

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

ZESZYTY NAUKOWE NR 164

# BUDOWNICTWO 26

C2  
596

BYDGOSZCZ – 1990



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

ZESZYTY NAUKOWE NR 164

# BUDOWNICTWO 26



BYDGOSZCZ - 1990

**PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO**  
doc. dr hab. Juliusz Skonieczny

**REDAKTOR NAUKOWY**  
dr inż. Jan Lorkowski

**OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE**  
mgr Aleksandra Ławniczak, Zbigniew Gackowski

**KOREKTOR**  
Katarzyna Kruś

Wydano za zgodą Rektora  
Akademii Techniczno-Rolniczej  
w Bydgoszczy

ISSN 0208-6379

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

---

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 7,25, ark. druk. 6,8. Papier kl. V, 70 × 10.  
Oddano do druku w grudniu 1989 r. Druk ukończono w styczniu 1990 r.

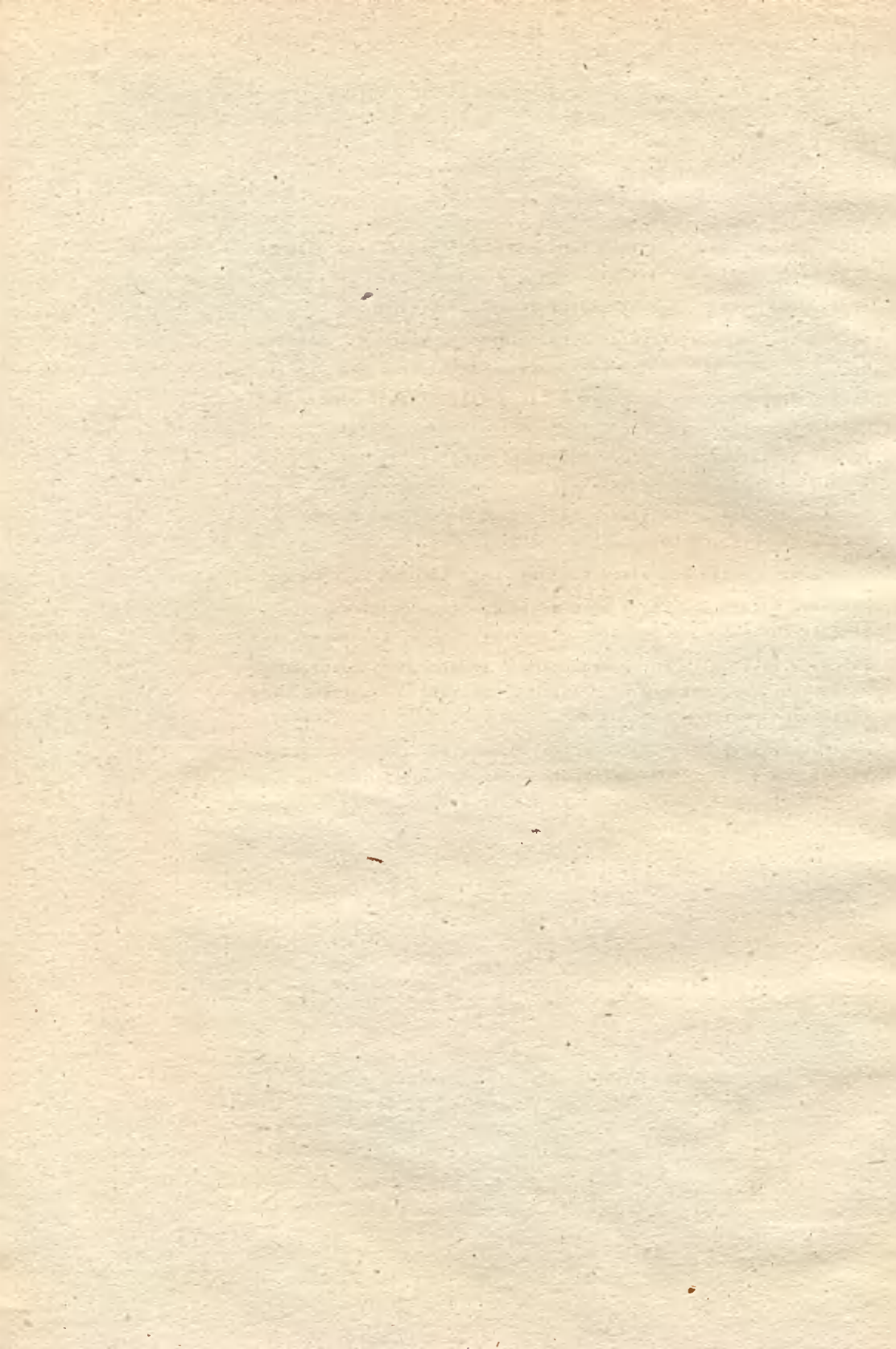
MEN Cena 420 zł

Prasowe Zakłady Graficzne RSW „Prasa-Książka-Ruch” w Bydgoszczy, ul. Dworcowa 13  
Zamówienie nr 4095/89.

Nv 14w. P 1425/90

# SPIS TREŚCI

	str.
1. Irena Gołębiowska - Drgania fundamentu blókowego z uwzględnieniem drgań podłoża .....	5
2. Maria Olejniczak - Analiza tarcz lepko-sprężystych .....	11
3. Maciej K. Kumor - Wytrzymałość na ścinanie cykliczne zamrażanych i odmrażanych iłów .....	33
4. Tomasz Szczuraszek - Propozycja nowej klasyfikacji rodzajowej pojazdów .....	47
5. Tomasz Szczuraszek - Metoda badania psychofizjologicznej reakcji kierowcy .....	63
6. Jan Kempa - Wpływ pochyleń podłużnego na warunki ruchu pojazdów na krzywych poziomych .....	73
7. Jan Kempa - Wpływ przeszkód bocznych na prędkości pojazdów .....	81
8. Zbigniew Tokarski - Ocena wykorzystania czasu pracy na przyładzie żurawia budowlanego .....	89
9. Zbigniew Tokarski - Wpływ uwarunkowań lokalnych na rozbieżność wydajności rzeczywiście osiągniętych i wielkości zawartych w katalogach nakładów rzeczowych .....	95
10. Jan Kulczyński, Zbigniew Tokarski, Danuta Walczak - Analiza zastosowania w fabryce domów wózków szynowych do transportu mieszanki betonowej .....	101



Irena Gołębiowska

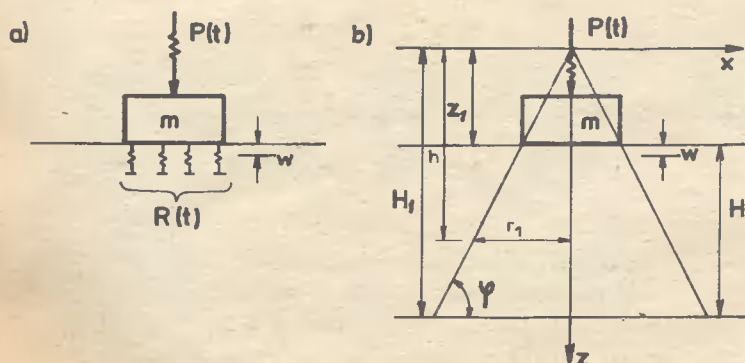
### DRGANIA FUNDAMENTU BLOKOWEGO Z UWZGLĘDNIENIEM DRGAŃ PODŁOŻA

Sformułowano ogólne równanie ruchu fundamentu blokowego, ustawionego na sprężystym podłożu. Podłoże jest opisane modelem stożkowym. Przeanalizowano wpływ sił bezwładności gruntu na drgania fundamentu.

Do tej pory niewiele prac poświęcono uwzględnieniu, w obliczeniach fundamentów blokowych posadowionych na gruncie, sił bezwładności podłoża i tłumienia w nim. Pewne próby w tym kierunku przedstawione są w pracach: [1,2], [3,6]

Niniejszy artykuł podejmuje ten problem, a zadaniem jego jest sformułowanie ogólnego równania ruchu fundamentu blokowego, traktowanego jako bryła sztywna, ustawionego na sprężystym podłożu, a następnie dokonanie analizy wpływu sił bezwładności gruntu na drgania fundamentu. Podłoże opisane jest tutaj wg modelu stożkowego. Model ten szczegółowo opisany został w pracach [4,5]

Założono, że środek ciężkości fundamentu i maszyny leży na linii pionowej przechodzącej przez środek ciężkości podstawy fundamentu. Rozpatrzono drgania fundamentu w płaszczyźnie głównej, pionowej  $x, z$ , przechodzącej przez środek ciężkości układu. Schemat fundamentu i rozpatrywanego modelu podłoża wraz z działającymi nań siłami i przyjętym układem osi współrzędnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Schemat podłoża i spoczywającego nań fundamentu

Wielkość  $z_1$  znajduje się z zależności:

$$z_1 = \operatorname{rtg} \varphi = \frac{r}{\mu} ,$$

gdzie:

$r$  - promień przekroju kołowego stożka na wysokości

$z = z_1$ ,  $\mu = \operatorname{ctg} \varphi$  .

Rozpatrywany układ, fundament - podłoże , sprowadzono do układu o jednym stopniu swobody przez uzależnienie przemieszczeń gruntu od przemieszczeń podstawy fundamentu.

Ogólne równanie różniczkowe pionowych drgań wymuszonych fundamentu ma postać

$$m\ddot{w} + R(t) = P(t) \quad (1)$$

gdzie:

$w$  - pionowe przemieszczenie masy fundamentu

$R(t)$  - oddziaływanie podłoża sprężystego,

$P(t)$  - siła wzbudzająca, działająca na układ.

Równanie ruchu powierzchni, pod fundamentem podłoża opisanego modelem stożkowym, z uwzględnieniem tłumienia gruntu ma następującą postać:

$$w(z_1, t) + \frac{\alpha}{D} \dot{w}(z_1, t) = -\frac{g}{D} \left\{ \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} \int_{z_1}^s \frac{\partial^2 w(h, t)}{\partial t^2} F(h) dh ds + \right. \\ \left. + \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} \left[ \int_{z_1}^s \frac{\partial^2 w(h, t)}{\partial t^2} \frac{\partial F(h)}{\partial h} h dh + \int_{z_1}^s \frac{\partial F(h)}{\partial h} \right. \right. \quad (2) \\ \left. \left. \int_{z_1}^h \frac{\partial^2 \tilde{w}(r, u, t)}{\partial t^2} du dh \right] ds \right\} + \frac{R(t)}{D} \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} ds ,$$

gdzie:

$w(z_1, t) = w$  - przemieszczenie gruntu na poziomie podstawy fundamentu,  
 $\alpha$  - współczynnik tłumienia drgań przez podłoże objęte stożkiem,  
 $D$  - moduł odkształcenia płaskiego gruntu,  
 $F(s)$  - powierzchnia przekroju poprzecznego stożka na wysokości  $s$ .



W powyższym równaniu całki w granicach  $z_1 + s$  pomnożone przez  $\xi$  przedstawiają wypadkowe siły bezwładności:

$$w(z_1, t) + \frac{\alpha}{D} \dot{w}(z_1, t) = - \frac{1}{D} \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} \left[ B_1(s, t) + B_2(s, t) + B_3(s, t) \right] ds +$$

$$+ \frac{R(t)}{D} \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} ds, \quad (3)$$

gdzie:

$B_1(s, t)$ ,  $B_2(s, t)$ ,  $B_3(s, t)$  - są siłami bezwładności kolejno: gruntu stożka, gruntu znajdującego się nad powierzchnią boczną stożka (wywołanymi przemieszczeniami stożka) oraz gruntu nad stożkiem (spowodowanymi odkształceniami wewnętrznymi gruntu nad stożkiem).

Tłumienie w gruncie przyjęto wg hipotezy Kelvina-Voigta.

Po przekształceniach równania (2) otrzymano wzór na oddziaływanie pionowa na fundament w postaci:

$$R(t) = \frac{D}{F} w(z_1, t) + \frac{\alpha}{F} \dot{w}(z_1, t) + \frac{\Lambda(z_1)}{F} \ddot{w}(z_1, t), \quad (4)$$

gdzie:

$$F = \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} ds,$$

$$\Lambda(z_1) = \xi \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} \int_{z_1}^s \frac{\partial^2 w(h, t)}{\partial t^2} F(h) dh ds + \int_{z_1}^{H_1} \frac{1}{F(s)} \cdot$$

$$\left[ \int_{z_1}^s \frac{\partial^2 w(h, t)}{\partial t^2} \frac{\partial F(h)}{\partial h} h dh + \int_{z_1}^s \frac{\partial F(h)}{\partial h} \int_{z_1}^h \frac{\partial^2 \tilde{w}(r, u, t)}{\partial t^2} du dr \right] ds \quad (4a)$$

Jednym ze sposobów przybliżonego wyznaczenia, występującego powyżej wyrażenia  $\Lambda(z_1)$ , jest założenie pewnego przebiegu poszukiwanej funkcji zmienności przemieszczeń pionowych gruntu, na głębokości rozpatrywanej warstwy pionowa.

Przemieszczenie na wysokości stożka przedstawiono następującą funkcją:

$$w(h,t) = w(t) \Psi(h), \quad (5)$$

gdzie:

$w(t) = w$  - przemieszczenie podłoża na poziomie podstawy fundamentu,  
 $\Psi(h)$  - funkcja aproksymująca przebieg przemieszczeń wzdłuż osi  $z$ ,  
 związana ze stożkiem. Funkcję tę, dobrano tak, aby  $\Psi(z_1) = 1$ ,  
 a przy  $z_1 \rightarrow H_1$   $\Psi(z_1) = 0$ .

Dodatkowe przemieszczenie cząstki gruntu nad stożkiem uzależniono od przemieszczeń gruntu w stożku na wysokości  $h = \frac{r_1}{\mu}$

$$\tilde{w}(r,u,t) = w(t) \Psi(h) \phi(u), \quad (6)$$

gdzie:

$\phi(u)$  jest również funkcją kształtu, dla której  $\phi(z_1) = 1$  a  $\phi(\frac{r_1}{\mu}) = 0$

Rozwiązanie Boussinesqa, w którym przemieszczenia pionowe dość szybko zanikają, było podstawą do przyjęcia odpowiedniej funkcji aproksymacyjnej.

Założenie, że  $\Psi(h) = \frac{H - (h - z_1)}{H}$ , a  $\phi(u) = \frac{h - u}{h - z_1}$

i podstawienie do równania (4a) przemieszczeń przyjętych według wzorów (5) i (6) prowadzi do wyznaczenia następującego wyrażenia:

$$\Lambda(z_1) = \varphi H^2 \left[ 1 - \frac{2H}{3(H+z_1)} \right] \quad (7)$$

Po wstawieniu do równania (1) równania (4) otrzymano równanie drgań pionowych fundamentu:

$$\left(m + \frac{\Lambda}{F}\right) \ddot{w} + \frac{\alpha}{F} \dot{w} + \frac{D}{F} w = P(t), \quad (8)$$

gdzie:

$$F = \frac{H}{\mu^2 z_1 H_1 \pi}$$

Rozwiązanie równania (8) jest rozwiązaniem klasycznym dla układu o jednym stopniu swobody.

Częstość kątowna drgań własnych pionowych fundamentu z uwzględnieniem bezwładności masy gruntu wynosi

$$\omega = \frac{D}{F \left(m + \frac{\Lambda}{F}\right)}, \quad (9)$$

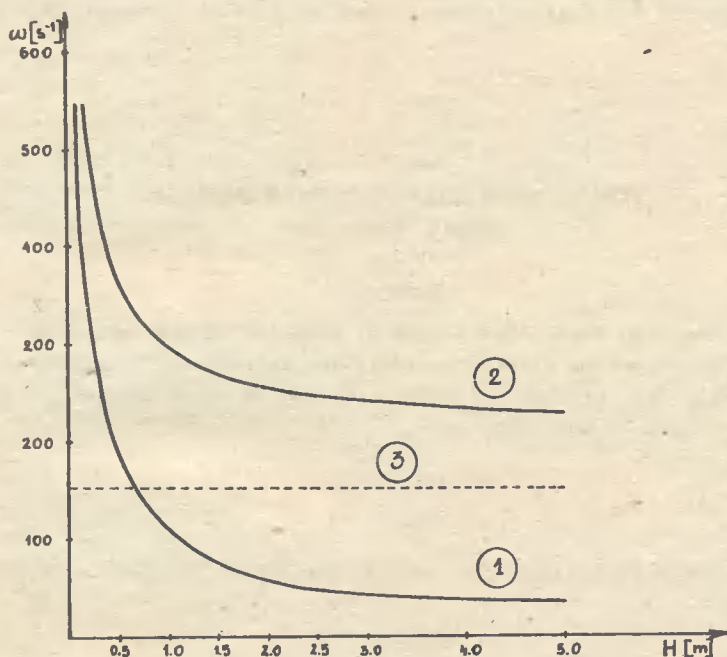
Analizę zależności częstości kątowej drgań własnych pionowych fundamentu od wysokości warstwy podłoża współdziałającej z nim przeprowadzono mając następujące dane:

- podstawa fundamentu wynosi 2 m x 2 m,

- ciężar fundamentu równy jest 0,1 MN,
- fundament spoczywa na zagęszczonym grubym piasku, dla którego  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\gamma = 0,017 \text{ MNm}^{-3}$  a, moduł odkształcenia  $D = 140 \text{ MNm}^{-2}$ .

Na rysunku 2 przedstawiono dwie krzywe 1 i 2, opisujące zależności częstotliwości drgań własnych fundamentu od wysokości  $H$  warstwy gruntu. Krzywą obliczoną z uwzględnieniem bezwładności masy gruntu oznaczono numerem 1, a numerem 2 oznaczono krzywą obliczoną przy pominięciu bezwładności masy gruntu.

Stosowany powszechnie w praktyce projektowania sposób Sawinowa, dotyczący określania współczynników dynamicznych podłoża gruntowego, zastosowano również w analizowanym przykładzie. Częstotliwość obliczoną według tej metody oznaczono na rysunku 2 numerem 3.



Rys. 2. Wykres zależności częstotliwości drgań własnych fundamentu od wysokości rozpatrywanej warstwy gruntu

Przytoczone powyżej wyniki obliczeń umożliwiają zorientowanie się, jakie efekty powoduje uwzględnienie bezwładności podłoża w obliczeniach fundamentów blokowych.

#### LITERATURA

- [1] Kisiel J.: Dynamika fundamentów pod maszyny. PWN, Warszawa 1957
- [2] Barkan D.: Dynamics of bases and foundations. New York 1962

- [3] Major A.: Vibration analysis and design of foundations for machines and turbines. Budapest 1962
- [4] Gołębiowska I.: Obliczanie konstrukcji na podłożu gruntowym przedstawionym jako dyskretny układ elementów stożkowych. Inż. i Bud. 11/84
- [5] Gołębiowska I.: Wpływ bezwładności podłoża gruntowego na drgania belki obciążonej układem sił ruchomych. Z.Nauk. Politechniki Świętokrzyskiej. Budownictwo 18, Kielce 1984
- [6] Lipiński J.: Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny. Arkady, Warszawa 1969
- [7] Mironowicz W.: W sprawie oceny drgań podłoża gruntowego. Inż. i Bud. 2/76

VIBRATIONS OF BLOCK FOUNDATION INCLUDING  
SUBSOIL VIBRATIONS

Summary

There has been formulated a general equation of the motion of block foundation supported on elastic subsoil. The subsoil is described by a conical model. The influence of inertia forces of solid on the vibrations of the foundation is analysed there.

КОЛЕБАНИЯ БЛОКОВОГО ФУНДАМЕНТА С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Резюме

Представлены общие уравнения движения фундамента на упругом грунтовым основании, представленном в виде дискретной системы конусных элементов. Проанализировано влияние инерционных сил на колебание фундамента.

Maria Olejniczak

## ANALIZA TARCZ LEPKOSPREŻYSTYCH

W pracy przedstawiono metodę numeryczną obliczania tarcz wykonanych z materiału liniowo-lepkosprężystego. Do dyskretyzacji przestrzennej zadania zastosowano metodę elementów skończonych, natomiast dyskretyzację względem czasu uzyskano stosując metodę opisaną w pracach [2, 3]. Opracowano program komputerowy liczący zadania quasistatyczne, przy dowolnie zmiennym w czasie obciążeniu tarczy. Praca zawiera kilka przykładów, z których wynika, że zastosowana metoda jest wystarczająco dokładna i efektywna.

### 1. WSTĘP

Niektóre tworzywa konstrukcyjne takie jak beton, drewno lub tworzywa sztuczne wykazują wyraźne właściwości reologiczne. Zjawiska pełzania i relaksacji naprężeń mogą w istotny sposób wpływać na rozkład przemieszczeń i naprężeń. Uwzględnienie tych zjawisk może okazać się konieczne w obliczeniach konstrukcji, szczególnie, jeżeli poddane są one obciążeniom długotrwałym.

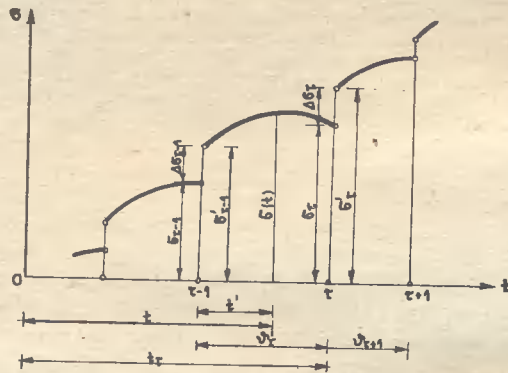
Celem pracy jest opracowanie algorytmu numerycznego umożliwiającego analizę zmian odkształceń i naprężeń w tarczach lepkosprężystych, poddanych długotrwałym obciążeniom. Rozpatruje się materiał liniowo lepkosprężysty, podlegający małym odkształceniom i naprężeniom, mieszczącym się w przedziale obowiązujących praw konstytutywnych. Wyklucza to na przykład analizy zniszczenia materiałów w warunkach pełzania.

Załączone w niniejszej pracy przykłady mają głównie charakter testowy. Stanowią one także ilustrację walorów zastosowanej metody i jednocześnie ilustrują wpływ pełzania na zmiany odkształceń i naprężeń w realnych materiałach.

Przyjmuje się, że obciążenie tarczy jest zadaną funkcją czasu. Dopuszcza się nieciągłości tej funkcji i jej pochodnej, co oznacza, że obciążenie lub jego prędkość mogą się zmieniać w czasie również skokowo. Ograniczając się, poza tym, do obciążeń wolnozmiennych, pomija się siły bezwładności, rozważając zadanie tzw. quasistatyczne. Rozwiązania problemu poszukuje się na drodze metod numerycznych, stosując dyskretyzację przestrzenną (MES) oraz dyskretyzację względem czasu [2,3]. Dyskretyzacja zadania względem czasu polega na przyjęciu dla jednoosiowego stanu naprężenia równania konstytutywnego w postaci związku różniczkowego,

$$a_0 \sigma + a_1 \dot{\sigma} + a_2 \ddot{\sigma} = b_0 \varepsilon + b_1 \dot{\varepsilon} + b_2 \ddot{\varepsilon} \quad (1.1)$$

z pięcioma niezależnymi parametrami (stałymi materiałowymi). Jak już wspomniano dopuszczono nieciągłości (skoki) dla funkcji naprężenia  $\sigma(t)$  i jej pochodnej  $\dot{\sigma}(t)$  oraz dla funkcji  $\varepsilon(t)$  i  $\dot{\varepsilon}(t)$ . Oś czasu podzielono węzłami ( $r = 0, 1, 2, \dots$ ) na przedziały o długościach  $\nu_r = t_r - t_{r-1}$ , zakładając, że funkcje  $\sigma(t)$  i  $\dot{\sigma}(t)$  muszą być ciągłe w każdym otwartym przedziale  $\nu_r$ .



Rys. 1. Naprężenie jako funkcja czasu

Przebieg naprężeń w dowolnym przedziale aproksymuje się funkcją kwadratową

$$\sigma(t) = \sigma_{r-1} + \dot{\sigma}_{r-1} t' + \frac{1}{\nu_r} \left[ \frac{\sigma_r - \sigma_{r-1}}{\nu_r} - \dot{\sigma}_{r-1} \right] (t')^2 \quad (1.2)$$

Po dokonaniu aproksymacji przebiegu naprężeń oraz ścisłym rozwiązaniu otrzymanego z (1.1) równania różniczkowego otrzymano związki rekurencyjne, w których odkształcenie i jego prędkość w danej chwili są określone przez naprężenie w tejże chwili oraz stan układu z chwili poprzedniej [2]. Dla przypadku występowania nieciągłości funkcji naprężenia lub prędkości naprężenia wprowadzono niezbędne związki pozwalające obliczyć granice prawostonne tych funkcji.

W pracy [3] uogólniono rozważania na przestrzenny stan naprężenia postulując związki typu (1.1) oddzielnie dla dewiatorów i oddzielnie dla części kulistej tensorów naprężeń i odkształceń. Równania te są podstawą sformułowanych niżej związków konstytutywnych dla płaskiego stanu naprężenia. Z wykorzysta-

taniem tych równań wyprowadzono komplet równań macierzowych metody elementów skończonych i opracowano program obliczeń numerycznych dla tarcz lepko-sprężystych. Praca zawiera przykłady obliczeń.

## 2. PŁASKI STAN NAPRĘŻENIA

### 2.1. Wprowadzenie

W pracy [3] rozważa się problem quasistatyczny lepko-sprężystości liniowej ośrodka izotropowego. Przedstawiono komplet równań konstytutywnych dla przestrzennego stanu naprężenia, sformułowanych oddzielnie dla dewiatorów i aksjatorów tensorów naprężeń i odkształceń.

Związki między tensorami odkształceń i tensorami naprężeń w chwili  $t_\tau$  ( $\tau = 1, 2, \dots$ ) mają postać:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij,\tau} - \frac{1}{3} e_\tau \delta_{ij} &= \gamma_\tau^p (\sigma_{ij,\tau} - \frac{1}{3} s_\tau \delta_{ij}) + \underline{A}_\tau^p (\underline{\varepsilon}_{ij,\tau-1}^* - \frac{1}{3} \underline{e}_{\tau-1}^* \delta_{ij}) , \\ e_\tau &= \gamma_\tau^A s_\tau + \underline{A}_\tau^A \underline{e}_{\tau-1}^* . \end{aligned} \quad (2.1)$$

w których:

$$\begin{aligned} e_\tau &= \varepsilon_{kk,\tau} , \quad s_\tau = \sigma_{kk,\tau} , \\ \underline{\varepsilon}_{ij,\tau-1}^* &= \text{col} (\varepsilon_{ij,\tau-1}, \dot{\varepsilon}_{ij,\tau-1}, \sigma'_{ij,\tau-1}, \dot{\sigma}'_{ij,\tau-1}, \Delta \sigma_{ij,\tau-1}, \Delta \dot{\sigma}'_{ij,\tau-1}) , \\ \underline{e}_{\tau-1}^* &= \text{col} (e_{\tau-1}, \dot{e}_{\tau-1}, s'_{\tau-1}, \dot{s}'_{\tau-1}, \Delta s_{\tau-1}, \Delta \dot{s}'_{\tau-1}) , \\ \underline{A}_\tau &= \{ c_{0,\tau}, c_{1,\tau}, a_0 c_{2,\tau} - \gamma_\tau, a_0 c_{3,\tau} + a_1 c_{2,\tau} - \gamma_\tau \psi_\tau , \\ &\quad a_1 c_{5,\tau} + a_2 c_{6,\tau}, a_2 c_{5,\tau} \} , \\ \gamma_\tau &= \frac{2}{\nu_\tau} (a_0 c_{4,\tau} + a_1 c_{3,\tau} + a_2 c_{2,\tau}) . \end{aligned}$$

We wzorze (2.1)  $\underline{A}_\tau$  jest macierzą przeniesienia (wierszową) w kroku  $(\tau-1, \tau)$ ,  $\gamma_\tau$  - modułem lepko-sprężystości,  $\underline{\varepsilon}_{ij,\tau-1}^*$  i  $\underline{e}_{\tau-1}^*$  są wektorami (macierzami kolumnowymi) stanu układu w chwili poprzedniej  $t_{\tau-1}$ . Indeks górny D dotyczy wielkości wiążących dewiator stanu odkształcenia z dewiatorem stanu naprężenia, indeks górny A dotyczy wielkości wiążących części kuliste obu tensorów. Zastosowano zapis wskaźnikowy i konwencję sumacyjną. Przecinek w wyrażeniu np.  $\varepsilon_{kk,\tau}$  nie oznacza różniczkowania i ma wyłącznie na celu oddzielenie indeksów zmiennych przestrzennych od numeru chwili  $\tau$ .

W podobny sposób powiązано dewiatory i aksjatory tensorów naprężenia z tensorami prężności odkształcenia

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{ij,\tau} - \frac{1}{3} e_{\tau} \delta_{ij} &= \dot{\gamma}_{\tau}^D (\sigma_{ij,\tau} - \frac{1}{3} s_{\tau} \delta_{ij}) + \dot{A}_{\tau}^D (\underline{\varepsilon}_{ij,\tau-1} - \frac{1}{3} \underline{e}_{\tau-1} \delta_{ij}), \\ \dot{e}_{\tau} &= \dot{\gamma}_{\tau}^A s_{\tau} + \dot{A}_{\tau}^A \underline{e}_{\tau-1}^*, \end{aligned} \quad (2.2)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \dot{A}_{\tau} &= [\dot{c}_{0,\tau}, \dot{c}_{1,\tau}, a_0 \dot{c}_{2,\tau} - \dot{\gamma}_{\tau}, a_0 \dot{c}_{3,\tau} + a_1 \dot{c}_{2,\tau} - \dot{\gamma}_{\tau} v_{\tau}, \\ &\quad a_1 \dot{c}_{3,\tau} + a_2 \dot{c}_{6,\tau}, a_2 \dot{c}_{5,\tau}], \\ \dot{\gamma}_{\tau} &= \frac{2}{v_{\tau}} (a_0 \dot{c}_{4,\tau} + a_1 \dot{c}_{3,\tau} + a_2 \dot{c}_{2,\tau}). \end{aligned}$$

Współczynniki  $c_{i,\tau}$ ,  $\dot{c}_{i,\tau}$  zestawione zostały w pracy [2].

Jeśli w chwili  $t_{\tau}$  zachodzi nieciągłość funkcji naprężenia ( $\Delta \sigma_{ij,\tau}$ ) lub prędkości naprężenia ( $\Delta \dot{\sigma}_{ij,\tau}$ ) konieczne jest określenie przyrostów odkształceń ( $\Delta \varepsilon_{ij,\tau}$ ) oraz ich pochodnych ( $\Delta \dot{\varepsilon}_{ij,\tau}$ ).

Słuszne będą następujące związki:

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_{ij,\tau} - \frac{1}{3} \Delta e_{\tau} \delta_{ij} &= \gamma_0^D (\Delta \sigma_{ij,\tau} - \frac{1}{3} \Delta s_{\tau} \delta_{ij}), \\ \Delta e_{\tau} &= \gamma_0^A \Delta s_{\tau}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{\varepsilon}_{ij,\tau} - \frac{1}{3} \Delta \dot{e}_{\tau} \delta_{ij} &= \dot{\gamma}_0^D (\Delta \sigma_{ij,\tau} - \frac{1}{3} \Delta s_{\tau} \delta_{ij}) + \dot{\gamma}_0^D (\Delta \dot{\sigma}_{ij,\tau} - \frac{1}{3} \Delta \dot{s}_{\tau} \delta_{ij}), \\ \Delta \dot{e}_{\tau} &= \dot{\gamma}_0^A \Delta s_{\tau} + \dot{\gamma}_0^A \Delta \dot{s}_{\tau}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

w których:

$$\gamma_0 = \begin{cases} \frac{a_1}{b_1}, & \text{jeśli } b_1 \neq 0, b_2 = 0, \\ \frac{a_2}{b_2}, & \text{jeśli } b_2 \neq 0, \\ \frac{1}{b_0}, & \text{jeśli } b_1 = 0, b_2 = 0, \end{cases}$$

$$\dot{\gamma}_0 = \begin{cases} (a_0 - \frac{b_0}{b_1} a_1) \frac{1}{b_1}, & \text{jeśli } b_1 \neq 0, b_2 = 0, \\ (a_1 - \frac{b_1}{b_2} a_2) \frac{1}{b_2}, & \text{jeśli } b_2 \neq 0, \\ 0, & \text{jeśli } b_1 = 0, b_2 = 0. \end{cases}$$

Wzór na prędkość tensora naprężenia w chwili  $t_{\tau}$  wynika wprost z równania aproksymacyjnego (1.2):



$$\dot{\sigma}'_{ij,\tau} = \frac{2}{\delta\tau} (\sigma_{ij,\tau} - \sigma'_{ij,\tau-1}) - \dot{\sigma}'_{ij,\tau-1} \quad (2.5)$$

Analizując przedstawione równania dochodzi się do wniosku, że w każdej chwili  $t_\tau$ , należy w ogólności rozwiązać trzy zadania:

- Zadanie I: polegające na wyznaczeniu granicy lewostronnej wektora przemieszczeń oraz tensorów odkształcenia i naprężenia. W tym zadaniu oblicza się też prędkości przemieszczeń i naprężeń.
- Zadanie II: polegające na wyznaczeniu przyrostów skoków wektora przemieszczeń oraz tensorów odkształceń i naprężeń.
- Zadanie III: polegające na wyznaczeniu przyrostów prędkości wektora przemieszczeń i tensorów odkształceń i naprężeń.

Jeśli w chwili  $t_\tau$  nie zachodzi nagły przyrost obciążeń, to zadanie II wypada. Jeśli ponadto w chwili  $t_\tau$  nie zachodzi nagły przyrost prędkości obciążeń, to również w zadaniu III mamy rozwiązanie zerowe.

## 2.2. Równania konstytutywne dla płaskiego stanu naprężenia

Przechodząc do płaskiego stanu naprężenia w opisanych w p.2.1 równaniach przyjmujemy  $\epsilon_{33} = 0$ ,  $\epsilon'_{33} = 0$ ,  $\Delta\epsilon_{33} = 0$ ,  $\Delta\epsilon'_{33} = 0$ . Stąd otrzymuje się dla poszczególnych zadań, równania podane niżej. Równania te będą zapisane w konwencji macierzowej, która jest w tym miejscu bardziej korzystna.

