość ruchu [osób/m ²]	Średnie natężenie ruchu [osób / min · m]	Główny kierunek ruchu	Większy potok ruchu z przeciwnika	Potok na przejściu dla pieszych
A	<0,31	< 23	F	F	F
B	0,36	26	F	F	R
C	0,53	39	F	R	R
D	0,71	56	F	R	S
E	1,11	72	R	S	S
F	>2,00	>82	S	S	S

oznaczenia dla warunków ruchu:

F - ruch odpowiednio swobodny, minimum ograniczeń i uciążliwości,

R - ruch ograniczony, duże prawdopodobieństwo kolizji i uciążliwości,

S - ruch mocno ograniczony.

wg poz. [18]

Tabela 12

Charakterystyka poziomów swobody ruchu na schodach

Poziom swobody ruchu	Gęstość ruchu [osób/m ²]	Średnie natężenie ruchu [osób / min · m]	Główny kierunek ruchu	Większy potok ruchu z przeciwnika
A	< 0,5	16	F	F
B	0,5 - 0,7	20	F	F
C	0,7 - 1,1	26	F	R
D	1,1 - 1,4	36	R	R
E	1,4 - 2,5	49	R	S
F	>2,5	pow.56	S	S

oznaczenia: F,R,S jak w tabeli 11

wg poz. [18]

2.12. Zatory /"kolejki"/

Zatorem nazywamy zatrzymywanie się jednostek ruchu pieszego i ich koncentrację w obrębie określonej powierzchni urządzenia dla pieszych. Zatory występują w przypadku przeszkód, np.: skrzyżowanie /czerwone światło, lub brak odpowiednich luk czasowych między pojazdami umożliwiającymi bezpieczne przekroczenie jezdni/, zwężenie przekroju poprzecznego urzą -

dzenia dla pieszych, zamknięty przejazd kolejowy. Zatem może być rów -
nież impreza masowa z udziałem pieszych. Ich charakter, sposób formowa -
nia i likwidacji ma istotne znaczenie przy wymiarowaniu urządzeń i ogra -
nizacji ruchu pieszego.

Poziomy swobody ruchu w zatorach i możliwość ich dopuszczenia po -
dane w tabeli 13.

Tabela 13

Poziomy swobody ruchu w zatorach i dopuszczenie
ich stosowania

Poziom swo - body ruchu	Gęstość ru - chu [osób/m ²]	Odległość mię - dzy osobami w zatorze [m]	Rodzaj stre - fy odpowiada - jącej pozi - mowi swobody ruchu	Dopuszczenie sto - sowania
A	< 0,8	1,2	strefa swo - bodnego krążenia w zatorze	miejsca publicz - nych zebrań, stre - fy przechowalni bagażu
B	0,8-1,1	1,1-1,2	strefa ogra - niczonego krążenia w zatorze	miejsca publicz - nych zebrań, kory - tarze w wagonach kolejowych
C	1,1-1,4	0,9-1,1	strefa do - brego samo - poczucia	uporządkowane ko - lejki za biletami, dźwigi osobowe
D	1,4-3,3	0,6-0,9	strefa niedo - tykania się osób	powierzchnie scho - dów ruchomych, wy - sypy bezpieczeństwa - stwa dla pieszych strefy koncentra - cji przed przej - ściami przez jezd - nię, nie zaleca się przy dłuższym okresie oczekiwa - nia
E	3,3-5,0	0,6	strefa doty - kania się o - sób	jedynie w dźwi - gach osobowych windach/
F	> 5,0	całkowity kontakt osób	"człowiek e - lipsa"	nie zaleca się stosowania

wg poz. [18]

2.13 Przepustowość ruchu pieszego

Jest to największa liczba jednostek ruchu pieszego, jaka może pokonać
określony przekrój urządzenia dla pieszych /zwykle pas ruchu lub zespół
pasów /w określonej jednostce czasu, najczęściej 1 godziny.

Z uwagi na istotne znaczenie tego parametru oraz różnice w ocenie
przepustowości tych samych urządzeń wg poszczególnych autorów charaktery -

styka tego paramatru będzie przedmiotem odrębnego opracowania.

3. Podsumowanie

Przedstawione w opracowaniu parametry ruchu pieszego, poza brakiem szerszego omówienia przepustowości, dają obraz istoty i charakteru tego rodzaju ruchu. Jest on częstokroć niedoceniany przy projektowaniu i kształtowaniu zabudowy i najczęściej stwarza wiele trudności podczas późniejszej eksploatacji niedokładnie zaprojektowanych urządzeń. Różnorodność funkcji zlokalizowanych na niewielkim obszarze /np. centrum miasta/ potęguje skalę trudności szczególnie na styku: ruch kołowy - ruch pieszey. Znaczenia szczegółowego nabierają przedstawione w opracowaniu parametry przy kształtowaniu wydzielonych stref ruchu pieszego, gdzie nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie ruchu kołowego, a tym samym pełna izolacja ruchu pieszego. Pozostający w obrębie stref ruchu pieszego ruch dostawczy i pojazdów specjalnych /np. oczyszczania miasta, straży pożarnej, pogotowia ratunkowego/ wymaga przy projektowaniu urządzeń dla ruchu pieszego wkalulowania obecności w/w ruchów i ich koncentracji w czasie.

Istotna jest również specyfika tego ruchu, a zatem poszczególnych jego parametrów w obrębie danego kraju i miasta, rasy i temperamentu pieszych.

Przedstawiona charakterystyka parametrów ruchu pieszego nie jest pełna. Wymaga dalszych badań, a szczególnie uwzględnienia warunków lokalnych, które zasadniczo decydują o dokładności projektowania i wymiarowania urządzeń dla ruchu pieszego.

Literatura

- [1] Bartoszewski J.: Węzły drogowe i uliczne. WKiŁ, Warszawa 1970
- [2] Bartoszewski J., Leasser S.: Tunele i przejścia podziemne w miastach. WKiŁ, Warszawa 1971
- [3] Grahl W.: Durchlässigkeit von Anlagen des Fussgängerverkehrs. Die Strasse nr 12/1978
- [4] Korte J.W.: Grundlagen der Strassenverkehrsplanung in Stadt und Land. Berlin 1960 2. Auflage
- [5] Koziński S.: Koncepcja zabudowy miasta. Wyd. II Arkady, Warszawa 1974
- [6] Kryteria i wytyczne projektowania przejść dla pieszych. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1979
- [7] Latoszek M.: Organizacja i technika ruchu drogowego WSiP, Warszawa 1978
- [8] Müller P.: Fussgängerverkehr in Wohnsiedlungen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 121, Bonn 1971
- [9] Normatywy i wytyczne projektowania ulic /projekt/. MGK. Departament Techniki, Warszawa 1971
- [10] Oehm: Stadtautobahnen. Planung, Bau, Betrieb, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin 1973
- [11] Pęciński W.: Komunikacja jako czynnik kształtowania miasta. Miasto nr 1/1977

- [12] Piechocki W.: Technika filmowa w badaniu ruchu pieszego. Drogownictwo, nr 2/1980
- [13] Rabe U.: Fusswege zu den Zugangstellen des öffentlichen Personennahverkehrs - Närfungsverfahren zur Gewinnung von Eingabedaten für Netzberechnungen mit EDVA. die Strasse nr 10/1973
- [14] Research on Traffic HMSO, Londyn 1965, rozdział 12
- [15] Sieklucki B.: Czas podróży a zagospodarowanie przestrzenne. Biuletyn Instytutu Kształtowania Środowiska nr 3/1976
- [16] Suchorzewski W.: Wybrane zagadnienia inżynierii ruchu. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1977
- [17] Sumień T.: Ruch pieszy jako czynnik kształtujący przestrzenną strukturę zabudowy centrum miasta. Instytut Urbanistyki i Architektury, Żelazny 181, Warszawa 1971
- [18] Characteristics and Service Requirements of Pedestrians and Facilities. Informational Report. Traffic Engineering and Control vol.46 nr 5/1976
- [19] Witkowski J.: Pieszy w ruchu drogowym. WKŁ, Warszawa 1978

PEDESTRIAN PARAMETERS

Summary

Pedestrian parameters, their characteristic volume and existing interdependences have been studied. In designing and grading of pedestrian devices special attention must be paid to their specificity, subjections to many conditions and local characteristics.

ПАРАМЕТРЫ ПЕШЕХОДНОГО ДВИЖЕНИЯ

Резюме

В статье представлены параметры пешеходного движения и выступающие между ними зависимости. В связи с проектированием и формированием пешеходных улиц и других устройств для пешеходов следует обратить особое внимание на: особенности пешеходного движения и его зависимость параметров от характеристики города и темперамента жителей.

Romuald Napierała

ZASTOSOWANIE WAPNA POSODOWEGO JAKO ŚRODKA ZWIĘKSZAJACEGO PRZYCZEPNOŚĆ LEPISZCZ BITUMICZNYCH DO KRUSZYW

Opracowanie zawiera wyniki badań odpadowego wapna posodowego, zastosowanego jako środek adhezyjny do mieszanek mineralno-asfaltowych, przy wykorzystaniu metod badawczych określonych w literaturze jako "metody gotowania" i "metody porównywania wytrzymałości próbek".

1. Wstęp

Jednym z szerzej stosowanych środków adhezyjnych, zwłaszcza w przypadku konieczności użycia do produkcji mieszanek mineralno-bitumicznych kruszywa kamiennego o małej przyczepności, np. ze skał kwaśnych lub materiału wilgotnego otaczanego na zimno bitumicznymi lepiszczami upłynnionymi, jest wapno hydratyzowane. Dodaje się szczególnie do kruszywa w czasie wytwarzania mieszanek mineralno-bitumicznych na mokro, przy czym ilość wapna powinna wynosić 1-3% wagowo w stosunku do masy kruszywa w zależności od jego rodzaju. Wapno hydratyzowane spełnia także częściowo rolę wypełniacza mineralnego [3].

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule było ustalenie wpływu dodatku do mieszanki mineralno-asfaltowej wapna posodowego na zwiększenie przyczepności lepiszcza do kruszywa.

Badane wapno posodowe było produktem ubocznym, powstałym w procesie produkcji sody według metody "Solvay'a" w Inowrocławskich Zakładach Chemicznych w Mławach.

Zakresem badań objęto określenie przyczepności asfaltu do kruszywa, z innym dodatkiem wapna posodowego, metodą gotowania oraz metodą porównywania wytrzymałości na ściskanie próbek mieszanek mineralno-asfaltowych.

Badania wykonano dla trzech rodzajów kruszywa: granitowego, bazaltowego i wapiennego. Jak wiadomo granit zaliczany jest do skał kwaśnych, natomiast bazalty i wapienie do skał zasadowych.

2. Charakterystyka materiałów użytych do badań

2.1. Ogólne dane o wapnie posodowym

Wapno posodowe jako produkt odpadowy, powstający przy produkcji sody metodą "Solvay'a", odprowadzane jest w postaci gęstego szlamu do wielokrotnych osadników. Po wysuszeniu tworzy bryły dające się łatwo rozkruszyć i rozdrobnić do postaci białej mączki.

Ilość odpadów odprowadzanych do osadników przewyższa 9,5 - krotnie ilość wyprodukowanej sody.

