

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

ZESZYTY NAUKOWE NR 179

# BUDOWNICTWO 27

596

BYDGOSZCZ – 1992



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

**ZESZYTY NAUKOWE NR 179**

# **BUDOWNICTWO 27**



**BYDGOSZCZ - 1992**

**PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO**  
prof. dr hab. Ojcumiła Stefaniak

**REDAKTORZY NAUKOWI**  
dr inż. Jan Lorkowski  
prof. dr hab. inż. Tomasz Szczuraszek

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

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. aut. 7,8. Ark. druk. 8, papier kl. III.  
Oddano do druku w październiku 1992 r. Druk ukończono w listopadzie 1992 r.  
MEN  
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR, Bydgoszcz, ul. ks. A. Kordeckiego 20.  
Zam. nr 128/92.

93 D. 3/1  
Nr 1141 P 863/93

1. Jan Klugiewicz, Piotr Dzieweczyński, Grażyna Totczyk, Augustyn Chwaleba, Andrzej Michalski, Andrzej Kalicki - Metody ustalania i pomiaru odpływu wody z polderów do projektowania i eksploatacji przepompowni .....	5
2. Jan Klugiewicz, Piotr Dzieweczyński, Augustyn Chwaleba, Andrzej Kalicki, Andrzej Michalski - Elektromagnetyczny system pomiaru dynamiki odpływu wody z polderu Łęgnowo .....	25
3. Tomasz Szczuraszek - Zużycie paliwa przez pojazdy samochodowe w zależności od warunków ruchu drogowego .....	45
4. Edward Kujawski, Jan Gadomski - Niektóre problemy interpretacji wyników precyzyjnej niwelacji geometrycznej żelbetowych obiektów mostowych .....	59
5. Maria Gadomska, Jan Gadomski - Wpływ temperatury na przemieszczania pionowe fundamentów maszyn papierniczych .....	63
6. Maria Gadomska, Piotr Czembor, Ryszard Rus - Próba wykorzystania metody aliniometrycznej do określenia geometrii układu jezdni frezarki bramowej .....	71
7. Jan Lorkowski, Jan Górski - Automatyzacja procesu wyznaczania ekstremalnych wielkości statycznych i geometrycznych .....	79
8. Adam Podhorecki - Metoda elementów czasoprzestrzennych w zastosowaniu do rozwiązywania pewnych problemów geometrycznie nieliniowych .....	89
9. Jadwiga Bizon-Górecka - Niektóre aspekty ekonomiczne procesów wytwórczych w budownictwie .....	123



Jan Klugiewicz  
Piotr Dzieweczyński  
Grażyna Totczyk  
Augustyn Chwaleba  
Andrzej Michalski  
Andrzej Kalicki

METODY USTALANIA I POMIARU ODPIŁYWU WODY Z POLDERÓW  
DO PROJEKTOWANIA I EKSPLOATACJI PRZEPOMPOWNI

W pracy omówiono szereg metod ustalania odpływów i hydrogramów odpływu wody z polderów dla potrzeb projektowania i eksploatacji stacji pomp oraz pojemności zbiorników wyrównawczych. Metody te różnią się parametrami wchodzącymi do formuł obliczeniowych. Stwierdzono, że zastosowanie tych metod w praktyce wymaga danych z pomiarów terenowych. Dokonano więc przeglądu metod hydrometrycznych konwencjonalnych i nowoczesnych, które mogą znaleźć zastosowanie przy pomiarach w przekrojach kluczowych polderów, gdzie zazwyczaj są stacje pomp i panują szybkozmienne warunki ruchu wody. Szczegółowo omówiono metody elektromagnetyczne, z których jedną zastosowano w systemie pomiarowym, sterowanym mikrokomputerem, na polderze Łęgnowo koło Bydgoszczy.

1. WPROWADZENIE

Nakłady inwestycyjne i eksploatacyjne na odwadnianie polderów są znacznie wyższe niż na odwadnianie obiektów z grawitacyjnym odpływem. Odwadnianie płytkich akwenów wodnych i depresji terenowych, w większości przypadków stanowi jedyną możliwość odprowadzenia zbędnej wody i kierowania jej obiegiem w taki sposób, aby wytworzyć optymalne warunki uwilgotnienia profilu gruntowego w zależności od jego przeznaczenia.