Otrzymuje się następujący związek między tensorem naprężenia i tensorem odkształcenia:

$$\underline{\sigma}_\tau = \mu_\tau \underline{\lambda}_\tau \underline{\epsilon}_\tau + \mu_\tau \underline{G}_\tau \underline{\epsilon}'_{\tau-1} + \underline{M}_\tau \underline{\epsilon}'_{\tau-1} \quad (2.6)$$

gdzie:

$$\mu_\tau = \frac{1}{\delta\tau^2 (2\gamma_\tau^A + \gamma_\tau^D)}$$

$$\underline{\sigma}_\tau = \text{col}(\sigma_{11,\tau}, \sigma_{22,\tau}, \sigma_{12,\tau}), \quad \underline{\epsilon}_\tau = \text{col}(\epsilon_{11,\tau}, \epsilon_{22,\tau}, \epsilon_{12,\tau}),$$

$$\underline{\epsilon}'_{\tau-1} = \text{col}(\underline{\epsilon}'_{11,\tau-1}, \underline{\epsilon}'_{22,\tau-1}, \underline{\epsilon}'_{12,\tau-1}, \underline{\epsilon}'_{33,\tau-1})$$

$$\underline{G}_\tau = \text{col}(\gamma_\tau^A \underline{A}_\tau^D - \gamma_\tau^D \underline{A}_\tau^A, \gamma_\tau^A \underline{A}_\tau^D - \gamma_\tau^D \underline{A}_\tau^A, \underline{0}),$$

$$\underline{\lambda}_\tau = \begin{bmatrix} \gamma_\tau^A + 2\gamma_\tau^D & \gamma_\tau^D - \gamma_\tau^A & 0 \\ \gamma_\tau^D - \gamma_\tau^A & \gamma_\tau^A - 2\gamma_\tau^D & 0 \\ 0 & 0 & 2\gamma_\tau^A + \gamma_\tau^D \end{bmatrix},$$

$$\underline{M}_\tau = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\delta\tau^2} \underline{A}_\tau^D & \underline{0} & \underline{0} & \mu_\tau (\gamma_\tau^D - \gamma_\tau^A) \underline{A}_\tau^D \\ \underline{0} & -\frac{1}{\delta\tau^2} \underline{A}_\tau^D & \underline{0} & \mu_\tau (\gamma_\tau^D - \gamma_\tau^A) \underline{A}_\tau^D \\ \underline{0} & \underline{0} & -\frac{1}{\delta\tau^2} \underline{A}_\tau^D & \underline{0} \end{bmatrix}$$

Składową stanu odkształcenia  $\mathcal{E}_{33,r}$  można wyrazić za pomocą pozostałych składowych  $\mathcal{E}_{11,r}$ ,  $\mathcal{E}_{22,r}$  oraz stanu układu z chwili  $t_{r-1}$ :

$$\mathcal{E}_{33,r} = \frac{3\chi_r^A}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \underline{A}_r^D \mathcal{E}_{33,r-1} + \frac{\chi_r^D \underline{A}_r^A - \chi_r^A \underline{A}_r^D}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \underline{e}_{r-1} + (\mathcal{E}_{11,r} + \mathcal{E}_{22,r}) \frac{\chi_r^A - \chi_r^D}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \quad (2.7)$$

Dla prędkości odkształceń otrzymuje się wzory:

$$\dot{\underline{e}}_r = \frac{1}{3} \underline{\beta}_r \underline{\sigma}_r + \frac{1}{3} \chi_r^A \underline{F}_r \underline{e}_{r-1} + \frac{1}{3\chi_r^D} \underline{N}_r \underline{e}_{r-1} \quad , \quad (2.8)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{33,r} = \frac{3\chi_r^A}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \underline{A}_r^D \dot{\mathcal{E}}_{33,r-1} + \frac{\chi_r^D \underline{A}_r^A - \chi_r^A \underline{A}_r^D}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \underline{e}_{r-1} + (\dot{\mathcal{E}}_{11,r} + \dot{\mathcal{E}}_{22,r}) \frac{\chi_r^A - \chi_r^D}{2\chi_r^A + \chi_r^D} \quad , \quad (2.9)$$

w których:

$$\dot{\underline{e}}_r = \text{col}(\dot{\mathcal{E}}_{11,r}, \dot{\mathcal{E}}_{22,r}, \dot{\mathcal{E}}_{12,r}) \quad ,$$

$$\underline{F}_r = \text{col}\left(\frac{1}{\chi_r^A} \underline{A}_r^A - \frac{1}{\chi_r^D} \underline{A}_r^D, \frac{1}{\chi_r^A} \underline{A}_r^A - \frac{1}{\chi_r^D} \underline{A}_r^D, \underline{0}\right) \quad ,$$

$$\underline{\beta}_r = \begin{bmatrix} \chi_r^A + 2\chi_r^D & \chi_r^A - \chi_r^D & 0 \\ \chi_r^A - \chi_r^D & \chi_r^A + 2\chi_r^D & 0 \\ 0 & 0 & 3\chi_r^D \end{bmatrix} \quad ,$$

$$\underline{N}_r = \begin{bmatrix} (\chi_r^A + 2\chi_r^D) \underline{A}_r^D & (\chi_r^A - \chi_r^D) \underline{A}_r^D & \underline{0} & (\chi_r^A - \chi_r^D) \underline{A}_r^D \\ (\chi_r^A - \chi_r^D) \underline{A}_r^D & (\chi_r^A + 2\chi_r^D) \underline{A}_r^D & \underline{0} & (\chi_r^A - \chi_r^D) \underline{A}_r^D \\ \underline{0} & \underline{0} & 3\chi_r^D \underline{A}_r^D & \underline{0} \end{bmatrix}$$

Prędkości tensora naprężenia oblicza się równaniem:

$$\dot{\underline{\sigma}}_r = \frac{2}{\chi_r} (\underline{\sigma}_r - \underline{\sigma}'_{r-1}) - \dot{\underline{\sigma}}'_{r-1} \quad (2.10)$$

W przypadku występowania nieciągłości funkcji naprężenia lub prędkości naprężenia konieczne jest obliczenie granicy prawostronnej tych funkcji wzorami:

$$\underline{\sigma}'_r = \underline{\sigma}_r + \Delta \underline{\sigma}_r \quad , \quad \underline{e}'_r = \underline{e}_r + \Delta \underline{e}_r \quad , \quad (2.11)$$

$$\dot{\underline{\sigma}}'_r = \dot{\underline{\sigma}}_r + \Delta \dot{\underline{\sigma}}_r \quad , \quad \dot{\underline{e}}'_r = \dot{\underline{e}}_r + \Delta \dot{\underline{e}}_r \quad , \quad (2.12)$$

Przyrosty skokowe naprężeń i odkształceń oraz ich prędkości są związane równaniami:

$$\Delta \underline{\sigma}_\tau = \mu_0 \lambda_0 \Delta \underline{\varepsilon}_\tau \quad , \quad (2.13)$$

$$\Delta \dot{\underline{\sigma}}_\tau = \mu_0 \lambda_0 \Delta \dot{\underline{\varepsilon}}_\tau + \mu_0^2 \eta_0 \Delta \underline{\varepsilon}_\tau \quad , \quad (2.14)$$

w których:

$$\Delta \underline{\sigma}_\tau = \text{col} (\Delta \sigma_{11,\tau} , \Delta \sigma_{22,\tau} , \Delta \sigma_{12,\tau}) \quad \text{itd} \quad , \quad \mu_0 = \frac{1}{\gamma_0^D (2\gamma_0^A + \gamma_0^D)} \quad ,$$

$$\eta_0 = \left[ \begin{array}{cc|c} -2\gamma_0^A \gamma_0^D (\gamma_0^A + \gamma_0^D) - \gamma_0^D \gamma_0^D (3\gamma_0^A + 2\gamma_0^D) & 2\gamma_0^A \gamma_0^D (\gamma_0^A + \gamma_0^D) - \gamma_0^D \gamma_0^D (3\gamma_0^A + \gamma_0^D) & 0 \\ 2\gamma_0^A \gamma_0^D (\gamma_0^A + \gamma_0^D) - \gamma_0^D \gamma_0^D (3\gamma_0^A + \gamma_0^D) & -2\gamma_0^A \gamma_0^D (\gamma_0^A + \gamma_0^D) - \gamma_0^D \gamma_0^D (3\gamma_0^A + 2\gamma_0^D) & 0 \\ \hline 0 & 0 & -\gamma_0^D (2\gamma_0^A + \gamma_0^D)^2 \end{array} \right] \quad ,$$

$$\lambda_0 = \left[ \begin{array}{cc|c} \gamma_0^A + 2\gamma_0^D & \gamma_0^D - \gamma_0^A & 0 \\ \gamma_0^D - \gamma_0^A & \gamma_0^A + 2\gamma_0^D & 0 \\ \hline 0 & 0 & 2\gamma_0^A + \gamma_0^D \end{array} \right]$$

Przyrost odkształceń  $\Delta \varepsilon_{33,\tau}$  oraz jego pochodną  $\Delta \dot{\varepsilon}_{33,\tau}$  obliczamy wzorami:

$$\Delta \varepsilon_{33,\tau} = \frac{\gamma_0^A - \gamma_0^D}{2\gamma_0^A + \gamma_0^D} (\Delta \varepsilon_{11,\tau} + \Delta \varepsilon_{22,\tau}) \quad , \quad (2.15)$$

$$\Delta \dot{\varepsilon}_{33,\tau} = \frac{3(\gamma_0^A \gamma_0^D - \gamma_0^D \gamma_0^A)}{(2\gamma_0^A + \gamma_0^D)^2} (\Delta \varepsilon_{11,\tau} + \Delta \varepsilon_{22,\tau}) + \frac{\gamma_0^A - \gamma_0^D}{2\gamma_0^A + \gamma_0^D} (\Delta \dot{\varepsilon}_{11,\tau} + \Delta \dot{\varepsilon}_{22,\tau}) \quad . \quad (2.16)$$

### 2.3. Równania pracy wirtualnej

Rozpatrzmy ciało lepkosprężyste poddane działaniu sił zewnętrznych  $\underline{p}_\tau(x,t)$  i ich pochodnych  $\dot{\underline{p}}_\tau(x,t)$ . Pod wpływem tych przyczyn pojawi się w ciele pole przemieszczeń  $\underline{u}_\tau(x,t)$ , ich prędkości  $\dot{\underline{u}}_\tau(x,t)$ , pole naprężeń  $\underline{\sigma}_\tau(x,t)$  oraz pole prędkości naprężeń  $\dot{\underline{\sigma}}_\tau(x,t)$ .

W każdej chwili  $t_\tau$  muszą być spełnione równania równowagi dla lewostronnej i prawostronnej granicy tensora naprężenia. Równania równowagi można zapisać w postaci:

$$\underline{\partial}_x^T \underline{\sigma}_\tau + \underline{f}_\tau = \underline{0} \quad , \quad \underline{\partial}_x^T \Delta \underline{\sigma}_\tau + \Delta \underline{f}_\tau = \underline{0} \quad , \quad \underline{\partial}_x^T \Delta \dot{\underline{\sigma}}_\tau + \Delta \dot{\underline{f}}_\tau = \underline{0} \quad , \quad (2.17)$$

$$x \in \Omega \quad , \quad \tau = 0, 1, 2, \dots$$

Ostatnie równanie otrzymuje się przez formalne zróżniczkowanie pierwszego równania (2.17) względem czasu.

Równania geometryczne są następujące:

$$\underline{\varepsilon}_T = \underline{\partial}_x \underline{u}_T \quad , \quad \Delta \underline{\varepsilon}_T = \underline{\partial}_x \Delta \underline{u}_T \quad , \quad \Delta \dot{\underline{\varepsilon}}_T = \underline{\partial}_x \Delta \dot{\underline{u}}_T \quad , \quad (2.18)$$

w których:

$$\underline{u}_T = \text{col} ( u_{1,T} , u_{2,T} ) \quad \text{itd} \quad ,$$

$$\underline{\partial}_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} & & \\ & \frac{\partial}{\partial x_2} & \\ \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_1} & \end{bmatrix}$$

Warunki brzegowe mogą mieć charakter statyczny lub kinematyczny. W pierwszym przypadku mamy:

$$\underline{n} \underline{\sigma}_T = \underline{p}_T \quad , \quad \underline{n} \Delta \underline{\sigma}_T = \Delta \underline{p}_T \quad , \quad \underline{n} \Delta \dot{\underline{\sigma}}_T = \Delta \dot{\underline{p}}_T \quad , \quad \underline{x} \in \partial \Omega_\sigma \quad , \quad (2.19)$$

gdzie:

$$\underline{p}_T = \text{col} ( p_{1,T} , p_{2,T} ) \quad \text{itd} \quad ,$$

$$\underline{n} = \begin{bmatrix} n_1 & & n_2 \\ & n_2 & n_1 \end{bmatrix}$$

Drugi przypadek ograniczymy do związków jednorodnych:

$$\underline{u}_T = \underline{0} \quad , \quad \dot{\underline{u}}_T = \underline{0} \quad , \quad \Delta \underline{u}_T = \underline{0} \quad , \quad \Delta \dot{\underline{u}}_T = \underline{0} \quad , \quad \underline{x} \in \partial \Omega_u \quad . \quad (2.20)$$

Wykonując na równaniach równowagi typowe operacje z wykorzystaniem równań brzegowych i geometrycznych oraz znanych twierdzeń całkowych (przekształcenie Gaussa-Ostrogradzkiego) otrzymuje się następujące równania pracy wirtualnej:

$$\int_{\partial \Omega} \delta \underline{u}_T^T \underline{p}_T d(\partial \Omega) + \int_{\Omega} \delta \underline{u}_T^T \underline{f}_T d\Omega = \int_{\Omega} \delta \underline{\varepsilon}_T^T \underline{\sigma}_T d\Omega \quad , \quad (2.21)$$

$$\int_{\partial \Omega} (\delta \Delta \underline{u}_T)^T \Delta \underline{p}_T d(\partial \Omega) + \int_{\Omega} (\delta \Delta \underline{u}_T)^T \Delta \underline{f}_T d\Omega = \int_{\Omega} (\delta \Delta \underline{\varepsilon}_T)^T \Delta \underline{\sigma}_T d\Omega \quad , \quad (2.22)$$

$$\int_{\partial\Omega} (\delta\Delta\underline{u}_\tau)^T \Delta\dot{\underline{p}}_\tau d(\partial\Omega) + \int_{\Omega} (\delta\Delta\underline{u}_\tau)^T \Delta\underline{f}_\tau d\Omega = \int_{\Omega} (\delta\Delta\underline{\varepsilon}_\tau)^T \Delta\dot{\underline{\sigma}}_\tau d\Omega \quad (2.23)$$

2.4. Równania metody elementów skończonych

Pola przemieszczeń, odkształceń i prędkości przemieszczeń opisujemy w sposób charakterystyczny dla metody elementów skończonych. Dzielimy obszar  $\Omega$  na podobszary  $\Omega^e$  ( $e = 1, 2, \dots, E$ ) i w obszarze pojedynczego elementu wprowadzamy aproksymację,

$$\underline{u}_\tau^e = \underline{N}^e \underline{r}_\tau^e, \quad \dot{\underline{u}}_\tau^e = \underline{N}^e \dot{\underline{r}}_\tau^e, \quad \Delta\underline{u}_\tau^e = \underline{N}^e \Delta\underline{r}_\tau^e, \quad \Delta\dot{\underline{u}}_\tau^e = \underline{N}^e \Delta\dot{\underline{r}}_\tau^e, \\ \tau = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.24)$$

w której  $\underline{N}$  jest funkcją kształtu  $\underline{r}_\tau^e$  - reprezentuje zbiór przemieszczeń węzłów elementu skończonego.

Korzystając ze związków geometrycznych (Cauchy ego), otrzymuje się:

$$\underline{\varepsilon}_\tau^e = \underline{\partial}_x \underline{N}^e \underline{r}_\tau^e = \underline{B}^e \underline{r}_\tau^e, \quad \underline{\dot{\varepsilon}}_\tau^e = \underline{B}^e \dot{\underline{r}}_\tau^e, \quad \Delta\underline{\varepsilon}_\tau^e = \underline{B}^e \Delta\underline{r}_\tau^e, \\ \Delta\dot{\underline{\varepsilon}}_\tau^e = \underline{B}^e \Delta\dot{\underline{r}}_\tau^e, \quad \tau = 0, 1, 2, \dots \quad (2.25)$$

Wykorzystując równanie pracy wirtualnej (2.21), związek konstytutywny (2.6) oraz powyższą aproksymację, otrzymuje się dla elementu "e" następujący wzór:

$$\underline{K}_\tau^e \underline{r}_\tau^e = \underline{P}_\tau^e - \underline{Q}_{\tau-1}^e, \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (2.26)$$

W równaniu (2.26):

$$\underline{K}_\tau^e = \mu_\tau^e \int_{\Omega^e} \underline{B}^T \underline{\lambda}_\tau \underline{B} d\Omega, \quad \tau = 0, 1, 2, \dots \quad (2.27)$$

jest macierzą sztywności lepkosprężystej elementu,

$$\underline{P}_\tau^e = \int_{\partial\Omega^e} \underline{N}^T \underline{p}_\tau d(\partial\Omega) + \int_{\Omega^e} \underline{N}^T \underline{f}_\tau d\Omega \quad (2.28)$$

jest wektorem obciążeń oraz

$$\underline{Q}_{\tau-1}^e = \mu_\tau^e \int_{\Omega^e} \underline{B}^T \underline{G}_\tau \underline{e}_{\tau-1}^* d\Omega + \int_{\Omega^e} \underline{B}^T \underline{M}_\tau \underline{\varepsilon}_{\tau-1}^* d\Omega \quad (2.29)$$

jest wektorem stanu układu z chwili poprzedniej.

Wektor prędkości parametrów węzłowych oblicza się wzorem wynikającym z (2.8):

$$\dot{\underline{r}}_{\tau}^e = \frac{1}{3} \left( \int_{\Omega^e} \underline{B} d\Omega \right)^{-1} \int_{\Omega^e} (\dot{\underline{p}}_{\tau} \underline{\sigma}_{\tau} + \dot{\gamma}_{\tau}^{\Delta} \underline{f}_{\tau} \underline{e}_{\tau-1}^e + \frac{1}{\delta t} \underline{N}_{\tau} \underline{e}_{\tau-1}^e) d\Omega. \quad (2.30)$$

W punktach nieciągłości funkcji  $\theta(t)$  i  $\delta(t)$  konieczne jest obliczenie skoków przemieszczeń i skoków prędkości przemieszczeń w węzłach na osi czasu ( $\tau = 0, 1, 2, \dots$ ). Obliczenia te przeprowadzamy wykorzystując w równaniach (2.22) i (2.23) związki konstytutywne (2.13) i (2.14) oraz aproksymację (2.24).

Równania te przyjmują następującą postać:

$$\underline{K}_0^e \Delta \underline{r}_{\tau}^e = \Delta \underline{P}_{\tau}^e, \quad \tau = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.31)$$

$$\underline{K}_0^e \Delta \dot{\underline{r}}_{\tau}^e = \Delta \dot{\underline{P}}_{\tau}^e - \underline{K}_0^e \Delta \underline{r}_{\tau}^e, \quad \tau = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.32)$$

w których:

$$\begin{aligned} \Delta \underline{P}_{\tau}^e &= \int_{\partial\Omega^e} \underline{N}^T \Delta \underline{p}_{\tau} d(\partial\Omega) + \int_{\Omega^e} \underline{N}^T \Delta \underline{f}_{\tau} d\Omega, \\ \Delta \dot{\underline{P}}_{\tau}^e &= \int_{\partial\Omega^e} \underline{N}^T \Delta \dot{\underline{p}}_{\tau} d(\partial\Omega) + \int_{\Omega^e} \underline{N}^T \Delta \dot{\underline{f}}_{\tau} d\Omega, \\ \underline{K}_0^e &= \mu_0^e \int_{\Omega^e} \underline{B}^T \underline{Q}_0 \underline{B} d\Omega. \end{aligned}$$

Równania (2.26), (2.30), (2.31) i (2.32) określają stan układu w chwili  $t_{\tau}$  ( $\tau = 1, 2, \dots$ ). Rozwiązanie podanego wyżej kompletu równań określa całkowicie stan układu w chwili  $t_{\tau}$ , po czym możliwe jest przejście do następnej chwili  $t_{\tau+1}$ , w której ponownie rozwiązuje się analogiczne zadanie. Dla chwili początkowej  $t_{\tau=0}$  należy sformułować warunki początkowe, określające granicę lewostronną tensora przemieszczeń i tensora naprężeń oraz prędkości tych tensorów.

### 3. OPIS PROGRAMU LEPTAR

Stosując przedstawione wyżej równania metody elementów skończonych dla płaskiego stanu naprężenia, opracowano program na minikomputer IBM PC-XT w języku FORTRAN IV. Program ogranicza wielkość rozwiązywanego zadania do układu złożonego z nie więcej niż 60 elementów skończonych. Taki rozmiar zadania wydaje się być wystarczającym na etapie studialnym, mającym na celu

rozpoznanie zjawisk reologicznych w tarczach. W dalszych pracach przewiduje się wyddatne rozszerzenie programu.

Analizowana tarcza może mieć kształt dowolny. Dokonujemy dyskretyzacji ustroju przez jego podział na trójkątne elementy skończone. Zewnętrzne obciążenie ciągle zamienia się na statycznie równoważne siły skupione w węzłach. W obliczeniach nie uwzględnia się sił masowych. Opis elementów przeprowadza się tylko w globalnym układzie współrzędnych. Zagadnienie sprowadza się do wyznaczenia parametrów węzłowych w każdym z opisanych w pkt. 2.1 zadań. Następnie, w każdym elemencie skończonym, wyznacza się składowe stany naprężenia, ich pochodne oraz przyrosty naprężenia i prędkości naprężenia. Pole przemieszczeń aproksymuje się liniowymi funkcjami kształtu, wobec czego odkształcenia i naprężenia wewnątrz elementu pozostają stałe.

Program rozwiązujący zadanie zbudowany jest z bloków: czytania danych, budowania macierzy sztywności elementów i układu, procedury rozwiązywania układu równań, obliczania naprężeń oraz wydruku wyników. Bloki te występują jako podprogramy. Schemat blokowy programu głównego podano na rysunku 2.

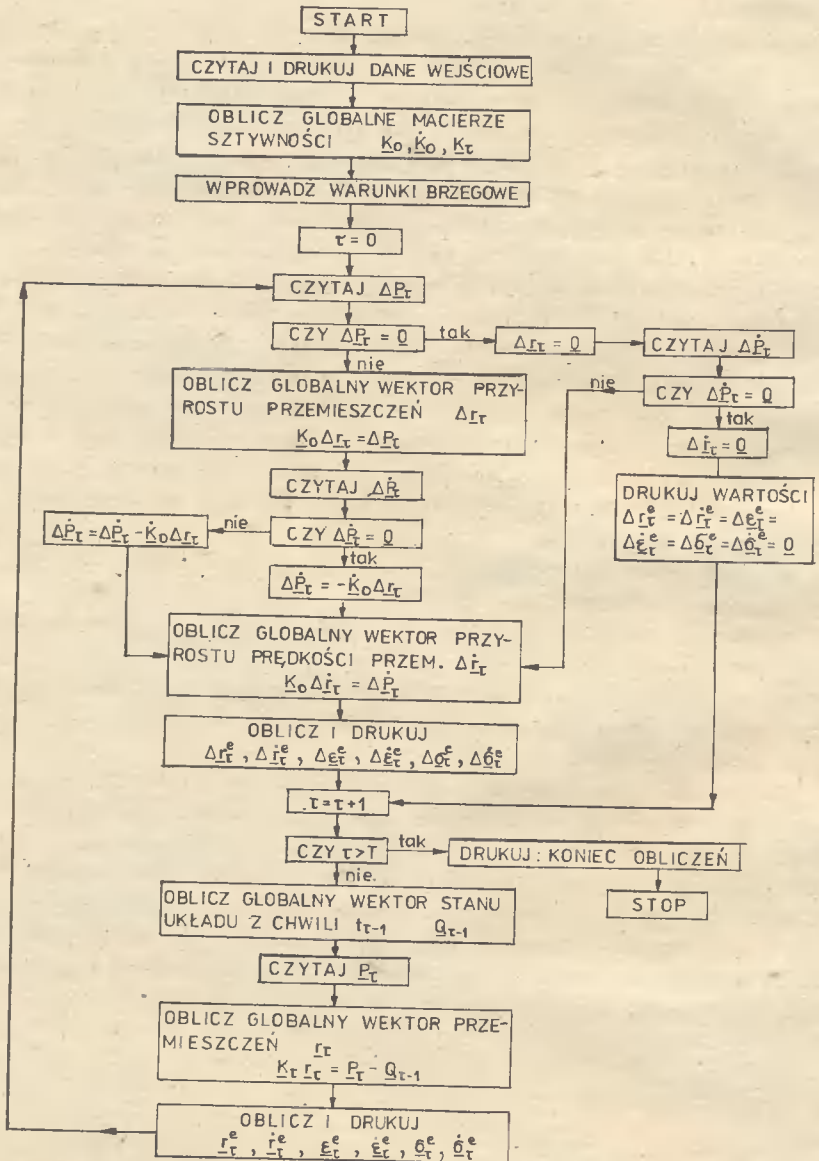
W bloku czytania danych wprowadza się cztery zasadnicze zbiory danych:

- a/ współrzędne wszystkich punktów węzłowych oraz charakterystyki elementów skończonych,
- b/ właściwości materiałów,
- c/ warunki brzegowe,
- d/ wektory obciążeń oraz wektory prędkości obciążeń we wszystkich węzłach na osi czasu.

Tarcza może być niejednorodna, a więc każdemu elementowi przypisuje się numer materiału i odczytuje się go jako oddzielną informację opisującą właściwość materiału.

Zasadniczą częścią programu jest budowanie macierzy sztywności układu  $K_0$ ,  $K_0$ ,  $K_T$ . Wszystkie niezbędne do tego dane przenosi się poprzez wspólną pamięć, a wynik, tzn. zagregowane macierze sztywności, zapisuje się w pamięci zewnętrznej. Proces agregacji jest realizowany przez przesyłanie i kumulowanie (sumowanie) macierzy sztywności wszystkich elementów.

Warunki brzegowe wprowadza się poprzez modyfikację układu równań, bezpośrednio przed ich rozwiązaniem. Rozwiązanie układu równań dokonuje się stosując metodę eliminacji Gaussa.



Rys.2. Schemat blokowy

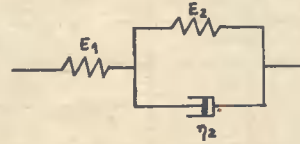
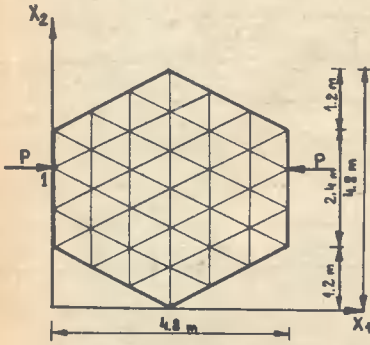


4. PRZYKŁADY OBLICZEŃ

4.1. Przykład 1

Przeprowadzono analizę zachowania się w czasie jednorodnej tarczy sześciokątnej pokazanej na rysunku 3. Tarcza jest obciążona dwiema siłami  $P=200\text{kN}$  nagle przyłożonymi w chwili  $t = 0^-$  i następnie stałymi w czasie. Parametry reologiczne tarczy przyjęto według danych zawartych w monografii [1] odnoszących się do badań Mitzela i Dziendziela nad parametrami lepko-sprężystymi betonu:

$$E_1 = 3,5 \cdot 10^4 \text{ MPa}, E_2 = 9,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}, \eta_2 = 4,992 \cdot 10^6 \text{ MPa}.$$



Rys.3. Dyskretyzacja przestrzenna tarczy sześciokątnej

Rys.4. Model Zenera I-go rodzaju

Przyjęto, że dewiatory są opisywane przez związek różniczkowy, sformułowany dla modelu Zenera I-go rodzaju (rys.4)

$$\sigma_{ij} + \frac{2\eta_2}{E_1 + E_2} (1 + \nu) \dot{\sigma}_{ij} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} (1 + \nu) \epsilon_{ij} + \frac{2E_1 \eta_2}{E_1 + E_2} \dot{\epsilon}_{ij} \quad (4.1)$$

natomiast część kulistą opisano zgodnie z modelem Hooke'a

$$\sigma_{kk} = \frac{E_1}{1 - 2\nu} \epsilon_{kk} \quad (4.2)$$

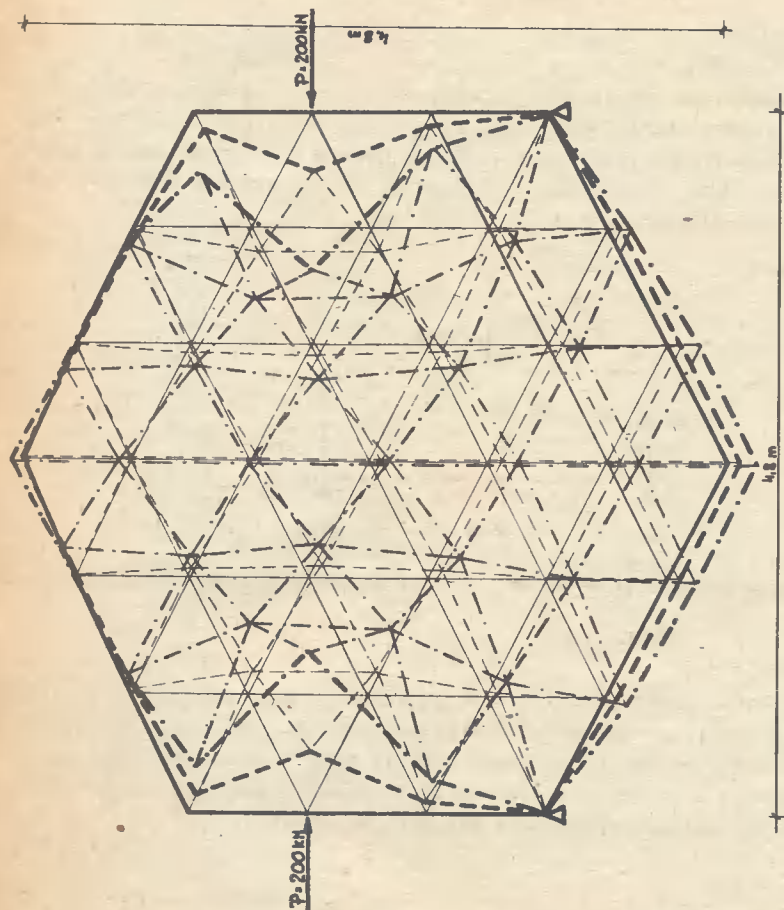
Obliczenia numeryczne wykonano w przedziale czasu (0,864 h), czyli (0,3,1104 Ms) z różnymi długościami kroków ( $\Delta t = 864 \text{ h}$ ,  $\Delta t = 432 \text{ h}$ ,  $\Delta t = 216 \text{ h}$ ,  $\Delta t = 96 \text{ h}$ ). W pierwszym węźle na osi czasu ( $t=0^-$ ) dla każdego elementu skończonego przyjęto następujące wartości początkowe:

$$\xi_0^e = 0, \quad \zeta_0^e = 0, \quad \sigma_0^e = 0, \quad \dot{\sigma}_0^e = 0.$$

Wpływ długości kroku na wyniki obliczeń, przedstawiono na przykładzie przemieszczenia poziomego węzła 1. Wyniki zestawiono w tabelicy 1 oraz na rysunku 5. Postać odkształconą tarczy, w chwili przyłożenia sił oraz po wpływie 864 h, zilustrowano rysunkiem 6.

Tabelica 1

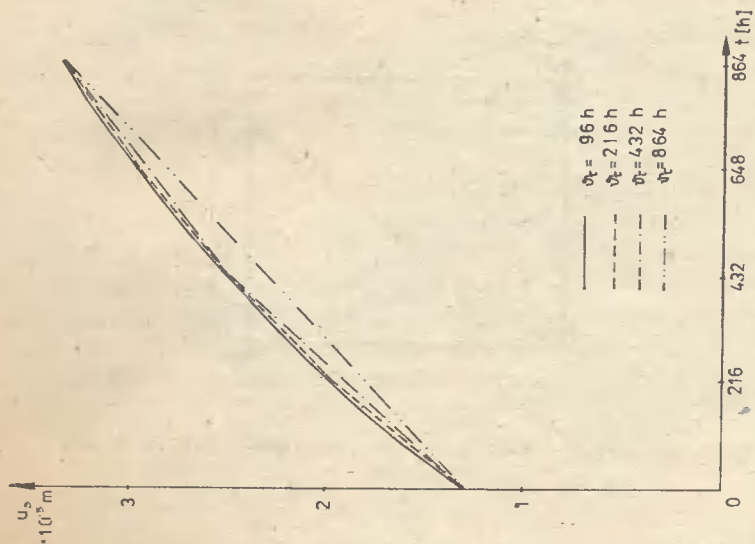
t		Przemieszczenie poziome punktu 1 * 10 <sup>-5</sup> [m]				
Ms	h	$v_t = 864 \text{ h}$	$v_t = 432 \text{ h}$	$v_t = 216 \text{ h}$	$v_t = \begin{cases} 1 \times 96 \text{ h} \\ 4 \times 192 \text{ h} \end{cases}$	$v_t = 96 \text{ h}$
0	0	1,320077	1,320077	1,320077	1,320077	1,320077
0,3456	96				1,626656	1,626656
0,6912	192					1,907853
0,7776	216			1,974458		
1,0368	288				2,165986	2,165989
1,3824	384					2,403737
1,5552	432		2,514039	2,514478		
1,7280	480				2,621127	2,621118
2,0736	576					2,821588
2,3328	648			2,961317		
2,4192	672				3,006011	3,006074
2,7648	768					3,175444
3,1104	864	3,329193	3,332549	3,332048	3,331988	3,331977



SKALA PRZEMIESZCZEŃ

— TARCZA N CHWILI  $t = 0^-$   
 - - - TARCZA N CHWILI  $t = 0^+$   
 - · - · - TARCZA N CHWILI  $t = 864 \text{ h}$

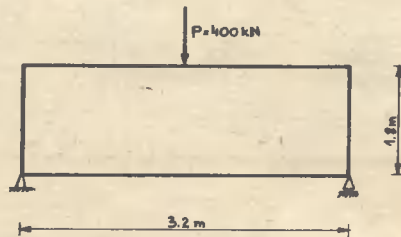
Rys. 6. Postacie odkształcone tarczy sześciokątnej



Rys. 5. Wpływ długości kroku na przemieszczenie poziome węzła 3

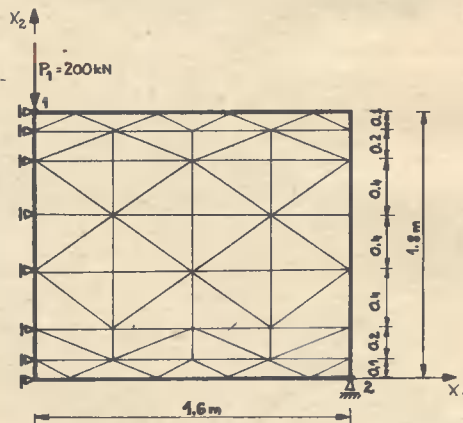
## 4.2. Przykład 2

Tarcza o wymiarach jak na rysunku 7, obciążona jest siłą skupioną  $P=400$  kN, przyłożoną w środku rozpiętności. Dla tarczy tej analizowano pełzanie pod wpływem siły  $P$  nagle przyłożonej i stałej w czasie oraz obserwowano zachowanie tarczy po zdjęciu obciążenia. Parametry lepkosprężyste materiału przyjęto jak w przykładzie 1.



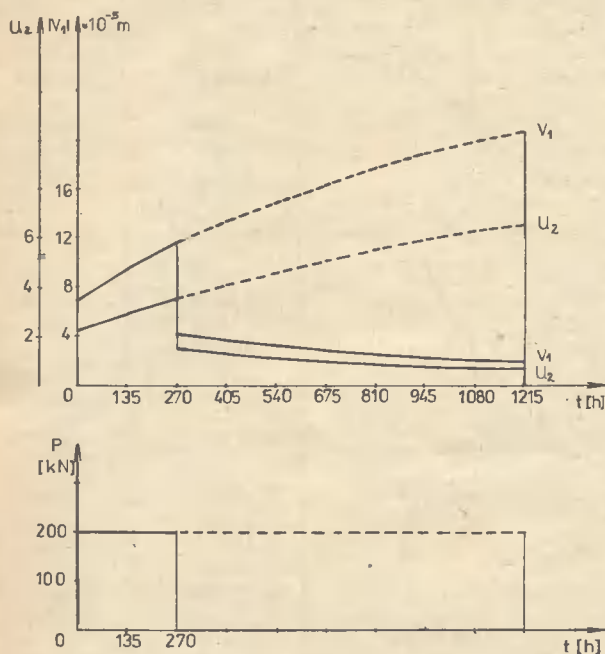
Rys.7. Tarcza prostokątna obciążona siłą skupioną w środku rozpiętności

W obliczeniach uwzględniono symetrię układu i obliczono tylko połowę tarczy, którą podzielono na trójkątne elementy skończone (rys.8). Wartość siły przyłożonej w węzle 1 jest równa połowie siły  $P$ . W modelu obliczeniowym wzdłuż dolnej i górnej krawędzi przyjęto wąskie paski elementów, aby uzyskać bardziej dokładne spełnienie warunków brzegowych.