Skład chemiczny wapna posodowego nie jest stały i zależy od stopnia wypłukiwania zanieczyszczeń.

Zmienność zanieczyszczeń oraz żrące właściwości szlamu wapiennego są głównymi przyczynami, które uniemożliwiają wykorzystanie tego odpadu jako surowca do produkcji materiałów budowlanych. Ocenia się szacunkowo, że na jednym obszarze osadników zalega około 25 mln m³ odpadowego wapna posodowego. W ciągu doby odprowadza się do odstożników około 500 ton szlamu wapiennego, z czego 20-25% stanowi wapno posodowe.

2.2. Dotychczasowe badania nad wykorzystaniem wapna posodowego

Odpadowe wapno posodowe było niejednokrotnie przedmiotem badań nad możliwością wykorzystania go w budownictwie drogowym. W celu wykorzystania tych odpadów przeprowadzono badania w b. WZDP w Bydgoszczy. Na podstawie mieszanki mineralno-bitumicznej na mokro wybudowano doświadczalny odcinek nawierzchni. Ze względu na wynikające trudności w dozowaniu wapna podczas wytwarzania mieszanki oraz podczas jej wbudowywania zaniechano tego materiału.

Również w Technikum Drogowym w Mogilnie pod kierunkiem inż. Nowackiego wykonano badania nad wykorzystaniem wapna posodowego jako wypełniacza mineralnego do wytwarzania mieszanek asfaltowo-mineralnych typu betonowego produkowanego i wbudowywanego na gorąco. Badania te wykazały przydatność wapna posodowego jako wypełniacza zastępczego [4]. Prace te ograniczono do badań laboratoryjnych z zastosowaniem tylko kruszywa bazaltowego.

Badania nad wykorzystaniem wapna posodowego przeprowadzono również w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie. Założeniem tej pracy było zbadanie możliwości zastosowania wapna posodowego jako dodatku poprawiającego urabialność masy betonowej oraz zwiększającego wytrzymałość i wodoszczelność betonu przy jednoczesnym zmniejszeniu jego nasiąkliwości. Na podstawie wstępnych badań laboratoryjnych stwierdzono, że dodatek wapna posodowego nie wywiera wyraźnego wpływu na wiązanie cementu, konsystencję masy betonowej oraz poprzednio wymienione cechy fizyczne betonu cementowego. Na wniosek autora uznano za niecelowe ze względów technicznych i ekonomicznych kontynuowanie podjętego tematu [5].

Jak wynika z pokrótce omówionych badań, nie zajmowano się dotychczas wpływem wapna posodowego na przyczepność lepiszcza bitumicznego do kruszywa mineralnego.

Jeśli chodzi o zagospodarowanie omawianego odpadu, to jedynie okoliczne rolnictwo wykorzystuje go w nieznacznej ilości. Przybliżony skład chemiczny wapna posodowego podano w tabeli 1.

Tabela 1

Analiza chemiczna wapna posodowego

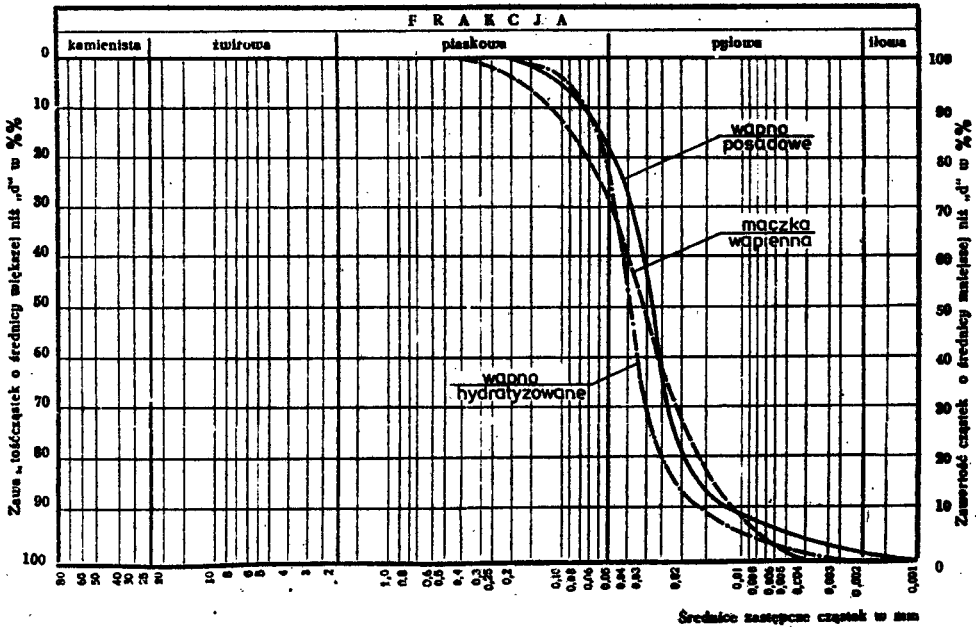
Lp.	Wyszczególnienie składników	Zawartość
1	Wodorotlenek wapnia Ca/OH/2	31 ± 5%
2	Węglan wapnia CaCO ₃	35 ± 5%

c.d.tabeli 1

3	Siarczan wapnia CaSO_4	$9 \pm 2 \%$
4	Tlenek krzemu SiO_2	$12 \pm 3 \%$
5	Tlenek magnezu MgO	$7 \pm 2 \%$
6	Chlorek sodu NaCl	$2 \pm 1 \%$
7	Chlorek wapnia CaCl_2	$4 \pm 2 \%$

2.3. Charakterystyka materiałów wypełniaczych

Właściwości fizyczne wypełniaczy zastosowanych do badań zawiera tabela 2, natomiast na rys. 1 przedstawiono ich uziarnienia.



Rys.1. Wykres uziarnienia wypełniaczy

2.4. Charakterystyka materiałów kamiennych i asfaltu

Zarówno materiały kamienne, a więc grysy granitowe, bazaltowe, wapienne i pospółka, jak i asfalt D 70 użyte do badań omawianego zagadnienia metodami wymienionymi we wstępie, odpowiadały wymaganiom właściwych norm.

3. Określenie przyczepności asfaltu z dodatkiem wapna hydratyzowanego i wapna posodowego do kruszywa

3.1. Badania metodą gotowania

Badanie to polega na gotowaniu kruszywa otoczonego bitumem w wodzie.

Miarą przyczepności jest powierzchnia ziarem kruszywa pokrytą błoną lepisczą, pozostałą po gotowaniu, wyrażoną w procentach.

Tabela 2

Właściwości fizyczne materiałów wypełniaczych

Lp.	Właściwości fizyczne	Jednostki	Mączka wapienna		Wapno hydratyzowane		Wapno posobowe		Wymagania wg PN-61/9-96504	
			posob-taje	prze-chodzi	posob-taje	prze-chodzi	posob-taje	prze-chodzi	Wypełniacz posobowy	Wypełniacz za-stępny
1	Analiza sitowa pozostałe przechodzi	%	80,4	80,4	88,8	88,8	88,0	88,0	80	55
			14,1	94,5	10,9	99,7	9,0	97,0	95	80
			3,1	97,6	0,1	99,8	3,0	100,0	100	95
			1,2	98,8	0,2	100,0	-	-	100	100
			1,2	100,0	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-
	Razem :	%	100,0	-	100,0	-	100,0			
2	Wilgotność Powierzchnia właściwa Współczynnik emulgacji Zawartość cząsteczek o średnicy zastępczej do 0,05 mm w stosunku do ilości cząsteczek przechodzących przez sito 0,075 mm	%	0,20	0,15	6 - 7	3	2,500-4,500	3	2,500-4,500	3
			3,820	7,850	6,650	0,40	0,40	0,40		
			0,33	0,25	0,36					
			90,9	79,8	90,8	50	35			

Tabela 3

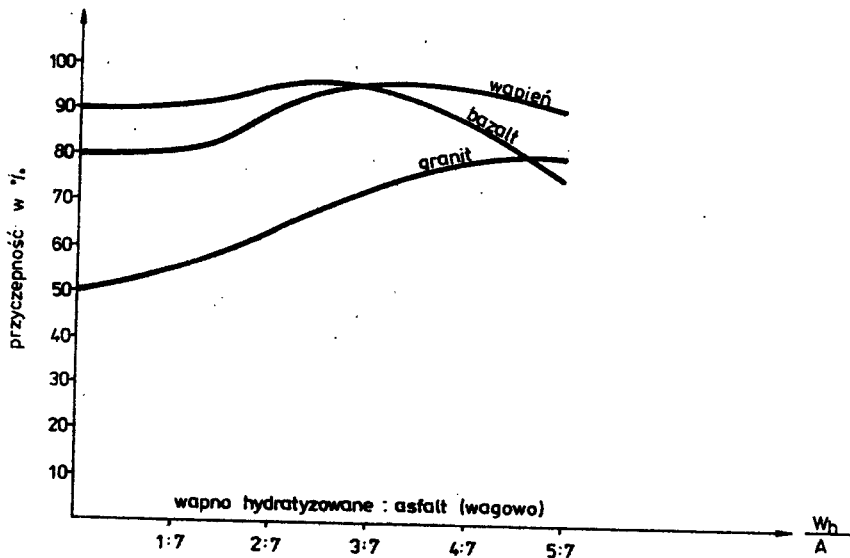
Wyniki badań przyczepności asfaltu D 70 do kruszywa mineralnych według metody gotowynia

Rodzaj według petrograficznej klasyfikacji surowców	Asfalt D 70													
	Dodatek wapna hydratyzowanego w stosunku wagowym do asfaltu							Dodatek wapna posodowego w stosunku wagowym do asfaltu						
	1:7	2:7	3:7	4:7	5:7	1:7	2:7	3:7	4:7	5:7	6:7	7:7		
	Stopień odmycia w procentach													
Bez dodatków	10	10	5	15	25	10	10	10	20	20	20	35	45	60
Wapień	20	10	5	5	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Granit	50	45	30	20	20	60	70	75	80	85	95	95	95	95

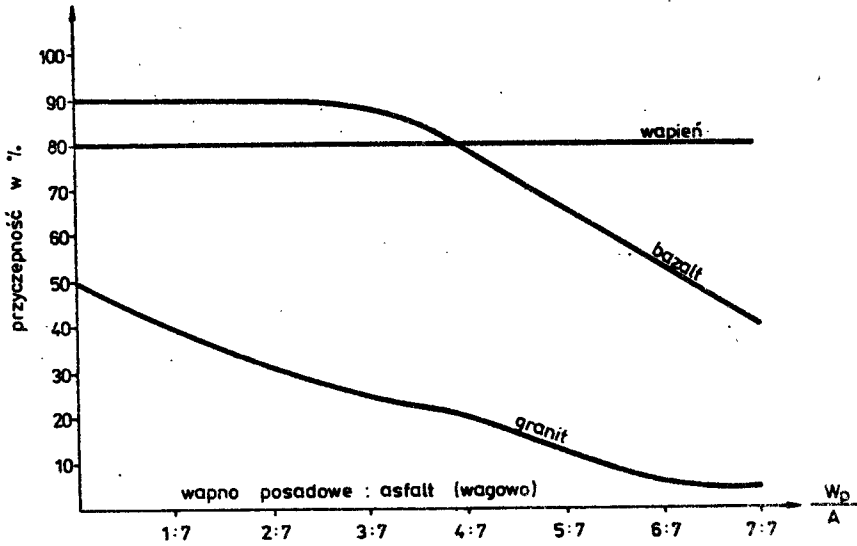
Badania wykonano według normy PN-63/B-06731 "żużel wielkopiecowy ka - wałkowy. Kruszywo budowlane i drogowe. Badania techniczne" oraz według wskazań zawartych w pracy [2]. Do badań użyto czystych granitowych, bazaltowych i wapiennych grysów frakcji 5-10 mm. Grysy otaczano asfaltem D 70 z dodatkiem wapna hydratyzowanego i posodowego w różnych ilościach. Dodatki dozowano w stosunku wagowym do masy asfaltu. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3. Jako podstawę uzyskanych wyników przytacza się kryteria ich oceny według wyżej cytowanej normy:

- a/ brak śladów odmycia - przyczepność bardzo dobra,
- b/ odmycie lepszczą od kruszywa do 20% powierzchni - przyczepność dobra,
- c/ odmycie lepszczą od kruszywa nie więcej niż 50% powierzchni - przyczepność dostateczna,
- d/ odmycie lepszczą od kruszywa przekracza 50% powierzchni - przyczepność niedostateczna.