Choć w Europie najszerzej i najwcześniej stosowano systemy polderowe /Holandia, Polska/, to jednak zbyt mało /w stosunku do potrzeb/ przeprowadzono badań nad sposobami ustalania wydajności przepompowni i prowadzeniem gospodarki wodnej. Na ten stan wiedzy ma wpływ kilka czynników, a wśród nich duża pracochłonność i kosztowność badań całych systemów polderowych. W niniejszej pracy podano kilka metod ustalania miarodajnych odpływów i hydrogramów odpływu do projektowania i eksploatacji przepompowni. Uzasadniając potrzebę dalszych badań odpływów dokonano przeglądu metod ich pomiaru od konwencjonalnych po metody współczesne /elektromagnetyczne/, zastosowane w warunkach polderowych po raz pierwszy w Polsce na polderze Łęgnowo koło Bydgoszczy.

## 2. METODY USTALANIA ODPŁYWÓW WODY Z POLDERÓW

Ustalanie miarodajnych odpływów wody z polderów jest niezbędne na etapie projektowania i eksploatacji systemów odwadniających z mechanicznym podnoszeniem wody, jak np. przepompowni, czy sieci odwadniających. Istnieją metody, którymi można wyznaczyć:

- a/ miarodajną wielkość odpływu, na jaką powinna być projektowana wydajność przepompowni,
- b/ miarodajny hydrogram odpływu, według którego można równocześnie projektować optymalne wydajności przepompowni i poszczególnych pomp wraz z pojemnością wyrównawczą zbiorników retencyjnych, a także prowadzić gospodarkę wodną.

Pełną klasyfikację metod po raz pierwszy podano w pracy [9] wraz ze szczegółowymi wynikami z dotychczasowych badań krajowych i zagranicznych. W niniejszym artykule zaprezentowano kilka metod z grupy a/ i b/.

2.1. Wyznaczanie miarodajnych odpływów do projektowania wydajności przepompowni

2.1.1. Metoda empirycznych wskaźników odpływów i odpływów jednostkowych

Miarodajny odpływ /natężenie odpływu/ oblicza się ze wzoru

$$Q_p = q_d \cdot F \quad (2.1)$$

w którym:

- $Q_p$  - odpływ l/s,
- $q_d$  - odpływ jednostkowy l/s ha,
- $F$  - powierzchnia zlewni polderu, ha.

W pracach [8,9] podano wiele szczegółowych danych z różnych polderów polskich i zagranicznych. Tu wspominamy, że na przełomie XIX i XX wieku, w delcie Wisły przyjmowano wskaźnik odpływu  $H_d = 10$  mm/dobę, czyli  $q_d = 1,16$  l/s ha. Ze studiów [9] wynika, że rozpiętość danych jest duża, bowiem zawiera się w przedziale  $0,02 \leq q_d \leq 20,8$  l/s ha. Najczęściej słabo zostały wyszczególnione warunki, w jakich uzyskano tak zróżnicowane dane, co utrudnia zastosowanie analogii hydrologicznej.

2.1.2. Metoda opadów atmosferycznych i współczynnika odpompowania

W literaturze zagranicznej podawane są dość liczne wzory, w których wykorzystywane są współczynniki odpompowywania

$$Q = \frac{10^4 \sum P \alpha}{t_p} F_p \quad (2.2)$$

gdzie:

- $P$  - suma opadów atmosferycznych z miesięcy XII - III, mm,
- $\alpha$  - współczynnik odpompowania za w/w okres,
- $t_p$  - 10 + 20 dób, czas odpompowania opadów, s,
- $F_p$  - powierzchnia polderu, ha.



Współczynnik odpompowania  $\alpha$  jest stosunkiem ilości wody odpompowanej do ilości wody z opadów atmosferycznych dotyczących tych samych powierzchni i czasu. Biorąc pod uwagę okres bilansowania opadów i odpływów oraz warunki hydrologiczno-hydrogeologiczne, szereg badaczy uzyskiwało  $\alpha > 1$ . Badania powinny być kontynuowane nad faktyczną ilością odpompowywanej, zbędnej wody oraz wielkością współczynników  $\alpha$  na różnych polderach.