Rys.8. Model obliczeniowy prawej połowy tarczy

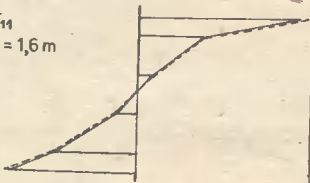


Przebieg przemieszczeń węzłów w czasie przedstawiono na przykładzie dwóch składowych  $v_1$  i  $u_2$  (rys.9). Linią ciągłą pokazano zmiany przemieszczeń w czasie po zdjęciu obciążenia. Linią przerywaną zaznaczono wyniki, które otrzymuje się, jeśli obciążenie nie jest zdejmowane.



Rys.9. Przebieg przemieszczeń węzłów 1 i 2 w czasie

W tabelicy 2 zestawiono wykresy naprężeń normalnych w przekroju środkowym oraz naprężeń normalnych i stycznych w 1/4 rozpiętości tarczy. Podano wartości rzędnych na wykresach dla  $t = 0^+$  oraz dla  $t = 1215 \text{ h}$ . Naprężenie obliczono w węzłach jako średnie z naprężeń w elementach przylegających do danego węzła. Korzystano w tym miejscu z zaleceń podanych przez Zienkiewicza [5]. Obliczone zmiany naprężeń są bardzo nieznaczne, co jest wynikiem prawidłowym, bowiem w rozwiązaniu ścisłym naprężenia w analizowanej tarczy powinny być w czasie stałe. Wynika to z faktu, że naprężenia w tarczach sprężystych jednorodnych i jednorodnych opisane są pochodnymi cząstkowymi funkcji Airy'ego, stanowiącej rozwiązanie równania biharmonicznego. We wszystkich tych równaniach i związkach nie występują stałe materiałowe. Właściwość niezależności naprężeń od stałych materiałowych przenosi się na tarczę lepkosprężystą.

Wykresy naprężeń normalnych i stycznych  
w wybranych przekrojach

WYKRESY NAPRĘZEŃ	WARTOŚCI NAPRĘZEŃ [kN/m <sup>2</sup> ]	
	t = 0* —	t = 1215 h --
$\sigma_{11}$ x = 1,6 m 	- 660,51 - 260,21 - 55,73 86,89 329,21 515,33	- 699,36 - 268,93 - 66,67 88,85 332,07 534,89
$\sigma_{11}$ x = 0,8 m 	- 200,55 - 151,19 - 81,38 23,93 204,14 340,70	- 200,79 - 150,79 - 79,06 28,87 202,28 358,13
$\sigma_{12}$ x = 0,8 m 	83,41 231,93 295,12 290,75 168,03 57,36	91,43 233,11 293,89 290,73 173,13 62,90

#### 4.3. Przykład 3

Zbadano wpływ długotrwałego, stałego w czasie obciążenia na zachowanie się tarczy w kształcie pierścienia (rys.10). Tarcza obciążona jest dwiema siłami ściskającymi  $P = 50$  kN.

Właściwości lepkosprężyste tarczy opisano równaniem odpowiadającym modelowi Bürgersa (rys.11)

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ij} + \frac{2(1+\nu)}{E_3} \left( \frac{\eta_2(E_1+E_2)}{E_1} + \eta_3 \right) \dot{\sigma}_{ij} + \frac{4\eta_2\eta_3}{E_1E_3} (1+\nu)^2 \ddot{\sigma}_{ij} = \\
 = 2\eta_2 \dot{\epsilon}_{ij} + 4 \frac{\eta_2\eta_3}{E_3} (1+\nu) \ddot{\epsilon}_{ij}
 \end{aligned} \quad (4.3)$$

dla dewiatorów stanu naprężenia i odkształcenia natomiast dla aksjatorów przyjęto model sprężysty Hooke'a.

Obliczenia przeprowadzono przyjmując dla polistyrenu KA w temp. 293<sup>0</sup>K [4] następujące dane:

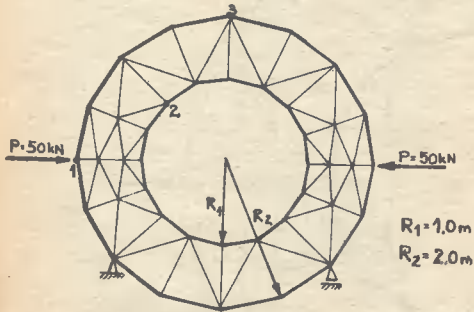
$$E_1 = 3,32 \cdot 10^3 \text{ MPa},$$

$$E_3 = 4,30 \cdot 10^4 \text{ MPa},$$

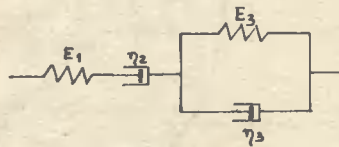
$$\eta_2 = 1,792 \cdot 10^5 \text{ MPah},$$

$$\eta_3 = 2,672 \cdot 10^4 \text{ MPah}.$$

Obserwację procesu pełzania tarczy dokonano w przedziale czasu (0,106h) czyli (0,03816 Ms) ze stałym krokiem  $\Delta t = 12h$ .

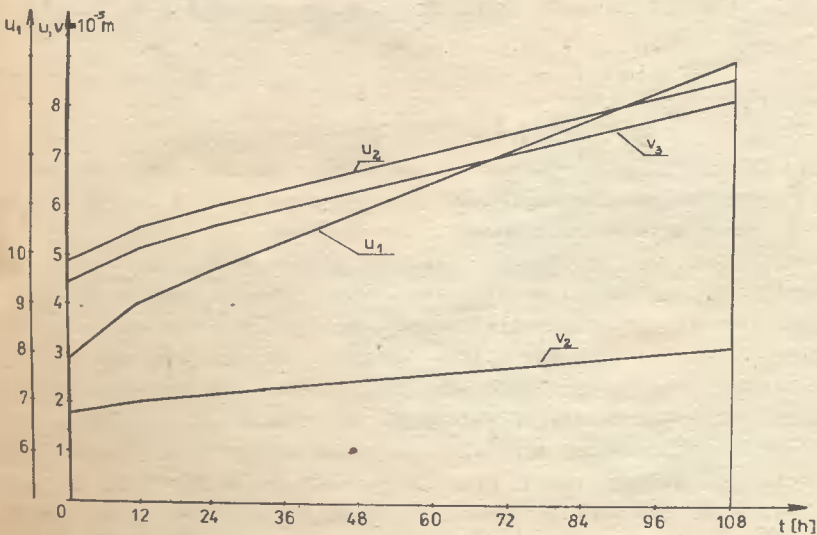


Rys.10. Model obliczeniowy tarczy-pierścienia

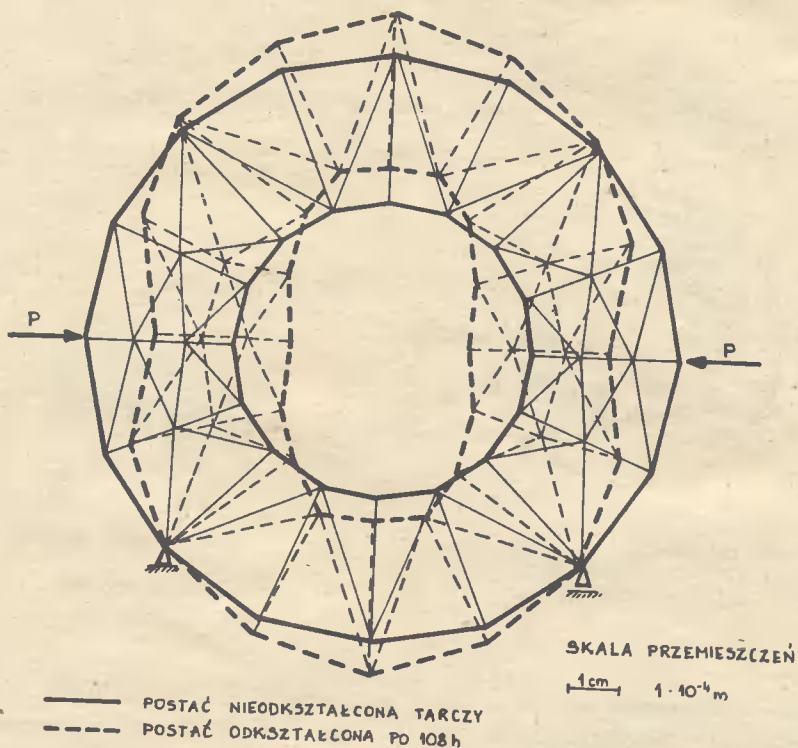


Rys.11. Model BÜrgersa

Przebieg przemieszczeń węzłów w czasie przedstawiono na przykładzie czterech składowych (rys.12). Postać odkształconą tarczy zilustrowano rysunkiem 13.



Rys.12. Przemieszczenia wybranych węzłów w zależności od czasu



Rys.13. Postać odkształcona tarczy po 108 h.

## 5. WNIOSKI

Wydaje się, że przedstawiona metoda może stanowić nader efektywne narzędzie analizy tarcz lepkosprężystych. Niezaprzeczalną zaletą metody jest możliwość stosowania w obliczeniach długiego kroku.

Przyjęty element trójkątny ma swoje zalety i wady. Zaletą jest możliwość analizy tarcz o dowolnym kształcie, wadą natomiast otrzymane w obszarze elementu stałe odkształcenia i naprężenia, co uniemożliwia uzyskanie większej dokładności przy obliczaniu naprężeń. Zwiększanie dokładności wyników w naprężeniach wymaga znacznego zagęszczenia podziału na elementy. Opracowany program studialny LEPTAR1 może rozwiązywać tarcze o liczbie elementów nie przekraczającej 60 oraz mających co najwyżej 84 stopnie swobody. Te ograniczenia uniemożliwiają prowadzenie obliczeń dużych tarcz z gęstym podziałem. W opracowaniu jest druga wersja programu LEPTAR, która umożliwi



zwiększenie wymiarów zadania.

Wyniki obliczeń potwierdziły tezę o małej wrażliwości metody na długość kroku czasowego. Możliwość stosowania dłuższego kroku jest bardzo istotna przy badaniu długotrwałych, z natury, procesów reologicznych.

#### LITERATURA

- [1] Kisiel I.: Reologia w budownictwie. Arkady, Warszawa 1967
- [2] Świtka R., Husiar B.: Dyskretna analiza modeli reologicznych. Mechanika Teoretyczna i Stosowana, 22, 1/2, 1984, s. 209-233
- [3] Świtka R.: Propozycja dyskretyzacji problemów lepkosprężystości. Reologia drewna i konstrukcji drewnianych. Materiały symp. Zielonka, 21-22 październik 1982, Akademia Rolnicza, Poznań 1984, s. 211-218
- [4] Zawadzki J.: Problemy wyężenia i znużenia polimerów jako tworzyw konstrukcyjnych. PWN, Warszawa 1978
- [5] Zienkiewicz O.C.: Metoda elementów skończonych. Arkady, Warszawa, 1972

#### ANALYSIS OF VISCOELASTIC DISKS

##### Summary

In this paper, there is considered a boundary - value problem of isotropic viscoelastic disks. The diskretization methods of the time [2,3] and space 5 are used. This paper includes some examples, confirming that the used method is accurate and effective.

#### АНАЛИЗ ВЯЗКОУПРУГИХ ДИСКОВ

##### Резюме

В работе рассмотрен метод расчёта линейно-вязкоупругих дисков. Метод состоит в дискретизации пространства 5 и времени. Работа содержит несколько примеров анализа различных расчётов.



Maciej K. Kumor

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE CYKLICZNIE ZAMRAŻANYCH  
I ODMRAŻANYCH IŁÓW

W pracy przedstawiono badanie zmian wytrzymałości na ścinanie ekspansywnego iłu pliczeńskiego i iłu kaolinitowego wcześniej nie mrożonych i po działaniu przemiennego zamrażania i odmrażania. Proces mrożenia przebiegał w zamkniętym systemie gruntowo-wodnym. Iły zamrażano cyklicznie, przyjmując liczbę cykli  $f = 1, 5, 10, 20$  w temperaturze mrożenia  $\Theta_z = -20^\circ\text{C} / 253\text{ K}$ .

1. WSTĘP

Wpływ procesu cyklicznego przemrażania na właściwości mechaniczne i fizyczne iłów modelowych i iłu pliczeńskiego z Bydgoszczy, które nie były wcześniej mrożone przedstawiono między innymi w pracy: Kumor /1986 a/. Ustalono, że np. granice konsystencji, ściśliwość i mikrostruktura iłów zmieniają się po przemrożeniu i ze wzrostem liczby cykli mrożenia. Największe zmiany obserwowano głównie po pierwszym zamrożeniu lub w pierwszych początkowych, do ok.  $f = 5$ , cyklach mrożenia, [1,5]. Zasadniczymi czynnikami, które powodują zmiany właściwości gruntów spoistych w wyniku działania cyklicznego mrożenia i odmrażania są, jak ustalono wstępnie, przeobrażenia struktury i mikrostruktury ośrodka, to znaczy, wzrost wielkości mikroagregatów i cząstek oraz powstawanie coraz bardziej stabilnych elementów mikrostruktury układu gruntowo-wodnego. Zjawiska te zaobserwowano wyraźnie między innymi w elektronowym mikroskopie skaningowym /SEM/, dla najbardziej narażonych na działanie mrozu zewnętrznych obszarów próbek iłów, które zamarzały w pierwszej kolejności [5].

Problem przemrażania gruntów spoistych jest bardzo szerokim i złożonym zagadnieniem zarówno dla praktyki inżynierskiej, jak i dla badań poznawczych, które są prowadzone w wielu krajach. Potrzeby wskazują, że konieczne jest pełniejsze poznanie charakterystyki gruntowych ośrodków spoistych w procesie mrożenia, bowiem może to pozwolić na trafniejsze przewidywanie zmian parametrów mechanicznych podłoża budowlanego, które uległo przemrażaniu. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie iłów poddanych cyklicznemu zamrażaniu są przedmiotem tej pracy.

## 2. MATERIAŁY I WARUNKI ZAMRAŻANIA

Iły należą do gruntów najbardziej wrażliwych na przemrażanie. Skład mineralny gruntów bardzo spoistych w ogólności, decyduje o właściwościach i parametrach geotechnicznych, które są istotne przy ocenie zachowania się iłów podczas działania różnych czynników atmosferycznych, w tym również mrozu. Stąd też badano wytrzymałość na ścinanie iłu plicieńskiego z Bydgoszczy i porównawczo-modelowego iłu kaolinitowego. Jako modelowy ił wybrano do badań kaolin z Sedlec, budowany w zasadzie z kaolinitu. Wilgotność początkowa past kaolinu przed zamrożeniem była bliska wartości stopnia plastyczności  $I_L = 0,5$ . Szczegółowy sposób przygotowania past iłu kaolinitowego podano w pracy [2]. Metoda przygotowania próbek do badań umożliwia w maksymalnym stopniu odbudowę wiązań między cząstkami iłu w układzie woda - ił, zapewniała też utrzymanie możliwie maksymalnej jednorodności. Jakkolwiek należy pamiętać, że praktycznie trudno jest uzyskać pełną izotropię spoistego ośrodka gruntowego w procesie homogenizacji.

Ił plicieński pobrano w odkrywcę z naturalnego odsłonięcia z głębokości od około 3,5 p.p.t. do 4,5 m p.p.t., to jest, poniżej strefy przemrażania i tzw. "strefy aktywnej" iłów plicieńskich w Bydgoszczy. "Strefa aktywna" zalega od powierzchni terenu do głębokości 3,0 m do 3,5 m p.p.t. Wilgotność naturalna nie mrożonego iłu plicieńskiego wynosiła od 19,8 % do 20,6 %, nieco więcej niż wartość granicy plastyczności  $w_p = 17,5$  %. Skład mineralny badano metodami rentgenograficzną i derywatograficzną. Stwierdzono, że ił plicieński z Bydgoszczy składa się z głównej części z kaolinitu, illitu i montmorillonitu oraz domieszek ziarn kwarcu i węgla wapnia. Właściwości materiału badawczego opisano szczegółowo w pracy [5]. Podstawowe właściwości przedstawiono w tabelicy 1.

Tabelica 1

Wybrane właściwości materiału badawczego

Materiał badawczy	Gęstość właściwa szkieletu gruntowego - $\rho_s$	Granica skurczalności - $w_s$	Granica plastyczności - $w_p$	Granica płynności - $w_L$	Skład granulometryczny			Wilgotność - $w_0$	Głębokość pobrania prób p.p.t.
					0,05 /mm/	0,05-0,002 /mm/	<0,002 /mm/		
-	kg.m <sup>-3</sup>	%	%	%	%	%	%	m	
Kaolin z Sedlec	2660 ± 40	29,0 ± 0,3	33,9 ± 0,3	71,1 ± 2,1	-	41,0 ± 0,3	59,0 ± 2,3	49,5 ± 1,8	-
Ił bydgoski - A /barwa szara/	2720	15,50	17,50	70,40	12,0	40,0	48,0	20,5 ± 0,6	3,50
Ił bydgoski - B /barwa pstra/	± 14	± 1,20	± 1,20	± 0,90	± 0,7	± 0,6	± 1,1	19,8 ± 0,3	4,50

Próbki iłów poddano zamrażaniu do  $f = 20$  cykli zamrażania - odmrażania w temperaturze  $\ominus_z = -20^{\circ}\text{C} / 253 \text{ K}$ . Przyjęto  $f = 1, 5, 10$  i  $20$  zamrożeń. Stosowano zamknięty system gruntowo-wodny, tj. bez drenażu i możliwości dopływu wody od spodu próby. Jednocześnie próbki podczas mrożenia i odmrażania zabezpieczone były przed utratą wilgoci. Średnia wilgotność próbek iłu w czasie badań była stała, nie oznaczało to jednak niemożliwości wystąpienia mrozonej redystrybucji wilgoci wewnątrz próbki, zarówno podczas zamrażania, jak i po rozmrożeniu. Wielkość mrożonych próbek była następująca: średnica 90 mm i wysokość 42 mm. Zamrażanie następowało w jednym kierunku, od góry w dół próbki. Temperaturę  $-20^{\circ}\text{C}$  utrzymywano przez 24 godziny. Odmrażanie przebiegało w temperaturze otoczenia  $\ominus_o \approx +20^{\circ}\text{C}$ , przez 24 godziny, rozpoczynając się zaraz po wyjęciu próbki z komory chłodniczej. Przed cyklicznym zamrażaniem określono parametry wyjściowe iłów, które porównywano z otrzymanymi po procesie cyklicznego mrożenia /  $f = 0$  /.

### 3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wytrzymałość na ścinanie iłów badano na próbkach, które były rozmrożone, w temperaturze laboratoryjnej  $+20^{\circ}\text{C}$ . Ścinanie przeprowadzono metodą bezpośrednią w aparacie skrzynkowym typu AB - 2a. Powierzchnię wymuszonego ścicia orientowano równoległe do kierunku przenikania frontu przemrażania. Wielkość próbek iłów wynosiła  $60 \times 60 \times 20$  mm, prędkość ścinania przyjęto  $v = 0,11 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Próbki wstępnie konsolidowano odpowiednim naprężeniem normalnym  $\sigma_n = 50$  do  $400 \text{ kPa}$  przez czas około 30 minut. ( $\sigma_n = 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 \text{ /kPa/}$ ). Po jednokrotnym ścieniu określono wilgotność gruntu w strefie zniszczenia. Wyniki badań ścinania iłów oraz wilgotności próbek po ścieniu przedstawiono w tabelicy 2. i na rysunkach 1, 2 i 3. Zmianę oporu podczas ścienia, w zależności od odkształceń, pokazano przykładowo na rysunku 4 dla iłu plioceńskiego - B, nie mrożonego i po  $f = 10$  cyklach działania mrozu.

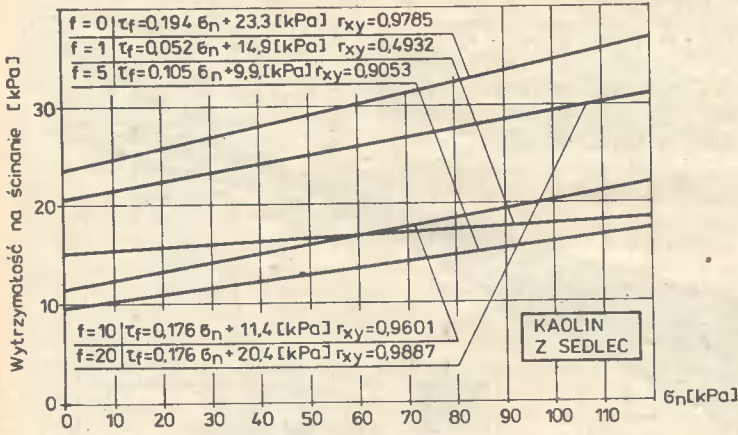
Przedstawione w tabelicy 2 oraz dane na rysunkach 1, 2 i 3 wskazują istotny wpływ cykli przemiennego mrożenia i odmrażania na wytrzymałość iłu plioceńskiego i modelowego iłu kaolinitowego.

W modelowym iłu kaolinitowym, w wyniku cyklicznego działania mrozu, nastąpiło obniżenie wytrzymałości na ścinanie, w odniesieniu do wytrzymałości nie mrożonego wcześniej gruntu. Wytrzymałość na ścinanie kaolinu sedleckiego przemrożeniu jest zawsze niższa niż nie mrożonego. Największy spadek wytrzymałości odnotowuje się po pierwszym zamrożeniu /ok.  $\Delta \tau_f = 50 \%$ . W następnych cyklach mrożenia i do  $f \approx 10$ , wytrzymałość bliska jest prawie połowie wytrzymałości kaolinu nie mrożonego. W  $f = 20$  cyklu otrzymano niewielki wzrost wytrzymałości na ścinanie w odniesieniu do zbadanej po  $f = 10$  mrożeńiach. Stwierdzone istotne spadki wytrzymałości na ścinanie iłu kaolinitowego, szczególnie w pierwszych kilku cyklach mrożenia, świadczyć mogą o istnieniu związku między spadkiem wytrzymałości zmianami struktury i mikrostruktury iłu, które zaszły niewątpliwie pod wpływem cyklicznego mrożenia

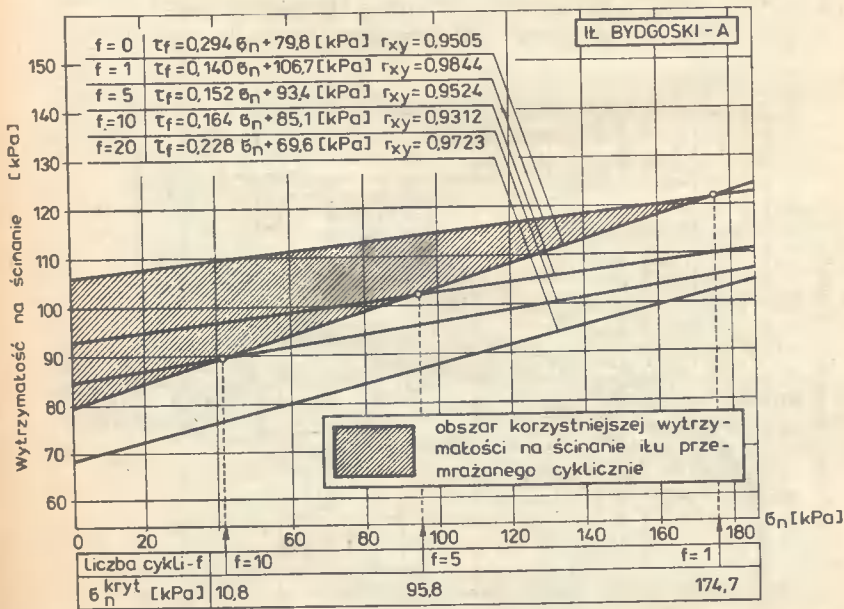
Tablica 2

Zmiana właściwości ilów po procesie cyklicznego zamrażania - odmrażania

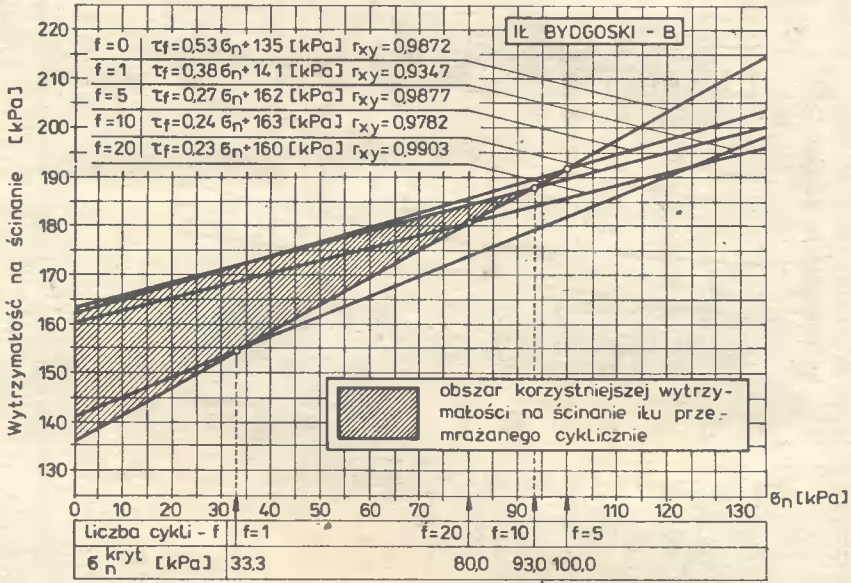
Ił	Liczba cykli mrożenia - f	0	1	5	10	20
Kaolin z Sedlec	Spójność - $c_u$ /kPa/	23,3	14,9	9,9	11,4	20,4
	Kąt tarcia wewnętrzny - $\phi_u$ /o/	11	3	6	10	10
	Wytrzymałość na ściananie - $\tau_f$ /kPa/ $\sigma_n = 100$ kPa	42,7	20,1	20,4	29,0	38,0
	Wilgotność - $w$ %/	49,5 $\pm$ 1,8	48,7 $\pm$ 2,4	47,8-2,2	44,1 $\pm$ 2,1	39,0 $\pm$ 1,9
Ił byd- goski -A /barwa szara/	Spójność - $c_u$ /kPa/	79,8	106,7	93,4	85,1	69,6
	Kąt tarcia wewnętrzny - $\phi_u$ /o/	16	8	9	9	13
	Wytrzymałość na ściananie - $\tau_f$ /kPa/ $\sigma_n = 200$ kPa	137,1	134,8	125,1	116,8	115,8
	Wilgotność - $w_n$ %/	94,1	113,7	101,3	93,0	81,1
Ił byd- goski -B /barwa pstra/	$\sigma_n$ kryt. przy $\tau_f = \tau_f$ po zamrażaniu	20,6 $\pm$ 0,6	20,9 $\pm$ 0,3	20,5 $\pm$ 0,5	20,7 $\pm$ 0,5	20,5 $\pm$ 0,4
	Spójność - $c_u$ /kPa/	-	174,7	95,8	40,8	-
	Kąt tarcia wewnętrzny - $\phi_u$ /o/	136,0	141,0	162,0	163,0	160,0
	Wytrzymałość na ściananie - $\tau_f$ /kPa/ $\sigma_n = 50$ kPa	28	21	15	13	13
Ił byd- goski -B /barwa pstra/	Wytrzymałość na ściananie - $\tau_f$ /kPa/ $\sigma_n = 200$ kPa	242	218	216	209	206
	Wilgotność - $w_n$ %/	162,6	160,2	175,4	174,5	171,0
	$\sigma_n$ kryt. przy $\tau_f = \tau_f$ po zamrażaniu	19,8 $\pm$ 0,3	19,0 $\pm$ 0,3	20,2 $\pm$ 0,6	17,8 $\pm$ 0,3	19,8 $\pm$ 0,5
		-	33,3	100,0	93,0	80,0



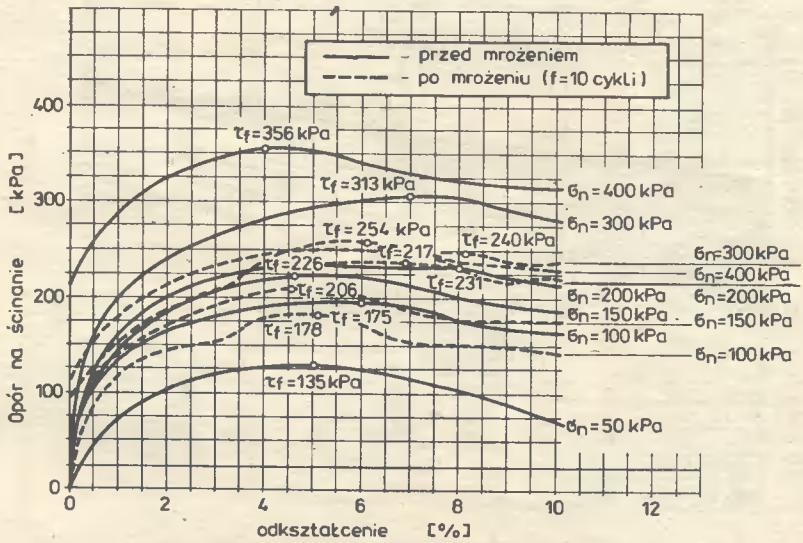
Rys.1. Wytrzymałość na ścinanie cyklicznie mrożonego kaolinu z Sedlec



Rys.2. Wytrzymałość na ścinanie cyklicznie mrożonego iltu bydgoskiego - A



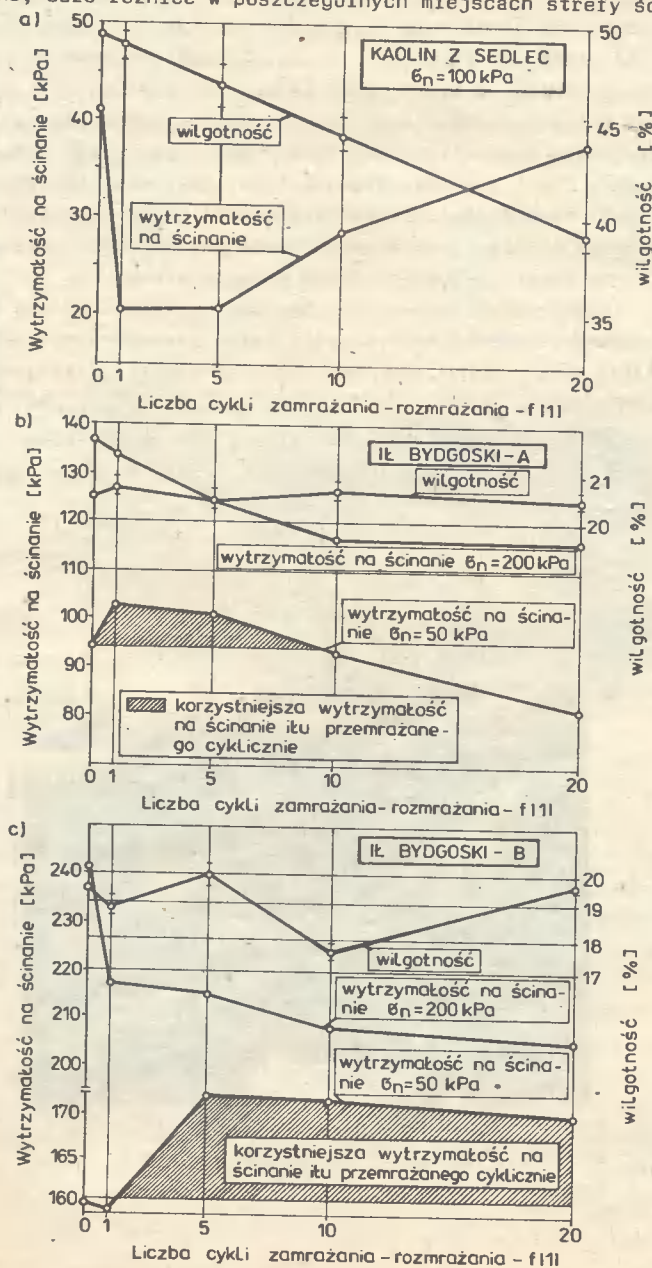
Rys.3. Wytrzymałość na ścinanie iłu bydgoskiego - B po cyklach zamrażania-odmrażania



Rys.4. Przykładowe wyniki ścinania bezpośredniego iłu bydgoskiego - B przed i po f = 10 cyklach zamrażania-odmrażania



oraz odmarzania. Średnia wilgotność próbki z założenia była stała, jednak wilgotność /struktura iltu/ w strefie ścinania zmieniła się. Zmiany struktury iltu kaolinitowego pod wpływem działania mrozu i odmarzania wskazuje między innymi wewnętrzna redystrybucja wilgoci w próbkach /rys.5a/. Otrzymane wartości wilgotności próbek iltu w strefie ścinania, jak ustalono, mogą wykazywać lokalne, duże różnice w poszczególnych miejscach strefy ścinania. Zależą



Rys.5. Wytrzymałość na ścinanie w zależności od liczby przymrożeń dla gruntów.

one przypuszczalnie od przestrzennego rozkładu i koncentracji cząsteczek wody wytopionej z mikrokryształków i kryształków lodu oraz od możliwości jej przepływu w odmarniętym obszarze próbki. Należy wskazać, że zbadana średnia wilgotność gruntu w strefie ścinania obniża się w kolejnych cyklach /rys. 5a/. Jest to zrozumiałe uwzględnwszy ustalone kierunki i przyczyny migracji wilgoci, szczególnie istotne dla ilów kaolinitowych po odmrożeniu, w stosunku do wyboru powierzchni ścięcia i kierunku przemarzania [5].



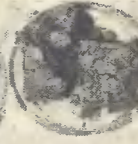




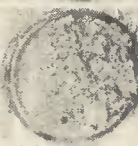
Mrozowa transformacja struktury iłu modelowego dokonana w pierwszych cyklach zamarzania, na skutek przemiany fazowej wody w lód oraz w procesie odmarzania, powoduje, że powstają w gruncie zmiany form ułożenia i naruszane zostają istniejące kontakty między agregatami i cząstkami mineralnymi. Nowe kontakty między cząstkami będą głównie typu: powierzchnia płaska - powierzchnia płaska. Po przemrożeniu cząstki mineralne są ułożone wzajemnie równolegle względem siebie i w stosunku do powierzchni lodu, tworząc w ten sposób zagęszczone strefy, których zasięg wzrasta w kierunku od powierzchni soczewki lodu i z liczbą następujących cykli przemrożeń. Szczególnie dobrze strefy te są widoczne i wyraźnie rozbudowane w najbliższym zasięgu mikrosoczewki lodu, tj. strefy działania maksymalnych sił, pochodzących od krystalizującej wody i wzrastającego mikrokryształka /do kilkunastu grubości cząstek/. Powierzchnia kontaktowa lód - szkielet mineralny, w związku z tym faktem, jest prawie zawsze płaska /rys. 6/ i niemal doskonale wygładzona. Należy sądzić, że



Rys. 6. Powierzchnia kontaktowa lód - agregaty mineralne mrożonego kaolinu z Sedlec. Zdjęcie SEM, powiększenie x 3000

w czasie odmrażania i po wytopieniu lodu, część wody zatrzymana zostaje w pozostałych zamkniętych mikroporach. Może ona dodatkowo, przy ścięciu, ułatwiać wzajemny poślizg stref iłu wzdłuż wspomnianych wygładzonych powierzchni kontaktowych /spadek  $\phi_u$  /. W wielu przypadkach, zapewne ścięcie próbek następuje zgodnie lub wzdłuż mikroporów pozostałych po wytopionych mikrosoczewkach lodu oraz prawdopodobnie takich w strefach gruntu, gdzie dominuje równoległa orientacja agregatów mineralnych w stosunku do powierzchni lodu i założonego kierunku przemierzania.