Graficzną ilustrację wyników badań przedstawiono na rys.2 i 3 .



Rys.2. Przyczepność według metody gotowania asfaltu B 70 do kruszyw mineralnych zależnie od dodatku wapna hydratyzowanego



Rys. 3. Przyczepność według metody gotowania asfaltu D 70 do kruszyw mineralnych zależnie od dodatku wapna posadowego

3.2. Badanie metodą porównywania wytrzymałości próbek mineralno-asfaltowych [1]

Badania adhezji metodą porównywania wytrzymałości na ściskanie polegały na wyznaczeniu stosunku wytrzymałości badanych próbek mieszanek mineralno-asfaltowych pielęgnowanych w wodzie R_w do pielęgnowanych na powietrzu R_p . Stosunek ten oznaczony R_w/R_p określa się dalej wskaźnikiem wytrzymałości.

Zasadę badania stanowiła zatem metoda Diurez polegająca na określeniu stosunku wytrzymałości R_w w temp. 18°C próbek pielęgnowanych przez 7 dni w wodzie o tej samej temperaturze do wytrzymałości R_p próbek pielęgnowanych na powietrzu w temp. 18°C , przy szybkości tłoka prasy $1,0\text{ mm/s}$. Zmiana tej metody polegała jedynie na tym, że szybkość przesuwu tłoka prasy podczas ściskania próbek wynosiła $0,21\text{ mm/s}$, a próbki pielęgnowano w temperaturze otoczenia.

Mieszanki mineralno-asfaltowe zaprojektowano jak dla nawierzchni z betonu asfaltowego drobnoziarnistego o strukturze zamkniętej według PN-74/s-96022 "Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego". Przy ustalaniu mieszanki mineralnej przyjęto zasadę utrzymania jednakowej procentowej zawartości materiałów mineralnych przy różnym zestawieniu wypełniaczy.

Celem uzyskania warunków porównawczych przy określaniu ilości asfaltu według PN-74/8934-06 "Drogi samochodowe. Nawierzchnie z bitumicznych mas otaczanych na gorąco" dla poszczególnych mieszanek uwzględniono różnicę chłonności materiałów wypełniaczych.

Tabela 4

Skład mieszanek mineralno-asfaltowych drobnoziarnistych typu betonowego
z zastosowaniem gysu granitowego

Skład mieszanek i uziarnienie kruszywa	Oznaczenie /symbolika/ i składy mieszanek				
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
Skład mieszanek w stosunku do ciężaru, % wag.					
- asfalt D 70	6,51	6,68	6,68	7,05	7,23
- grys granitowy 2-8 mm	49,55	49,46	49,36	49,26	49,17
- pospółka do 8 mm	32,72	32,66	32,60	32,53	32,47
- maczka wapienna	11,22	8,40	5,59	2,79	-
- wapno posodowe	-	2,80	5,59	8,37	11,13
Uziarnienie mieszanek mineralnej					
1. Analiza sitowa mieszanek mineralnej					
- pozostaje na sicie 5,0 mm	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
2,0 mm	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
0,840 mm	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
0,420 mm	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
0,300 mm	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7
0,180 mm	5,8	5,7	5,7	5,7	5,6
0,150 mm	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2
0,075 mm	3,7	3,5	3,2	2,9	2,7
przechodzi przez sito 0,075 mm	10,1	10,4	10,8	11,1	11,4
2. Uziarnienie mieszanek w stosunku docieźaru, % wag.					
- ziarna 2 - 8,0 mm	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5
- ziarna 0,0750-2,0 mm	34,4	34,1	33,7	33,4	33,1
- ziarna 0,0750 mm	10,1	10,4	10,8	11,1	11,4

Tabela 5

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek wykonanych z zastosowaniem gysu granitowego

Oznaczenie mierzaki	Wytrzymałość próbek			przechowywanych na powietrzu R_p				Wytrzymałość próbek przechowywanych przez 7 dni w wodzie R_w				Wskaźnik wytrzymałości $\frac{R_w}{R_p}$
	Wysokość próbki w cm	Współczynnik korelacji	Wartość siły niszczonej próbkę w kN	Wytrzymałość na ściskanie proste w $\text{MN/m}^2 / \text{MPa}$	Skorygowana wytrzymałość na ściskanie w MPa	Sred. wart. wytrzymałości na ściskanie w MPa	Wysokość próbki w cm	Współczynnik korelacji wg EN-67/S-04001	Wartość siły niszczonej próbkę w kN	Wytrzymałość na ściskanie w $\text{MN/m}^2 / \text{MPa}$	Skorygowana wytrzymałość na ściskanie w MPa	
G ₁	4,90	1,014	8,20	4,1	4,0	4,1	5,27	0,980	10,17	5,1	5,2	5,2
	4,88	1,016	8,60	4,3	4,2	4,1	5,10	-	10,17	5,1	5,1	5,1
	4,89	1,015	8,60	4,3	4,2	4,1	5,12	-	10,17	5,1	5,1	5,1
G ₂	5,36	0,973	7,40	3,7	3,8	3,7	5,29	0,978	7,81	3,9	4,0	4,0
	5,32	0,976	7,40	3,7	3,8	3,7	5,30	0,977	7,81	3,9	4,0	4,0
	5,48	0,962	7,01	3,5	3,6	3,6	5,18	0,989	7,41	3,7	3,8	3,8
G ₃	5,21	0,985	7,40	3,7	3,8	3,6	5,00	-	7,01	3,5	3,5	3,5
	5,25	0,982	7,01	3,5	3,6	3,6	5,00	-	7,01	3,5	3,5	3,5
	5,24	0,983	7,01	3,6	3,7	3,7	5,10	-	7,01	3,5	3,5	3,5
G ₄	5,15	-	7,01	3,5	3,5	3,6	5,14	-	5,83	2,9	2,9	2,9
	5,07	-	7,40	3,7	3,7	3,6	5,17	-	5,83	2,9	2,9	2,9
	5,14	-	7,40	3,7	3,7	3,7	4,90	1,014	6,22	3,1	3,0	3,0
G ₅	5,30	0,977	7,40	3,70	3,8	3,8	5,60	0,950	6,22	3,1	3,3	3,3
	5,46	0,964	7,40	3,7	3,8	3,8	5,70	0,941	5,83	2,9	3,1	3,1
	5,57	0,954	7,40	3,7	3,8	3,8	5,05	-	6,22	3,1	3,1	3,1

Tabela 6

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek betonu asfaltowego

Mieszanka mineralno-asfaltowa z zastosowaniem grysów	granitowego						bazaltowego						wapiennego		
	12	9	6	3	-	12	9	6	3	-	12	9	6	3	-
Rodzaj dodatku /materiał wy - pełniaczowy	-	3	6	9	12	-	3	6	9	12	-	3	6	9	12
Mączka wapienna	4,1	3,7	3,6	3,6	3,8	4,2	3,8	3,8	4,0	4,1	3,3	3,7	3,7	3,2	3,0
Wytrzymałość próbek przecho- wywanych na powietrzu R_p . MPa															
Wytrzymałość próbek przecho- wywanych przez 7 dni w wo - dzie R_w , MPa	5,2	3,9	3,5	2,9	3,2	4,5	4,0	3,2	3,2	3,3	3,2	3,6	3,7	3,1	3,0
Wskaźnik wytrzymałości $R_w : R_p$	1,27	1,05	0,97	0,81	0,84	1,07	1,05	0,84	0,80	0,80	0,97	0,97	1,00	0,97	1,00

Próbki sporządzono i ścisano zgodnie z normą PN-67/S-04001 "Drogi samochodowe. Metody badań mas mineralno - bitumicznych i nawierzchni samochodowych".

Pełną dokumentację laboratoryjną dla próbek wykonywanych z betonu asfaltowego przy użyciu grysu granitowego, tj. skład mieszanki mineralno-asfaltowej, oraz wyniki badań wytrzymałości próbek na ściskanie przedstawiono w tabelach 4,5 i 6.

Natomiast dla próbek betonu asfaltowego wykonanych z zastosowaniem grysu bazaltowego i wapiennego ograniczono się do podania jedynie ostatecznych wyników badań ich wytrzymałości na ściskanie. Dane te zawiera tabela 6.

4. Analiza wyników badań

4.1. Przyczepność określona metodą gotowania

Wszystkie próbki kruszyw mineralnych, otoczone równomiernie samym asfaltem, tzn. bez dodatku wapna posodowego lub hydratyzowanego, poddane gotowaniu w wodzie, uległy częściowemu odmyciu. Stopień odmycia zależny był od rodzaju kruszywa. I tak: odmycie grysu bazaltowego dochodziło do 10% powierzchni kruszywa /pryczepność dobra/, grysu wapiennego do 20% ich powierzchni /pryczepność dobra/ i grysu granitowego - 50% /pryczepność dostateczna/.

Dodatek wapna hydratyzowanego poprawił przyczepność asfaltu do wszystkich rodzajów grysów, co zresztą potwierdziło tylko znane już w praktyce zjawisko. Jest to najbardziej widoczne dla grysu granitowego /rys.2/. Skała granitowa, jak wiadomo, zaliczana jest do kwaśnych, a przyczepność lepiszc bitumicznych do kruszywa pochodzącego z takich skał jest osłabiona.

W przypadku grysu granitowego dodatek wapna posodowego powoduje znaczne obniżenie odporności na odmycie wodą asfaltu z powierzchni kruszywa. Zjawisko to daje się zauważyć już przy wprowadzeniu do asfaltu niewielkiej ilości badanego wapna posodowego.

W odniesieniu do grysu bazaltowego, można stwierdzić, że dodatek wapna posodowego w ilości, dla której jego stosunek wagowy z asfaltem wynosi 3 : 7, nie wpływa na wielkość odmycia lepiszcza od kruszywa. Zwiększenie dodatku powoduje już jednak wyraźny wzrost powierzchni odmycia.