#### 2.1.3. Metoda ilości pompowanej lub odpływającej wody z polderów

Dysponując szczegółowymi danymi o ilości pompowanej wody lub odpływającej wody z istniejących polderów można wykorzystać analogię hydrologiczną do projektowania podobnych polderów. Niestety, badań z tego zakresu było stosunkowo mało.

#### 2.1.4. Metoda odpływów z drenaży i obcych wód filtracyjnych

Kilku autorów opracowało formuły na odpływ wody z drenów, uwzględniając położenie zwierciadła wód gruntowych w różnych okresach, przed i po odwodnieniu systemem sieci drenarskiej. Ponadto analizowano dopływ z filtracji przez korpus i podłoże obwałowania. Aby sprawdzić te formuły i zastosować je do potrzeb praktyki projektowej niezbędne są szersze badania.

#### 2.1.5. Metoda obliczeń bilansowych

Odpływ z wód roztopowych i deszczów burzowych ustalano wzorami empirycznymi, wykorzystującymi uproszczone bilanse wodne. Uszczegółowienie wielkości składników tych wzorów wymaga szerszych badań terenowych.

### 2.2. Wyznaczanie dynamiki odpływu wody z polderów

W przeciwieństwie do metod podanych w p.2.1., którymi wyznaczano za zwyczaj jedną wielkość z hydrogramu odpływu, metody poniższe zmierzają do obliczenia chronologicznego przebiegu odpływu  $Q = f(t)$ , a zwłaszcza całej fali wezbrań po opadach deszczu. Umożliwia to wyznaczenie wydajności pomp, przerw w pracy, pojemności wyrównawczej zbiornika retencyjnego. W pracach [8,9,11] opublikowano szczegółowe dane i przykłady zastosowania kilku metod w warunkach polderowych.

#### 2.2.1. Metoda Shermana

Opublikowana została przez Shermana w 1932 r., a następnie udoskonalona, zwłaszcza w zakresie konstruowania hydrogramu jednostkowego, przez szereg badaczy /Collons, Barnard, Mc Carth i inni/. Hydrogram jednostkowy stanowi uśredniony odpływ wody w funkcji czasu, po deszczach trwających ustaloną jednostkę czasu np. 1,6, 12 godz. Jeżeli w ciągach obserwacyjnych brak jest odpływów po deszczach o przyjętej jednostce czasu, wówczas istnieją sposoby ich przetransformowania [8]. Metoda ta wymaga wykonania pomiarów opadów i odpływów również do obliczenia średniego dla danej fali współczynnika odpływu. Powoduje to, że metoda Shermana posiada ograniczone możliwości prognozowania.

## 2.2.2. Zmodyfikowana metoda Shermana

Celem modyfikacji [8,9] było ograniczenie powyższych mankamentów. Polega ona na wyznaczeniu chwilowego /przedziałowego/ współczynnika spływu  $\alpha_s$  i w pierwszym sposobie obliczeń wezbrania, mnożono opady deszczu z ustalonych przedziałów przez  $\alpha_s$ , a otrzymaną wysokość opadu skuteczniego rozkładano według hydrogramu jednostkowego. W drugim sposobie modyfikacji obliczeń rozkładano faktyczne opady według hydrogramu jednostkowego i po zsumowaniu rzędne złożonej fali wezbrania mnożono przez  $\alpha_s$ .

## 2.2.3. Metoda opracowana przez Klugiewicza

Metoda opracowana przez Klugiewicza [8] została opublikowana w 1979r. Charakteryzując ją ogólnie, zaproponowano, aby zmianę w czasie natężenia odpływu wody ze zlewni po deszczu obliczać ze wzoru:

$$Q = 166,7 \frac{P}{t} F_{cz} = q \cdot F_{cz} \quad (2.3)$$

w którym:

- $Q$  - natężenie odpływu brutto ( $\alpha=1$ ), l/s,
- $p$  - wysokość opadu, mm,
- $t$  - czas trwania deszczu, min.,
- $q$  - natężenie deszczu l/s, ha,
- $F_{cz}$  - czynna powierzchnia zlewni, ha.