Ponadto czynnikiem, który może obniżyć wytrzymałość na ścinanie kaolinu z Sedlec, jest mrozowa makro desagregacja gruntu. Można ją zaobserwować w próbie rozmakania /rys.7/. Ze wzrostem liczby mrożeń - f, powstaje w ile kaolinitowym sieć porów i spękań oraz coraz to mniejsze agregaty, których nie ma w nie mrożonej próbce. Można przypuszczać, że wzrost ilości agregatów /rozwód w skali makroskopowej procesu desagregacji/ kaolinu z Sedlec oraz zja-

	Liczba cykli - f				Czas rozmakania
	0	1	5	10	
IL BYDGOSKI - B					30 min
KAOLIN Z SEDLEC					10 min

Rys.7. Próba rozmakania

wisko mrozowej redystrybucji wilgoci mogą być bezpośrednią przyczyną obserwowanej częściowej odbudowy spójności -  $c_u$  gruntu, szczególnie powyżej  $f = 5$  cykli mrożenia. Tym bardziej, że próbki po odmrożeniu, a przed ścięciem były wstępnie konsolidowane w aparacie bezpośrednim. Wypadkowa wytrzymałość kaolinu, jak stwierdzono po przemrożeniu, jest zawsze niższa niż przed zamrażaniem i maleje ze wzrostem cykli - f. Szerzej zagadnienia desagregacji i redystrybucji wilgoci oraz zmiany spójności i kąta tarcia wewnętrznego iłów w wyniku przemrażania, omówiono w pracy [5].

Odmienne, niż dla iłu kaolinitowego, wyniki wytrzymałości na ścinanie uzyskano po przemrożeniu w ile plioceńskim. Stwierdzono mianowicie, w pewnym zakresie, korzystniejszą wytrzymałość na ścinanie w porównaniu do nie

mrożonego iłu. Wzrost wytrzymałości określa głównie przyrost spójności -  $c_u$ , przy jednoczesnym trwałym spadku wartości kąta tarcia wewnętrznego -  $\phi_u$ , /tab.2/. Prawdopodobnie niewielki udział w zmianach wytrzymałości na ścinanie po przemrożeniu ma tu wewnętrzna redystrybucja wilgoci, w tym również mrozoza. Bowiem dla iłów plicieńskich, o stopniu plastyczności  $I_L \approx 0.0$ ./półzwardłych/ i obecności w nich głównie wody silnie związanej przez szkielet mineralny oraz niewielkiej miąższości próbek (42 mm), zamrożenia wody porowej następują stosunkowo szybko lub wcale. Stąd, brak wyników potwierdzających istotne różnice wilgotności w strefie ścięcia /rys.5b,c/. Istniejące różnice  $c_u$  wynikać mogą z historii geologicznej lub innych naturalnych przyczyn. Korzystniejsza wytrzymałość iłu plicieńskiego z Bydgoszczy, który przemrożono, jak zbadał autor, występuje w przedziale naprężeń normalnych  $\sigma_n < \sigma_n^{kryt}$  i do określonej liczby cykli mrożeń -  $f_0$  [3]. Dla iłu - A, odnotowano to zjawisko w zakresie do  $f_0 \leq 10$  cykli i dla naprężeń normalnych  $\sigma_n < \sigma_n^{kryt} = 174$  kPa, /rys.3/. w ile - B, stwierdzono korzystniejszą wytrzymałość na ścinanie do  $\sigma_n < \sigma_n^{kryt} = 100$  kPa i  $f_0 \leq 20$  cykli mrożeń. Należy jednak zauważyć, że ze wzrostem liczby przemrożeń powyżej  $f > f_0$  i naprężeń  $\sigma_n > \sigma_n^{kryt}$  następuje obniżenie wytrzymałości na ścinanie, również i w odniesieniu do wyjściowej dla nie zamrożonego wcześniej iłu. Na przykład, dla  $\sigma_n = 200$  kPa wytrzymałość po przemrożeniu dla  $f > 10$  cykli jest około 15 % niższa niż dla iłu plicieńskiego - A, który nie był poddany działaniu mrozu. Podobne obserwacje dotyczą iłu - B, pobranego z nieco większej głębokości niż ił - A. Wytrzymałość po  $f = 10$  cyklach wynosi odpowiednio około 86 % wytrzymałości na ścinanie wcześniej nie mrożonego iłu - B. Obniżenie wytrzymałości na ścinanie iłów plicieńskich, średnio o około 15 %, w wyniku cyklicznego mrożenia i bez zmiany średniej wilgotności próbek, jest bardzo istotnym faktem wskazującym na związki ze strukturalnymi zmianami ośrodka gruntowego.

Dodatkowym, jak można sądzić czynnikiem, związanym z zaobserwowanym zachowaniem iłu plicieńskiego w procesie mrożenia i odmarzania jest charakterystyczna pierwotna struktura agregatowa, wynikająca z zaburzeń glacictektonicznych warstw plicocenu w północnej Polsce. Iły plicieńskie z Bydgoszczy wykazują w wielu przypadkach cechy ekspansywne, wynikające ze stosunkowo wysokiej zawartości montmorillonitu (+ Na). Charakteryzują się one również dużą zmiennością właściwości fizyko-mechanicznych, tak z głębokością, patrz: tablica 2, jak i w przestrzennym rozmieszczeniu. Przedstawiony przykładowo na rys.7, proces rozmakania iłu plicieńskiego - B, pokazuje, że pod wpływem cyklicznego przemrażania zachodzi podobnie jak w kaolinie z Sedlec, stopniowa desagregacja. Ze wzrostem liczby mrożeń powstają również coraz mniejsze agregaty iłu. Stopniowej desagregacji nie obserwuje się w próbkach nie mrożonych, jakkolwiek wyraźnie widoczne są po długim czasie rozmakania pierwotne agregaty gruntowe. Cykliczne mrożenie, prawdopodobnie, zapoczątkowuje w ile proces segregacji i stopniowy postęp dezintegracji istniejących już naturalnych agregatów. Te naturalne agregaty oraz ich stopniowy rozpad z liczbą cykli -  $f$  na coraz mniejsze, są powodem, w czasie krótkotrwałej konsolidacji przed ścinaniem, dokładniejszego "zagęszczenia" iłów. Nie wykluczone, że powstają wtedy nowe wiązania pomiędzy agregatami lub następuje od-

budowa części sił spójności iłu naruszonych działaniem mrozu.

Czynnikami sprzyjającymi odbudowie sił spajających agregaty, jest nieco wyższa wilgotność w ich zewnętrznych strefach /wtrącenia pyłaste/. Szczególnie ma to znaczenie w strefach gruntu blisko mikroporów powstałych po wtopionych kryształkach lodu. Powstały typ mikrostruktury iłu [5] jak również rozwinięta sieć mrozowych pęknięć i szczelin wewnętrznych, przy obciążeniu dodatkowo ułatwiają odbudowę sił spójności. Zjawiska te dają przyrost parametru wytrzymałości, tj. spójności  $c_u$ , iłu pliczeńskiego po cyklicznym przemrażaniu i odmarzaniu oraz ogólny wzrost wytrzymałości, szczególnie w pierwszych kilku cyklach procesu. Możliwe jest, że w wyniku rozwijającego się ze wzrostem liczby cykli mrożenia procesu dezintegracji masy gruntu, powstawać będą stopniowo takie agregaty mineralne, które zbudowane są z coraz bardziej jednorodnego i bardziej zwartego materiału. W strefie zniszczenia obserwować będziemy wtedy, przy wyższych cyklach - f, efekty podobne do tarcia tocznego, dające np. wzrost kąta tarcia wewnętrznego -  $\phi_u$  i spadek spójności -  $c_u$ , np. patrz: il - A. Nie jest wykluczone też, że powstające po przemrożeniu agregaty mogą być zbudowane na ziarnie kwarcu, otoczonym płaskimi cząstkami minerałów ilastych.

Wymienione czynniki i procesy, przebiegające w ile w trakcie cyklicznego mrożenia i odmarzania, wpływać będą na wypadkowy spadek wytrzymałości iłu w dalszych cyklach. Mogą również mieć istotne znaczenie w kształtowaniu nośności innych ilów, szczególnie tych o pierwotnej budowie agregatowej, które poddane zostaną wielokrotnie procesowi zmiennego mrożenia. Stwierdzono bowiem, obok faktu, że strefy zewnętrzne pierwotnych agregatów nie mrożonego iłu pliczeńskiego wykazują w porównaniu do ich środka wyższą wilgotność średnio o kilka procent, również odmienny typ mikrostruktury [5]. Mikrostruktura tej strefy zbliżona jest do zaobserwowanej mikrostruktury w otoczeniu soczewki lodu w przemrożonym ile kaolinitowym /rys.6/. Należy przypuszczać, że spadek wytrzymałości iłu pliczeńskiego i iłu kaolinitowego po przemrożeniu wiąże się, mimo zakładanych różnic materiału badawczego, głównie ze zmianami i utrwalaniem z liczbą cykli - f, specyficznej struktury oraz rozwojem charakterystycznych procesów towarzyszących przemrażaniu ilów, takich jak np. mrozowa redystrybucja wilgoci, procesy agregacji, bądź desagregacja. Szerzej zagadnienia te analizowano w pracy [5].

Podobne zmiany struktury i mikrostruktury gruntów mało spoistych, jak omówione powyżej, powstałe w wyniku mrożenia, sugerują prace badawcze [6, 7]. Stąd wydaje się celowym kontynuowanie badań nie tylko dla gruntów bardzo spoistych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Proces cyklicznego przemrażania powoduje ważne, z praktycznego punktu widzenia, zmiany wytrzymałości na ścinanie iłu pliczeńskiego i modelowego iłu kaolinitowego, które wynikać mogą z mrozowych przemian struktury ośrodka gruntowego.

Ił plicieński z Bydgoszczy, który poddano cyklicznemu przemrażaniu, wykazał w pierwszych cyklach korzystniejszą wytrzymałość na ścinanie niż próbki nie mrożone /rys.5/. Nie jest to zjawisko oczywiste w świetle dotychczasowych badań. Stwierdzony przedział korzystniejszej wytrzymałości iłu plicieńskiego na ścinanie zależy od liczby cykli -  $f$  i rozpatrywanego dla danego cyklu -  $f$ , naprężenia normalnego  $\sigma_n$ . Np.: dla iłu - A, korzystniejszą wytrzymałość stwierdzono do  $f \approx 5$  cykli i zakresu naprężeń do  $\sigma_n = 174,7 \text{ kPa}$ . Poza tym przedziałem, jeżeli liczba mrożeń wzrasta, wytrzymałość przemrażającego iłu maleje zawsze i jest także niższa w porównaniu do wytrzymałości na ścinanie iłu nie mrożonego. Stanowi średnio około 85 % wytrzymałości iłu plicieńskiego nie poddanego wcześniej przemrażaniu.

Wytrzymałość przemrożonego iłu kaolinitowego, o stopniu plastyczności  $I_L \approx 0,5$ , jest w każdym przypadku niższa niż nie mrożonego i przyjmuje wartość po  $f = 20$  cyklach, bliską połowie wytrzymałości nie mrożonego gruntu. Najwyraźniejszy spadek wytrzymałości, o ok. ( $\Delta T_f = 50 \%$ ), zaznacza się po pierwszym zamrożeniu.

Uwagi i wnioski płynące z przeprowadzonych badań gruntu modelowego i iłu plicieńskiego są zbliżone, i praktycznie bardzo istotne. Spadek wytrzymałości iłów, w wyniku cyklicznego mrożenia i odmarzania, otrzymano dla zamkniętego systemu gruntowo-wodnego. Wskazuje to na decydującą rolę mrozowych zmian struktury i charakterystycznych procesów np. desagracji, a także wewnętrznej redystrybucji wilgoci itp., w kształtowaniu parametrów mechanicznych  $c_u$ ,  $\phi_u$  i nośności iłów plicieńskich. Można przypuszczać, że podobne zależności mogą być obserwowane w innych przemrażanych gruntach spoistych.

W zagadnieniach praktycznych należy oczekiwać, że obniżenie wytrzymałości na ścinanie iłów przemrożonych będzie większe od przedstawionych. Głównie dlatego, że zachodzi możliwość podciągania wilgoci oraz dodatkowy wpływ innych czynników towarzyszących odmrażaniu podłoża gruntowego np. rozmakanie, erozja itp.

#### LITERATURA

- [1] Kumor M.K. /1985a/: Change in structure and microstructure of clays due to cyclic freezing - thawing. Symp. Franco-Polonais. Varsovie 7-8.10.1985 p.p. 63-72
- [2] Kumor M.K. /1985b/: Metoda przygotowania zamrożonych iłów do badania powierzchni strukturalnej elektronowym mikroskopem skaningowym /SEM/ Archiwum Hydrotechniki T. XXXII z.2 s. 309-324
- [3] Kumor M.K. /1985c/: Zmiany wytrzymałości i struktury iłu plicieńskiego pod wpływem zamrażania. Archiwum Hydrotechniki T. XXXII. z 3/4 s. 461-473
- [4] Kumor M.K. /1986a/: Ścisłość cyklicznie zamrażanego iłu plicieńskiego. ZN ATR Bydgoszcz, Budownictwo 23, s. 69-76

- [5] Kumor M.K. /1986b/: Zmiany struktury i mikrostruktury monomineralnych i naturalnych ilów pod wpływem przemrażania /praca przygotowana do druku w ZN ATR Bydgoszcz/
- [6] Skarzyńska K.M. /1985/: Formation of soil structure under repeated freezing - thawing conditions. Fourth Int. Symp. on Ground Freezing. Sapporo 5-7 August, p. 213 - 218
- [7] Stępkowska E.T. /1985/: Study in microstructure of a marine clay by freezing. Symp. Franco - Polonais. Varsovie 7-8.10.1985 p. 103-115

CHANGE IN SHEAR STRENGTH OF CLAYS DUE  
TO CYCLIC FREEZING - THAWING

Summary

The paper presents an examination of the effect of a cyclic freezing on the shear strength of expansive natural clays and a model clay which were not previously subject to freezing processes, which took place in a closed ground water-system. Initial parameters before freezing were determined. Samples were subject to a cyclic freezing. The number of freezing cycles went to the amount of:  $f = 1, 5, 10, \text{ and } 20$ . Freezing temperature  $= - 20^{\circ}\text{C}$  (253 K). The results obtained showed that in the case of a model kaolinite clay, the highest loss of strength occurred after  $f = 1$ . After successive freezing cycles strength was lower, also shear strength decreased. Natural clays after freezing showed an inverse dependence, i.e. the shear strength after initial freezing processes increased as compared with unfrozen clays. It was observed up to about  $f_0 \leq 10$  cycles of freezing and normal stress maximum to  $\sigma_n \leq 174$  kPa. In other cases the strength of the natural clay subject to freezing was lower than that before the process. The obtained freezing changes in shear strength were confirmed during structural examinations.

## СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГЛИН

## Резюме

В работе представлены исследования изменений сопротивления сдвигу экспансивного плиоценового ила и каолинистого ранее не мороженных, а также после переменного действия промораживания и размораживания. Процесс замораживания проходил в закрытой грунтоводной системе. Илы промораживались циклически, принимая число циклов  $f = 1, 5, 10, 20$  при температуре замораживания  $t = -20^{\circ}\text{C} / 253\text{K}$ . Полученные результаты показывают, что в каолинистом иле самое большое снижение сопротивления /прочности, крепости/ происходит после  $f=1$  замораживания. После следующих циклов сравнительное снижение прочности было меньше, однако прочность понижалась. Плиоценовый ил в определенном диапазоне циклов  $f$ , проявлял обратную зависимость, т.е. прочностью на сдвиг после первых замораживаний увеличилась по сравнению с прочностью не мороженного ила. Это явление наблюдалось до момента  $f \leq 10$  циклам и нормальных напряжений  $\delta_n \leq 174 \text{ Pa}$ . Вне этого предела прочность замороженного ила всегда ниже не мороженного и уменьшается с увеличением циклов  $f$ , в среднем до около 85% величины исходной прочности немороженного ила.



Tomasz Szczuraszek

## PROPOZYCJA NOWEJ KLASYFIKACJI RODZAJOWEJ POJAZDÓW

Praca przedstawia nową propozycję klasyfikacji rodzajowej pojazdów dla badań i analiz ruchu drogowego w kraju. Powstała ona na bazie badań terenowych, obejmujących parametry ruchu i cechy pojazdów oraz charakterystyki parku samochodowego. W klasyfikacji tej wydzielono: dwie grupy rodzajowe pojazdów osobowych, trzy grupy pojazdów ciężarowych oraz dodatkowo pojazdy powolne i jednośladowe.

### 1. WSTĘP

W ostatnich latach nastąpił na świecie znaczny rozwój przemysłu motoryzacyjnego, w wyniku którego powstały pojazdy o bardzo zróżnicowanych właściwościach konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Aby zapewnić odpowiedni poziom dokładności szacowania warunków ruchu istotnym stał się problem rewizji dotychczasowych ustaleń w zakresie klasyfikacji rodzajowej pojazdów. Przeprowadzone przez autora studia tego problemu [10] wykazały, że w wielu krajach zarysowała się wyraźna tendencja, polegająca na zwiększaniu w stosunku do lat ubiegłych, liczby grup rodzajowych i na uwzględnieniu specyficznych cech własnego parku samochodowego.

W Polsce nie przeprowadzano dotychczas szczegółowych rozważań dotyczących optymalnego podziału pojazdów na grupy rodzajowe. Jedyna praca jaka ukazała się na ten temat [11] analizuje tylko pojazdy dostawcze, wykazując konieczność wydzielenia ich w niezależną grupę rodzajową. W zakresie oceny warunków ruchu dróg zamiejskich obowiązuje w kraju praktycznie klasyfikacja pojazdów zaczerpnięta z metody amerykańskiej HCM z 1965 roku [2]. Odrębność parków samochodowych Polski i USA oraz wpływ czasu na ich zmiany, dają jednak podstawę do wątpliwości w słuszność, a przede wszystkim aktualność, tej klasyfikacji.

Celem niniejszej pracy jest sformułowanie propozycji nowego podziału pojazdów na grupy rodzajowe dla potrzeb badań i analiz zamiejskiego ruchu drogowego. Cel ten osiągnięto poprzez rozwiązanie następujących, kolejnych zadań:

- określenie wielkości wpływu poszczególnych cech pojazdów na kształtowanie warunków ruchu oraz wybór spośród nich parametrów najistotniejszych, jako mierników klasyfikacji grup rodzajowych;

- scharakteryzowanie krajowego parku samochodowego, głównie w aspekcie zmienności przestrzenno-czasowej, w potoku wyżej wybranych parametrów;
- ustalenie grup rodzajowych spełniających warunek jednorodności "zachowań" poszczególnych typów pojazdów w różnych sytuacjach drogowo-ruchowych.

Podstawą powyższych rozważań były badania ruchu wykonane na kilkunastu drogach w kraju, obejmujące:

- parametry ruchu, takie jak: prędkość, odstępy czasu, odległości w kolumnie, liczba wyprzedzeń, itp.;
- charakterystykę pojazdów w postaci: wskaźnika mocy jednostkowej, rzeczywistej masy, całkowitej długości, funkcji transportowej itd.

Dobór odcinków pomiarowych zapewniał uzyskanie prawie całego zakresu możliwych warunków ruchu. Do badań wykorzystano znane techniki pomiarowe, w tym głównie metodę filmową.

## 2. WYBÓR MIERNIKÓW KLASYFIKACJI

Dotychczas jako miernik klasyfikacji rodzajowej pojazdów przyjmowano [10,13] : liczbę kół i osi pojazdów /za sugestią amerykańskiej metody HCM-65 [2] /, ogólny charakter pojazdu, funkcję jaką pełni on w systemie transportu oraz w odniesieniu tylko do pojazdów ciężarowych: ładowność, długość i właściwości dynamiczne /parametr ten został zastosowany w nowym wydaniu HCM z 1985 roku [6] /.

Trudno jest jednak zgodzić się z faktem zaliczenia do jednej grupy rodzajowej pojazdów posiadających cztery koła /tak jak w HCM-65/, do której mogą należeć: mały autobus, lekki pojazd ciężarowy i sportowy samochód osobowy. Podobne zastrzeżenia można mieć do podziału pojazdów według ich ogólnego charakteru czy funkcji. Uzyskamy bowiem w każdej grupie zestaw pojazdów o zbyt zróżnicowanych warunkach "zachowań" w ruchu. Parametry zaś, takie jak ładowność czy długość są raczej atrybutem grupy pojazdów ciężarowych, a więc mogłyby ewentualnie być wykorzystane jako miernik uzupełniający przy klasyfikacji rodzajowej.

Jak wykazała analiza przeprowadzona przez autora w pracy [13] , największy wpływ na warunki ruchu, spośród cech pojazdu, posiada jego klasa. O klasie pojazdu decyduje przede wszystkim wskaźnik nominalnej mocy jednostkowej " $N_n$ " \*, a także właściwości związane z komfortem jazdy oraz sama marka /głównie w odniesieniu do samochodów osobowych/. Wyższa klasa użytkownego pojazdu prowadzi kierowców do jazdy z większym poziomem ryzyka, czyli np. z większą prędkością i z częstszymi wyprzedzeniami. Jest to spowodowane

---

\*Wskaźnik nominalnej mocy jednostkowej " $N_n$ " wyraża stosunek maksymalnej mocy netto silnika do maksymalnej masy brutto pojazdu.

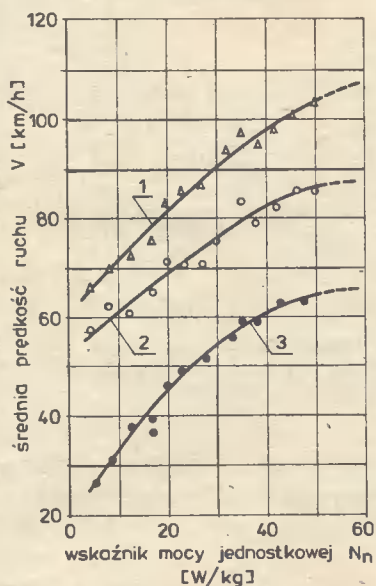
z jednej strony - "możliwościami" samego pojazdu, a ściślej jego charakterystyką dynamiczną, a z drugiej między innymi - chęcią zaspokojenia przez kierowców swoich egoistycznych i hedonistycznych potrzeb. Różnice w warunkach ruchu między poszczególnymi klasami pojazdów zależą jednak zarówno od czynników drogowych, jak i ruchowych. Największe wartości różnice te uzyskują w ruchu swobodnym. Jest to zrozumiałe ze względu na brak wzajemnego oddziaływania na siebie poszczególnych uczestników ruchu i tym samym zwiększonej możliwości wykorzystania przez kierowców przymiotów swoich pojazdów. Dla przykładu: na prostym, poziomym odcinku drogi wielopasowej, różnice w średnich prędkościach między niektórymi markami samochodów osobowych w ruchu swobodnym dochodziły aż do 25 km/h. Stąd więc klasa pojazdu powinna być podstawowym wyznacznikiem grup rodzajowych.

Uzupełniającą miarę klasyfikacji rodzajowej powinna stanowić długość pojazdu "L" [12,13]. Zanik wpływu klasy pojazdów na warunki ruchu wraz ze wzrostem średniego nasycenia potoku wywołuje jednocześnie wzrost wpływu na te warunki długości pojazdów. Przy ruchu ściśle zależnym determinującą cechą o stanie ruchu potoku jest już rozkład wartości "L". Warto zaznaczyć, że za wyjątkiem pojazdów osobowych, długość pojazdu jest skorelowana ze wskaźnikiem " $N_n$ ".

Biorąc pod uwagę powyższe fakty, analizę doboru grup rodzajowych można sprowadzić do dwóch skrajnych przypadków:

- ruchu swobodnego, przyjmując jako miarę rodzaju pojazdu /przybliżoną/ wskaźnik " $N_n$ ";
- stanu zatoru, zakładając jako miarę rodzaju pojazdu długość "L".

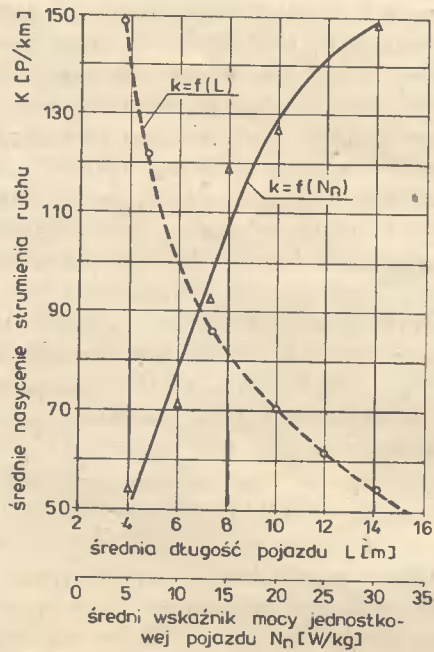
Ilustracją niektórych, opisanych wyżej wniosków są wybrane wyniki badań autora przedstawione na rysunkach 1 - 3.



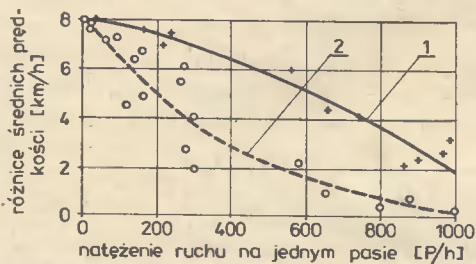
Oznaczenia:

- 1- odcinek prosty poziomy na drodze wielopasowej; 2- odcinek prosty poziomy na drodze dwupasowej; 3- odcinek wzniesienia 5% na drodze dwupasowej.

Rys.1. Zależność między wskaźnikiem mocy jednostkowej pojazdów, a średnią prędkością w ruchu swobodnym



Rys.2. Wpływ długości oraz wskaźnika mocy jednostkowej pojazdów na średnie nasycenie strumienia ruchu w warunkach zatoru



Oznaczenia:

1- przy małym udziale pojazdów ciężarowych w potoku (~4%); 2- przy dużym udziale pojazdów ciężarowych w potoku (~30%).

Rys.3. Różnice średnich prędkości na odcinku prostym, poziomym drogi dwupasowej między Fiatem 125p (FSO-1500) i Fiatem 126P, w zależności od natężenia ruchu

### 3. CHARAKTERYSTYKA PARKU SAMOCHODOWEGO

Podstawowym źródłem informacji o ogólnych trendach wielkości ruchu, jego zmian i strukturze rodzajowej, mogą być wykonywane w kraju co 5 lat, pomiary generalne. Jak wynika z tych badań [8], struktura rodzajowa ruchu, w skali sieci dróg w kraju, jest zróżnicowana. Różnice te występują zarówno w podziale na poszczególne województwa, jak i w podziale funkcjonalnym sieci dróg oraz w zależności od klasy technicznej drogi. Przede wszystkim wpływ na układ struktury rodzajowej ruchu ma charakter województwa, stopień jego uprzemysłowienia, położenie geograficzne itp. Zauważyć można ponadto, że wraz ze zmniejszeniem ważności funkcjonalnej drogi w sieci, bądź zmniejszeniem klasy technicznej drogi, zmniejsza się procentowy udział w ruchu pojazdów osobowych i ciężarowych, rośnie natomiast procentowy udział motocykli, ciągników i autobusów.

Wyniki badań generalnych nie dają jednak możliwości przeprowadzenia wystarczająco dokładnej oceny parku samochodowego dla potrzeb niniejszej pracy, głównie dlatego, że odnoszą się do z góry ustalonego podziału pojazdów na grupy rodzajowe oraz do średniodobowego ruchu rocznego lub miesięcznego /jednostka ta jest mało przydatna przy szczegółowej analizie warunków ruchu/. Jak już zaznaczono, najistotniejszymi parametrami służącymi do oceny rodzajowej pojazdów powinny być: wartość wskaźnika mocy jednostkowej " $N_n$ " oraz długość "L". Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono rozkłady obu tych parametrów w potokach na wybranych drogach kilku województw w kraju. Charakterystyki te zostały opracowane dla jednogodzinnego ruchu rzeczywistego, tj. jednostki czasu powszechnie stosowanej w inżynierii ruchu. Z rysunków tych wynika, że rozważane krzywe rozkładów są wyraźnie wielomodalne. I tak, na rozkład wskaźnika mocy jednostkowej " $N_n$ " składają się głównie rozkłady cząstkowe /pomijając mało widoczne wierzchołki krzywej/ o następujących wartościach modalnych:

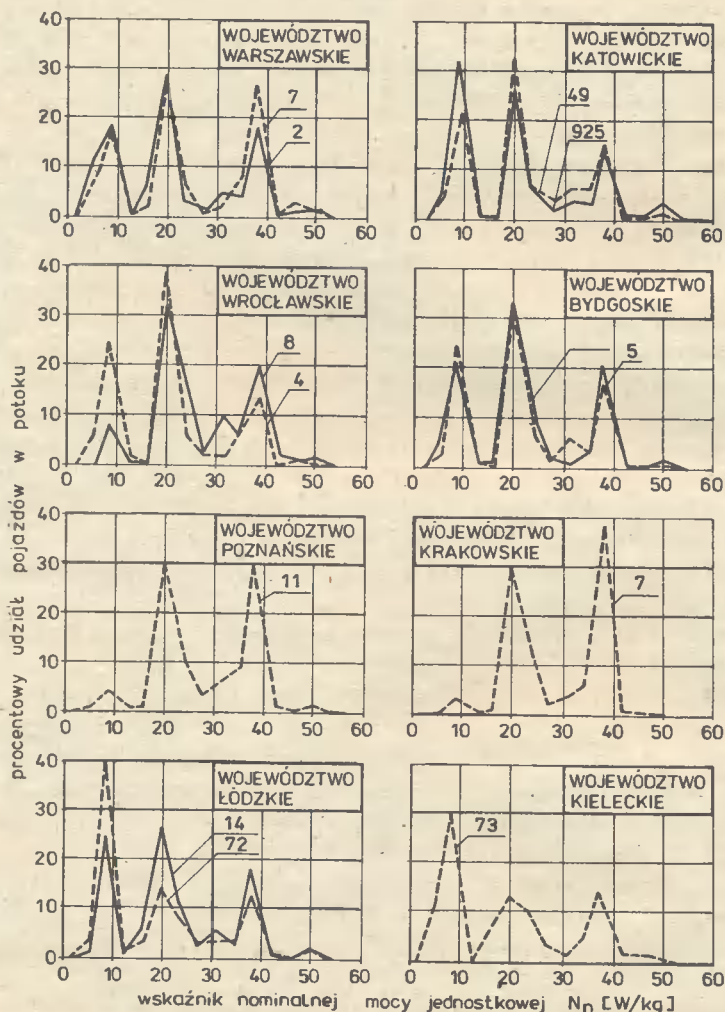
- około 40 W/kg /samochody osobowe o średniej i dużej pojemności silnika/;
- około 20 W/kg /samochody osobowe o małej pojemności silnika i pojazdy dostawcze/;
- około 10 W/kg /wszystkie pojazdy ciężarowe i autobusy/.

Natomiast, w przypadku długości pojazdów "L", największy udział procentowy posiadają rozkłady cząstkowe o wartościach modalnych:

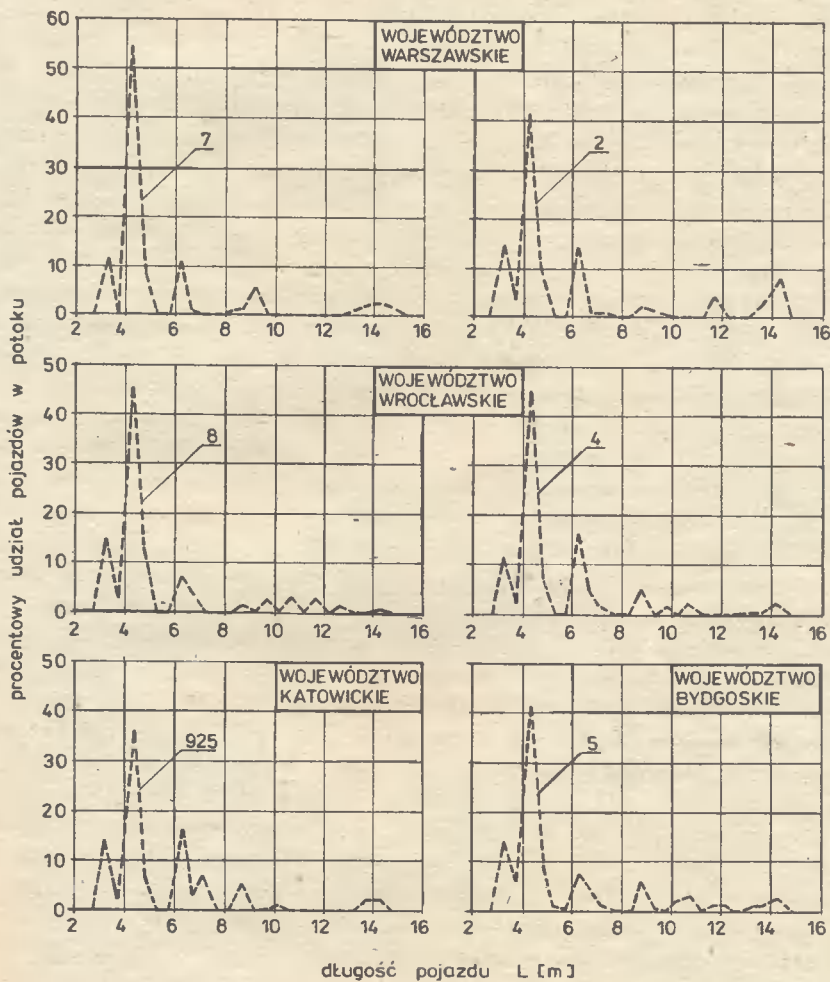
- około 3,25 m /małolitrażowe samochody osobowe/;
- około 4,25 m /większość samochodów osobowych o średniej i dużej pojemności silnika oraz pojazdy dostawcze/;
- około 6,25 m /znaczną większość pojazdów ciężarowych o średniej ładowności/.

Warto zwrócić uwagę, że podobnie jak charakterystyka wskaźnika mocy jednostkowej, tak i długości pojazdów w potoku, doprowadziły do wydzielenia dwóch grup pojazdów osobowych. Do pierwszej z nich można by zaliczyć wszystkie pojazdy osobowe o tzw. niskim standardzie jazdy /przeważająca większość w tej grupie stanowią samochody Fiat 126P/ oraz do drugiej - pojazdy

osobowe o średnim i wysokim standardzie /podstawowym przedstawicielem tej grupy jest samochód Fiat 125P - FSO 1500/. Na podstawie rozkładów wielkości " $N_n$ " i "L" można wyselekcjonować również trzy dalsze grupy rodzajowe, obejmujące pojazdy ciężarowe: lekkie /krótkie/, średnie /o średniej długości/ i pozostałe - ciężkie /długie/. Należy podkreślić, że według danych statystycznych [7], wśród zarejestrowanych w kraju pojazdów ciężarowych, naj-



Rys.4. Charakterystyka potoków ruchu według wskaźnika mocy jednostkowej na wybranych drogach kilku województw kraju



Rys.5. Charakterystyka potoków ruchu według długości pojazdów, na wybranych drogach kilku województw kraju

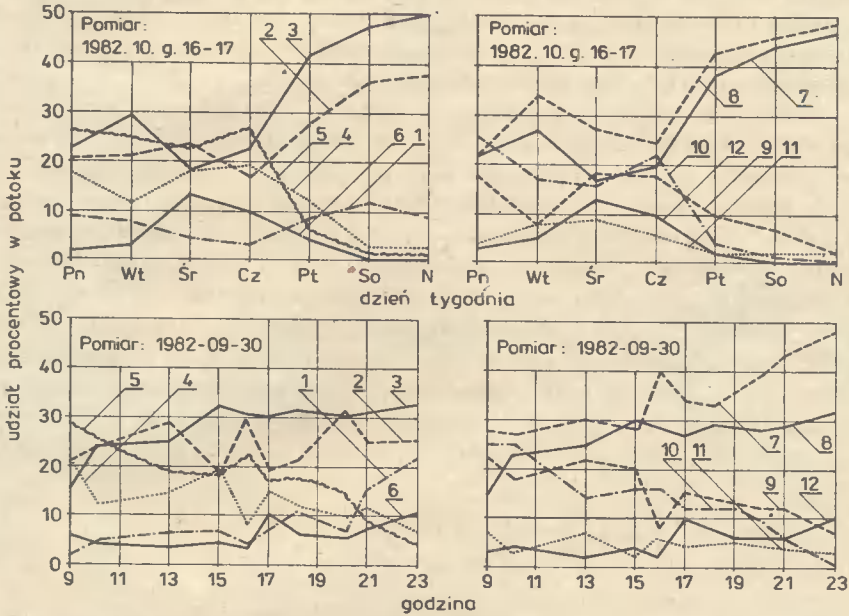
liczniejsze grupy stanowią pojazdy o ładowności: do 15 kN i od 30 do 70 kN oraz - choć w dużo mniejszym stopniu - powyżej 90 kN. W pewnym przybliżeniu odpowiednikami tych grup są pojazdy ciężarowe o wskaźniku " $N_n$ ": powyżej 13 W/kg, od 7 do 13 W/kg i poniżej 7 W/kg oraz o długości: mniej niż 5 m, od 6 do 8 m i powyżej 10 m.