Jeżeli chodzi o grys wapienny, zaliczany do kruszyw ultrazasadowych, dodatek wapna posodowego do asfaltu nie powoduje ani wzrostu, ani spadku jego przyczepności do powierzchni kruszywa.

4.2. Przyczepność określona metodą porównywania wytrzymałości na ściskanie próbek betonu asfaltowego

Wytrzymałość na ściskanie próbek betonu asfaltowego wykonanych z zastosowaniem wapna posodowego i pielęgnowanych na powietrzu niewiele różni się od wytrzymałości próbek sporządzonych bez użycia tego dodatku. Natomiast wytrzymałość tych próbek pielęgnowanych w wodzie nie pokrywa się z wytrzymałością próbek przechowywanych na powietrzu.

W przypadku zastosowania grysu granitowego dodatek wapna posodowego wyraźnie wpływa na obniżenie wytrzymałości na ściskanie próbek przechowywanych w wodzie, a tym samym też wskaźnika wytrzymałości R_w/R_p .

Dodatek wapna posodowego do mieszanek z grysem bazaltowym w ilości 3% w stosunku do ich masy, co odpowiada w przybliżeniu stosunkowi wagowemu do asfaltu jak 3:7 /patrz również rys.3/, nie wpływa zdecydowanie na obniżenie wskaźnika wytrzymałości próbek wykonanych z takich mieszanek. Dalsze zwiększanie zawartości wapna posodowego w mieszance powoduje bardzo znaczny spadek wytrzymałości próbek pielęgnowanych w wodzie, co po ciąga za sobą spadek wartości wskaźnika wytrzymałości.

Dla próbek wykonanych z kruszywem wapiennym nie stwierdzono ujemnego wpływu dodatku wapna posodowego na wytrzymałość w przypadku pielęgnowania ich w wodzie. Wskaźnik wytrzymałości dla wszystkich próbek jest prawie jednaki i wynosi 0,97 - 1,00.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

- a. Wapno posodowe nie wpływa na zwiększenie przyczepności asfaltu do kruszywa mineralnego; wobec czego nie można nim zastąpić hydratyzowanego - środka w tym celu dość powszechnie stosowanego.
- b. Użycie wapna posodowego do mieszanek mineralno - asfaltowych sporządzonych z zastosowaniem grysu granitowego lub bazaltowego powoduje zmniejszenie przyczepności asfaltu do kruszywa, a więc należy zaniechać stosowania go tak w roli środka adhezyjnego jak i wypełniacza, co próbowano czynić w praktyce.
- c. Nie można stwierdzić żadnych przeciwwskazań co do stosowania wapna posodowego jako wypełniacza dla mieszanek mineralno-asfaltowych na kruszywie wapiennym.
- d. Celowe wydają się badania przydatności wapna posodowego do wytwarzania mieszanek mineralno - asfaltowych "na mokro", które dałyby pełne rozpoznanie zagadnienia utylizacji badanego odpadu. Badania te powinny dotyczyć głównie możliwości wykorzystania wapna posodowego jako wypełniacza mieszanek mineralno - bitumicznych, opartych na kruszywie o odczynie zasadowym .

Literatura

- [1] Alama K.: Wpływ środków adhezyjnych na właściwości drogowych mas mineralno-asfaltowych. Praca COB i RTD, Nr 1 i 2/1974
- [2] Luszawski S.: Badania nad zwiększeniem przyczepności lepiszcz bitumicznych do materiałów kamiennych. Praca COB i RTD, Nr 2/1960
- [3] Luszawski S., Wojdanowicz S.: Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne. WKŁ, Warszawa 1977
- [4] Nowacki A.: Badania nad zastosowaniem wapna posodowego do wytwarzania asfaltobetonu. Drogownictwo, Nr 5/1975
- [5] Piotrowski S., Duczek : Wpływ odpadu powstającego przy produkcji sody kaustycznej na cechy fizyczne betonu cementowego. Praca JBD i M, Nr 2/1976

APPLICATION OF SODA LIME AS AN AGENT INCREASING ADHESIVENESS OF BITUMINOUS ADHESIVES

Summary

The paper includes the results of the examination of waste soda lime applied as an adhesive agent for rolled asphalt mixtures by the use of testing methods described in the literature as "the boiling method" and "the method of comparing compressive strength of samples".

ПРИМЕНЕНИЕ НАТРОВОЙ ИЗВЕСТИ КАК СРЕДСТВА УВЕЛИЧИВАЮЩЕГО АДГЕЗИЮ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ К КРИВЫМ

Резюме

Работа представляет результаты исследований отходов натровой извести, применяемых в качестве адгезионного средства для минерально-асфальтовых смесей, при использовании исследовательских методов определяемых в литературе, как "методы варки" и "методы сравнения прочности проб".

Romuald Napierała

STABILIZACJA GRUNTÓW PYŁAMI CEMENTOWYMI
Z CEMENTOWNI "KUJAWY"

Artykuł zawiera wyniki badań pyłów cementowych z cementowni "Kujawy" oraz wyniki badań gruntów stabilizowanego pyłami cementowymi lub mieszaniną pyłów i cementu.

Zakończenie artykułu stanowi analiza wyników badań i wynikające z nich wnioski.

1. Wstęp

Celem badań, których wyniki przedstawiono i przeanalizowano poniżej, było określenie przydatności pyłów cementowych dla chemicznej stabilizacji gruntów z przeznaczeniem ich przede wszystkim na podbudowy drogowe.

Zastosowane do badań pyły cementowe pochodziły z Kombinatu Cemento - wo-Wapienniczego "Kujawy". Stanowią one materiał odpadowy w procesie produkcji cementu.

Zagospodarowywanie surowców wtórnych w warunkach kryzysu surowcowego i poważnych trudności gospodarczych kraju należy do zadań najwyższej wagi. Należy dodać, że możliwe jest ono bez specjalnych inwestycji.

Prace Instytutu Przemysłu Wiążących Materiałów Budowlanych dotyczące zagospodarowania pyłów z procesów technologicznych przemysłu cementowego wskazały jedyny kierunek ich zagospodarowania na drodze recykulacji, tj. skierowanie pyłu do procesu piecowego. Prowadzi to co prawda do pełnej utylizacji odpadu pyłowego i zwiększenia produkcji cementu, ale wymaga zakupu urządzenia produkcji francuskiej, które umożliwiłoby podawanie pyłu bezpośrednio do głowicy pieca.

Do czasu pełnej utylizacji pyłów cementowych można nimi zastąpić w procesie stabilizacji gruntów deficytowy cement i wapno; wpłynie to na poprawę stanu środowiska naturalnego.

2. Właściwości materiałów zastosowanych do badań

Do badań zastosowano następujące materiały: piasek, cement portlandzki "250" i wodę /pitną/. Właściwości pyłów cementowych zestawiono w tabelach 1,2,3. Właściwości cementu były zgodne z wymaganiami normy PN-74/B-3000 "Cement portlandzki". Piasek użyty do stabilizacji odpowiadał wymaganiom normy BN-68/8933-08 "Podbudowa z gruntów stabilizowanych cementem". Krzywa uziarnienia mieściła się w strefie uziarnienia gruntów przydatnych do stabilizacji cementem /98% we frakcji piaskowej/. Wilgotność optymalną ustalono w wielkości $W_{opt.} = 9,80\%$, a gęstość pozorną szkieletu gruntowego

Tabela 1

Właściwości fizykochemiczne pyłów

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Jednostka	"Kujawy"
1	Wilgotność	%	0,5
2	Straty prażenia	%	19,0
3	Części nierozpuszczalne i rozpuszczalne w H ₂ O	%	96,4
4	Części nierozpuszczalne w HCl 1:1	%	3,6
			6,4

Tabela 2

Analiza chemiczna pyłów

Lp.	Składnik	Jednostka	"Kujawy"
1	Dwutlenek krzemu SiO ₂	%	9,07
2	Tlenek żelazowy Fe ₂ O ₃	%	2,30
3	Tlenek glinowy Al ₂ O ₃	%	6,70
4	Tlenek wapniowy CaO	%	42,87
5	Tlenek magnezowy-MgO	%	1,11
6	Siarka S w przeliczeniu na trójtlenek siarki SO ₃	%	1,40

Tabela 3

Analiza granulometryczna

Fracje, mm	Zawartość w %
0,000 - 0,075	72
0,075 - 0,150	22
0,150 - 0,180	6
	100

$$\rho_d = 1,840 \text{ g/cm}^3$$

3. Uformowanie próbek i badanie ich wytrzymałości

Wykonano próbki walcowe o wymiarach $d = h = 8 \text{ cm}$ z zastosowaniem dodatku do piasku samego cementu /próbki wzorcowe/, samych pyłów cementowych oraz cementu i pyłu cementowego. Rodzaje mieszanek, z których wykonano próbki, zróżnicowane pod względem zawartości stabilizatora, zawierają ta - bele 4 i 5.

Przy wykonywaniu próbek oraz badaniu ich wytrzymałości na ściskanie opierano się na przepisach zawartych w następujących normach/poza wyżej cytowaną /: PN-75/B-04481 " Grunty budowlane. Badania laboratoryjne",

BN-71/8933-10 "Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi".

Ponadto wykonano badania na próbkach o przedłużonym okresie twardnienia, tj 60 i 90 dni, dla kompozycji mieszanek jak w tabelach 4 i 5.

4. Analiza wyników badań

4.1. Analiza odniesienia do wymagań wobec gruntów stabilizowanych cementem

Wyniki badań zebrane w tabelach 4 i 5 świadczą o właściwościach wiążących badanych pyłów, przy czym charakterystyczny jest przyrost wytrzymałości w miarę upływu czasu. Dodatek 20% pyłów cementowych do piasku dał wytrzymałość próbkom uformowanym z tej mieszanki po 28 dniach twardnienia - 0,8 MPa, a po 90 dniach twardnienia - 1,5 MPa, czyli jej przyrost o 187,5%. Jednak wskaźnik mrozoodporności dla R_{90}^{ZO} wyniósł zaledwie 0,52.

Próbki gruntu sporządzone z dodatkiem 20% pyłów cementowych i 3% cementu po 28 dniach twardnienia osiągnęły wytrzymałość 3,3 MPa oraz wskaźnik mrozoodporności 0,78, tj. parametry wymagane dla górnych warstw podbudowy.

Jeżeli chodzi o dolne warstwy podbudowy to parametry te można uzyskać przy dodatku do gruntu 15% pyłów cementowych i 3% cementu, lecz w wydłużonym do 42 dni okresie twardnienia.

Wariant: 15% pyłów + 4% cementu daje również pozytywne wyniki w stosunku do wymagań odniesionych do górnych warstw podbudowy przy 42 - dniowym okresie twardnienia mieszanki.

4.2. Analiza odniesiona do wymagań wobec gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi

Wymagania normowe w stosunku do podbudowy z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi zachowane są dla:

- dolnych warstw podbudowy przy dodatku do gruntu 10% pyłów cementowych i 2% cementu,
- górnych warstw podbudowy przy dodatku do gruntu 15% pyłów cementowych i 3% cementu.