Na uwagę zasługuje to, że we wzorze (2.3),  $F_{cz}$  stanowi tę część zlewni, która w rozpatrywanym przedziale czasu doprowadza spływy deszczowe do przekroju kluczowego zlewni. W tym celu na planie sytuacyjno-wysokościowym zlewni należy poprowadzić izochrony w identycznych odstępach czasu, jakie stosowano przy pomiarach opadu deszczu. Wyznaczona zależność  $F_{cz}=f(t)$  stanowi pewnego rodzaju klucz /wzorzec/ do rozdziału opadu deszczu w czasie. Z powyższego można wyznaczyć hydrogram brutto  $Q_{br}=f(t)$ . Mając ponadto wyniki pomiarów faktycznych fal wezbrania  $Q_{pom}=f(t)$ , należy wyznaczyć straty chwilowe /przedziałowe/ wody, powstające na drodze od miejsca upadku deszczu do przekroju kluczowego

$$Q_s = Q_{br} - Q_{pom} \quad (2.4)$$

Mając szereg obliczeń i pomiarów fal wezbrania istnieje możliwość takiego doprowadzenia, aby rzędne przepływu pomierzonego i obliczonego były zbliżone  $Q_{ob} \approx Q_{pom}$ , stąd w pierwszym sposobie

$$Q_{ob} = Q_{br} - Q_s \quad (2.5)$$

Następnie oznaczając  $Q_{pom} / Q_{br} = \gamma$  jako chwilowy współczynnik, w drugim sposobie obliczeń rzędne fali wezbrania

$$Q_{ob} = \gamma \cdot Q_{br} \quad (2.6)$$

Z badań fal spływu, uformowanych w różnych warunkach, można wyznaczyć zależność  $\gamma$  od bardziej dostępnych parametrów. Metoda ta umożliwia szybsze uzyskanie niezbędnych wyników do projektowania i eksploatacji w porównaniu z metodami wymagającymi wieloletnich pomiarów, aby można zastosować rachunek prawdopodobieństwa.

Podsumowując omówione w skrócie metody ustalania odpływu /p.2/ należy stwierdzić, że do pełnego stosowania w różnych warunkach, konieczne jest

prowadzenie pomiarów odpływu oraz opadu deszczu. W obecnych warunkach łatwo można uzyskać dane o opadach deszczu z IMGW, IMUZ/, natomiast nie ma wyników pomiarów odpływu wody z polderów.

### 3. METODY POMIARU ODPŁYWU WODY

#### 3.1. Wprowadzenie

Z analizy /p.2/ wynika, że w pracach badawczych, projektowych i eksploatacyjnych systemów polderowych, a zwłaszcza przepompowni, istotna jest znajomość natężenia i objętości dopływu wody z polderów, rejestrowanych w przekroju kluczowym zlewni polderu lub w ich zlewniach cząstkowych.

Natężeniem przepływu /przepływem/ nazywa się objętość cieczy przepływającej w jednostce czasu przez określony przekrój cieku. Natężenie przepływu wyrażane jest najczęściej w  $m^3/s$  (a czasem  $dm^3/s$ ,  $m^3/min$ ,  $dm^3/min$ ). Wielkość natężenia przepływu cieczy można obliczyć z ilorazu (2.7) lub z iloczynu (2.8):

$$Q = \frac{W}{t} \quad (2.7)$$

$$Q = F_{cz} \cdot V_{sr} \quad (2.8)$$

w których:

$W$  - objętość cieczy,  $m^3$ ,

$t$  - czas dopływu, s,

$F_{cz}$  - pole powierzchni przekroju czynnego,  $m^2$ ,

$V_{sr}$  - średnia prędkość cieczy, m/s.

Objętość przepływu to objętość cieczy, jaka przepłynęła przez rozpatrywany przekrój w dowolnym czasie. Objętość przepływu wyrażana jest w  $m^3$ , a także w ich wielokrotnościach, gdy wykonywane są pomiary i obliczenia, np. bilansu wodnego. Wyróżnia się tu dwie grupy metod pomiaru: bezpośrednie i pośrednie. W metodzie bezpośredniej realizowane są pomiary z użyciem wodomierzy, którymi można wyznaczyć objętość przepływu  $W$  z różnicy odczytów między końcem  $k$  i początkiem  $p$  pomiaru

$$W = W_k - W_p \quad (2.9)$$

Wyznaczanie objętości przepływu metodami pośrednimi składa się z pomiaru natężenia przepływu  $Q$  i czasu trwania  $t$ .