Bardzo istotną cechą analizowanych rozkładów /rys.4 i 5/ jest także różnica występująca w procentowym udziale danego rozkładu cząstkowego w potokach na poszczególnych drogach oraz w rozkładzie sumarycznym na danej drodze. Zmienność udziału w ruchu pojazdów ciężarowych jest w zasadzie zagadnieniem już powszechnie stwierdzonym. Znamienna jest natomiast ta zmienność w odniesieniu do pojazdów osobowych. Według autorów pracy [4] stanowi to jednak pewną prawidłowość w układzie przestrzennego podziału ruchu. Dane statystyczne dowodzą bowiem, że liczba i jakość posiadanych prywatnych pojazdów w głównej mierze zależy od poziomu pieniężnych dochodów ludności. Ze względu na duże zróżnicowanie tych dochodów w poszczególnych województwach, występują też znaczne różnice w strukturze pojazdów osobowych. Przykładowo, w województwie warszawskim, rzeszowskim, nowosądeckim, tarnowskim i krakowskim, przeszło połowę ogółu pojazdów osobowych stanowią samochody o wyższym standardzie, podczas gdy średniokrajowy wskaźnik ten wynosi około 38 %. Relatywnie mniej samochodów o wyższym standardzie jest zaś np. w obszarach Pomorza i Wielkopolski.

Niejednakowy udział poszczególnych grup pojazdów osobowych w potokach na poszczególnych drogach można wyjaśnić również odmienną strukturą samochodów posiadanych w skali regionu [4] oraz oczywiście zróżnicowaniem funkcjonalnym i klas technicznych badanych dróg.

Struktura rodzajowa ruchu ulega znacznej zmianie również w czasie. Jak stwierdzono w pracy [10], w miarę upływu lat zwiększa się udział na naszych drogach pojazdów osobowych /dwukrotnie w ciągu 15 lat/ i dostawczych, natomiast zmniejsza się udział pojazdów ciężarowych /o około 25 % w ciągu 15 lat/ i motocykli. Ruch pojazdów osobowych zwiększa się także w miesiącach letnich, w dniach wolnych od pracy, w godzinach wieczornych i nocnych, przy jednoczesnym spadku udziału w potoku pojazdów ciężarowych i dostawczych. Zmiany w funkcji czasu struktury rodzajowej ruchu w ujęciu rozważanych cech konstrukcyjnych pojazdów, tj. wskaźnika " $N_n$ " oraz długości "L", przedstawia /dla wybranej drogi/ rysunek 6.





Oznaczenia:

- 1 - pojazdy osobowe o  $N_n \geq 43$  W/kg; 2 - pojazdy osobowe o  $30 \leq N_n < 43$  W/kg; 3 - pojazdy osobowe o  $N_n < 30$  W/kg; 4 - pojazdy ciężarowe o  $N_n \geq 13$  W/kg; 5 - pojazdy ciężarowe o  $7 \leq N_n < 13$  W/kg; 6 - pojazdy ciężarowe o  $N_n \leq 7$  W/kg; 7 - pojazdy osobowe o  $L \leq 3,8$  m; 8 - pojazdy osobowe o  $L > 3,8$  m; 9 - pojazdy ciężarowe o  $6,0 \leq L \leq 8,0$  m; 10 - pojazdy ciężarowe o  $8,0 \leq L \leq 10,0$  m; 11 - pojazdy ciężarowe o  $L > 10,0$  m.

Rys.6. Zmiana w funkcji czasu procentowego udziału w potoku pojazdów o wybranych cechach konstrukcyjnych (droga nr 5)

#### 4. ANALIZA KLASYFIKACYJNA GRUP RODZAJOWYCH

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami, analiza doboru grup rodzajowych pojazdów powinna być przeprowadzona w pierwszej kolejności dla warunków ruchu swobodnego. Ogólnie przyjętym parametrem oceny tych warunków jest prędkość.

Rozkład prędkości danej grupy rodzajowej w ruchu swobodnym na konkretnym odcinku drogi będzie limitowany głównie składem potoku pojazdów. Jednak jednorodne warunki podróżowania uzyskamy dla tej grupy tylko w przypadku przynależności do niej jednakowych lub prawie jednakowych klas pojazdów /rozd.2/. Charakter rozkładu prędkości będzie wówczas czysto losowy i, jak wskazują badania autora zawarte w pracy [9], odpowiadający modelowi normalnemu. Natomiast im większy będzie rozrzut tych klas, tym większy będzie

rozrzut prędkości pojazdów rozważanej grupy, a co za tym idzie - ich rozkład prędkości będzie w większym stopniu odbiegał od rozkładu normalnego /w skrajnych przypadkach uzyskamy rozkład wielomodalny/. Wobec powyższego, jednorodność hipotetycznej grupy rodzajowej można ocenić sprawdzając zbieżność rozkładu prędkości pojazdów tej grupy z modelowym rozkładem normalnym, np. za pomocą statystycznego testu zgodności  $\chi^2$ .

Odchylenie rozkładu prędkości danej grupy rodzajowej od modelu normalnego nie przesądza oczywiście sprawy o dokładności szacowania parametrów tego rozkładu. Bowiem w przypadku stałego udziału w grupie rodzajowej pojazdów o różnych cechach konstrukcyjnych, estymację wspomnianych parametrów moglibyśmy przeprowadzić poprawnie. Ponieważ jednak zmienność struktury rodzajowej występuje zarówno w czasie, jak i na sieci dróg, stąd należy się liczyć również z pewnym błędem, jaki możemy popełnić przy szacowaniu warunków ruchu, jeżeli grupa rodzajowa nie będzie dobrana z jednakowych klas pojazdów. Jeżeli więc założymy, że daną, hipotetyczną grupę rodzajową stanowią pojazdy o zakresie klas scharakteryzowanym określonym przedziałem wskaźnika mocy jednostkowej " $N_n$ ", to maksymalny błąd szacowania, np. średniej prędkości ruchu dla tej grupy rodzajowej, będziemy mogli wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta V_j = \pm \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n p_i \cdot \bar{V}_i - \sum_{i=1}^n g_i \cdot \bar{V}_i \right] \quad (1)$$

gdy:

$$\sum_{i=1}^n p_i \cdot \bar{V}_i = \max, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i \cdot \bar{V}_i = \min, \quad (3)$$

gdzie:

- $i$  - numer klasy pojazdów /o danej wartości wskaźnika mocy jednostkowej " $N_n$ "/,
- $n$  - liczba klas pojazdów w grupie rodzajowej " $j$ ",
- $p_i$  - względny udział w grupie rodzajowej " $j$ " pojazdów " $i$ " w przypadku próby o największej prędkości średniej, obserwowanej w rzeczywistych warunkach ruchu,
- $g_i$  - j.w., lecz dla próby o najmniejszej prędkości średniej,
- $\bar{V}_i$  - średnia prędkość w określonych warunkach ruchu dla pojazdów klasy " $i$ ".

Wielkość  $\Delta V_j$  może być dalszym parametrem poprawności doboru grup rodzajowych. Ocenę rozbieżności rozkładów prędkości dla dwóch skrajnych, możliwych układów klas pojazdów w grupie rodzajowej, można także przeprowadzić wykorzystując aparat statystyki matematycznej. Bardzo prostym do zastosowania w

tym przypadku jest test istotności mediany, sprawdzający hipotezę o przynależności obu prób do tej samej populacji generalnej.

Wyniki poprawności doboru grup rodzajowych, uzyskane na podstawie zbieżności rzeczywistego rozkładu "V" z rozkładem normalnym /test  $\chi^2$  /, wielkości błędu estymacji prędkości " $\Delta V_j$ " oraz zbieżności rozkładów "V" przy różnym procentowym udziale pojazdów danych klas w grupie rodzajowej /test mediany/, przedstawiono w tablicy 1. Analizę tę przeprowadzono na bazie ba-

Tablica 1.

WYNIKI OCENY JEDNORODNOŚCI RODZAJOWEJ GRUP POJAZDÓW									
Lp	Opis grupy rodzajowej pojazdów	Warunki ruchu swobodnego			Stan zatoru kolumny				
		Obliczeniowy odcinek drogi	Max błąd szacowania prędkości średniej [km/h]	Wyniki testów statystycznych		Obliczeniowy odcinek drogi	Max błąd średniego odstepu [m]	Max błąd średniego nasyce-nia [P/km]	Wynik testu mediany
$\chi^2$	mediany								
1	wszystkie pojazdy osobowe	prosta pozioma na drodze wielopasowej	8.3	negatywny	negatywny	wzniesienie na drodze dwupasowej	—	—	—
2	pojazdy osobowe o $N_n \geq 30$ W/kg		2.4	pozytywny	pozytywny		0,03	0,6	pozytywny
3	pojazdy osobowe o $N_n = 30$ W/kg oraz pojazdy dostawcze		4.2	negatywny	negatywny		—	—	—
4	pojazdy osobowe o $N_n < 30$ W/kg		0.8	pozytywny	pozytywny		0.15	3,6	pozytywny
5	wszystkie pojazdy dostawcze		0.5	pozytywny	pozytywny		0.02	0,3	pozytywny
6	wszystkie pojazdy o $N_n < 13$ W/kg		4.1	negatywny	negatywny		—	—	—
7	pojazdy ciężarowe (bez poj. dostawczych) o $N_n > 7$ W/kg oraz autobusy		1.4	pozytywny	pozytywny		0.50	3,7	pozytywny
8	pojazdy ciężarowe o $N_n \leq 7$ W/kg		0.7	pozytywny	pozytywny		0.42	1,2	pozytywny
9	pojazdy ciężarowe o $N_n > 7$ W/kg oraz pojazdy dostawcze		7.1	negatywny	negatywny		—	—	—

dań /obejmujących prędkości ruchu i charakterystykę wskaźnika mocy jednostkowej/, przyjmując:

- najbardziej niekorzystny dla wyniku końcowego oceny przypadek warunków drogowych [13] oraz struktury pojazdów;
- poziom istotności dla szacowania statystycznego równy  $\alpha = 0,05$  ;
- dopuszczalny błąd szacowania średniej prędkości równy 2,5 km/h /odpowiada on połowie przedziału klasowego przyjmowanego w szeregu rozdzielczym prędkości/;
- zasadę minimalizacji grup rodzajowych.

Z tablicy 1 wynika, że w przypadku pojazdów osobowych, aby zapewnić wcześniej opisane warunki jednorodności, należy wydzielić najmniej dwie grupy rodzajowe, tj. o wartości wskaźnika " $N_n$ ":  $\geq 30$  W/kg i  $< 30$  W/kg\*. Warto zwrócić uwagę, że taki wniosek sugerowały już charakterystyki parku samochodowego zawarte w poprzednim rozdziale.

Podobne wartości wskaźnika mocy jednostkowej do pojazdów osobowych o  $N_n < 30$  W/kg, posiadają pojazdy dostawcze. Przeprowadzone testy statystyczne dały jednak przy utworzeniu jednej grupy rodzajowej z tych pojazdów wynik negatywny. Spowodowane to jest przede wszystkim znaczną różnicą w standardzie jazdy i w funkcji transportowej tych obu środków komunikacji. Stąd pojazdy dostawcze poruszają się w danych warunkach drogowych z mniejszą prędkością od wspomnianych pojazdów osobowych /np. w wartościach średnich na odcinku prostym drogi wielopasowej o 10 km/h/. Ponadto ich udział w ruchu może być zmienny i to w dużym zakresie /np. ruch w niedzielę w stosunku do dnia pracy/. Na skutek tych wahań oraz posiadanych własności dynamicznych, pojazdy dostawcze nie mogą być też zaliczone do jednej grupy rodzajowej z innymi pojazdami ciężarowymi /patrz tablica 1/, muszą więc stanowić oddzielną grupę rodzajową.

Negatywny wynik rozważanej jednorodności uzyskano również dla potraktowanych łącznie pozostałych pojazdów ciężarowych, tj. przy pominięciu pojazdów dostawczych. Kierując się wnioskami poprzedniego rozdziału, utworzono z tych pojazdów dwie grupy rodzajowe, określone następująco:  $7 < N_n < 13$  W/kg i  $N_n \leq 7$  W/kg. Zgodnie z rezultatami zawartymi w tablicy 1 taką klasyfikację można uznać za poprawną.

Kryteria przyjęte dla warunków ruchu swobodnego doprowadziły do podziału podstawowych pojazdów biorących udział w zamiejskim ruchu drogowym na pięć grup rodzajowych, w tym dwóch grup pojazdów osobowych i trzech ciężarowych. Aby przyjąć te grupy jako ostateczny wynik rozważań, należałoby /zgodnie z rozdz.1/ stwierdzić poprawność tego podziału dla stanu zatoru kolumny. Taką ocenę przedstawiono w tablicy 1, przyjmując następujące założenia:

- najlepszym miernikiem warunków ruchu w stanie zatoru jest średnie nasycenie, bądź średni odstęp w kolumnie /oba te parametry są silnie skorelowane z rozkładem długości pojazdów - rysunek 2, [12]/;
- jednorodność grupy rodzajowej można sprawdzić poprzez maksymalne błędy szacowania wyżej wskazanych mierników /za pomocą wzorów analogicznych do wzoru 1/ oraz zbieżność rozkładów odstępów w kolumnie dla dwóch skrajnych przypadków procentowego udziału pojazdów o różnych długościach /za pomocą testu mediany i przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ /. Wyniki tej oceny, ze względu na bardzo małe wartości wyznaczonych błędów oraz pozytywny rezultat obliczanego testu istotności, upoważniają do zaakceptowania wcześniej ustalonej klasyfikacji rodzajowej pojazdów.

\* Do grupy tej zaliczono również wszystkie samochody osobowe eksploatowane wiele lat oraz pojazdy osobowe z przyczepami. Wg badań [1,6] oraz własnych wynika, że pojazdy te zachowują w ruchu stosunkowo niskie prędkości.

## 5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w niniejszej pracy rozważania wykazały, że w celu poprawnego szacowania warunków ruchu na drogach zamiejskich w kraju, niezbędne jest sklasyfikowanie pojazdów samochodowych w pięć grup rodzajowych. Wykaz tych grup wraz z propozycją ich nazwy przedstawiono w tabelicy 2 /poz.1-5/.

Tabela 2

PROPOZYCJA KLASYFIKACJI RODZAJOWEJ POJAZDÓW DLA BADAŃ WARUNKÓW RUCHU NA DROGACH ZAMIEJSKICH					
Lp.	Nazwa grupy rodzajowej		Przyjęte oznaczenie	Charakterystyka dynamiczna pojazdów	Przykłady pojazdów należących do danej grupy
	ogólna	szczegółowa			
1	osobowe	osobowe o średnim i wysokim standardzie jazdy "szybkie"	O1	$N_n \geq 30$ W/kg	Fiat:125,127,128,132,Łada, Polonez, Zastawa 1100, Dacia 1300, Skoda: 1055,105L, 120LS, Moskwicz 150 itp.; oraz samochody osobowe marek zachodnich o średniej i wyższej pojemności
2		osobowe o niskim standardzie jazdy "wolne"	O2	$N_n < 30$ W/kg	Fiat 126,Trabant, Syrena, Zastawa 750, Zaporoziec,Warszawa, Skoda 1000MB, Fiat 850, Skoda-Oktavia,samochody osobowe z przyczepami, małowitrazowe samochody osobowe marek zachodnich oraz wszystkie pojazdy osobowe eksploatowane powyżej 20 lat
3	ciężarowe	ciężarowe lekkie	C1	$N_n \geq 13$ W/kg	wszystkie pojazdy dostaw - cze typu: Nysa, Żuk
4		ciężarowe średnie	C2	$7 \text{ W/kg} < N_n < 13 \text{ W/kg}$	pojazdy ciężarowe bez przyczep, autobusy, lekkie ciągniki siodłowe
5		ciężarowe ciężkie	C3	$N_n < 7$ W/kg	pojazdy ciężarowe z przyczepami, pozostałe ciągniki siodłowe
6	powolne	powolne	W	$V_{\max} < 40$ km/h	ciągniki rolnicze, samojazdne maszyny budowlane, pojazdy zaprzęgowe
7	jednośladowe	jednośladowe	M		motocykle, motorowery, motocykle z przyczepami

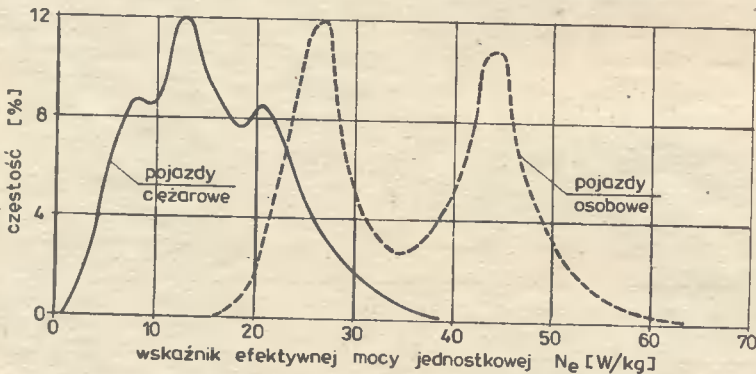
Uzupełniające grupy rodzajowe w w/w tabelicy, stanowią pojazdy powolne oraz jednośladowe. W trakcie analizy nie brano pod uwagę tych pojazdów ze względu na ich indywidualne cechy konstrukcyjne i eksploatacyjne, znacznie odbiegające od analogicznych cech podstawowych środków transportu, uczestniczących w ruchu drogowym. Ich specyficzna charakterystyka oraz znaczący

udział w potokach na niektórych drogach, wydają się być jednakże oczywistymi przesłankami, aby sklasyfikować je w niezależne grupy rodzajowe. Warto przy tym zaznaczyć, że niewielki nawet udział pojazdów powolnych w potoku ma, przy średnich i dużych wartościach intensywności ruchu, duży wpływ na rozkład prędkości [3,5,14] .

Pewną nowością, w stosunku do dotychczasowych praktyk systematyzowania struktury rodzajowej, jest propozycja podziału pojazdów osobowych na dwie grupy. Aby przekonać się jednakże o słuszności tego rozwiązania wystarczy zwrócić uwagę na następujące fakty:

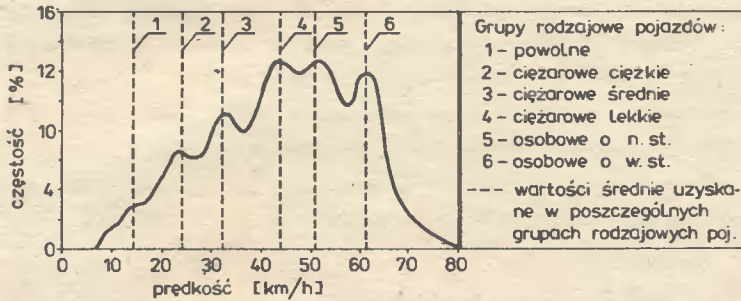
- na drogach naszego kraju występują najliczniej dwie grupy pojazdów osobowych różniące się wyraźnie standardem, a których reprezentantami są odpowiednio: Fiat 126P i Fiat 125P - FSO 1500 /rys.4 i 5/;
- udział w/w grup pojazdów w potoku jest zmienny w szerokim zakresie zarówno w czasie, jak i na poszczególnych drogach sieci /rys.4-6/;
- obie grupy pojazdów zachowują odrębne, w dużym stopniu różniące się warunki podróżowania /np. w wartościach średnich różnice prędkości dochodzą do 25 km/h, podczas gdy w grupie wszystkich pojazdów ciężarowych wynoszą maksymalnie 20 km/h [13] /;
- połączenie wszystkich pojazdów osobowych w jedną grupę rodzajową prowadzi do większych błędów przy estymacji warunków ruchu, jak połączenie wszystkich pojazdów ciężarowych /łącznie z dostawczymi/.

Zasadność nowej propozycji klasyfikacji rodzajowej pojazdów przedstawią dodatkowo rysunki 7 i 8. Wykonano je na podstawie wybranych rezultatów badań autora. Rysunek 7 ilustruje rozkłady wskaźnika efektywnej mocy jednostkowej " $N_e$ " \* dla pojazdów osobowych i ciężarowych, uzyskane z łącznych danych kilkunastu dróg w kraju. Rysunek 8 obrazuje natomiast rozkład prędkości potoku zaobserwowany na wzniesieniu o pochyleniu 5 %, przy średniej intensywności ruchu 71 P/h.



Rys.7. Rozkład wskaźnika efektywnej mocy jednostkowej dla grupy pojazdów osobowych i ciężarowych

\* Wskaźnik efektywnej mocy jednostkowej " $N_e$ " został zdefiniowany jako stosunek maksymalnej mocy netto silnika do rzeczywistej masy brutto pojazdu [13]



Rys.8. Rozkład prędkości potoku uzyskany na wzniesieniu 5 % dwupasowej drogi dwukierunkowej przy natężeniu 71 P/h =

#### LITERATURA

- [1] Galin D.: Speeds on two-lane Rural Road - a Multiple Regression Analysis. Traffic Engineering + Control. 1981, nr 8/9
- [2] Highway Capacity Manual 1965. Highway Research Board. Special Report 87. Washington DC 1965
- [3] Jamroz K., Michalski L., Szczuraszek T.: Próba tymczasowego uzupełnienia wytycznych obliczania przepustowości dwupasowych dróg dwukierunkowych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej. SITK, Warszawa - wa 1982
- [4] Praca zbiorowa: Rynek motoryzacyjny. WKiŁ, Warszawa 1980
- [5] Praca zbiorowa: Uzupełnienie wytycznych obliczania przepustowości dróg zamiejskich. Warszawa, Gdańsk, Bydgoszcz 1984 - praca nie publikowana
- [6] Proposed Chapters for the 1985 Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. TR Circular 281, Washington 1984
- [7] Rostocki A., Wieniawski W.: Motoryzacja w liczbach. WKiŁ, Warszawa 1977
- [8] Ruch drogowy. Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów, Warszawa 1987
- [9] Szczuraszek T.: Model ruchu na międzywęzłowym odcinku drogi. Archiwum Inżynierii Lądowej. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN - Tom XXXIV, z 3. Warszawa 1988
- [10] Szczuraszek T.: Nowe tendencje w klasyfikowaniu struktury rodzajowej ruchu. Drogownictwo 1987, nr 6

- [11] Szczuraszek T., Kempa J.: Samochody dostawcze jako grupa rodzajowa pojazdów osobowych w potoku. Drogownictwo 1982, nr 4
- [12] Szczuraszek T.: Nasycenie ruchu na drodze zamiejskiej w warunkach zatoru. Archiwum Inżynierii Lądowej, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN - artykuł przyjęty do druku w maju 1988 r
- [13] Szczuraszek T.: Vehicle class and traffic conditions. Sbornik VUT, Brno Czechosłowacja - artykuł złożony do druku
- [14] Szczuraszek T.: Wpływ parametrów drogowych na prędkości pojazdów powojnych. Drogownictwo - artykuł złożony do druku 1989, nr 1

#### THE PROPOSITION OF THE NEW KIND OF CLASSIFICATION OF VEHICLES

##### Summary

This paper is concerned with the new proposition of the sorting classification of vehicles for research and analysis of the traffic in Poland. The results were obtained from the local investigations, which included traffic parameters, properties of vehicles and characteristics of the vehicles park. In the classification were separated: two kinds of groups of the passenger's cars, three kinds of groups of lorries and additionally slowly moving vehicles and motorbicycles.

#### ПРЕДЛОЖЕНИЕ НОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ПОЕЗДОВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

##### Резюме

Работа представляет новое предложение классификации типов машин транспортного потока для исследований и анализа дорожного движения в Польше. Оно возникло на основе наблюдений, охватывающих параметры движения, свойства машин и характеристику автомобильного парка. В этой классификации выделены: две группы легковых автомобилей, три группы грузовых автомобилей, медленно движущиеся автомобили и мотоциклы.



Tomasz Szczuraszek

#### METODA BADANIA PSYCHOFIZJOLOGICZNEJ REAKCJI KIEROWCY\*

Praca zawiera opis metody badania psychofizjologicznej reakcji kierowcy oraz doświadczeń wynikających z jej zastosowania. W pracy zaproponowano, jako miernik warunków ruchu względny puls kierowcy, odpowiadający jeździe przy przeciętnym poziomie ryzyka.

#### 1. WSTĘP

Jest sprawą oczywistą, że podmiotem całego systemu ruchu drogowego jest człowiek. Właśnie od człowieka, a ściślej - od jego percepcji w procesie ruchu - zależy sposób zachowania, czyli prędkość i tor jazdy, dokonywane manewry wyprzedzania i mijania, zachowywany stopień ryzyka itp. Wynika stąd, że ocena warunków ruchu dokonywana poprzez obiektywny parametr tego zachowania, powinna w znacznym stopniu decydować o zasadach projektowania dróg oraz organizacji ruchu drogowego.

Obecnie, za granicą, wykorzystywanych jest najczęściej pięć sposobów automatycznego pomiaru zachowań kierowców w procesie ruchu [3,6,7], tj. przy użyciu elektroencefalografu - rejestrującego potencjały bioprądów mózgu, elektrokardiografu - zapisującego pracę mięśnia sercowego, urządzeń do rejestracji biopotencjałów i przewodności elektrycznej skóry oraz ruchu gałek ocznych. Z doświadczeń zagranicznych wynika także, że najbardziej praktycznymi miernikami tych zachowań są parametry stanu psychofizjologicznego kierowcy, takie jak częstość skurczów mięśnia sercowego oraz przewodność elektryczna skóry.

W Polsce dotychczas nie prowadzono badań zmian psychofizjologicznej reakcji kierowcy pod wpływem warunków drogowo-ruchowych. Niniejsza praca opisująca zastosowaną przez autora metodę badań tego zjawiska oraz wynikające stąd doświadczenia, stanowi więc niewątpliwie pewien przyczynek do zainte-

---

\* Niniejsza praca została przedstawiona w 1987 roku na krajowej konferencji naukowo-technicznej nt. "Inżynieria ruchu, teoria i praktyka", zorganizowanej przez Komitet Transportu PAN, Główną Komisję Inżynierii Ruchu SITK, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej oraz Biuro Studiów i Projektów Komunikacji i Inżynierii Miejskiej we Wrocławiu [9].

resowania się tym problemem w kraju.

Badania psychofizjologicznej reakcji kierowcy przeprowadzono w latach 1985-1987 na szesnastu odcinkach pomiarowych /o długościach od 1,5 - 22 km/, obejmujących siedem dwupasowych dróg dwukierunkowych [2,4,10,11] . Łącznie wykonano 81 przejazdów pomiarowych, wykorzystując do tego celu dziesięciu doświadczonych kierowców oraz aparaturę, stosunkowo łatwo dostępną w warunkach krajowych.

## 2. ZASTOSOWANA APARATURA I REALIZACJA POMIARU

Zasadniczą część zestawu pomiarowego do badań psychofizjologicznej reakcji kierowcy stanowił pojazd testowy Politechniki Gdańskiej. Jego stałe oprzyrządowanie, w postaci aparatury kontrolno-pomiarowej, pozwalało na rejestrację w funkcji czasu prędkości chwilowej pojazdu oraz przebytej drogi. Poza tym rejestrowano poprzez pulpit znaczników zdarzeń: moment rozpoczęcia i zakończenia pomiaru, poszczególne fazy mijania, wyprzedzania i omijania innych uczestników ruchu. Wszystkie te informacje zapisywane były w sposób cyfrowy na taśmie perforowanej.

Do zarejestrowania sytuacji ruchowej, w obrębie poruszającego się pojazdu testowego, zastosowano kamerę filmową Pentaflex - AK 16, wyposażoną w silnik prądu stałego oraz obiektyw szerokokątny o ogniskowej 12,5 mm /prędkość przesuwu taśmy wynosiła 12 klatek/s /. Kamera przytwierdzona była na wysokości oczu kierowcy, poprzez głowicę statywu, do specjalnej półki, w miejscu prawego, przedniego fotela samochodu. Dzięki temu utrwalany obraz obejmował w przybliżeniu pole widzenia kierowcy.

Pomiar stanu emocjonalnego prowadzącego pojazd dokonywano za pomocą przenośnego elektrokardiografu Simpli-card E-10. Aparat ten przeznaczony jest do bezpośredniej rejestracji /na papierze ciepłoczułym/ przebiegu napięć czynnościowych mięśnia sercowego. Małe wymiary i ciężar, własne zasilanie akumulatorowe i możliwość pracy z "suchymi" elektrodami, tj. bez konieczności stosowania past elektrodowych lub fizjologicznych oraz nieskomplikowana obsługa, gwarantowały dużą przydatność tego urządzenia w opisywanych badaniach ruchu. Drogą prób ustalono, że najbardziej efektywny układ podłączenia EKG do kierowcy można zrealizować przy wykorzystaniu trzech elektrod, z których dwie zamocowane są w miejscach przegubów dłoni, a trzecia powyżej kostki prawej nogi. Takie umiejscowienie elektrod pozwalało na prawidłowy przebieg pracy elektrokardiografu, nie stanowiąc jednocześnie specjalnego utrudnienia dla kierowcy. Na elektrokardiogramie zaznaczano również początek i koniec pomiaru oraz moment wyprzedzania i mijania innych pojazdów. Umożliwiło to czasową synchronizację pracy EKG z kamerą i urządzeniem licząco-perforującym /w tym samym celu był wykonany włącznik pracy wszystkich urządzeń/. Zapewnienie, natomiast, odniesienia poszczególnych obserwacji do punktów terenowych, uzyskano poprzez wyznaczenie na odcinku pomiarowym przekrojów granicznych i kontrolnych. Przejazd przez te przekroje był rejestrowany także poprzez znaczniki zdarzeń.

## 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Dane utrwalone na taśmie perforowanej, a przekazywane przez "piąte koło" oraz pulpit znaczników pojazdu testowego, przetwarzane były na elektronicznej maszynie cyfrowej Odra 1305, za pomocą odpowiednich programów /opracowanych przez Politechnikę Gdańską/. W wyniku tej obróbki otrzymano tabulogram zawierający zbiór parametrów ruchu pojazdu testowego /np.: profile prędkości i przyspieszeń/ oraz czas poszczególnych zdarzeń..

Opracowanie wyników z elektrokardiogramów polegało na odczycie pulsu /za pomocą specjalnej podziałki stanowiącej stałe wyposażenie aparatu Simplicard E-10/ w odstępach odpowiadających kolejnym skurczom mięśnia sercowego. Na wykres elektrokardiogramów nanoszono następnie skalę czasu oraz obliczone wartości względnego pulsu kierowcy, stanowiące stosunek pulsów : odczytanego i zmierzonego w stanie spoczynku. Za stan spoczynku uznano sytuację całkowitego odprężenia, nie poprzedzoną i nie poprzedzającą żadnej czynności stresogennej. Wyrażenie stanu emocjonalnego poprzez względny puls miało na celu zobiektywizowanie tego miernika, a tym samym zmniejszenie wpływu na wyniki pomiaru indywidualnych cech osobowych poszczególnych kierowców, biorących udział w badaniach.

Informacje zarejestrowane na taśmie filmowej były w pierwszej fazie odczytywane na przeglądarce, a następnie przetwarzane na mikrokomputerze ZX-Spectrum. Do obliczeń parametrów ruchu wykorzystano między innymi następujące zależności:

- prędkość k-tego pojazdu, znajdującego się w zasięgu obiektywu kamery , [km/h] :

$$v_k = \left| \bar{v}_{T(i,j)} - 3600 \frac{L \cdot f \cdot S \cdot (n-1)}{(j-i) \cdot t} \cdot \left( \frac{1}{l_i} - \frac{1}{l_j} \right) \right| \quad (1)$$

- czas bieżący pomiaru, odpowiadający i-tej klatce filmu, [s] :

$$T_i = \frac{i-1}{n-1} \cdot t \quad (2)$$

- luka odległości między pojazdem testowym a pojazdem liderem lub pojazdem poruszającym się po pasie przeciwbieżnym, [m] :

$$\Delta x = 0,001 \left[ f \cdot \left( \frac{L \cdot S \cdot f}{l_i} + 1 \right) - d \right] \quad (3)$$

gdzie:

$\bar{v}_{T(i,j)}$  - średnia prędkość pojazdu testowego w przedziale czasu odpowiadającym odstępowi od i-tej do j-tej klatki filmu, [km/h]  
/odstęp ten przyjmowano zwykle równy 10 s/

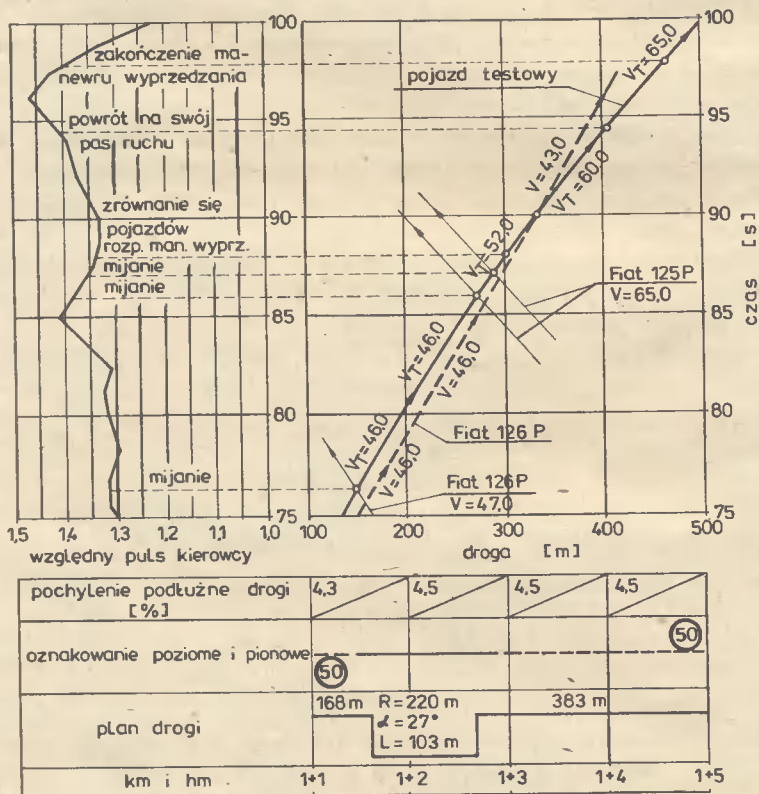
$L$  - rzeczywista szerokość pojazdu k, [mm] ,

$l_i, l_j$  - szerokości pojazdu k na ekranie przeglądarki, odczytane od powiększenia z i-tej oraz j-tej klatki filmu, [mm] ,

$f$  - ogniskowa obiektywu kamery filmowej, [mm] ,

- S - skala powiększenia klatki filmu na ekranie przeglądarki,  
 n - liczba klatek filmu wykorzystana przy przejeździe danego odcinka pomiarowego,  
 t - czas ekspozycji filmu odpowiadający liczbie n klatek filmu, [s] ,  
 d - odległość między płaszczyzną zdjęcia a płaszczyzną czołową pojazdu testowego, [mm] .