5. Wnioski

- a. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdza się, że pyły cementowe z cementowni "Kujawy" mogą być wykorzystane do stabilizacji gruntów przy wykonywaniu podbudów drogowych.
- b. Najlepsze wyniki osiąga się przy dodatku do gruntu pyłów cementowych i nieznacznej ilości cementu. Zaleca się następujące dodatki stabilizatorów:
 - dla dolnych warstw podbudowy: 10 - 15% pyłów cementowych i 2-3% cementu,
 - dla górnych warstw podbudowy: 15-20% pyłów cementowych i 3-4 % cementu.
- c. Licząc się z możliwością zmian w składzie chemicznym pyłów, każde ich użycie należy poprzedzić badaniami laboratoryjnymi, na podstawie których będzie można ustalić potrzebną ich ilość w stabilizowanej mieszance.

Tabela 5

Zestawienie wyników badań wytrzymałości próbek

Lp.	Rodzaj mieszanki	Piasek, cement				Piasek, pył cementowy
		5	7	9	-	
Stabilizatory						
Udział stabilizatora w mieszankach %						
1	Cement					-
2	Pył cementowy	-	-	-	10	15
Wytrzymałość na ściskanie w Mpa próbek o wymiarach d=h=8						
3	28 dni - R ₂₈	2,3	3,7	5,1	0,3	0,5
4	42 dni - R ₄₂	-	-	-	0,5	0,8
5	60 dni - R ₆₀	-	-	-	1,1	1,3
6	90 dni - R ₉₀	-	-	-	1,2	1,3
Wskaźniki mrozoodporności						
Czas twardnienia próbek badanych na mrozoodporność						
R ₄₂ ; R ₄₂ ^{ZO} ; R ₆₀ ; R ₆₀ ^{ZO} ; R ₉₀ ; R ₉₀ ^{ZO}						
7	42 dni - R ₄₂ ^{ZO}	-	-	-	Próbki w czasie ba-	
8	60 dni - R ₆₀ ^{ZO}	-	-	-	dnia rozpadły się	
9	90 dni - R ₉₀ ^{ZO}	-	-	-	0,38	0,45
						0,48
						0,52

Uwaga: Znak "-" w tabelach 4 i 5 oznacza, że badań wynikających, z opisu treści tabel, nie wykonano lub też, że normy nie podają wymagań w stosunku do określonych w badaniach wielkości.

Literatura

- [1] Luszewski S., Wojdanowicz S.: Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne. WKŁ, Warszawa 1977
- [2] Pachowski J. : Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym. WKŁ, Warszawa 1976
- [3] Rolla S.: Badania materiałów i nawierzchni drogowych. WKŁ, Warszawa 1979

STUDIES SOIL STABILIZATION WITH CEMENT DUST FROM THE CEMENT WORKS
"KUJAWY"

Summary

The paper presents the results of the examination of the cement dust from the cement works "Kujawy" and the investigation results of the soil stabilized with cement dust or the mixture of dust and cement.

The final part of the paper includes an analysis of the investigation results and the conclusions drawn from them.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВ ЦЕМЕНТНОЙ ПЫЛЬЮ С ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА "КУЯВЫ"

Резюме

Статья содержит результаты исследований цементной пыли с цементного завода "Куювы", а также результаты исследований грунтов стабилизированных цементной пылью или смесью пыли с цементом.

Представлен анализ результатов исследований и вытекающие из них выводы.

Romuald Napierała

ZASTOSOWANIE PYŁÓW CEMENTOWYCH JAKO WYPEŁNIACZA DO
MIESZANEK MINERALNO - ASFALTOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań pyłów cementowych z cementowni "Działoszyn" i "Kujawy" oraz badań próbek betonu asfaltowego wykonanych z zastosowaniem w/w pyłów.

W zakończeniu artykułu podano analizę wyników badań wraz z wnioskami z nich wynikającymi.

1. Wstęp

Problem utylizacji wychwytywanych przez elektrofiltry pyłów, powstających jako produkt uboczny w procesie produkcji cementu, jest wciąż aktualny.

Zagadnienie to należy rozpatrywać zarówno w aspekcie technicznym jak i ekonomicznym.

Wzrastające zużycie mieszanek mineralno - asfaltowych, wynikające z budowy, przebudowy i modernizacji coraz większej ilości dróg, zaostrza kwestię deficytu wypełniacza mineralnego - niezbędnego składnika tych mieszanek. Konieczne są zatem poszukiwania materiałów zastępczych oraz badania nad stosowaniem nowych technologii. Wykorzystanie pyłów cementowych uzasadnione jest także względami ochrony środowiska naturalnego przed zanieczyszczeniem, wykorzystania materiałów pochodzenia miejscowego i obniżki kosztów transportowych w przypadku stosowania w pobliżu miejsc ich powstawania.

Celem badań opisanych w niniejszym artykule było określenie przydatności pyłów z cementowni "Kujawy" i "Działoszyn" jako wypełniacza do mieszanek mineralno - asfaltowych. Podstawowe badania laboratoryjne przeprowadzono na próbkach betonu asfaltowego.

2. Zakres badań

Przyjęto następujący program badań:

- a/ badania laboratoryjne pyłów cementowych,
- b/ badania laboratoryjne materiałów wyjściowych, użytych do wykonania próbek betonu asfaltowego z zastosowaniem pyłów jako wypełniacza zastępczego,
- c/ opracowanie receptur,
- d/ wykonanie próbek betonu asfaltowego oraz określenie cech fizyczno - mechanicznych i wskaźników takich jak: gęstości pozornej, gęstości, objętości wolnych przestrzeni, nasiąkliwości, wytrzyma-

kości na ściskanie w temperaturze 20°C i 50°C /R₂₀ i R₅₀/, wytrzymałości na ściskanie próbek nasyconych wodą /R_w/ oraz po 25 cyklach zamrażania /R_z/, wskaźnika stateczności przy zmianie temperatur /R₅₀/R₂₀/, wskaźnika stateczności na działanie wody /R_w/R₂₀/, wskaźnika odporności na zamrażanie /R_z/R₂₀/.

3. Wyniki badań pyłów cementowych oraz materiałów wyjściowych

Właściwości fizykochemiczne, analizę chemiczną oraz analizę sitową pyłów cementowych z cementowni "Kujawy" i "Działoszyn" zawierają tabele 1, 2 i 3.

Tabela 1

Własności fizykochemiczne pyłów

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Cementownia	
		Kujawy	Działoszyn
1	Wilgotność	0,5%	0,2%
2	Straty prażenia	19,0%	18,8%
3	Części nierozpuszczalne i rozpuszczalne w H ₂ O	98,4%	97,5%
4	Części nierozp. w HCl 1:1	3,6%	2,5%
		6,4%	7,3%

Tabela 2

Analiza chemiczna pyłów

Lp.	Składnik	Cementownia	
		Kujawy	Działoszyn
1	SiO ₂	9,07%	8,50%
2	Fe ₂ O ₃	2,30%	2,00%
3	Al ₂ O ₃	6,70%	4,50%
4	CaO	42,87%	46,37%
5	MgO	1,11%	0,97%
6	S w przeliczeniu na SO ₃	1,40%	2,50%

Tabela 3

Analiza sitowa w % i podstawowe właściwości

Fracje, mm	Cementownia [%]	
	Kujawy	Działoszyn
0,000 - 0,075	72	90
0,075 - 0,170	22	8
0,150 - 1,180	6	2
	100	100
Wskaźnik emulgacji	0,25	0,28
Powierzchnia właściwa, cm ² /g	3690	5320

Własności pyłów cementowych wg projektu normy PN/S-96505

"Mączki mineralne do mas bitumicznych" przedstawiono w tabeli 4

Tabela 4

Wymagania szczegółowe dla mączek wg projektu normy oraz
wyniki oznaczeń pyłów cementowych

Lp.	Cechy materiału	Klasa mączki			Cementownia	
		I	II	III	Kujawy	Działo- szyn
1	Wilgotność mączki mineralnej, %, nie więcej niż	1,0	1,5	3,0	0,5	0,2
2	Górna granica wielkości ziarna mączki mineralnej odpowiadająca wymiarowi oczek sit kontrolnych, mm	0,5	1,0	2,0	0,180	0,180
3	Zawartość wypełniacza w mączce mineralnej, nie mniej niż %	80	70	50	72	90
4	Koncentracja objętościowa wypełniacza, %	48-60	45-60	40	45	49,5
5	Wskaźnik aktywności wypełniacza, nie mniej niż	1,0	0,7	-	0,67	0,50
6	Wskaźnik nasiąkliwości wypełniacza, % nie więcej niż	35	40	45	67	65
7	Zawartość części rozpuszczalnych w wodzie, %, nie więcej niż	0,5	1,0	1,5	3,6	2,5
8	Wskaźnik gęstości pozornej mączki mineralnej	0,35 0,50	0,32 0,45	-	0,40	0,39

Własności materiałów wyjściowych przeznaczonych do wykonywania próbek betonu asfaltowego odpowiadały wymaganiom właściwych norm.

3.1. Analiza wyników badań pyłów cementowych

3.1.1. Pyły z cementowni "Kujawy"

Przesiew przez sito nr 200 /wymiar boku oczka kwadratowego 0,075mm/, wynoszący 72%, zbliżony jest do przesiewu wymaganego przez normę dla wypełniaczy podstawowych /tj.80%. Natomiast dla wypełniaczy zastępczych warunek przemiału jest w pełni spełniony, gdyż norma określa go na co najmniej 55%. Wskaźnik emulgacji pyłów wynosi 0,25, a więc jest znacznie mniejszy od dopuszczalnego normą, tj. do 0,40. Powierzchnia właściwa pyłów - 3690 cm²/g odpowiada wymaganiom normy, tj. 2500 - 4000 cm²/g/. Właściwości pyłów określone na podstawie projektu normy PN/S-96505, dotyczącej mączek mineralnych do mieszanek mineralno-bitumicznych zalecanej do stosowania doświadczalnego, pozwalają zaliczyć badane pyły do III klasy mączek.

3.1.2. Pyły z cementowni "Działoszyn"

Zarówno przesiew /90 - procentowy/ jak i wskaźnik emulgacji /0,28 / spełniają wymagania normowe. Powierzchnia właściwa - 5320 cm²/g wobec normowej 2500-4000 cm²/g. Według projektu normy pyły można sklasyfikować na poziomie II - III klasy mączek mineralnych do mieszanek mineralno-bitu - micznych.

4. Recepty na beton asfaltowy z zastosowaniem badanych pyłów

Receptę na beton asfaltowy ściśly średnio ziarnisty opracowano przy zachowaniu wymagań normy PN-74/S-96022 z zastosowaniem zbadanych materiałów wyjściowych. Według tej recepty wykonano próbki wzorcowe /porównawcze/ tzn. takie, w których wypełniacz podstawowy stanowił 100% zawartości zaprojektowanej w mieszance mineralno - asfaltowej oraz próbki ze zmienną zawartością wypełniacza podstawowego i badanych pyłów cementowych jako wypełniacza zastępczego. Zmienną zawartość wypełniacza podstawowego i zastępczego zaprojektowano w betonie asfaltowym jako ich mieszaninę, odpowiednio, w następujących ilościach 75% + 25%, 50% + 50%, 25% + 75%.