$$W = Q \cdot t \quad (2.10)$$

Jeżeli  $Q = \text{const}$ , wówczas pomiar ogranicza się do rejestracji czasu  $t$ . Gdy  $Q \neq \text{const}$ , wówczas ze wstępnych pomiarów najlepiej ustalić przedział czasu  $\Delta t$ , w których zmiany  $\Delta Q$  przebiegają liniowo, a następnie odnotować wielkości  $Q_1, Q_2 \dots Q_n$  w jednakowych odstępach czasu  $\Delta t$ . Obliczona średnia arytmetyczna z  $Q_1, Q_2 \dots Q_n$  pomnożona przez sumę czasów  $\Delta t$  daje w rezultacie objętość przepływu. Podobny wynik można również uzyskać planimetrując pole pod wykresem  $Q = f(t)$  uzyskanym z przyrządów samopiszących. Istnieją także rejestrujące przyrządy z urządzeniem całkującym objętość przepływu.

W literaturze [3,13,17] podawane są różne metody pomiaru natężenia przepływu cieczy. Częstokroć wynikają one z różnych kryteriów przyjętych w klasyfikacji. Za kryterium klasyfikacji można przyjąć np.: wykorzystywane zjawisko fizyczne, narzędzie pomiaru, parametr mierzony itp.

W niniejszej pracy nie podejmuje się analizy i porządkowania istniejących i możliwych klasyfikacji metod pomiaru.

Uwzględniając składniki wzorów (2.7) i (2.8) można wyodrębnić dwie grupy metod pośrednich pomiarów natężenia przepływu.

### 3.2. Metoda pomiaru objętości dopływu i czasu

- a/ pomiar objętości cieczy  $W$  wypełniającej naczynie podstawione pod strumień w czasie jednostkowym  $t$ , czyli  $Q = f/W, t = \text{const}/$ ;
- b/ pomiar czasu  $t$  napełnienia cieczą naczynia o znanej objętości  $W$ , czyli  $Q = f/t, W = \text{const}/$ ;
- c/ pomiar objętości  $W$  cieczy wypełniającej naczynie w czasie  $t$ , czyli  $Q = f/W, t/$ , po uprzednim wyznaczeniu objętości przepływu wzorem 2.10; w dowolnym czasie obliczamy średnie natężenie (2.7).

### 3.3. Metoda pomiaru pola przepływu i prędkości średniej

Cieki naturalne i sztuczne mają różne kształty przekroju poprzecznego. Przy przepływach ze swobodnym zwierciadłem wody, pod wpływem grawitacji ziemskiej wraz ze zmianą napełnienia  $h$  ulega zmianie pole powierzchni czynnej przekroju  $F_{cz}$  i długość obwodu zwilżonego  $U$ . Jeżeli promień hydrauliczny  $R_h = \frac{F_{cz}}{U}$  nie ulega gwałtownym zmianom w pewnym przedziale zmian  $\Delta h$ , to taki przekrój można uznać za zwarty /jednorodny/ w sensie hydraulicznym i nie jest konieczny jego roboczy podział dla wyznaczania w nim wielkości prędkości średnich.

Pomiar pola powierzchni przekroju poprzecznego cieku może być realizowany wraz z pomiarami prędkości przepływu wody lub z przesunięciem czasowym, gdy istnieje pewność, że nie ulega ono zmianie pod wpływem różnych czynników /np. erozji koryta, sedymentacji rumowiska, zarastania, zlodzenia, robót ziemnych i umocnieniowych/. Gdy przekrój hydrometryczny będzie służył długotrwałym pomiarom natężenia przepływu  $Q$  przy różnych napełnieniach  $h$  dla wyznaczenia krzywej konsumpcyjnej  $Q = f/h/$  i następnie wykorzystania jej do określenia objętości odpływu, przekrój poprzeczny powinien być tak dobrany, aby na odcinku prostym był niezmienny, a nawet odpowiednio umocniony. Przy przepływach pod ciśnieniem powierzchnia przekroju hydrometrycznego jest stałą  $F_{cz} = \text{const}/$ .

W omawianej metodzie pomiaru natężenia przepływu konieczne jest wyznaczenie drugiego składnika wzoru (2.8), a mianowicie średniej prędkości przepływu wody.