Ostateczną postać wyników badań stanowiły wykresy zbiorcze /rys.1/, obejmujące cztery niezależne źródła danych /z taśmy perforacyjnej, filmowej, EKG i dokumentacji technicznej drogi/. Wykresy te, wykonane w układzie współrzędnych "droga-czas", zapewniały przejrzysty obraz zmieniających się warunków drogowo-ruchowych oraz stanu emocjonalnego kierowcy. Stanowiły więc bazę danych wygodną do dalszych, szczegółowych analiz ruchu.



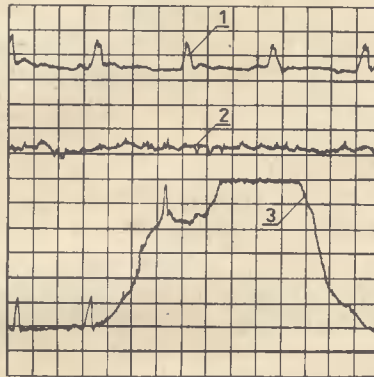
Rys.1. Fragment wykresu zbiorczego wyników badań psychofizjologicznej reakcji kierowcy

## 4. DOŚWIADCZENIA WYNIKAJĄCE Z ZASTOSOWANEJ METODY POMIAROWEJ

## 4.1. Aparatura pomiarowa

Na bazie przeprowadzonych doświadczeń uznano opisaną w pracy metodę badań za wystarczająco dokładną do oceny wpływu warunków drogowo-ruchowych na reakcję psychofizjologiczną kierowcy.

Zastosowany elektrokardiograf typu Simpli-card E-10, wyposażony w specjalne urządzenia przeciwzakłóceńowe, umożliwił, w zasadzie, w miarę poprawny zapis pulsu kierowcy /patrz rys.2 - przypadek 1/. Do przyczyn powo-



oznaczenia: 1 - zapis prawidłowy  
2,3 - zapis nieprawidłowy

Rys.2. Przykłady elektrokardiogramów

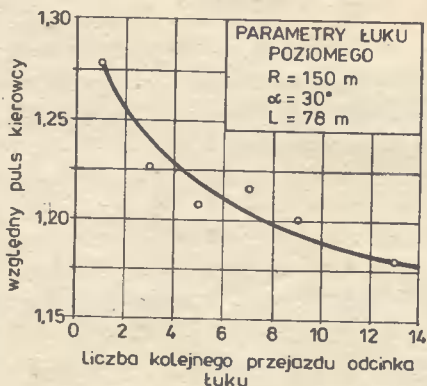
dujących jednak zniekształcenia tego zapisu mogą należeć dodatkowe, silne źródła zakłóceń [9,10]. Są nimi napięcia mięśniowe, czynnościowe różnych grup mięśni szkieletowych, napięcia kontaktowe pomiędzy powierzchnią skóry i elektrody. Powodują one sporadyczne, nieregularne drgania, czyniąc elektrokardiogram nieczytelnym /patrz rys.2 - przypadek 2/. Innymi przyczynami zniekształceń elektrokardiogramu mogą być: zbyt luźne lub zbyt mocne przyleganie elektrod do skóry, kontakt przewodów kabla z elektrodami, nadłamanie przewodów, zwarcia między przewodami, stykanie się rąk z tułowiem, zetknięcie się nóg oraz gwałtowne ruchy tułowia. W wyniku tych czynników może następować niestabilność lub falowanie linii izoelektrycznej, a w skrajnych przypadkach - wyjście znacznika zapisu EKG poza taśmę papierową /patrz rys. 2 - przypadek 3/. W badaniach należy więc zwracać szczególną uwagę na: sposób zamocowania elektrod, ułożenie kabli w samochodzie, zachowanie się kierowcy w trakcie jazdy, itp.

W dalszych pracach nad metodą badań psychofizjologicznej reakcji kierowcy pożądane byłoby, przede wszystkim zastąpienie w zestawie aparatury - kamery filmowej innym urządzeniem, umożliwiającym automatyczny i bezpośredni zapis cech ruchu pojazdów. Stosowanie kamery filmowej wiązało się bowiem z dużą pracochłonnością przetwarzania danych, a także w przypadku pojazdów mijanych, małą dokładnością pomiaru.

#### 4.2. Kierowca

Przeprowadzone badania wykazały, że na poziom emocjonalny kierowcy w procesie ruchu, obok stanu psychicznego, wpływ ma bardzo wiele czynników związanych z drogą i ruchem. Sam fakt prowadzenia pojazdu /w warunkach ruchu swobodnego, na prostym i poziomym odcinku drogi/ powodował wzrost pulsu, w stosunku do stanu beczynności i psychicznego odprężenia, przeciętnie o około 20 %. Ponadto stwierdzono, że skumulowanie w jakimś określonym czasie kilku stressogennych czynników drogowo-ruchowych powodowało narastanie u kierowcy pobudzenia emocjonalnego. Fakty te znacznie utrudniały poprawne planowanie eksperymentu. Warunki pomiaru musiały być więc dobierane szczegółowo, w sposób umożliwiający maksymalną eliminację wpływu na stan psychofizjologicznej reakcji kierowcy tych czynników, które nie były celem analizy.

Istotne znaczenie przy planowaniu eksperymentu miał również fakt zmniejszania się stanu emocjonalnego u kierowców przy kolejnym przejeździe tego samego odcinka drogi /patrz rys.3/. Dowodzi to, że znajomość trasy przez kierowcę ma duży wpływ na jego zachowanie się w ruchu drogowym. Należy więc liczyć się z konsekwencjami utraty obiektywności wyników badań przy powtarzaniu eksperymentu z udziałem tego samego kierowcy i na tym samym odcinku drogi.

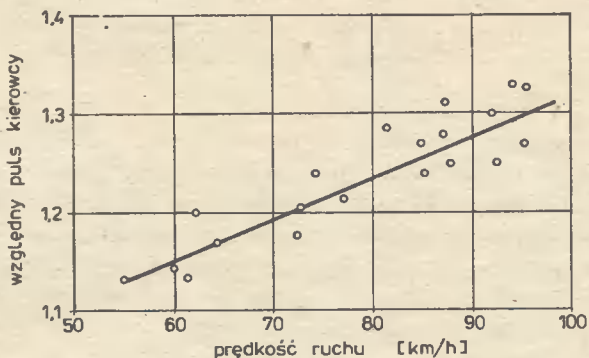


Rys.3. Zależność względnego pulsu kierowcy od liczby kolejnego przejazdu odcinka łuku poziomego

Zauważono również, że w początkowym przedziale czasu badań, świadomość kierowcy o kontroli jego poziomu emocjonalnego, powodowała nieuzasadnioną sytuacją drogowo-ruchową, wzrost pulsu. Chwilowy wzrost badanego wskaźnika, nie znajdujący obiektywnego wytłumaczenia obserwowano, co prawda sporadycznie, także w czasie dalszego przejazdu pomiarowego. Wynikało to przypuszczalnie ze zmian psychicznych kierowcy, spowodowanych np. jakimś wspomnieniem, czy myśleniem związaną z ruchem drogowym.

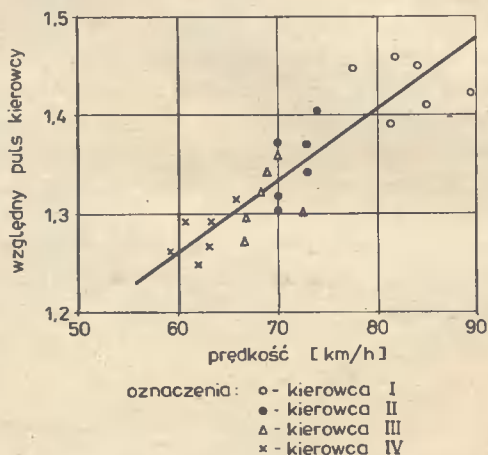
W danej sytuacji drogowo-ruchowej reaktywność emocjonalna kierowcy determinowana jest głównie jego stanem fizjologicznym oraz wrażliwością psychiczną. Wiadomo również, że poszczególni kierowcy mogą różnić się pod względem tych cech. Dokonywanie więc oceny warunków ruchu poprzez poziom emocjonalny bezpośrednich użytkowników drogi jest sposobem złożonym, i to zarówno z punktu widzenia doboru do badań kierowców, jak i wyboru miernika tej oceny. Jak już wspomniano, w celu zobiektywizowania wyników pomiaru, jako miernik warunków ruchu przyjęto względną częstość skurczów mięśnia sercowego kierowcy. Miał on zapewnić szacowanie poziomu napięcia emocjonalnego kierowców przy znacznym wyeliminowaniu wpływu zróżnicowania ich indywidualnych cech osobowych. Miernik ten okazał się jednak mało obiektywny. Uzyskano bowiem duży rozrzut wartości tego miernika między poszczególnymi kierowcami, w niektórych sytuacjach drogowo-ruchowych.

Analiza wyników badań doprowadziła do spostrzeżenia, że wartość względnego pulsu kierowcy, w danych warunkach drogowo-ruchowych, zależy w dużym stopniu od przyjętego przez niego ryzyka. Ilustracją związku między prędkością jazdy a względnym pulsem kierowcy jest rysunek 4. Wyniki te dotyczą swobodnego ruchu przy zadanej prędkości na prostym, poziomym odcinku drogi dwupasowej, dwukierunkowej.



Rys.4. Zależność względnego pulsu kierowcy od prędkości ruchu /odcinek prosty, poziomy dwupasowej drogi dwukierunkowej/

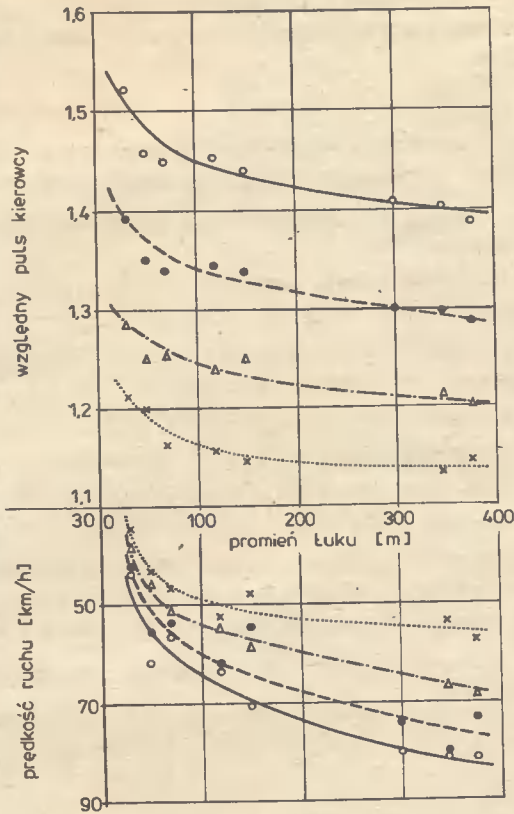
Ponadto spostrzeżono, że sposób prowadzenia samochodu przez poszczególnych kierowców ma charakter indywidualny, odpowiadający przyjętemu przez nich poziomowi subiektywnego ryzyka i tym samym poziomowi napięcia emocjonalnego. Innymi słowy, kierowca w trakcie jazdy stara się dostosować poziom podejmowanego przez siebie ryzyka tak, aby utrzymać swój stan emocjonalny na stałym, z góry ustalonym poziomie, np. akceptując - lub nie - dane warunki do wyprzedzania, albo po prostu jadąc wolniej lub szybciej. Potwierdzeniem tego spostrzeżenia są wyniki badań przedstawione na rysunkach 5 i 6. Charakteryzują one sposób jazdy czterech wybranych kierowców na jednym z odcinków pomiarowych /rys.5/ oraz w zależności od krzywizny poziomej drogi /rys.6/. Należy podkreślić, że podobne sugestie wysuwali już dużo wcześniej Taylor [12] oraz Preston [8] na podstawie badań reakcji skórno-galwanicznej kierowców.



Rys.5. Wyniki badań względnego pulsu czterech wybranych kierowców uzyskane na jednym z odcinków pomiarowych

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, dla dalszych prac można zaproponować inny, bardziej obiektywny miernik warunków ruchu, a mianowicie względny puls kierowcy odpowiadający jeździe przy przeciętnym /z wszystkich lub wybranej grupy uczestników ruchu/ poziomie ryzyka, tj. co do prędkości, akceptacji luk przy wyprzedzaniu itp. Pomiar tego miernika można zrealizować bądź poprzez wybór do badań kierowcy o sposobie jazdy odpowiadającym przeciętnym warunkom lub poprzez zaangażowanie kilku kierowców o zróżnicowanym charakterze zachowań, a następnie odpowiednią interpolację wyników pomiaru.





oznaczenia: jak na rys. 5.

Rys.6. Wyniki badań względnego pulsu czterech wybranych kierowców uzyskane na łukach poziomych dwupasowej drogi dwukierunkowej o szerokości jezdni 6,0 m

#### LITERATURA

- [1] Cleary A.: Instrumentalizacja badań psychologicznych. PWN, Warszawa 1984
- [2] Dembowy M., Jaśtak M.: Badania wzajemnego oddziaływania pojazdów w potoku za pomocą metody jazdy za liderem. Praca magisterska napisana pod kierunkiem I.Szczuraszka. ATR, Bydgoszcz 1986
- [3] Helander M.G.: Physiological reactions of drivers as indicators road traffic demand. 54 th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington 1975

- [4] Kraskowska I., Kwiatkowski W.: Warunki ruchu a stan psychofizyczny kierowcy. Praca magisterska napisana pod kierunkiem T. Szczuraszka. ATR, Bydgoszcz 1985
- [5] Korczyński J.: Elektrokardiografia. PZWL, Warszawa 1985
- [6] Łobanow E.M.: Projektowaniye dorog i organizaciya dwizeniya s ucetom psichofizjologii woditiela. Moskwa, Transport 1980
- [7] Näätänen R., Summala H.: Zachowanie użytkowników dróg a wypadki drogowe. PWN, Warszawa 1985
- [8] Preston B.: Insurance classifications and drivers' galvanic skin response. Ergonomics, 1969 nr 12
- [9] Szczuraszek T.: Metoda badania psychofizycznej reakcji kierowcy. Materiały Konferencji naukowo-technicznej nt. Inżynieria ruchu, teoria i praktyka. Wrocław 1987
- [10] Szczuraszek T.: Próba ustalenia granicy między ruchem zależnym i niezależnym w strumieniu. Materiały IV Konferencji naukowej. Politechnika Warszawska, Warszawa 1985
- [11] Szymański T., Syrocki L.: Wpływ wybranych elementów geometrycznych trasy drogowej na reakcję psychofizyczną kierowcy. Praca magisterska napisana pod kierunkiem T. Szczuraszka, ATR Bydgoszcz 1987
- [12] Taylor D.H.: Drivers' galvanic skin response and the risk of accident. Ergonomics, 1964 nr 7

#### A METHOD OF INVESTIGATION OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL REACTION OF THE DRIVER

##### Summary

The article is concerned with the question of how to treat the author's method of investigation for psychophysiological reaction of a driver and the conclusions of this problem are presented. The relative driver's pulse during driving with the mean level of the risk is proposed as the traffic measurer.

#### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ ВОДИТЕЛЯ

##### Резюме

Работа содержит описание метода исследования психофизиологии водителя и опыта вытекающего из его применения. В работе предложен как показатель условий движения относительный пульс водителя, соответствующий езде при среднем уровне риска.

Jan Kempa

WPLYW POCHYLENIA PODŁUŻNEGO  
NA WARUNKI RUCHU POJAZDÓW NA KRZYWYCH POZIOMYCH

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu pochylenia podłużnego na warunki ruchu pojazdów na krzywych poziomach.

Jednym z istotnych czynników drogowych kształtujących warunki ruchu na krzywych poziomych jest pochylenie podłużne trasy drogowej. Badania przeprowadzone w ZSRR [1] wykazały, że w porównaniu do krzywych położonych na odcinkach poziomych, prędkości pojazdów na krzywych na wzniesieniach i spadkach różnią się. Wykazano, że prędkości pojazdów na krzywych położonych na spadkach są mniejsze od prędkości na krzywych o identycznych parametrach geometrycznych lecz na wzniesieniach. Fakt ten wzięto pod uwagę w belgijskim normatywie projektowania dróg [2], w którym wartości promieni krzywych położonych na wzniesieniach są mniejsze o 5-10 %, a na spadkach o 10-25 % większe niż dla krzywych położonych w poziomie.

Celem przeprowadzonych w ostatnich dwóch latach badań było między innymi poznanie specyfiki warunków ruchu pojazdów na krzywych położonych na pochyleniach podłużnych, przekraczających wartość 2,5 %. Wyniki badań będą również stanowiły podstawę opracowania nowego sposobu oznakowania pionowego krzywych poziomych na pochyleniach podłużnych, gdyż sposoby przedstawione w pracach [3, 4] nie uwzględniały przypadków, gdy pochylenie podłużne przekraczało wartość 2,5 %.

W poniżej przedstawionej analizie wyników badań, jako mierników warunków ruchu użyto: prędkości jazdy, stosunku dopuszczalnego współczynnika szepności poprzecznej do wykorzystywanego przez kierowców, przyjętego jako współczynnik bezpieczeństwa [5] i przyspieszenia poprzecznego. Za pomocą tych wskaźników, na przykładzie wyników badań dla trzech krzywych poziomych, starano się wykazać odmienność warunków ruchu pojazdów na krzywych poziomych położonych na pochyleniach podłużnych, przekraczających wartość 2,5%. Wartości parametrów geometrycznych i technicznych badanych krzywych poziomych oraz ich lokalizację przedstawiono poniżej w tablicy.

Charakterystyka odcinków pomiarowych

nr odcinka pomiarowego wyszczególnienie	1	2	3
1	2	3	4
nr drogi	95	7	a/
km + hm	369 + 750	693 + 320	8 + 200
promień [m]	290	150	75
kąt zwrotu [stopnie]	32	60	59
pochylenie podłużne [%]	$\pm 5,3$	$\pm 5,0$	$\pm 9,3$
szerokość jezdni [m]	7,0		
rodzaj poboczy	gruntowe		
szerokość poboczy [m]	1,0	1,5	1,0
przeszkody boczne	brak		
otoczenie drogi	pola uprawne		

a/ droga Zakopane-Czarny Dunajec

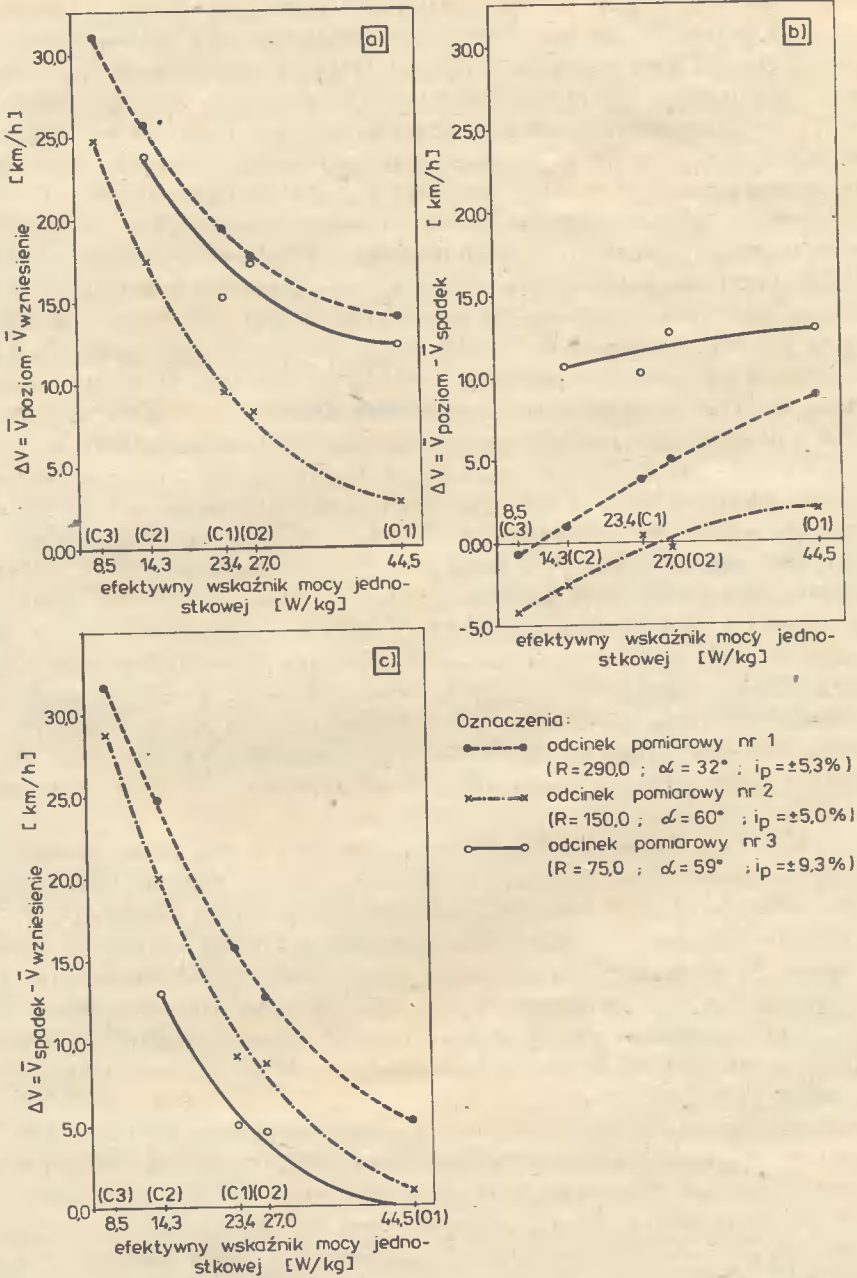
Prędkości jazdy pojazdów mierzono za pomocą urządzenia URD-1 [6]. Maksymalny błąd wyznaczenia prędkości nie przekraczał 1,0 km/h. Minimalną wielkość próby pojazdów do badań określono na poziomie ufności 0,95. Pomiarami objęto tylko pojazdy swobodne. Zgodnie z propozycją zawartą w pracy [7] pojazdy podzielono na pięć następujących grup rodzajowych:

- a/ osobowe szybkie O1,  $N_e = 44,5$  W/kg,
- b/ osobowe wolne O2,  $N_e = 27,0$  W/kg,
- c/ ciężarowe lekkie C1,  $N_e = 23,4$  W/kg,
- d/ ciężarowe średnie C2,  $N_e = 14,3$  W/kg,
- e/ ciężarowe ciężkie C3,  $N_e = 8,5$  W/kg,

gdzie symbolem  $N_e$  oznaczono średnią wartość efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej dla danej grupy rodzajowej [7].

Analiza wyników badań wykazuje, że czynnik drogowy, jakim jest pochylenie podłużne ( $i_p$ ) ma wpływ na warunki ruchu pojazdów na krzywych poziomych. Na rysunku 1 przedstawiono różnice między średnimi prędkościami pojazdów uzyskane na krzywych poziomych, położonych na:

- odcinkach poziomych  $/i_p \leq 2,5$  % / i wzniesieniach  $/i_p > + 2,5$  % / rysunek 1a,
- odcinkach poziomych  $/i_p \leq 2,5$  % / i spadkach  $/i_p < - 2,5$  % / rysunek 1b,



Rys.1. Różnice między średnimi prędkościami pojazdów poruszających się po krzywych poziomych położonych na: a/ odcinkach poziomych i wzniesieniach; b/ odcinkach poziomych i spadkach; c/ spadkach i wzniesieniach; w zależności od ich efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej

- spadkach  $i_p < - 2,5 \%$  i wzniesieniach  $i_p > + 2,5 \%$  rysunek 1c, w zależności od ich efektywnych wskaźników mocy jednostkowych.

Z rysunku 1a wynika, że największe różnice między średnimi prędkościami, uzyskiwanymi na krzywych położonych na odcinkach poziomych i na krzywych położonych na wzniesieniach, zaobserwowano na krzywych o parametrach odcinka pomiarowego nr 1. Różnice te, w przypadku samochodów osobowych O1 i O2, wynoszą około 15,0 km/h, natomiast dla ciężkich samochodów ciężarowych C3 przeszło 30 km/h. Fakt ten można wytłumaczyć następująco. Na krzywych o parametrach geometrycznych odpowiadającym parametrom analizowanych odcinków pomiarowych, ale położonych w poziomie, największe prędkości pojazdów, bo prawie zbliżone do prędkości na prostych poziomych odcinkach dróg, notowane są na odcinku pomiarowym nr 1. Stąd wpływ pochylenia podłużnego musiał być najbardziej odczuwalny właśnie na tym odcinku pomiarowym. Natomiast w przypadku krzywych o parametrach odcinka pomiarowego nr 3, równie wysokie różnice w prędkościach pojazdów, wytłumaczyć można tym, że pojazdy na nich poruszały się już z prędkościami odpowiadającymi prędkościom równoważnym. Z tego też względu różnice w prędkościach pojazdów uzyskiwanych na krzywych w poziomie a krzywymi na pochyleniach podłużnych siłą rzeczy muszą być również tak znaczne. Z kolei, w przypadku odcinka pomiarowego nr 2, prawie dwukrotnie mniejsze różnice w prędkościach pojazdów grupy C1 i O2, a dla grupy O1 nawet czterokrotnie, w stosunku do odcinków pomiarowych nr 1 i 3, spowodowane są tym, że na krzywych w poziomie o parametrach geometrycznych odpowiadających odcinkowi nr 2, pojazdy ze względu na dużą wartość kąta zwrotu, uzyskują niskie wartości prędkości w porównaniu do ich potencjalnych możliwości. Tak więc istniejący dość duży zapas mocy silnika tych grup rodzajowych pojazdów, zostaje wykorzystywany na odcinkach o dużych pochyleniach podłużnych.

Analizując natomiast zależności przedstawione na rysunku 1b można stwierdzić, że różnice w prędkościach pojazdów /zwłaszcza grup C2 i C3/ obserwowane na spadkach, w porównaniu do odcinków położonych w poziomie, są zdecydowanie mniejsze niż analogiczne różnice w przypadku wzniesień. Wynika to z faktu, że kierowcy biorą pod uwagę ewentualność nagłego hamowania i nie dopuszczają aby na tak trudnym technicznie do jazdy elemencie trasy drogowej, jakim są spadki, pojazd osiągał znaczne wartości prędkości. Szczególnie widoczne jest to na odcinku pomiarowym nr 3, gdzie pochylenie podłużne wynosiło aż 9,3 %.

Celem pełniejszego zilustrowania wpływu pochylenia podłużnego na warunki ruchu przedstawiono dodatkowo zależność różnic prędkości pojazdów na krzywych poziomych położonych na spadkach i wzniesieniach /rys.1c/.

Uzyskane wyniki badań i przeprowadzona ich analiza umożliwiła oszacowanie poziomu bezpieczeństwa ruchu mierzonego wartością współczynnika bezpieczeństwa /WB/. Analizę przeprowadzono dla wszystkich rozważanych grup rodzajowych pojazdów dla kwantyla prędkości 98 %, przy założeniu, że wartość promienia trajektorii ruchu pojazdów odpowiada wartości promienia geometrycznego osi drogi, przez co uwzględniono niekorzystny przypadek z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu. Wartości współczynnika bezpieczeństwa wyzna-

czono z następującego wzoru [5] :

$$WB = \frac{f_R^{\text{dop}}}{f_R^W} = \frac{0,198 \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,592 \left(\frac{V}{100}\right) + 0,500}{\frac{V^2 - 127, R \cdot q}{V^2 \cdot q + 127, R}} \quad (1)$$

gdzie:

- $f_R^{\text{dop}}$  - dopuszczalny współczynnik szepności poprzecznej,
- $f_R^W$  - wykorzystywany współczynnik szepności poprzecznej,
- $V$  - prędkość pojazdu [km/h] ,
- $R$  - promień krzywej poziomej [m] ,
- $q$  - maksymalne pochylenie poprzeczne jezdni na krzywej.

Uzyskane zależności współczynnika bezpieczeństwa od efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej pojazdów poruszających się po krzywych poziomych, położonych na wzniesieniach i spadkach ilustruje rysunek 2. Przyjmując wartości  $WM \geq 1,25$  za bezpieczne /istnieje wtedy 20 % zapas szepności poprzecznej/, generalnie można stwierdzić, że bardziej niebezpieczne warunki ruchu występują na spadkach.

W celu poprawy bezpieczeństwa ruchu można by zastosować sposoby oznakowania krzywych poziomych zaproponowane w pracach [3 , 4] z tym, że należałoby wyznaczyć nowe wartości "dopuszczalnej prędkości", czego wymaga specyfika warunków ruchu pojazdów na pochyłych odcinkach dróg.

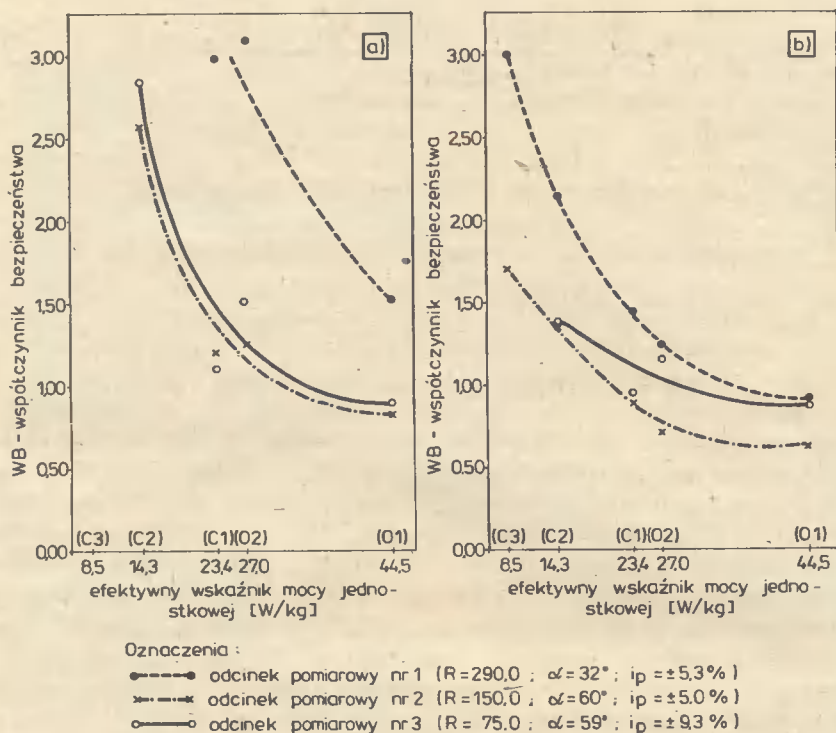
Wypadki drogowe na krzywych poziomych są nie tylko konsekwencją utraty stateczności przez samochód, ale wynikają również z przemęczenia kierowcy spowodowanego nieuwzględnieniem przy projektowaniu krzywych poziomych kryteriów wygody ruchu. Jednym z tych kryteriów może być wartość przyspieszenia poprzecznego, którą wyznaczyć można z następującego wzoru [8] :

$$a_p = -\frac{V^2}{R} - g \cdot q \quad [m/s^2] \quad (2)$$

gdzie:

- $V$  - prędkość pojazdu [m/s] ,
- $R$  - promień osi drogi [m] ,
- $g$  - przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>] ,
- $q$  - maksymalne pochylenie poprzeczne jezdni na krzywej poziomej.

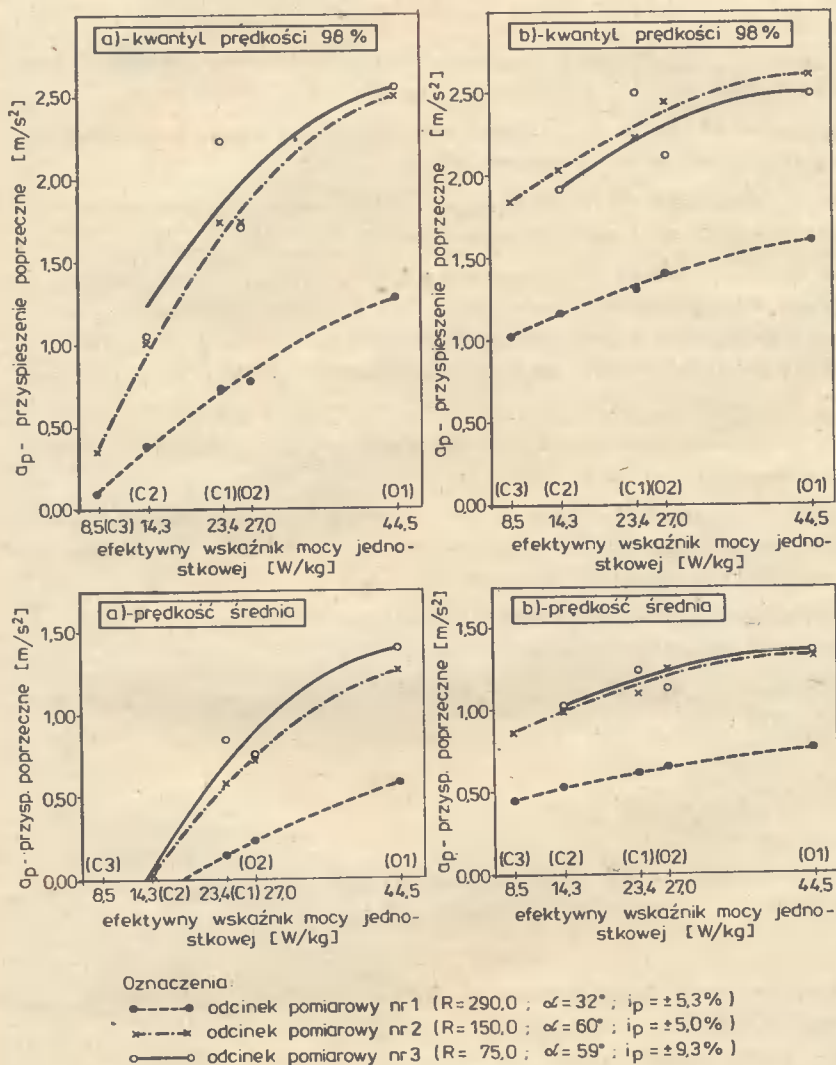
Analizując uzyskane zależności przyspieszenia poprzecznego od efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej /rys.3/, szczególny niepokój musi wzbudzać fakt osiągnięcia a nawet przekraczania wartości przyspieszenia poprzecznego równego 2,0 m/s<sup>2</sup> na odcinkach pomiarowych nr 2 i 3. Osiąganie tak dużych wartości  $a_p$  powoduje, że przejazd po krzywej jest bardzo nieprzyjemny i związany jest ze znacznym emocjonalnym napięciem kierowcy.



Rys.2. Zależność współczynnika bezpieczeństwa od efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej pojazdów poruszających się po krzywych poziomych na :  
a/ wzniesieniach; b/ spadkach

Przeprowadzona analiza wyników badań dowiodła, że warunki ruchu pojazdów na krzywych położonych na pochyleniach i w poziomie wyraźnie się różnią. Z tego względu, zarówno zasad projektowania, jak i organizacji ruchu, odnoszących się do krzywych położonych w poziomie, nie można bezpośrednio adaptować do krzywych o pochyleniach podłużnych, przekraczających wartość 2,5 %.