Skład mieszanki mineralno - asfaltowej z wypełniaczem podstawowym oraz jej podstawowe właściwości

Grys bazaltowy 8/12 mm	- 37,6%
Miał bazaltowy 0/5 mm	- 23,5%
Piasek łamany 0/2 mm	- 24,5%
Mączka wapienna	- 8,4%
Asfalt D-70	- 6,0%
	<hr/>
	100,0%
Gęstość pozorna kruszywa	- 2,32 g/cm ³
Gęstość kruszywa	- 2,86 g/cm ³
Wolna przestrzeń w kruszywie	- 18,9 %
Powierzchnia właściwa mieszanki	- 17,8 m ² /kg
Gęstość pozorna mieszanki mineralno-asfaltowej	- 2,57 g/cm ³
Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej	- 2,59 g/cm ³
Wolna przestrzeń w mieszance mineralno-asfaltowej	- 0,80%

Ilość asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej, ustalona w oparciu o przepisy normy PN-73/6771-03, wynosiła 5,16 - 6,26%. Na podstawie wyników badań próbek wzorcowych przyjęto 6,0% - owo jego dodatek dla wszystkich wariantów mieszanek mineralno-asfaltowych. Ilość wypełniaczy przyjmowano zgodnie z założoną kompozycją mieszanek wypełniacza podstawowego i zastępczego /tabela 5, kol.2/ w stosunku do 8,4%-owej zawartości wypełniacza podstawowego.

5. Wykonanie próbek oraz wyniki badań ich cech fizyczno-mechanicznych

Próbki betonu asfaltowego oraz ich badania wykonano zgodnie z normą PN-67/S-04001. Wykonano także, nie wymagane normą, badanie wskaźnika odporności próbek na zamrażanie. Badanie to polegało na poddaniu próbek 25 cyklom zamrażania oraz oznaczeniu ich wytrzymałości na ściskanie proste. Na jeden cykl zamrażania składają się 4 godziny przechowywania próbek w temp. -20°C oraz 20 godzin w wodzie w temperaturze otoczenia.

Wskaźnik odporności na zamrażanie wyraża się stosunkiem wytrzymałości próbek po 25 cyklach zamrażania do wytrzymałości przed zamrażaniem.

Wyniki badań wykonanych zgodnie z programem /pkt.2/ podano w tabelach 5 i 6.

Wielkości dopuszczalne dla wskaźnika mrozodporności, wynoszące 0,90-0,75, przyjęto wg podręcznika prof. mgr inż. Stanisława Laszawskiego, prof. dr hab. inż. Stanisława Wojdanowicza "Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne", Wydawnictwo KiŁ, Warszawa 1977, str. 233.

6. Analiza wyników badań próbek

W oparciu o wyniki badań przedstawione w tabelach 5 i 6 stwierdza się co następuje:

- a. Cechy fizyczne przebadanych próbek betonu asfaltowego, sporządzonych przy użyciu wszystkich mieszanek wypełniacza podstawowego /wapiennego/ i pyłów cementowych z cementowni "Kujawy" i "Działoszyn" w roli wypełniaczy zastępczych /tab.5, kol.2/ odpowiadają wymaganiom normowym. Szczególnie ważna, z punktu widzenia eksploatacji nawierzchni, nasiąkliwość betonu asfaltowego nie powinna być większa od 2% wag., a w przebadanych próbkach zawarta jest w przedziale wartości 0,26 - 0,51%. Największą nasiąkliwość 0,5% wykazała próbka zawierająca 25% wypełniacza podstawowego i 75% pyłów cementowych z cementowni "Działoszyn". Natomiast najmniejszą, wynoszącą 0,26% próbka o tej samej kompozycji wypełniacza lecz dla pyłów cementowych z cementowni "Kujawy". Wartości pośrednie, odpowiednio 0,34 i 0,44%, oznaczono dla próbek z kompozycją mieszanek wypełniaczy 1:1.
- b. Wytrzymałości próbek na ściskanie proste w temp. 20°C zawarte są w granicach 3,3 - 4,0 MPa. Według normy BN-73/6771-03 można je więc ocenić jako średnie i małe.

Największą wytrzymałość - $R_{28} = 4,0$ MPa wykazały próbki z zawartością 25% wypełniacza podstawowego plus 75% pyłów "Kujawy", natomiast najmniejszą z pyłami "Działoszyn" dla kompozycji mieszanek wypełniaczowych jak wyżej oraz dla zestawu odwrotnego, tzn. 75% wypełniacza wapiennego plus 25% pyłów cementowych. $R_{28} = 3,3$ MPa/.

Wytrzymałości pośrednie, tj. 3,8 i 3,4 MPa, otrzymano dla wartości obydwóch wypełniaczy w ilości 50% frakcji wypełniaczowej.

- c. Wytrzymałości na ściskanie proste w temp. 50°C mieszczą się w granicach $R_{50} = 0,9 - 1,2$ i mogą być zaliczone jako mieszanki o wytrzymałościach dobrych. Dla wszystkich kompozycji mieszanek wypełniaczowych z zastosowaniem pyłu cementowego "Działoszyn" próbki wykazały jednakową wytrzymałość, a dla pyłu "Kujawy" nieznaczna rozbieżność.
- d. Wskaźniki stateczności przy zmianie temperatur, tj. R_{50}/R_{20} , mieszcząc się w granicach 0,26-0,30, spełniają wymagania normy /0,24/.
- e. Wskaźniki odporności na działanie wody, tj. R_w/R_{20} , według normy powinny wynosić 0,80-0,95, a dla zbadanych próbek mają wartości od 0,93 do 0,97.
- f. Wskaźniki odporności na zamrażanie są wystarczające /0,93 - 1,00 wobec pożądanych 0,75 - 0,90/.

7. Wnioski

Na podstawie wyników badań pyłów cementowych oraz analizy wyników badań próbek betonu asfaltowego sporządzonych przy ich użyciu można sformułować następujące wnioski:

- a. Pyły cementowe z cementowni "Kujawy" i "Działoszyn" mogą być stosowane jako wypełniacz zastępczy w mieszankach mineralno-asfaltowych.
- b. Wskazane jest, aby ich dodatek nie przekraczał 50% wypełniacza podstawowego.

Wykaz cytowanych norm:

- PN-74/S-96022 - Nawierzchnia z betonu asfaltowego.
BN-73/6771-03 - Projektowanie mas betonu asfaltowego.
PN-67/S-04001 - Metody badań mas mineralno-bitumicznych i nawierzchni bitumicznych

Literatura

- [1] Feller M.: Nutzung von Abprodukten im Strassenbau - Braunkohlen-flugaschen als Füllstoff für bituminöse Gemische. Die Strasse. Nr 11/1980
- [2] Luszawski S., Wojdanowicz S.: Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne. WKł, Warszawa 1977
- [3] Pachowski J.: Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym. WKł, Warszawa 1976
- [4] Raciborski R.: Analiza wpływu mączek mineralnych na właściwości mas bitumicznych. Prace IBDiM, Nr 2-3 WKł, Warszawa 1977
- [5] Rolla S.: Badania materiałów i nawierzchni drogowych. WKł, Warszawa 1979

Tabela 5
Zestawienie wyników badań laboratoryjnych mieszanek mineralnych i mineralno-asfaltowych

Lp.	Rodzaj i kompozycja wypełniacza w mieszance	Mieszanka mineralna				Mieszanka mineralno-asfaltowa			
		Gęstość pozorna Mg/m ³	Gęstość Mg/m ³	Wolna przestrzeń %	Gęstość pozorna Mg/m ³	Gęstość Mg/m ³	Wolna przestrzeń %	Nasiąkliwość %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Mączka wapienna "Górażdże" jako wypełniacz podstawowy Próbki wzorcowe								
1	100% wypełniacza podstawowego	2,32	2,86	18,9	2,57	2,59	0,80	0,29	
	Pyły cementowe "Kujawy" Wypełniacz podst.+ wypełniacz zastępczy								
2	75% + 25%	2,32	2,86	18,9	2,57	2,60	1,20	0,42	
3	50% + 50%	2,33	2,87	18,8	2,57	2,60	1,50	0,44	
4	25% + 75%	2,33	2,87	18,8	2,58	2,61	1,20	0,26	
	Pyły cementowe "Działoszyn" Wypełniacz podst.+ wypełniacz zastępczy								
5	75% + 25%	2,32	2,86	18,9	2,58	2,60	0,80	2,27	
6	50% + 50%	2,33	2,87	18,8	2,58	2,60	0,80	0,34	
7	25% + 75%	2,33	2,87	18,8	2,56	2,60	1,50	0,51	
	Wymagania dla betonu asfaltowego średnioziarnistego Ścisłego wg PN-73/6771-03 oraz PN-74/S-96022	-	-	16-19	-	-	1,5-4,5	do 2,0	

Tabela 6

Zestawienie wyników badań wytrzymałości próbek betonu asfaltowego

Lp.	Rodzaj materiału i kompozycja mieszanki	Wytrzymałość na ściskanie l/						Wskaźniki l/		
		R ₂₀ MPa	R ₅₀ MPa	R _w MPa	R _z MPa	$\frac{R_{50}}{R_{20}}$	$\frac{R_w}{R_{20}}$	$\frac{R_z}{R_{20}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Mączka wapienna "Górażdzie" jako wypełniacz podstawowy Próbki wzorcowe									
1	100% wypełniacza podstawowego	3,4	0,9	3,2	3,3	0,26	0,94	0,97		
2	Pyły cementowe "Kujawy"									
3	Wypełniacz podst. + wypełniacz zastępczy	3,7	1,2	3,5	3,7	0,32	0,95	1,00		
4	75% + 25 %	3,8	1,1	3,4	3,7	0,29	0,95	0,97		
5	50% + 50 %	4,0	1,2	3,7	3,7	0,30	0,03	0,93		
6	25% + 75 %									
7	Pyły cementowe "Działoszyn"									
8	Wypełniacz podst.+wypełniacz zastępczy	3,3	1,0	3,2	3,1	0,30	0,97	0,94		
9	75% + 25 %	3,4	1,0	3,3	3,3	0,29	0,97	0,97		
10	50% + 25 %	3,3	1,0	3,1	3,2	0,30	0,94	0,97		
11	25% + 75 %									
12	Wymagania dla betonu asfaltowego średnioziarnistego ściśniętego wg BN-73/6771-03 oraz PN-74/S-96022	3,0-5,5	0,8-1,3	-	-	0,24	0,8-0,95	0,75-0,90		

l/ znaczenie symboli podano w punkcie 2d.

APPLICATION OF CEMENT DUST AS FILLER FOR FOLDED ASPHALT

Summary

The paper includes the results of examining of the cement dust from the cement works "Działoszyn" and "Kujawy" as well as rolled asphalt cores manufactured with the use of the above-mentioned dust.

In the final part of the paper the author presents an analysis of the results of the examination together with conclusions drawn from them.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕМЕНТНОЙ ПЫЛИ В КАЧЕСТВЕ ВЫПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ МИНЕРАЛЬНО - АСФАЛЬТОВОЙ СМЕСИ

Резюме

В статье представлены результаты исследований цементной пыли с цементных заводов "Дзялошин" и "Куявы", а также результаты исследований проб асфальтового бетона, которые были произведены с применением вышепредставленной пыли.

В заключение статьи приводится анализ результатов исследований с вытекающими из них выводами.

Zbigniew Ciesielski
Maciej Kordian Kumor

OCENA PRZYDATNOŚCI OZNACZANIA UZIARNIENIA IŁU PLIOCENSKIEGO
ANALIZĄ CAŁKOWITĄ, METODĄ ODPIAWIANIA

W artykule przedstawiono wyniki badań składu granulometrycznego łu pliocenińskiego wg metody Casagrandego i metodą odpiawiania.

Rezultaty przeprowadzonych badań oraz analiza statystyczna wyników pozwalają stwierdzić, że metody nie różnią się dokładnością, a dane eksperymentalne są identyczne.

1. Wstęp

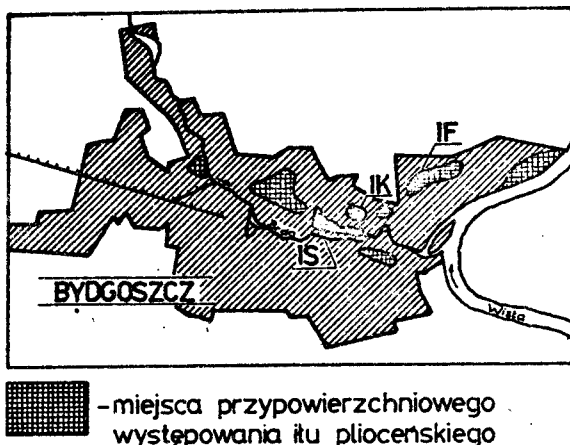
Oznaczenie uziarnienia gruntu należy do podstawowych badań dających bezpośrednio lub pośrednio informacje o jego właściwościach fizycznych i mechanicznych. Sama znajomość uziarnienia pozwala już na rozwiązanie wielu prostych zagadnień geotechnicznych oraz wskazuje program dalszych badań.

Badania uziarnienia gruntów niespoistych oraz ich interpretacja nie napotykają większych trudności. Kontrowersje wywołują natomiast badania uziarnienia gruntów spoistych. Do określania uziarnienia gruntów spoistych stosuje się metody hydrometryczne z ciągłą sedymentacją. Metody te różnią się przede wszystkim sposobem przygotowania próbek oraz rozwiązaniami konstrukcyjnymi przyrządów badawczych. Uzyskane wyniki nie są identyczne, a ich interpretacja niejednoznaczna. Umowny charakter ma przede wszystkim zawartość frakcji iłowej, ponieważ rzeczywisty kształt cząstek różni się zasadniczo od zakładanego w obliczeniach kształtu kulistego [3]. Obecnie powszechnie stosowanym sposobem oznaczania uziarnienia gruntów spoistych jest analiza areometryczna Bouyoucosa wg modyfikacji Casagrandego, zalecana przez normę [6]. Metoda ta zajmuje sporo czasu, a opracowanie wyników wymaga dużego nakładu pracy.

Badanie uziarnienia łu pliocenińskiego Bydgoszczy jest bardzo utrudnione ze względu na ogromną zmienność tego parametru. Określenie miarodajnej wartości zawartości poszczególnych frakcji wymaga więc wykonania bardzo dużej liczby oznaczeń [4]. Stąd też zachodzi konieczność stosowania szybkich, mało pracochłonnych lecz równie dokładnych jak tradycyjne, metod badawczych. Powyższe przyczyny skłoniły do wykonania badań mających na celu ocenić przydatność oznaczenia uziarnienia łu pliocenińskiego analizą całkowitą, metodą odpiawiania wg propozycji Rząsy [7].

2. Materiał i metody badań

Do badań przeznaczono próby iłu plicieńskiego z terenu Bydgoszczy, które pobrano z trzech punktów badawczych /rys.1/. Próby pobrano ze ścian sztucznych odsłoneń iłów zalegających w podłożu budowlanym wschodniej części miasta:



Rys.1. Lokalizacja punktów pobrania prób do badań

- Ił z Fordonu /IF/ pobrano z dzielnicy Fordon, ze ściany wykopu położonego na terenie Zakładów Ceramicznych. Głębokość wycięcia prób gruntu wynosiła 3,50 - 4,00 m poniżej stropu warstwy iłu. Wilgotność naturalna była bliska 23,5%, a gęstość objętościowa 2500 kg/m^3 .
- Ił z ulicy Kijowskiej /IK/ pobrano z dzielnicy Bartodzieje ze ściany wykopu fundamentowego pod biurowiec Przedsiębiorstwa Budownictwa Wodnego przy ulicy Kijowskiej. Głębokość pobrania prób wynosiła 3,10 - 3,50 m poniżej stropu warstwy iłu. Oznaczona wilgotność naturalna wynosiła 35,3%, a gęstość objętościowa 2040 kg/m^3 .
- Ił z ulicy Marii Skłodowskiej-Curie /IS/ pobrano w dzielnicy Skrzetusko ze ściany wykopu badawczego zlokalizowanego na terenie Szkoły Podstawowej nr 38. Próby pobrano z głębokości 1,30 - 1,50 m poniżej powierzchni terenu. Stropy iłu zalegały na głębokości 0,90 m. Wilgotność naturalna wynosiła 34,8%, a gęstość objętościowa 1850 kg/m^3 .

Badania uziarnienia przeprowadzono w 7 seriach. Poszczególne próbki w każdej serii dzielono na dwie części celem wykonania porównawczych oznaczeń uziarnienia analizą areometryczną metodą Casagrandego według procedury podanej w normie [6] oraz analizą całkowitą metodą odplawiania według wskazówek zawartych w pracach [1,7]. W obu metodach stosowano jako stabilizator 25-procentowy roztwór amoniaku. Celem większego materiału porównawczego o metodach, przygotowanie próbek do badań w poszczególnych seriach było inne. W seriach 1 i 2 badania wykonano na pastach gruntowych, a oznaczono skład granulometryczny. W seriach 4,5, 6,7 oznaczono skład mikroagregatów past gruntowych, przy czym w seriach 6 i 7 pastę poddawano cyklicznemu procesowi zamarzania i odmarzania. Seria 3

obejmowała oznaczenie składu granulometrycznego próbek gruntu naturalnego, wyselekcjonowanych pod względem jednorodności uziarnienia, ocenionej makroskopowo.

3. Analiza statystyczna wyników badań

3.1. Wyniki badań oraz hipoteza robocza

Średnie procentowe zawartości frakcji w poszczególnych seriach określone analizą areometryczną metodą Casagrandego oraz analizą całkowitą metodą odpiawiania przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Średnie procentowe zawartości frakcji w seriach badań

Nr serii	Rodzaj gruntu	Liczba próbek	Metoda oznaczenia uziarnienia					
			analiza areometryczna Metodą Casagrandego			analiza całkowita metodą odpiawiania		
			\bar{f}_p	\bar{f}_{π}	\bar{f}_i	\bar{f}_p	\bar{f}_{π}	\bar{f}_i
1	IF	11	10,94	39,81	49,25	10,91	39,79	49,30
2	IK	11	3,20	23,33	73,47	3,07	23,62	73,91
3	IS	14	8,22	55,81	35,97	7,92	56,69	35,39
4	IF	7	12,43	57,54	30,03	12,36	57,37	30,27
5	IK	7	7,10	51,80	41,10	7,23	51,79	40,98
6	IF	7	12,39	54,30	33,31	12,20	54,40	33,40
7	IK	7	6,86	42,63	50,51	6,84	42,61	50,55

Wartości odchyłeń standardowych oznaczeń uziarnienia zamieszczono w tabeli 2

Tabela 2
Wartości odchyłeń standardowych dla poszczególnych frakcji

Nr serii	Rodzaj gruntu	Liczba próbek	Wartości odchyłeń standardowych					
			analiza areometryczna			analiza całkowita		
			\bar{f}_p	\bar{f}_{π}	\bar{f}_i	\bar{f}_p	\bar{f}_{π}	\bar{f}_i
1	IF	11	0,71	0,56	1,11	0,74	0,63	1,41
2	IK	11	0,75	0,74	0,15	0,94	0,86	0,18
3	IS	14	1,42	1,58	1,06	1,39	1,59	1,12
4	IF	7	0,88	0,65	0,89	1,01	0,43	0,76
5	IK	7	0,72	0,31	0,81	0,56	0,43	0,47
6	IF	7	0,54	0,45	0,36	0,80	0,26	0,62
7	Ik	7	0,93	0,63	1,01	0,81	0,67	0,86

Wyniki badań poddano analizie statystycznej, której celem było porównanie obu metod. Wstępnie przyjęto hipotezę, iż rozpatrywane metody nie różnią się dokładnością, a uzyskiwane wyniki są identyczne. W celu weryfikacji hipotezy posłużono się testem Studenta porównania wartości średnich, który wymaga jednak spełnienia następujących założeń [2,9]:

- wyniki całej populacji oznaczeń procentowych zawartości frakcji obu metod badań mają rozkład normalny,
- wariancje całej populacji oznaczeń w porównywanych metodach są jednakowe $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

3.2. Weryfikacja hipotezy o normalności rozkładu

Mała liczebność prób w poszczególnych seriach badań uniemożliwia pełną weryfikację hipotezy zerowej. Przybliżoną weryfikację oparto na ocenie wartości współczynników asymetrii /a/ oraz spłaszczenia /b/ określonych wzorami:

$$a = \frac{m_3}{s^3} \quad (1)$$

$$e = \frac{m_4}{m^4} - 3 \quad (2)$$

gdzie:

m_3 - empiryczny moment centralny trzeciego rzędu

m_4 - empiryczny moment centralny czwartego rzędu

s - empiryczne odchylenie standardowe

Empiryczny moment centralny rzędu r obliczono według wzoru:

$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{f}_i - \bar{f}_{sr})^r \quad (3)$$

gdzie:

n - liczba próbek w serii

\bar{f}_i - zawartość procentowa danej frakcji w i-tej próbce serii

\bar{f}_{sr} - średnia arytmetyczna zawartości procentowej danej frakcji w serii

Jako szacunkową podstawę do przyjęcia hipotezy o normalności rozkładu przyjęto wartości odchyłeń standardowych współczynników asymetrii σ_a oraz spłaszczenia σ_e określone wzorami :

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \quad (4)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (5)$$

Duże wartości liczbowe współczynników w porównaniu z ich odchyleniami standardowymi, mogą służyć jako podstawa do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu [8].

Wyniki obliczeń przeprowadzonych według powyższego schematu dla poszczególnych frakcji w obu metodach oznaczeń uziarnienia gruntu przedstawiono w tabeli 3.

Większe wartości odchylen standardowych od wartości współczynników świadczą, iż nie ma podstaw aby uważać, że hipotezę o normalności rozkładu została zaprzeczona przez wyniki badań.

3.3. Sprawdzenie równości wariancji /odchylen standardowych/

Sprawdzenie równości wariancji zawartości poszczególnych frakcji określonych obiema metodami dokonano w seriach stosując statystykę K określoną wzorem:

$$K = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (6)$$

gdzie:

s_1, s_2 - empiryczne odchylenia standardowe oznaczeń zawartości procentowej danej frakcji w porównywanych metodach przy czym metody ponumerowano tak aby $s_1 \geq s_2$

Statystyka K ma rozkład F-Snedecora o $\nu_1 = \nu_2 = n - 1$ stopniach swobody /n - liczba próbek w serii/. Obszar krytyczny, nakazujący odrzucić hipotezę o równości wariancji określony jest zapisem:

$$K \in R_\alpha = (F_{1-\alpha}, \infty) \quad (7)$$

gdzie:

R_α - obszar krytyczny na przyjętym poziomie istotności α

$F_{1-\alpha}$ - kwantyl rozkładu F-Snedecora dla przyjętego współczynnika ufności $1-\alpha$

Wartości statystyki K obliczonej dla poszczególnych frakcji w seriach badań przedstawiono w tabeli 4.