Rys.3. Zależność przyspieszenia poprzecznego od efektywnego wskaźnika mocy jednostkowej pojazdów poruszających się po krzywych poziomych na: a/ wzniesieniach, b/ spadkach

## LITERATURA

- [1] Babkow W.F.: *Łandszaftnoje projektirowanije awtomobilnych dorog*. Transport, Moskwa 1968
- [2] Chrostowska H., Rolla S., Wrześniowski Z.: *Autostrady. Projektowanie, budowa, ekonomika*. WKiŁ, Warszawa 1975
- [3] Kempa J., Szczuraszek T.: *Propozycja nowego sposobu oznakowania pionowego krzywych poziomych*, *Drogownictwo* nr 6, 1986
- [4] Kempa J., Szczuraszek T.: *Koncepcja zmiany dotychczasowego sposobu oznakowania krzywych poziomych*. *Materiały krajowego sympozjum nt. : Wnioski wynikające z obowiązywania nowego Prawa o ruchu drogowym w aspekcie bezpieczeństwa, sprawności i ekonomiki ruchu*. SITK, Bydgoszcz 1986
- [5] Kempa J.: *Bezpieczeństwo ruchu na krzywych poziomych w aspekcie szczepności*. *Drogownictwo* nr 2, 1983
- [6] Kempa J., Pawłowski M., Szczuraszek T.: *Urządzenie do pomiaru parametrów ruchu drogowego*. *Konferencja naukowo-techniczna nt. : Inżynieria ruchu, teoria i praktyka*. Wrocław 1987
- [7] Szczuraszek T.: *Propozycja nowej klasyfikacji rodzajowej pojazdów*. *Z. Nauk. ATR Bydgoszcz /w druku/*
- [8] Szczuraszek T.: *Wygoda ruchu na krzywych w planie drogi*. *Drogownictwo* nr 1, 1983

THE INFLUENCE OF THE LONGITUDINAL GRADIENT ON VEHICLES  
SPEED ON HORIZONTAL CURVES

Summary

This paper presents the influence of the longitudinal gradient on vehicles' speed on horizontal curves.

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО УКЛОНА НА УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Резюме

В работе представлены расчёты исследования условий движения автомобилей на горизонтальных кривых в зависимости от продольного уклона.

Jan Kempa

### WPŁYW PRZESZKÓD BOCZNYCH NA PRĘDKOŚCI POJAZDÓW \*/

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni na prędkości pojazdów, na dwupasowych drogach dwukierunkowych.

#### 1. WSTĘP

Jednym z czynników drogowych, wpływających na warunki ruchu są przeszkody boczne. Faktem potwierdzającym słuszność powyższego stwierdzenia, może być uwzględnianie tego czynnika w wielu metodach wyznaczania warunków ruchu, jak na przykład HCM-85 [1], MADI-82 [5], RWPG [9], szwedzkiej [3], jugosławiańskiej [7], kanadyjskiej [8], itd. W Polsce, zagadnienie wpływu przeszkód bocznych na warunki ruchu było badane w aspekcie wpływu położenia i rodzaju przeszkody bocznej na trajektorie pojazdów [2].

Celem niniejszej pracy jest ustalenie wpływu odległości przeszkód bocznych - dwustronnych od krawędzi jezdni na prędkości pojazdów, na dwupasowych drogach dwukierunkowych.

#### 2. TEREN BADAWCZY I METODA BADAŃ

W celu ustalenia wpływu odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni na prędkości pojazdów, wykonano badania na czterech prostych poziomych odcinkach dróg z przeszkodami bocznymi, znajdującymi się w następujących odległościach od krawędzi jezdni: 0,6 m; 1,0 m; 1,2 m; i 2,0 m. Przeszkodami bocznymi były rzędy drzew o średnicy około 1,0 m, rosnące po obu stronach jezdni w odstępach od 10 do 15 m na całej długości badanych odcinków.

---

\*/ Niniejsza praca została przedstawiona na krajowej konferencji naukowo - technicznej nt. "Inżynieria ruchu, teoria i praktyka", zorganizowanej przez Komitet Transportu PAN, Główną Komisję Inżynierii Ruchu SITK, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej oraz Biuro Studiów i Projektów Komunikacji i Inżynierii Miejskiej we Wrocławiu, w 1987 roku.

Obszar badawczy charakteryzował się następującymi cechami:

- szerokość jezdni 7,0 m,
- nawierzchnia bitumiczna,
- długość prostej od 700 do 1000 m,
- badane odcinki poprzedzone krzywymi poziomymi o promieniach większych od 500 m i kątach zwrotu mniejszych od  $30^{\circ}$ ,
- pochylenie niwelety nie przekraczające 1,5 %,
- brak ograniczeń prędkości,
- teren nie zabudowany,
- warunki atmosferyczne: temperatura od 10 do  $30^{\circ}\text{C}$ , bezwietrznie lub słaby wiatr.

Pomiaru prędkości chwilowej dokonywano w środku odcinka badawczego za pomocą urządzenia URD-1 [4]. Maksymalny błąd wyznaczania prędkości nie przekraczał 1 km/h. Pomiarami objęto tylko pojazdy swobodne. Minimalną wielkość próby pojazdów do badań określono na poziomie ufności 0,95.

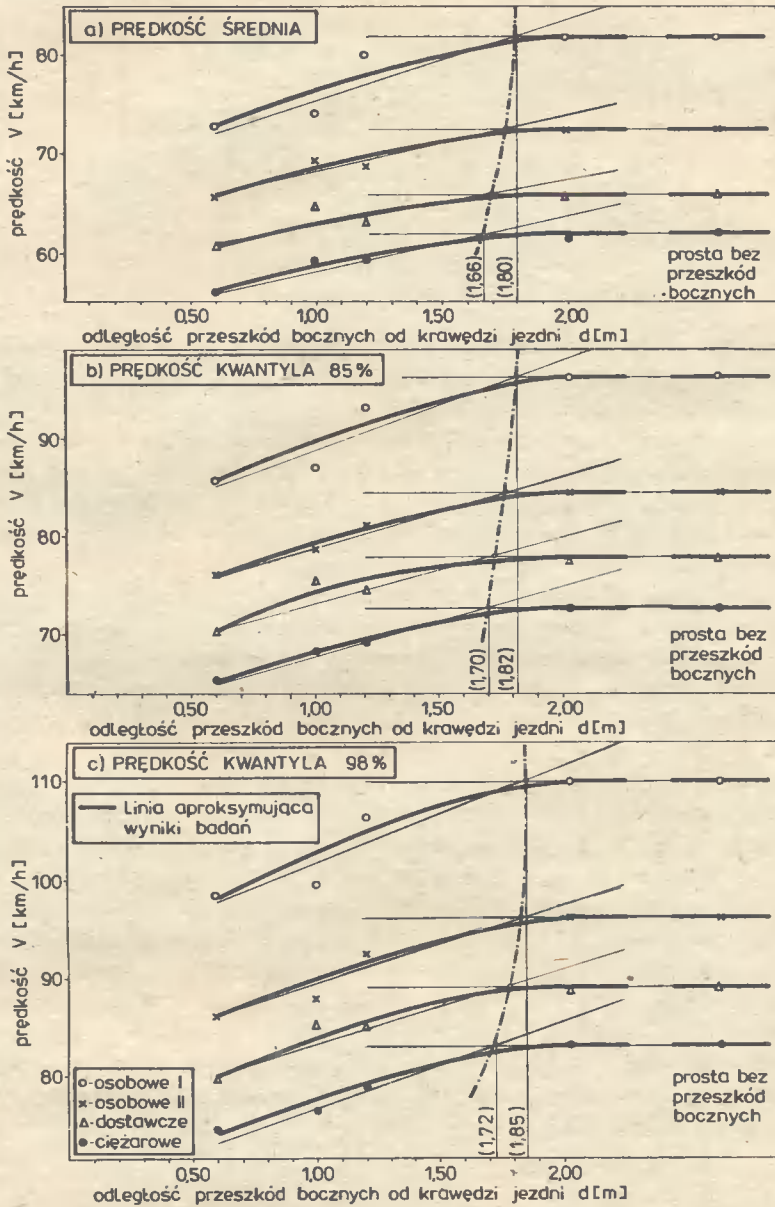
### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na rysunku 1 przedstawiono uzyskane zależności wpływu odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni na prędkości chwilowe, analizowanych grup rodzajowych pojazdów. Zgodnie z pracą [6], pojazdy podzielono na: osobowe I /samochody o wysokim i średnim standardzie, np.: Mercedes, Polonez, Fiat 125P, Łada, Dacia, itp/, osobowe II /samochody o niskim standardzie: Fiat 126P, Trabant, Wartburg, Syrena, itp/, dostawcze /Żuk, Nysa, itp./ autobusy i ciężarowe bez przyczep/. Ze względu na zbyt małą liczebność próby, nie uzyskano omawianej zależności dla ciężkich samochodów ciężarowych /ciężarowe z przyczepami, ciężkie ciągniki siodłowe/. Zależność przedstawiona na rysunku 1a dotyczy średnich prędkości chwilowych, na rysunku 1b prędkości chwilowej kwantyla 85 %, a na rysunku 1c prędkości chwilowej kwantyla 98%.

Wyniki badań wskazują, że wraz ze zmniejszeniem odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni zmniejsza się prędkość pojazdów. I tak, zmniejszenie odległości przeszkód bocznych z 2,0 m do 0,6 m powoduje np. spadki średnich prędkości samochodów osobowych I o 9,0 km/h, a ciężarowych o 6,3 km/h. Przyczyny, powodującej tak duże spadki prędkości, upatrywać należy głównie w tym, że kierowcy biorą pod uwagę fakt, iż w przypadku nagłego utracenia panowania nad samochodem, najechanie na przeszkodę z mniejszą prędkością, może znacznie złagodzić skutki wypadku. Dalszymi przyczynami, powodującymi spadki prędkości są: ograniczone pole widoczności, jak również i to, że kierowcy mijający stałe przeszkody, tym bardziej odczuwają prędkość pojazdu, im bliżej znajdują się one krawędzi jezdni. Zależności między prędkościami pojazdów a odległością przeszkód bocznych opisano modelami regresji o postaci:

- wielomianu 3-go stopnia /model I/

$$v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 \quad [\text{km/h}] \quad (1)$$



Rys.1. Zależność prędkości pojazdów od odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni

- wielomianu 2-go stopnia /model II/

$$v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 \quad [\text{km/h}] \quad (2)$$

- funkcji potęgowej /model III/

$$v = b d^n \quad [\text{km/h}] \quad (3)$$

gdzie:

$a_0, a_1, a_2, a_3, b, n$  - współczynniki regresji,  
 $d$  - odległość przeszkód bocznych od  
 krawędzi jezdni [m] .

Dla powyższych modeli przeprowadzono aproksymację wyników badań metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskane wartości współczynników regresji, korelacji i determinacji przedstawiono w tablicy.

Wyniki badań najdokładniej aproksymowane są przez modele I i II. Jednakże w praktycznym wykorzystaniu modele te są dość uciążliwe. Z tego względu zależność między odległością przeszkód bocznych od krawędzi jezdni a prędkością pojazdów opisano funkcją potęgową /model III/, która z wystarczającą dokładnością odzwierciedla wyniki badań.

Analizując dalej rysunek 1a, b, c można stwierdzić, że powyżej pewnej wartości odległości przeszkód bocznych od krawędzi, wykresem funkcji prędkości jest prosta pozioma. Świadczy to o braku wpływu analizowanego czynnika na prędkości pojazdów w tym przedziale. Odległość przeszkód bocznych, porównawszy od której prędkości pojazdów na prostych z przeszkodami są zbliżone do wartości prędkości pojazdów na prostych bez przeszkód, wyznaczono w następujący sposób. Na rysunku 1a, b, c naniesiono wartości prędkości pojazdów na prostych bez przeszkód. Następnie przez te punkty przeprowadzono proste równoległe do osi odciętych. Natomiast uzyskane wyniki badań dla odległości przeszkód bocznych: 0,6; 1,0; 1,2; 2,0 m aproksymowano prostą. Punkty przecięcia się tych prostych, przyjęto jako graniczne wartości odległości przeszkód bocznych, powyżej których nie mają one już wpływu na prędkość pojazdów. W przypadku prędkości średnich - wartość ta, dla analizowanych grup rodzajowych pojazdów, waha się w granicach od 1,6 do 1,8 m. W przypadku prędkości kwantyla 85 % , wartość ta zmienia się od 1,70 do 1,82 m, a dla prędkości kwantyla 98 % od 1,72 do 1,85 m. Można więc stwierdzić, że przeszkody boczne, położone w odległości większej niż 1,85 m od krawędzi jezdni, nie wpływają na prędkości pojazdów.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona powyżej analiza wyników badań dowiodła, że istnieje znaczny wpływ odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni na prędkości pojazdów. Z tego względu, czynnik ten powinien być uwzględniany w opracowywanej obecnie w naszym kraju, nowej metodzie wyznaczania warunków ruchu na dwu-

Tablica 1

Rodzaj samochodu		Poziom prędkości	CHARAKTERYSTYKI BADANYCH MODELI REGRESJI						RW			(RW)2		
			Postać funkcji aproksymującej						model			model		
			model I	model II	model III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
osobowe I	średnia	$V = 133,4 - 1930 \cdot d + 184,1 \cdot d^2 - 50,2 \cdot d^3$	$V = 64,4 + 15,4 \cdot d - 3,2 \cdot d^2$	$V = 76,5 - d \cdot 104$	0,99	0,92	0,91	0,98	0,85	0,83				
	kwantyl 85 %	$V = 149,1 - 2015 \cdot d + 191,6 \cdot d^2 - 52,0 \cdot d^3$	$V = 77,7 + 14,4 \cdot d - 2,5 \cdot d^2$	$V = 89,8 - d \cdot 101$	0,99	0,93	0,92	0,98	0,86	0,85				
	kwantyl 98 %	$V = 167,1 - 217,7 \cdot d + 206,5 \cdot d^2 - 55,9 \cdot d^3$	$V = 90,3 + 14,1 \cdot d - 1,9 \cdot d^2$	$V = 102,9 - d \cdot 100$	0,99	0,94	0,93	0,98	0,88	0,86				
osobowe II	średnia	$V = 33,7 + 92,9 \cdot d - 77,3 \cdot d^2 + 20,2 \cdot d^3$	$V = 61,5 + 8,9 \cdot d - 1,7 \cdot d^2$	$V = 68,7 - d \cdot 0,075$	0,99	0,96	0,98	0,98	0,92	0,96				
	kwantyl 85 %	$V = 82,8 - 265 \cdot d + 31,6 \cdot d^2 - 8,9 \cdot d^3$	$V = 70,5 + 10,6 \cdot d - 1,8 \cdot d^2$	$V = 79,5 - d \cdot 0,087$	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96				
	kwantyl 98 %	$V = 129,8 - 140,6 \cdot d + 135,8 \cdot d^2 - 36,9 \cdot d^3$	$V = 79,2 + 12,5 \cdot d - 1,9 \cdot d^2$	$V = 90,1 - d \cdot 0,097$	0,99	0,96	0,95	0,98	0,92	0,90				
dostawcze	średnia	$V = 10,2 + 148,4 \cdot d - 126,5 \cdot d^2 + 33,1 \cdot d^3$	$V = 55,7 + 10,9 \cdot d - 2,9 \cdot d^2$	$V = 63,4 - d \cdot 0,065$	0,99	0,86	0,88	0,96	0,74	0,77				
	kwantyl 85 %	$V = 239 + 133,4 \cdot d - 110,2 \cdot d^2 + 28,5 \cdot d^3$	$V = 63,0 + 15,2 \cdot d - 3,9 \cdot d^2$	$V = 74,0 - d \cdot 0,079$	0,99	0,95	0,89	0,96	0,89	0,79				
	kwantyl 98 %	$V = 40,0 + 111,5 \cdot d - 87,9 \cdot d^2 + 22,3 \cdot d^3$	$V = 70,6 + 19,1 \cdot d - 4,8 \cdot d^2$	$V = 84,4 - d \cdot 0,090$	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,94				
ciężarowe	średnia	$V = 35,2 + 57,2 \cdot d - 44,5 \cdot d^2 + 11,3 \cdot d^3$	$V = 50,8 + 10,2 \cdot d - 2,2 \cdot d^2$	$V = 58,7 - d \cdot 0,087$	0,99	0,98	0,99	0,96	0,96	0,98				
	kwantyl 85 %	$V = 60,0 + 11,3 \cdot d - 4,0 \cdot d^2 + 0,8 \cdot d^3$	$V = 64,0 + 8,0 \cdot d - 1,0 \cdot d^2$	$V = 68,4 - d \cdot 0,091$	0,99	0,99	0,99	0,96	0,98	0,98				
	kwantyl 98 %	$V = 85,3 - 37,3 \cdot d + 39,5 \cdot d^2 - 10,6 \cdot d^3$	$V = 70,7 + 6,6 \cdot d - 0,08 \cdot d^2$	$V = 77,8 - d \cdot 0,095$	0,99	0,99	0,98	0,96	0,98	0,96				

RW - współczynnik korelacji ; (RW)2 - współczynnik determinacji

pasowych drogach dwukierunkowych. Dotychczas przeprowadzone badania umożliwiają oszacowanie wpływu odległości przeszkód bocznych od krawędzi jezdni, równych i większych od 0,6 m.

Badania, zmierzające do ustalenia wpływu omawianego czynnika na prędkości pojazdów, w całym zakresie odległości oraz rodzaju przeszkód bocznych, będą dalej prowadzone przez autora.

#### LITERATURA

- [1] Highway Capacity Manual 1985. Transportation Research Board Special Report 209, Washington 1985
- [2] Hoppe Ł., Krystek R., Wrześniowski Z.: Przeszkody boczne a warunki ruchu na dwupasowych drogach dwukierunkowych. Drogownictwo nr 5/1979
- [3] Państwowa Dyrekcja Dróg Szwedzkich. Raport nr 197702, TU 131. Przepustowość urządzeń drogowych, długości kolejek i straty czasu
- [4] Pawłowski M., Kempa J., Szczuraszek T.: Urządzenie do pomiaru parametrów ruchu drogowego. Materiały konferencji naukowo-technicznej nt.: "Inżynieria ruchu, teoria i praktyka". Wrocław 1987
- [5] Rukowodstvo po ocenke propusknnoj sposobnosti awtomobilnych dorog. Moskwa, Transport 1982
- [6] Szczuraszek T.: Nowa koncepcja podziału struktury rodzajowej ruchu. Z.Nauk. ATR, Bydgoszcz /w druku/
- [7] Topolnik D.: Raport XVII-th World Road Congress-Sydney 1983. Question III, Interurban roads and motorways
- [8] Yagar S., Van Aerde M.: Geometric and environmental effects and speed of two-lane highways. Transportation Research T. 17a nr 4/1983
- [9] Zalecenia dotyczące określenia istniejącego i perspektywicznego natężenia ruchu na drogach międzynarodowych /tłum. z jęz. ros./Centrum Koordynacyjne RWPG, Sofia 1980



THE INFLUENCE OF THE LATERAL OBSTACLES  
ON VEHICLES SPEED

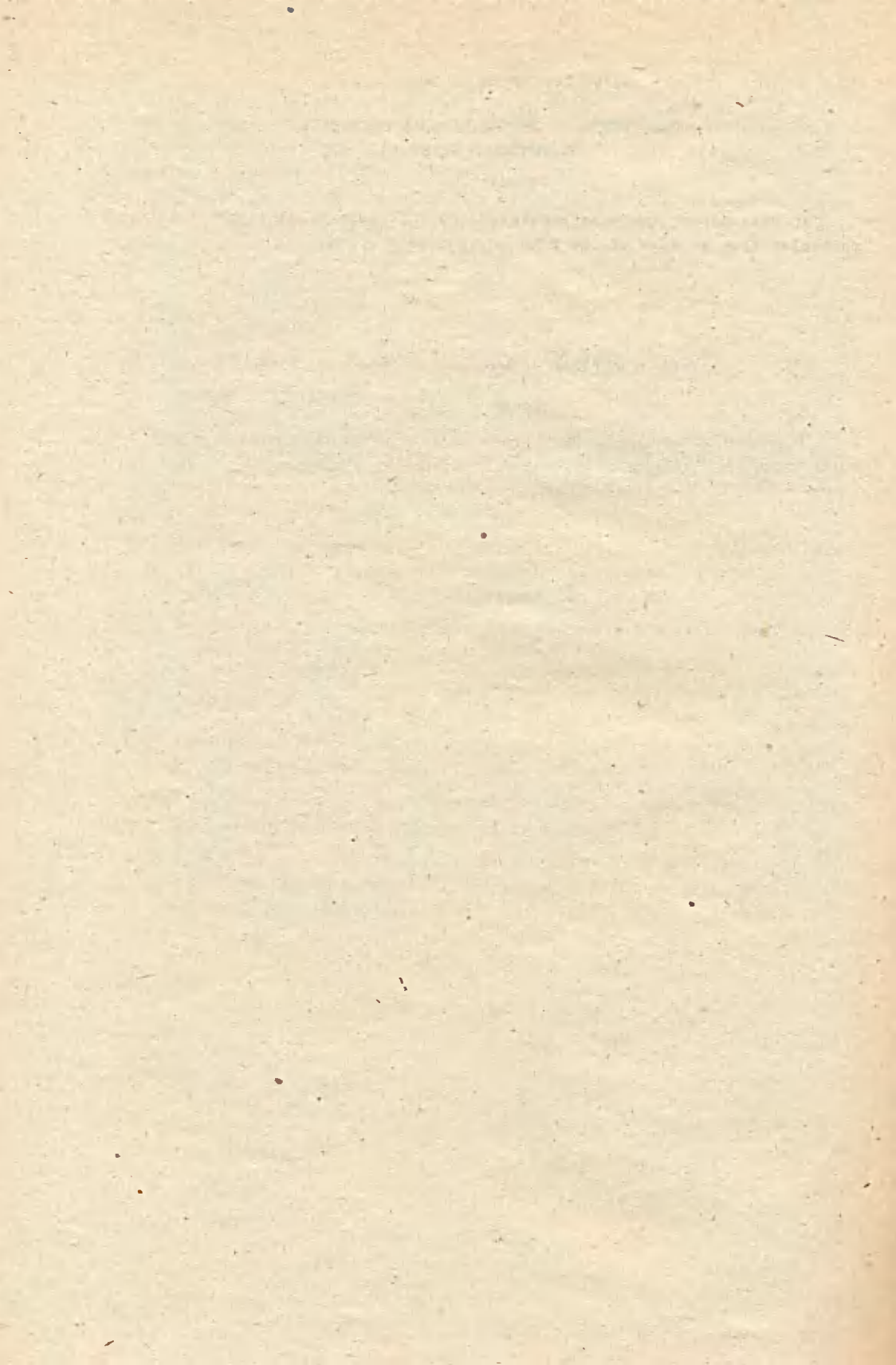
Summary

In this paper, there is presented the influence of distance of lateral obstacles from an edge of the road on vehicle's speed.

ВЛИЯНИЕ БОКОВЫХ ПОМЕХ НА СКОРОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ

Резюме

В работе представлены результаты влияния расстояния боковых помех от края шоссе на двуполосных дорогах с двусторонним движением.



Zbigniew Borowski

OCENA WYKORZYSTANIA CZASU PRACY  
NA PRZYKŁADZIE ŻURAWIA BUDOWLANEGO

W artykule przedstawiono wyniki badań empirycznych, dotyczących wykorzystania czasu pracy maszyn budowlanych na przykładzie żurawia budowlanych. Wskazano na występujące przestoje i postoje oraz ich znaczny udział (43,9 %) w stosunku do nominalnego czasu pracy. Wyszczególniono także główne przyczyny przerw w pracy.

1. WSTĘP

Niniejszy artykuł jest kontynuacją badań i prac autora dotyczących problematyki wykorzystania czasu pracy maszyn budowlanych w procesach budowlanych [1,2]. Podobnie jak wcześniejsze opracowania ilustruje stopień wykorzystania maszyn budowlanych, wskazując jednocześnie na znaczne rezerwy tkwiące w organizacji pracy.

W budownictwie największy stopień mechanizacji osiąga się przy zastosowaniu maszyn w robotach ziemnych i montażowych. W związku z tym przedsiębiorstwa budowlano-montażowe posiadają znaczne ilości tego sprzętu. Istotnym więc problemem jest racjonalne wykorzystanie posiadanego majątku produkcyjnego, który w dużej mierze decyduje o wynikach produkcyjnych i ponoszonych nakładach.

Ocenę eksploatacji maszyn budowlanych można przeprowadzić za pomocą następujących wskaźników [3] :

- wydajności,
- wykorzystania czasu pracy,
- niezawodności pracy maszyn i ich zestawów.

We wszystkich tych wskaźnikach, parametr czasu pracy występuje bądź jako wielkość podstawowa, względnie jako istotny składnik.

Najważniejsze jest przeprowadzenie kompleksowej analizy wykorzystania maszyn budowlanych poprzez uwzględnienie wszystkich parametrów rzutuujących na pełne wykorzystanie sprzętu. Autorzy prac z tego zakresu [3,4] wyróżniają szereg czynników wpływających na właściwą eksploatację maszyn budowlanych i to zarówno w sferze eksploatacji technicznej, jak i produkcyjnej.

O ile eksploatacja techniczna pozostaje w kręgu rozważań służb głównego mechanika, o tyle eksploatacja produkcyjna interesować powinna pion wykonawstwa. Z tego powodu w niniejszej pracy ograniczono się do omówienia elementów i czynników wpływających na eksploatację produkcyjną.

W systemie eksploatacji produkcyjnej wyodrębniono sześć stanów: pracę, przestoje i postoje\*, obsługę techniczną, awarię, diagnostykę i naprawy.

Przy czym, w stanie przestojów i postojów analizie poddano:

- przestoje i postoje z przyczyn technicznych /awarie, obsługę techniczną, diagnostykę, naprawy/,
- przestoje i postoje z przyczyn realizacyjno-organizacyjnych /brak obsługi, energii, frontu robót, złych warunków atmosferycznych, przerw technologicznych i innych/.

## 2. BADANIA WŁASNE

Z uwagi na niekompletną, bądź niewłaściwie prowadzoną dokumentację źródłową /raporty pracy maszyn/, dane do analiz uzyskano z badań empirycznych, prowadzonych na placu budowy. Przy wyborze maszyny - żurawia wieżowego - do obserwacji, kierowano się następującymi kryteriami:

- typ maszyny powinien należeć do powszechnie używanych w kraju,
- maszyna powinna być przynajmniej w średnim stanie technicznym,
- żuraw powinien być obsługiwany przez operatora o przynajmniej przeciętnych kwalifikacjach i umiejętnościach,
- maszyna powinna mieć możliwość wykonywania różnorodnych prac /różne rodzaje i warunki eksploatacji/.

Uwzględniając powyższe kryteria wytypowano żuraw wieżowy "Mostostal 120/160", należący do Bydgoskiego Kombinału Budowlanego "Wschód". Zakładając pilotowy charakter badań, obserwacje przeprowadzono przez 34 zmiany robocze /272 godziny/ w okresie od 19 marca do 30 kwietnia 1987 r.

## 3. ANALIZA WYNIKÓW

W badanym okresie żuraw wykonywał zarówno prace montażowe, jak i przedłunkowo-transportowe przez 152,5 godziny, co stanowi 56,1 % nominalnego czasu pracy. Przestoje realizacyjno-organizacyjne wyniosły łącznie 86,5 godziny, tj. 31,8 % czasu nominalnego.

Natomiast przez 33 godziny, co stanowi 12,1 % czasu nominalnego trwały przestoje techniczne. Otrzymałą na podstawie badań terenowych strukturę czasu pracy żurawia wieżowego zamieszczono w tabeli.

Szczegółowego omówienia wymagają postoje i przestoje realizacyjno-organizacyjne, chociażby z uwagi na ich znaczącą wielkość. Główną przyczyną przestojów był brak obsługi /11 % czasu nominalnego i 34,6 % przestojów realizacyjnych/. Na tak duży udział tego czynnika nie wpływały absencje chorobowe

\*/ przestój to planowana przerwa w pracy np. obsługi, postój to przerwa nieplanowana np. awaria

lecz nieprzestrzeganie dyscypliny pracy /późniejsze zaczynanie pracy, przedłużanie przerw śniadaniowych/. Jednostkowo przerwy te nie były zbyt duże, od kilku do kilkunastu minut, lech ich systematyczne występowanie spowodowało tak dużą wartość. Inną przyczyną przestoju było występowanie złych warunków atmosferycznych /6,83 % czasu nominalnego/, choć o tej porze roku nie stanowią zbyt dużej wielkości - 2,5 zmiany roboczej.

Tabela

Struktura czasu pracy żurawia wieżowego

Lp.	Nazwa czynnika	Jedn.	Wartość	Procent w stosunku do		
				poz.1	poz.3	poz.3.1.
1.	Czas eksploatacji	h	272	100		
2.	Czas pracy	h	152,5	56,1		
3.	Czas postojów i przestoju, w tym:	h	119,5	43,9	100	
3.1.	Czas postojów i przestoju realizowanych z powodu:	h	86,5	31,8	72,34	100
3.1.1.	- braku obsługi	h	29,92	11	25,04	34,6
3.1.2.	- braku energii	h	3,16	1,16	2,64	3,7
3.1.3.	- braku frontu robót	h	17,08	6,28	14,29	19,7
3.1.4.	- złych warunków atmosferycznych	h	18,58	6,83	15,55	21,5
3.1.5.	- przerw technologicznych	h	10,17	3,74	8,51	11,7
3.1.6.	- innych przyczyn	h	7,57	2,79	6,34	8,6
4.	Czas obsługi technicznej	h	0,33	0,1	0,3	
5.	Czas awarii	h	12,25	4,5	10,25	
6.	Czas diagnostyki i naprawy	h	20,42	7,5	17,09	

Niepokojącym zjawiskiem stały się przestoje spowodowane brakiem frontu robót - 6,28 % czasu nominalnego - główną przyczyną tego stanu był brak prefabrykatów do montażu. Braki frontu robót wynikały z niewłaściwej struktury produkcji i dostaw z wytwórni prefabrykatów.

Pozostałe przerwy realizacyjno-organizacyjne występowały w wielkościach nie odbiegających od przeciętnej realizacji, chociaż z pewnością i one mogłyby być mniejsze.

W grupie przerw z przyczyn technicznych niekorzystnym zjawiskiem jest zbyt mała ilość postojów - tylko około 20 minut/, przewidzianych na obsługi techniczne. Wynika stąd, iż obsługa techniczna nie była codziennie wykonywana. Ma to oczywiście negatywny wpływ na przestoje związane z awarią, diagnostyką i naprawą, które łącznie dały 12 % czasu nominalnego.

## 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dla pełniejszego zobrazowania poruszonych zagadnień obliczono także współczynniki /wskaźniki/ sytetyczne, charakteryzujące eksploatację maszyn budowlanych.

Obliczono współczynnik wykorzystania technicznego  $W_{rn}$ , który dla badanego żurawia wyniósł 0,82, co jest wielkością stosunkowo niską /w literaturze technicznej [5] wielkość ta wynosi 0,90+0,95/. Podobnie jak współczynnik wykorzystania zmiany roboczej  $S_{wz}$ , wynoszący 0,56, a także współczynnik przestoju maszyn, który wynosi 0,44, również niską wartość wykazuje efektywny czas pracy  $E_c$ , wynoszący 4,48 godzin pracy na zmianę.

Z tej grupy współczynników szczególnego potraktowania wymaga współczynnik wykorzystania zmiany roboczej, który wykorzystany jest do obliczania wydajności żurawia przy sporządzaniu harmonogramów. Wartość tego współczynnika literatura podaje w granicach 0,75 + 0,8 i tak jest powszechnie stosowany. Powoduje to sporządzanie zawyżonych harmonogramów i przekroczenie założonych terminów wykonania robót, wprowadzając a priori nieaktualność harmonogramów.

Badania potwierdzają założenie J.Zatopińskiego [5], który proponuje przy obliczaniu wydajności żurawi budowlanych przyjmowanie współczynnika wykorzystania czasu pracy w przedziale 0,3 + 0,8 /przy czym niskie wartości dotyczą prac montażowych, a wysokie prac przeładunkowych/.

Z przeprowadzonych badań i analiz można wyciągnąć następujące wnioski:

- wykorzystanie czasu pracy żurawi budowlanych jest niewielkie,
- występuje szereg czynników realizacyjno-organizacyjnych powodujących przestoje w czasie zmiany roboczej,
- wpływ większości czynników można ograniczyć poprzez poprawę organizacji pracy,
- uwzględniając warunki realizacyjne należy bardziej realnie przyjmować współczynnik  $S_{wz}$  do obliczania wydajności żurawi budowlanych,
- przeprowadzenie badań i analiz dotyczących wykorzystania czasu pracy, czynników ich wpływu i eliminacji należy uznać za celowe.

## LITERATURA

- [1] Borowski Z.: Ocena wykorzystania czasu pracy maszyn budowlanych w systemie eksploatacji. Z.Nauk. ATR nr 98, Bydgoszcz 1984
- [2] Borowski Z.: Wykorzystanie czasu pracy maszyn budowlanych w aspekcie czynników realizacyjnych metodą symulacji. Problemy Mechanizacji Budownictwa 1985, nr 2-3
- [3] Cyuńel B., Konopka R.: Podstawy projektowania technologii i organizacji robót w budownictwie. WPK, Kraków 1984
- [4] Wasilewski Zb.J.: Technologia robót zmechanizowanych. T.VII, WPW, Warszawa 1984

- [5] Zatopiński J.: Żurawie wieżowe. Technologia robót i eksploatacja. Arkady, Warszawa 1975

THE ESTIMATION OF THE UTILIZATION OF THE WORKING TIME IN THE CASE OF  
THE BUILDING CRANE

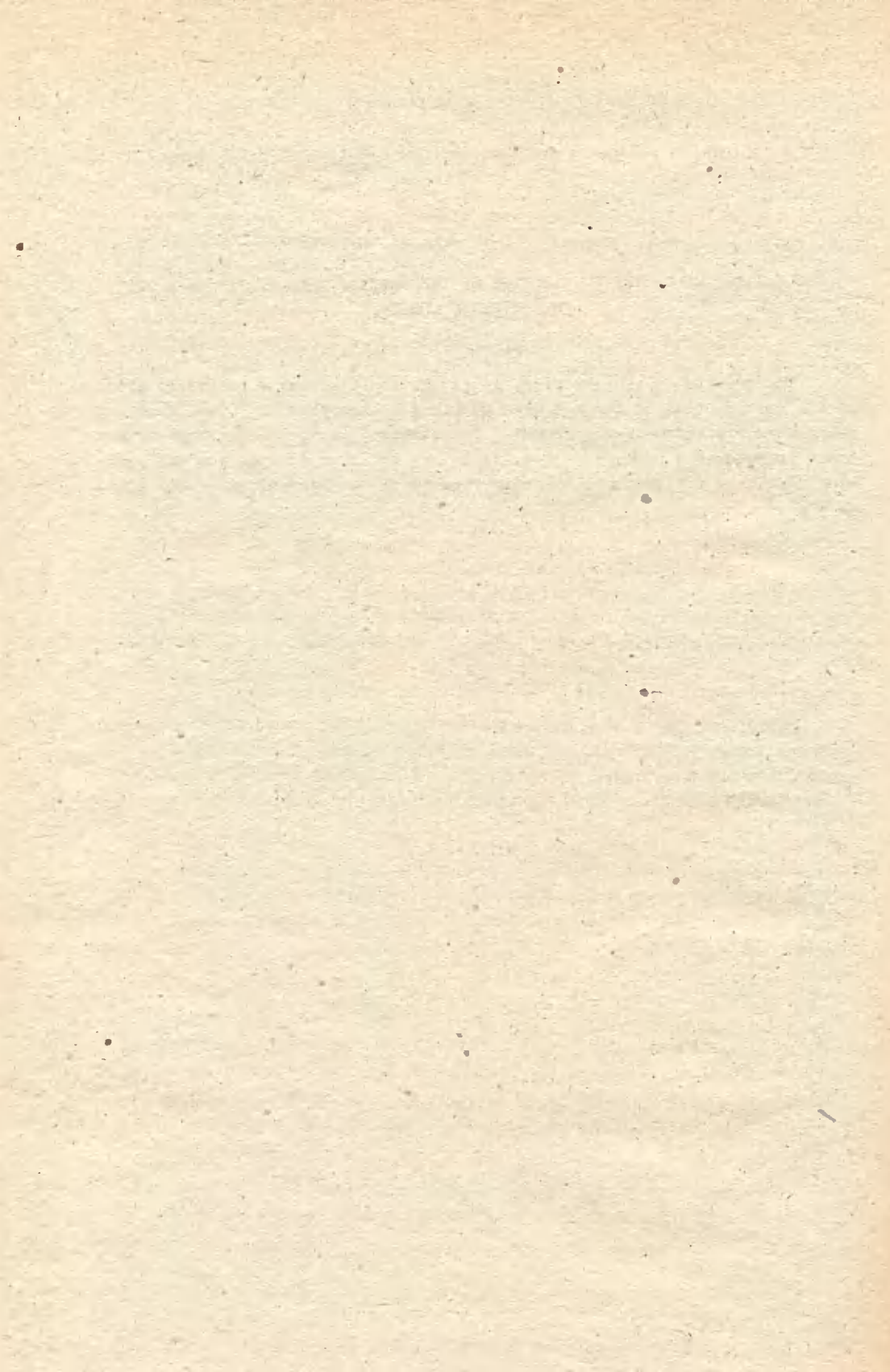
Summary

The results of the empirical investigation concerning the utilization of the working time of the building machines in the case of the building crane were presented in the report. The standstills and the stoppages and their considerable appearance (43,9%) in the relation to the nominal working time were pointed out. The main reasons of the lays-off were specified as well.

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КРАНОВ

Резюме

В статье представлены результаты исследований использования рабочего времени, строительных машин на примере строительных кранов. Указано на простои во время работы, а также определено их количество /43,9%/. Определены также главные причины перерывов во время работы.





Zbigniew Tórkarski

WPLYW UWARUNKOWAŃ LOKALNYCH NA ROZBIEŻNOŚĆ WYDAJNOŚCI  
RZECZYWIŚCIE OSIĄGANÝCH I WIELKOŚCI ZAWARTYCH W KATALOGACH NAKŁADÓW RZECZOWYCH

W projektowaniu procesów budowlanych istnieje duża dowolność metodyczna, merytoryczna i formalna interpretacji dokumentów o charakterze normalizacyjnym. Brak jednoznacznej bazy normatywnej uniemożliwia określenie właściwej wydajności maszyn pracujących indywidualnie lub w zespołach, a główną przyczyną są lokalne warunki budowy. W artykule niektóre z nich przedstawiono.

## 1. WSTĘP

W projektowaniu technologii i organizacji procesów budowlanych niezbędne jest korzystanie z normatywów określających nakłady robocizny i czasu pracy sprzętu. Wielkości te powinny umożliwiać ustalenie wielu wartości związanych z wykonaniem robót, m.in. także wydajności maszyn, a ściślej maszyn i ich operatorów. Projektanci technologii i organizacji robót budowlanych często korzystają z norm podawanych w takich katalogach, jak np. Katalogi Nakładów Rzeczowych. Jak wynika z przeprowadzonych własnych badań [4] na jednej z największych budów w Polsce, wydajność maszyn pracujących indywidualnie lub w zespołach /z samochodami/ w konkretnych warunkach budowy różni się znacznie od wydajności podanej w KNR. Można stwierdzić, że normy pracy maszyn podawane w katalogowych opracowaniach centralnych nie są dobrą podstawą do planowania i organizacji procesów budowlanych realizowanych w rzeczywistych warunkach. Nie pomagają też w organizacji robót budowlanych wprowadzone uzupełnienia w postaci aktualnych Biuletynów [2] opracowywanych na zlecenie Departamentu Norm i Cen Ministerstwa Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa. W wymienionym wyżej Biuletynie można np. znaleźć następującą uwagę: "Zalecane jest indywidualne opracowywanie analiz opartych o własne koszty pracy sprzętu i stawkę roboczogodzin oraz określenia własnego proggu opłacalności, które to analizy powinny być udostępnione służbom inwestorskim oraz biurom projektów do wykorzystania na etapie projektowania inwestycji". Uwaga ta pozostawia więc omawiany problem jako otwarty i pozwalający na rozwiązanie przy dość dowolnej jego interpretacji.

## 2. WARUNKI REALIZACJI PROCESÓW BUDOWLANYCH

W zakresie projektowania wydajności w zmechanizowanych procesach budowlanych można wyróżnić następującą klasyfikację normatywów pracy [1]:

- 1/ normatyw warunków technicznych i jakościowych,
- 2/ normatyw warunków technologicznych,
- 3/ normatyw warunków organizacyjnych,
- 4/ normatyw warunków bhp,
- 5/ normatyw warunków atmosferycznych,
- 6/ normatyw kwalifikacji.

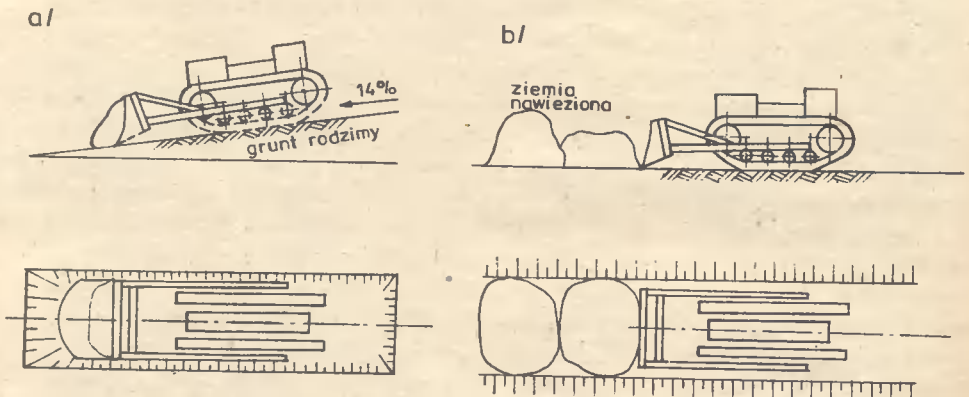
Ponadto dla normatywów tych uzupełnieniem mogą być warunki lokalne, takie jak:

- 1/ warunki na placu budowy,
- 2/ zmienność pracy,
- 3/ niezawodność maszyn.

Jak wynika z powyższej klasyfikacji, niektóre z wyżej wymienionych, istniejących warunków mogą być określone w sposób deterministyczny, a niektóre w sposób losowy, tj. z określonym prawdopodobieństwem. Na etapie opracowania projektu organizacji robót pojawia się zatem konieczność uwzględnienia lokalnych warunków, uzasadniających rzeczywistą wydajność maszyn, realizujących określony proces budowlany np. wykonywanie robót ziemnych na konkretnej budowie.

### 2.1. Roboty ziemne wykonywane spycharkami

W przeprowadzonych badaniach terenowych wzięto pod uwagę warunki na konkretnej budowie i określono rzeczywistą wydajność spycharki typu T-130 o mocy 117,6 kW - pracującej przy odspajaniu gruntu rodzimego /rys.1a/, typu T-130 - przemieszczającej grunt dowożony samochodami /rys.1b/ i typu SM-102 - pracującej w takich samych warunkach jak druga spycharka /tab./.



Rys.1. Praca spycharki

Tablica

Wydażność spycharek  
w funkcji odległości przemieszczania urobku /m<sup>3</sup> /h/

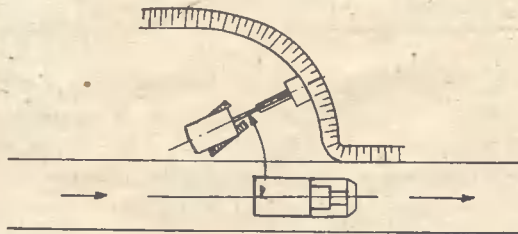
Typ	odległość /m/									
	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50	≤60	≤70	≤80	≤90	≤100
T-130	100,16	86,07	51,42	39,15	33,37	27,37	22,69	20,70	19,16	17,35
T-130	263,0	194,0	151,0	122,0	100,0	84,0	71,0	60,0	51,0	43,0
SM-102	114,0	82,0	62,0	50,0	41,0	34,0	29,0	25,0	22,0	20,0

Roboty wykonywane były na spadku do 14 % w okresie letnim, a kwalifikacje operatorów przełożeni określali jako wysokie. W założeniach szczegółowych katalogu [3] umieszczono następującą informację: "Największe dopuszczalne wzniesienie terenu przy pracy spycharkami nie powinno przekraczać 10 % w kierunku z ładunkiem, graniczne spadki nie powinny przekraczać 30 %, a optymalny spadek terenu przy pracy spycharkami wynosi 15 %. Informacja ta jest bardzo istotna, jednak tablic uzupełniających dla innych spadków brak, a wartości katalogowe przyjęte są jako uśrednione. Obliczając zgodnie z Biuletynem [2] wydajność spycharki o mocy 110 KW, przy odległości przemieszczania np. 60,0 m w gruncie kat. III, uzyska się wartość 21,74 m<sup>3</sup>/h. Wartość uzyskana z pomiarów wynosi 27,37 m<sup>3</sup>/h. Różnica jest znaczna i wynosi 5,63 m<sup>3</sup>/h /w ciągu zmiany/. Dla gruntu dowożonego samochodami różnica będzie znacznie większa. Z przedstawionych wartości można określić różnicę między wartością średnią wydajności spycharki pracującej w przyjętych przez KNR warunkach, a wartością rzeczywistą wydajności spycharki pracującej w innych, znacznie lepszych warunkach /spadek 14 %/. Pełniony błąd ma wartość 25,9% wartości średniej, czyli jest znaczący. Na podstawie przedstawionych wartości można stwierdzić, że bez uwzględnienia lokalnych warunków terenowych, metody odspajania i przemieszczania urobku, warunków atmosferycznych oraz rzeczywistych kwalifikacji operatora, problematyczne staje się korzystanie z uśrednionych katalogowych wartości normatywnych /głównym powodem jest istniejąca w katalogach zbyt duża dowolność interpretacji tzw. warunków budowy/.

## 2.2. Roboty ziemne wykonywane koparkami

Praca koparki i jej wydajność klasyfikowane są najczęściej /zgodnie z teorią masowej obsługi/ jako praca i wydajność zespołu maszyn, składającego się z aparatu obsługi /koparka/ i jego otoczenia tj. samochodów transportujących urobek. W czasie badań terenowych pomierzono rzeczywistą wydajność zespołu składającego się z koparki typu M-500 H o pojemności geometrycznej łyżki 2,5 m<sup>3</sup> i samochodów wywrotek typu Kraz 256, przy pracy w gruncie kat. III. Zespół osiągnął wydajność 118,0 m<sup>3</sup>/h. Z KNR odczytać można dla tej samej koparki pracującej samodzielnie wydajność 64,94 m<sup>3</sup>/h i dalej brak już informacji. Jak będzie kształtowała się wydajność koparki współpracującej z

samochodami i jaki będzie miała wpływ na tę wydajność liczba samochodów w zespole oraz jak będzie zmieniała się ona w zależności od przemieszczania się łyżki koparki względem konkretnego frontu robót /rys.2/.



Rys.2. Schemat transportu gruntu bez manewru samochodu przy koparce

Z przedstawionych wartości wynika, że wartość pomierzona na budowie stanowi 181,7 % wartości katalogowej koparki pracującej samodzielnie, a dla zespołu maszyn będzie ona jeszcze większa. Można zatem stwierdzić, że różnica jest bardzo duża, a przyczyna tej wysokiej wydajności znalazła uzasadnienie również w lokalnych warunkach budowy. Uznano, że oprócz właściwej organizacji robót, głównymi przyczynami bardzo dużej wydajności były:

- bardzo wysokie kwalifikacje operatora,
- brak manewrów samochodów przy koparce /samochody wracając z trasy zatrzymywały się pod koparką na prostym odcinku drogi - rys.1/,
- zastosowany dla kierowców, bardzo silnie motywacyjny - akordowy system płac.

### 3. WNIOSKI

1. Normatywy opracowane w katalogach nie odzwierciedlają rzeczywistych wydajności osiąganych w konkretnych warunkach i nie uwzględniają warunków występujących, zarówno przy pracy maszyn tworzących zespół, jak i maszyn pracujących indywidualnie.
2. Jako główne przyczyny większej od podanej w KNR wydajności rzeczywistej uznano:
  - pracę spycharki na optymalnym spadku,
  - brak potrzeby manewru samochodów przy konkretnym zlokalizowaniu frontu robót koparki i trasy przejazdu samochodów,
  - mały kąt obrotu wysięgnika koparki,

- znaczną pojemność łyżki koparki w stosunku do ładowności samochodów /1:3/.
- 3. Na etapie projektowania technologii i organizacji zmechanizowanych procesów budowlanych niezbędne jest uzyskanie informacji uwzględniających lokalne warunki pracy maszyn.
- 4. Zastosowanie norm pracy podanych w katalogach może prowadzić do znacznych błędów przy planowaniu i organizacji procesów budowlanych.

## LITERATURA

- [1] Gil M.: Stan bazy normatywnej w projektowaniu technologii i organizacji procesów budowlanych, Konferencja Naukowa Jednostek Jednoimiennych Technologii i Organizacji Budownictwa, Zielona Góra 1987
- [2] ORGBUD: Biuletyn Informacyjny 4/87, Warszawa 1987
- [3] ORGBUD: Katalog Nakładów Rzeczowych 2-01, Budowle i roboty ziemne, Wyd. Akcydensowe, Warszawa 1984
- [4] Tokarski Z.: Wpływ systemu płac dla operatorów koparek i kierowców samochodów na wydajność pracy, Konferencja Naukowa Jednostek Jednoimiennych Technologii i Organizacji Budownictwa, Wrocław 1986
- [5] Tokarski Z.: Metoda optymalnego przemieszczania mas ziemnych według wybranych kryteriów, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 1986

THE INFLUENCE OF LOCAL CONDITIONS ON THE DIVERGENCE OF THE REAL  
EFFICIENCY AND VALUES CONTAINED IN CATALOGUES

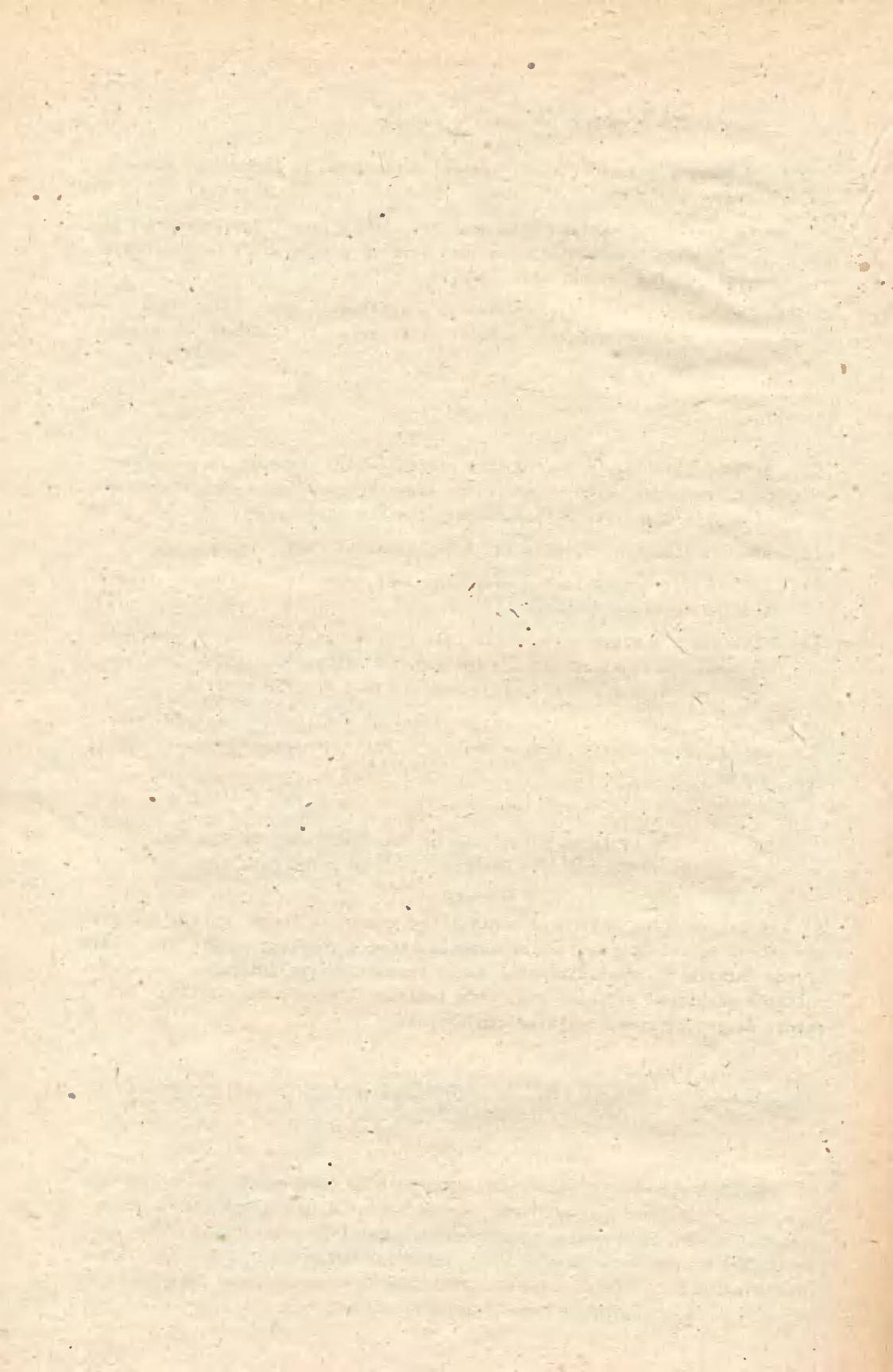
## Summary

In the building design of engineering processes there exists methodical amount of interpretation for normalization of working plans. The lack of the univalent normalizing base makes impossible the determination of the suitable machines' efficiency working individually or collectively. It is mainly caused by local building conditions.

ВЛИЯНИЕ МЕСТНЫХ УСЛОВИЙ НА РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ И НОРМАТИВНОЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

## Резюме

В проектировании строительных процессов существует большая методическая, мериторическая и формальная произвольность в интерпретации нормативных документов. Недостаток однозначных нормативных документов делает невозможным определение правильной производительности машин работающих самостоятельно и в составах, а главной причиной являются местные условия строительства. В статье представлены некоторые из них.



Jan Kulczyński  
Zbigniew Tokarski  
Danuta Walczak

ANALIZA ZASTOSOWANIA W FABRYCE DOMÓW  
WÓZKÓW SZYNOWYCH DO TRANSPORTU MIESZANKI BETONOWEJ

W artykule przedstawiono analizę wydajności wózków szynowych transportujących mieszankę betonową w Bydgoskim Kombinacie Budowlanym "Wschód". Omówiono rozkłady prawdopodobieństwa występujące przy zapotrzebowaniu poszczególnych wydziałów na mieszankę betonową. We wnioskach zaproponowano dla usprawnienia transportu wprowadzenie nowego toru obsługującego tylko wydział produkcji stanowiskowej.

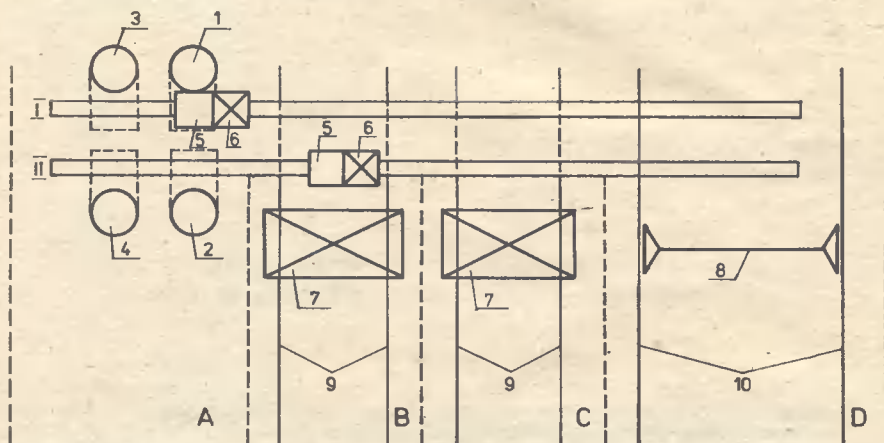
## 1. WSTĘP

Jednym z dosyć szeroko stosowanych w fabrykach domów rodzajów transportu mieszanki betonowej jest szynowy transport wózkowy. Trasę przejazdu wózka stanowi tor przebiegający przez jeden lub kilka wydziałów. Przejazd wózka z mieszanką może odbywać się po jednym lub kilku torach, co ma szczególne znaczenie w organizacji transportu, a zwłaszcza w przypadku awarii np. wózka załadowanego. Wózek pokonuje trasę z miejsca załadunku /wydział produkcji mieszanki betonowej/ do miejsca lub miejsc wyładunku, tj. na różne wydziały technologiczne, produkujące prefabrykаты. Sterowanie wózkiem może odbywać się z pulpitu sterowniczego znajdującego się w miejscu załadunku wózków, lub w miejscu wyładunku przez odbierających mieszankę. Wózek może poruszać się z przyczepą lub bez, a wyładunek może odbywać się ręcznie przy pomocy dodatkowych urządzeń, lub za pomocą elektrycznych silników uruchamianych przez robotników odbierających mieszankę [2,3] .

## 2. ANALIZA RZECZYWISTEJ WYDAJNOŚCI TRANSPORTU MIESZANKI BETONOWEJ WÓZKIEM SZYNOWYM

Na podstawie sprawozdań jednego z kombinatów przeprowadzono analizę zapotrzebowania na mieszankę betonową transportowaną przy pomocy wózków poruszających się po dwóch torach na wydział produkcji potokowej, agregatowej i stanowiskowej oraz przy pomocy transportu pneumatycznego /rurowego/ na wydział produkcji bateryjnej i dodatkowo, do wsypu dla zakupuujących mieszankę spoza fabryki. Na rysunku 1 przedstawiono schematyczne rozmieszczenie u-

urządzeń współpracujących z wózkami transportującymi mieszankę betonową.



LEGENDA:

A - wydział produkcji mieszanki betonowej,

B - wydział produkcji potokowej,

1, 2, 3, 4 - betoniarki

5 - wózek

6 - przyczepa

7 - układacze

C - wydział produkcji agregatowej,

D - wydział produkcji stanowiskowej,

I, II - tory wozków

8 - suwnica

9 - tory układaczy

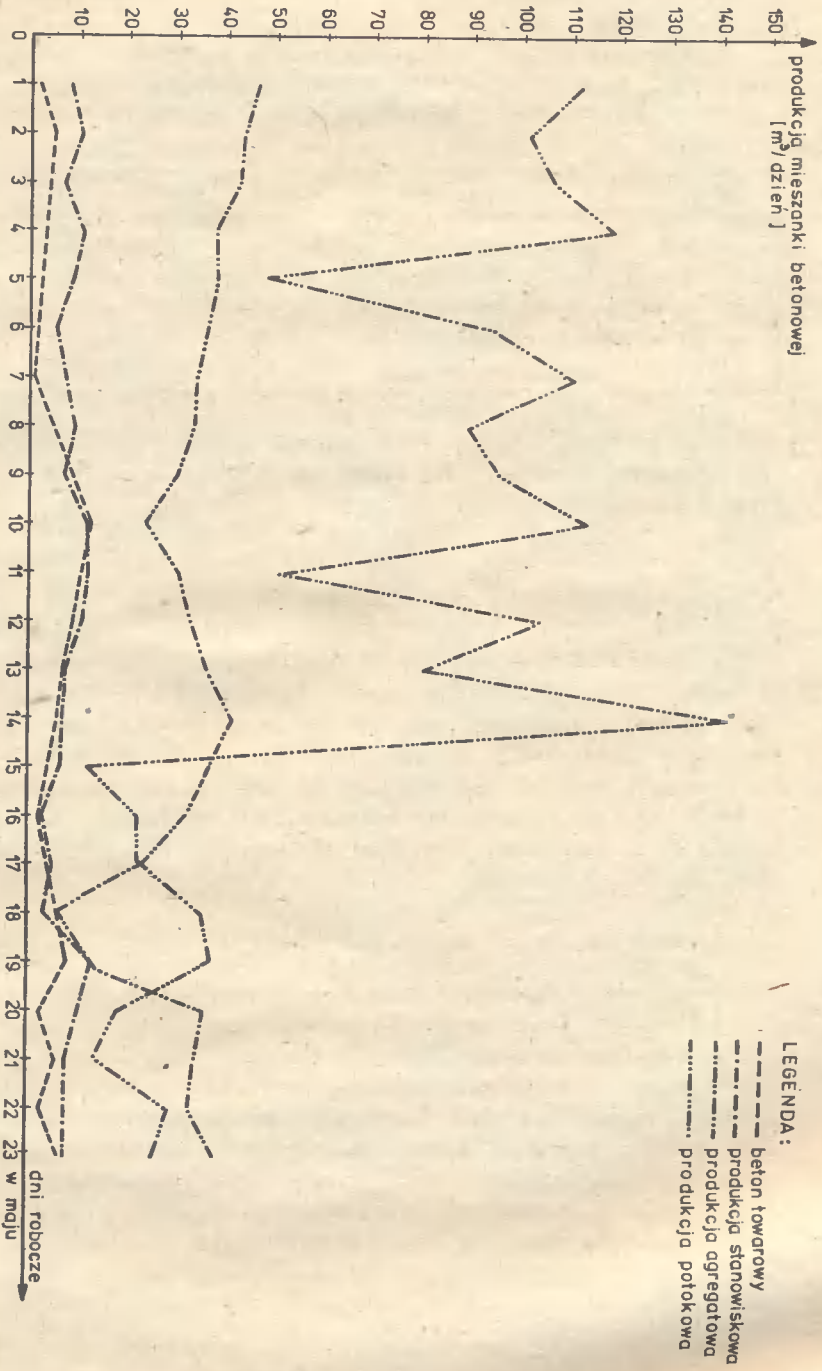
10 - tor suwnicy

Rys.1. Schematyczne rozmieszczenie urządzeń współpracujących z wózkami szynowymi

Analiza danych obejmujących okres od lutego 1984 roku do lutego 1985 roku wykazała, że największa produkcja mieszanki na wydziale produkcji mieszanki betonowej wynosiła 382,2 m<sup>3</sup>/dzień, a najmniejsza - 7,6 m<sup>3</sup>/dzień. Należy tu zaznaczyć, że na największą wydajność znaczny wpływ miał transport pneumatyczny mieszanki, jednak ten rodzaj transportu wykracza poza zakres niniejszego artykułu i nie był przedmiotem dalszych analiz.

Zapotrzebowanie na mieszankę betonową wydziałów obsługiwanych przez wózki przeanalizowano z podziałem na poszczególne dni miesiąca /na rys. 2 przedstawiono, przykładowo, zapotrzebowanie na mieszankę betonową wydziałów produkcji potokowej, agregatowej i stanowiskowej w miesiącu maju 1984 roku/.





Rys. 2. Zapotrzebowanie poszczególnych wydziałów na mieszankę betonową w maju 1984 roku

LEGENDA:  
 - - - - - beton towarowy  
 - - - - - produkcja stonowiśkowa  
 - - - - - produkcja agregatowa  
 - - - - - produkcja potokowa

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na określenie rozkładów prawdopodobieństwa zapotrzebowania na mieszankę na poszczególnych wydziałach produkcyjnych, co przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Rozkład prawdopodobieństwa  
zapotrzebowania na mieszankę betonową na poszczególnych wydziałach

Lp.	Wydział	Rodzaj rozkładu
1	Produkcji potokowej	nie ustalono
2	Produkcji agregatowej	normalny
3	Produkcji stanowiskowej	normalny
4	Betonu towarowego	normalny
5	Produkcji bateryjnej	normalny

Dodatkowo przeprowadzono analizę rozkładu prawdopodobieństwa występującego przy wydawaniu mieszanki, dla wszystkich betoniarek łącznie. Był to również rozkład normalny [1].

### 3. BADAŃIA WŁASNE W FABRYCE DOMÓW

W lutym 1988 roku wykonano na terenie Bydgoskiego Kombinatów Budowlanego "Wschód" badania, które obejmowały wydajność transportu mieszanki betonowej wózkami z przyczepą - typu BP 101A, lub bez przyczepy, poruszającymi się po dwóch oddzielnych torach. Sterowanie naładowanym wózkiem odbywało się z pulpitu sterowniczego połączeniem kablowym przemieszczającym się wraz z wózkiem na trasie: wytwórnia mieszanki - punkt odbioru. Badania przeprowadzono w celu określenia kierunku usprawnień w transporcie mieszanki betonowej wózkami szynowymi.

#### 3.1. Załadunek mieszanki betonowej

Wózki na poszczególnych torach napełniane były następująco:

- a/ tor I - z betoniarek nr 1 i 3,
- b/ tor II - z betoniarek nr 2 i 4.

Przygotowanie mieszanki betonowej odbywa się w fabryce domów w 4 betoniarkach. Najczęściej jedna z betoniarek produkuje mieszankę dla transportu pneumatycznego rurowego, a druga dla transportu wózkiem. Jeżeli wózek podjedzie bez przyczepy to otrzymuje mieszankę z leja zsypanego /jeden zarób/ i z betoniarki /drugi zarób/, jeżeli natomiast podjedzie z przyczepą to załadunek odbywa się dłużej, ponieważ mieszankę otrzymuje taki zestaw tylko z jednej betoniarki. Informacja o zapotrzebowaniu wydziału, składzie i konsystencji mieszanki dla bieżącego wózka odbywała się między wydziałem a wy-

twórnią drogą radiową.

### 3.2. Transport mieszanki betonowej

Wózek /z przyczepą lub bez/ wiozący mieszankę, sterowany jest połączeniem kablowym z wytwórni mieszanki przez operatora wózków, jednak z uwagi na dość znaczną odległość od miejsca sterowania dokładne ustawienie wózka w miejscu wyładunku nie jest możliwe. Ustawienie otworu zsykowego nad układaczem odbywa się już na wydziale odbierającym mieszankę, przy pomocy specjalnej kasety sterowniczej, znajdującej się w miejscu wyładunku. Opróżnienie wózka następuje dzięki odsunięciu żąsowy również za pomocą kasety sterowniczej. Na wydziale produkcji stanowiskowej ustawienie wózka z przyczepą pod suwnicą i zaczepienie zawiesia wykonuje robotnik pracujący na wydziale produkcji stanowiskowej, a przeniesioną przez suwnicę przyczepę opróżnia się nad formą, przy pomocy specjalnego mechanizmu z przekładnią zębatą. Przeniesienie wózka z mieszanką przez suwnicę nie jest możliwe ze względu na kablowe połączenie wózka z pulpitem sterowniczym, możliwe jest natomiast opróżnianie przyczepy na wydziale produkcji potokowej i agregatowej.

Prawidłowości matematyczne zaobserwowano przy obsłudze wydziałów produkcji potokowej i agregatowej, natomiast duże trudności wystąpiły przy określaniu zależności matematycznych dla jazdy wózka z napełnioną przyczepą, lub jazdy wózka po przyczepę na wydziale produkcji stanowiskowej. Szczególnie miało to miejsce przy dłuższym oczekiwaniu na przejazd suwnicy po przyczepę oraz przy oczekiwaniu wózka na powrót z pustą przyczepą. Zaobserwowano, że jazda wózka obejmowała najczęściej odcinek wytwórni mieszanki - wydział produkcji agregatowej, rzadziej - wydział produkcji potokowej, a najmniej - wydział produkcji stanowiskowej. Procentowy udział poszczególnych schematów transportu przedstawia tablica 2.


















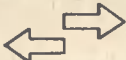


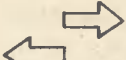






## 4. WNIOSKI

4.1. Przeprowadzone w wytwórni prefabrykatów badania wykazały, że istnieje wiele czynników mających wpływ na prawidłowe działanie transportu mieszanki betonowej wózkami, a najważniejszymi z nich są:

- prawidłowe przygotowanie mieszanki betonowej w dwóch betoniarkach obsługujących wózek poruszający się po torze pierwszym /betoniarki nr 1 i 3/ oraz po torze drugim /betoniarki nr 2 i 4/,
- istnieją znaczne różnice składu i konsystencji mieszanki ze względu na obsługiwane wydziałów produkujących różne elementy, co prowadzi nawet do powrotu wózka z mieszanką spowodowane złymi jej parametrami,
- większe zapotrzebowanie na mieszankę jednego z wydziałów /np. oddział agregatów produkujący większe gabarytowo elementy/ powodowało znaczne zakłócenia na innych wydziałach, a szczególnie na wydziale produkcji stanowiskowej.

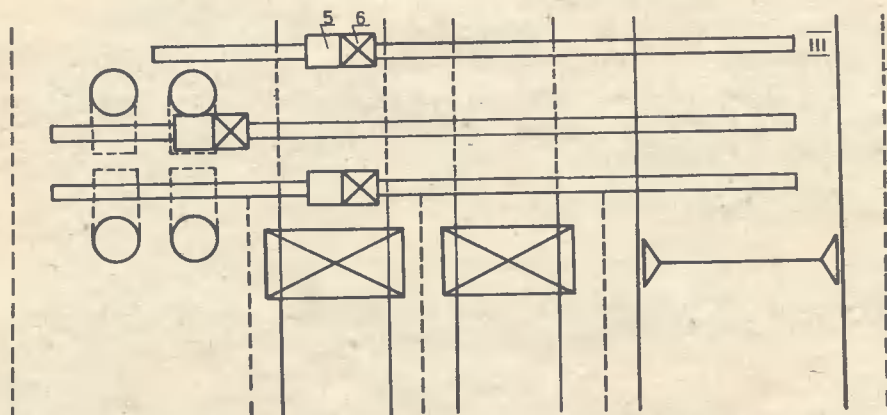
Tablica 2

## Procentowy udział poszczególnych schematów transportu

LP	PRZEJAZD WÓZKA	WYDZIAŁ PRODUKCJI POTOKOWEJ	WYDZIAŁ PRODUKCJI AGREGATOWEJ	PRZEJAZD PRZYCZEPY	WYDZIAŁ PRODUKCJI STANOWISKOW.	%
1	2	3	4	5	6	7
1		—		—	—	32
2			—	—	—	28
3		—	—			1
4		—				13
5			—			10
6		—		—		8
7			—	—		2
8		—	—	—		2
9	dodatkowo na samochody					4
<b>LEGENDA :</b>  powrót wózka  przejazd napelnionego wózka lub przyczepy  przejazd pustego wózka  powrót pustej przyczepy z wózkiem						

4.2. Zapotrzebowanie na mieszankę betonową na poszczególnych wydziałach i sumarycznie w poszczególnych dniach - tworzy najczęściej rozkłady normalne.

4.3. Analiza przeprowadzonych badań wykazała, że dla usprawnienia transportu konieczne jest zastosowanie dodatkowego toru, który obsługiwałby tylko wydział produkcji stanowiskowej. Pokazano to na rysunku 3.



LEGENDA:

- III - dodatkowy tor wózków  
5 - dodatkowy wózek z przyczepą 6

Rys.3. Schemat zaproponowanego rozwiązania technologicznego

LITERATURA

- [1] Platt Cz.: Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1978
- [2] Rowiński L., Widera J.: Zmechanizowane roboty budowlane. Arkady, Warszawa 1976
- [3] Żywica R.: Technologia prefabrykatów z betonu. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985

ANALYSIS OF THE CONCRETE MIX TRANSPORT WITH THE USAGE OF OVERHEAD  
TROLLEY IN PRECAST BUILDING UNITS PLANT

## Summary

In this paper, there is the analysis of the productivity of the concrete mix transport with the usage of rail overhead trolleys is described. The probability distribution of the concrete mix required by factory departments is presented. In conclusion, the introduction of the third trolley track to one of the departments, to service stands production department for example is suggested.

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТА БЕТОННОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДВЕСНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ТЕ -  
ЛЕЖЕК В ДОМОСТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКТЕ

## Резюме

В статье представлен анализ производительности транспорта бетонной смеси подвесными вагонетками, а также распределение вероятностей, которые характеризуют потребности производственных отделов в бетонной смеси. Авторы пришли к выводу, чтобы дополнительно ввести третий рельсовый путь обслуживающий один из производственных отделов, например, стендового производства.



Cena zł 420,-

ISSN 0208-6379