Obliczona wartość statystyki K nie zawiera się w obszarze krytycznym na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Oznacza to, że oszacowania wariancji /wariancje empiryczne s_1^2, s_2^2 / otrzymano z dwóch populacji o tej samej wariancji $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$. Równość wariancji pozwala wysnuć wniosek o jednakowej dokładności rozpatrywanych metod.

Tabela 3

Wartości współczynników asymetrii i spłaszczenia oraz ich odchylenia standardowe

Nr serii	Współczynnik	Wartości współczynników asymetrii i spłaszczenia dla poszczególnych frakcji						analiza całkowita		Odchylenia standardowe współczynników
		analiza areometryczna			analiza całkowita			\bar{f}_1	\bar{f}_1	
		\bar{f}_p	f_π	\bar{f}_1	\bar{f}_p	\bar{f}_π	\bar{f}_1			
1	asymetrii spłaszczenia	0,16 -0,13	-0,58 -0,09	0,51 -0,49	0,19 -0,50	0,08 -0,24	0,05 0,88	0,60 0,92		
2	asymetrii spłaszczenia	0,60 -0,69	0,33 -0,39	0,37 -0,03	0,04 -0,74	-0,20 -0,45	0,53 0,13	0,60 0,92		
3	asymetrii spłaszczenia	0,18 -0,60	0,36 -0,36	0,52 -0,27	0,27 -0,83	0,24 -0,87	0,14 -0,47	0,55 0,90		
4	asymetrii spłaszczenia	-0,58 0,82	-0,61 -0,69	-0,58 -0,65	-0,35 -0,87	0,42 -0,85	0,68 -0,80	0,67 0,88		
5	asymetrii spłaszczenia	0,06 -0,29	-0,11 -0,87	0,65 -0,80	0,67 0,59	0,61 -0,57	0,08 -0,31	0,67 0,88		
6	asymetrii spłaszczenia	0,61 0,73	0,55 -0,83	0,41 -0,71	0,30 -0,79	-0,57 0,73	0,60 0,87	0,67 0,88		
7	asymetrii spłaszczenia	0,54 0,38	0,09 -0,61	0,28 -0,87	-0,28 -0,22	-0,42 -0,35	-0,25 -0,81	0,67 0,88		

Tabela 4

Wartości statystyki K

Nr serii	Wartości statystyki K dla poszczególnych frakcji			Obszar krytyczny na poziomie istotności $\alpha = 0,05$
	\bar{f}_P	\bar{f}_T	\bar{f}_1	
1	1,09	1,27	1,61	(2,82 ; ∞)
2	1,57	1,35	1,28	(2,82 ; ∞)
3	1,04	1,01	1,12	(2,48 ; ∞)
4	1,31	2,29	1,37	(3,79 ; ∞)
5	2,07	1,92	1,42	(3,79 ; ∞)
6	2,19	3,00	2,97	(3,79 ; ∞)
7	1,32	1,13	1,38	(3,79 ; ∞)

3.4. Sprawdzenie liczby próbek w poszczególnych seriach badań

Aby wnioskowanie statystyczne było prawidłowe, musi się ono opierać na odpowiednio szerokim materiale badawczym. Liczba próbek w poszczególnych seriach badań powinna spełniać warunek (2):

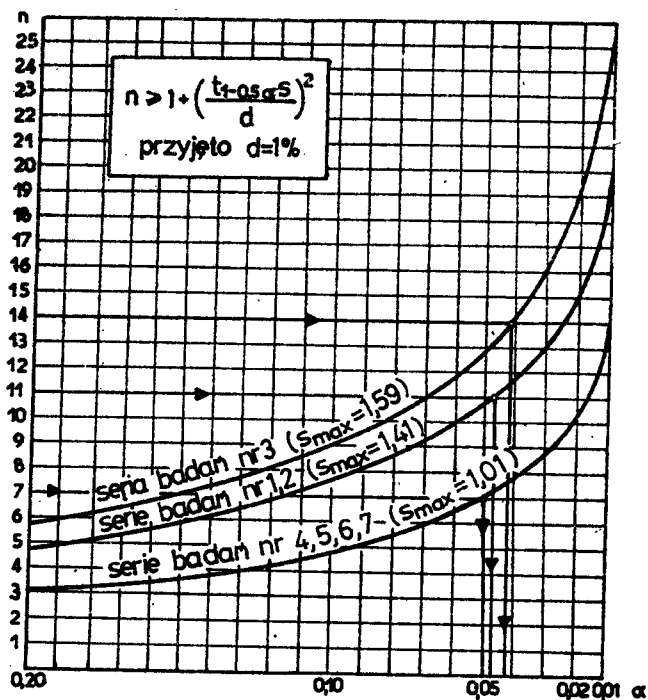
$$n \geq 1 + \left(\frac{t_{1-0,5\alpha^s}}{d} \right)^2 \quad (8)$$

gdzie:

- $t_{1-0,5\alpha}$ - kwantyl rozkładu Studenta na przyjętym poziomie istotności α
- s - empiryczne odchylenia standardowe
- d - wymagana dokładność oznaczeń uziarnienia gruntu /przyjęto $d = 1\%$

Określenia minimalnej liczby próbek dokonano grupując serie o jednokowej liczbie oznaczeń i wybierając do bezpośrednich obliczeń tę frakcję, która ma największą wartość odchylenia standardowego. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys.2.

Z analizy rysunku, liczby próbek użytych do badań oraz wymaganej dokładności oznaczeń wynika, że prawidłowe wnioskowanie statystyczne można prowadzić na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.



Rys.2. Zależność między minimalną liczbą próbek n a poziomem istotności α

3.5. Test Studenta porównania wartości średnich

Sprawdzenie równości wartości średnich dokonano w poszczególnych seriach dla każdej frakcji osobno, stosując statystykę T określoną wzorem:

$$T = \frac{\bar{f}_{sr_1} - \bar{f}_{sr_2}}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}} \quad (9)$$

gdzie:

- $\bar{f}_{sr_1}, \bar{f}_{sr_2}$ - średnie arytmetyczne zawartości procentowej danej frakcji oznaczonej porównywanymi metodami
- s_1, s_2 - empiryczne odchylenia standardowe oznaczeń zawartości procentowej danej frakcji w porównywalnych metodach
- n - liczba próbek w serii

Przedstawiona statystyka ma rozkład Studenta o $\nu = 2n - 1$ stopniach swobody. Obszar krytyczny nakazujący odrzucić hipotezę o równości wartości średnich określony jest zapisem:

$$T \in R_{\alpha} = (-\infty, t_{0,5\alpha}) \cup (t_{1-0,5\alpha}, \infty) \quad (10)$$

gdzie:

R_{α} - obszar krytyczny na przyjętym poziomie istotności α ,
 $t_{0,5\alpha}$, $t_{1-0,5\alpha}$ - kwantyle rozkładu Studenta na przyjętym poziomie istotności α
 Wartości statystyki T obliczonej dla poszczególnych frakcji w seriach badań przedstawiono w tabeli 5.

Z porównania wartości statystyki T z obszarem krytycznym wynika, że nie można odrzucić hipotezy o równości uzyskanych wartości średnich w obu metodach oznaczeń uziarnienia gruntu. Obie metody dają więc wyniki nie różniące się między sobą.

Tabela 5

Wartości statystyki T

Nr serii	Wartości statystyki T dla poszczególnych frakcji			Obszar krytyczny na poziomie istotności $\alpha = 0,05$
	\bar{f}_p	\bar{f}_{II}	\bar{f}_I	
1	0,02	0,01	0,07	$(-\infty; -2,09) \cup (2,09; \infty)$
2	0,33	0,23	0,12	$(-\infty; -2,09) \cup (2,09; \infty)$
3	0,15	0,33	0,27	$(-\infty; -2,06) \cup (2,06; \infty)$
4	0,35	0,32	0,49	$(-\infty; -2,18) \cup (2,18; \infty)$
5	0,37	0,03	0,28	$(-\infty; -2,18) \cup (2,18; \infty)$
6	0,39	0,17	0,17	$(-\infty; -2,18) \cup (2,18; \infty)$
7	0,03	0,04	0,11	$(-\infty; -2,18) \cup (2,18; \infty)$

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza statystyczna wyników badań dowodzi, iż rozpatrywane metody oznaczania uziarnienia gruntu nie różnią się dokładnością a uzyskiwane wyniki są identyczne. Analizę całkowitą metodą odpławiania można więc stosować powszechnie w badaniach laboratoryjnych. Zmniejszą to pracochłonność badań, skróci czas analizy, uprości opracowanie wyników oraz umożliwi sprawdzenie dokładności oznaczeń.

Literatura

- [1] BN-76/9180-06 Gleby i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu mechanicznego.
- [2] Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980
- [3] Kezdi A., Lorincz J.: Validity of Stokes Law in The Range of Course Particles. In: Proceedings of the Fifth Budapest Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Akademiai Kiado, Budapest 1976

- [4] Kompanowska J., Ciesielski Z.: Ocena geotechniczna wybranego iłu plioceniowego Bydgoszczy jako podłoża budowlanego. Praca magisterska - ma - szynopsis. IBL, Bydgoszcz 1980
- [5] Kumor M.K.: Ściśliwość iłów plioceniowych w zmiennych warunkach zmarza - nia. Praca doktorska. Politechnika Poznańska 1981
- [6] PW-75/B-04481. Grunty budowlane. Badania laboratoryjne
- [7] Rząsa St.: Nowe metody i aktualna problematyka w analizie składu gra - nulometrycznego gruntu. Geotechniczne problemy Wielkopolski. Wydawnic - two Politechniki Poznańskiej, Poznań 1978
- [8] Smirnow N.W., Dunin-Barbkowski I.W.: Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. Państwowe Wydaw - nictwo Naukowe, Warszawa 1973
- [9] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. Wydawnictwa Naukowo-Tech - niczne, Warszawa 1973

THE INFLUENCE OF METHOD ON ESTIMATION OF GRAIN SIZE OF
PLIOCENE CLAYS

Summary

The paper gives investigation results of the grain size of pliocene clays and their statistic analysis. The grain size analysis has been made by means of the wet analysis of Casagrande and flow away methods. The analysis has shown the same results and precisions of the methods.

ОЦЕНА ПРИГОДНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕРНИСТОСТИ ПЛОЦЕНЬСКИХ ГЛИН ПОЛНЫМ ОТЛИВНЫМ МЕТОДОМ

Резюме

В статье приведены результаты исследований гранулометрического состава пльценских глин по методам Касагранде и полной отливной.

Результаты приведенных исследований и статистического анализа позволяют сказать, что методы не отличаются точностью, а экспериментальные данные тождественны.

Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy

Cz

596

18

1903