Istnieje wiele metod ustalania prędkości wody. Szereg z nich odnosi się do prędkości punktowej i dopiero pomiar w kilku punktach przekroju umożliwia wyznaczenie prędkości średniej. Istnieją metody, którymi można określić prędkość średnią lub zbliżoną do niej wielkość. Stopień dokładności

ci tych metod jest bardzo zróżnicowany. Wymienimy tu kilka grup pomiarów prędkości.

#### a/ Metody geodezyjno-rachunkowe

W korycie ciekłu ustala się niwelacyjnie spadek zwierciadła wody wzdłuż jego biegu, następnie z pomiarów przekroju poprzecznego  $F$  i obwodu zwilżonego  $U$  oblicza się promień hydrauliczny  $R_h = F/U$  oraz z tabel odczytuje się współczynnik szorstkości  $n$  odpowiedni do warunków miejscowych, i zastosowanego wzoru na współczynnik prędkości  $C$  (np. wg Manninga  $C = \frac{1.49}{n R_h^{2/3}}$ ).

Prędkość średnią można obliczyć np. wzorem Chezy'ego

$$V = C \sqrt{R_h \cdot J} \quad (3.1)$$

Należy nadmienić, że obliczenia prędkości wg wzoru Chezy'ego zmuszają do ustalenia promienia hydraulicznego  $R_h$ , a więc także pola powierzchni czynnej  $F_{cz}$ , dlatego ustalenie natężenia przepływu  $Q = V \cdot F_{cz}$  jest tylko czynnością rachunkową.

Prędkość średnią można także wyznaczyć ze wzoru Matakiewicza [16]

$$V = \sqrt{J \cdot f/h} \quad (3.2)$$

Funkcje spadku  $f/J$  i głębokości  $f/h$  odczytuje się z tablic po uprzednim pomiarze geodezyjnym  $J$ ,  $h$ . Ustalając prędkość średnią wg wzorów (3.1) i (3.2) należy pamiętać, że w korytach wielodzielnych, przy podniesieniu się stanu wody do rozszerzonej części koryta, następuje niewielki wzrost pola powierzchni czynnej i gwałtowny przyrost długości obwodu zwilżonego, co powodowałoby zmniejszenie się promienia hydraulicznego  $R_h$  w stosunku do  $R_h$  przy niższych stanach. Aby zapobiec zmniejszeniu się  $R_h$  i prędkości średniej, a także przepustowości /natężenia/, przekrój poprzeczny koryta należy podzielić na części jednorodne pod względem hydraulicznym, pomijając w sumowaniu długości obwodu zwilżonego odcinki powyższego myślowego podziału.

#### b/ Metody kinematyczne

Istotą tych metod jest pomiar przebytej drogi  $L$  i czasu  $t$ , a następnie obliczenie prędkości  $V = L/t$ . Przyrządami lub elementami obserwacji mogą być:

- pływaki hydrometryczne /puszkowe, drążkowe, wysięgowe, odchylnicowe,
- ekrany Anderssona,
- znaczone drobiny /indykatory/, którymi mogą być: roztwory chemiczne, barwniki, atomy znaczone, izotopy promieniotwórcze, ciecze o innej temperaturze niż ciecz badana.

#### c/ Metody energetyczne

W tej grupie metod wykorzystuje się przemianę energii kinematycznej płynącej cieczy w energię ciśnienia. W oparciu o tę zasadę działają prędkościomierze piętzące /Prandtla, Conrada, Baumgartena, Prabbe'ego, Pitota, Darcy'ego/, kule i cylindry piętzące, prędkościomierze: kryzowe, dyskowe i zwężkowe. Dokładność tych prędkościomierzy jest znaczna (0,1-0,2%).

## d/ Metoda termoelektryczna

Wykorzystuje się w niej zjawisko ogrzewania przewodnika przez płynący w nim prąd elektryczny i ochładzanie go przez opływający strumień cieczy.

## e/ Metoda młynków hydrometrycznych

Młynki hydrometryczne posiadają wirniki /skrzydełkowe, śrubowe/ osadzone na osiach poziomych lub pionowych /wirniki czerpakowe/, napędzające mechanizm sygnalizacyjny lub licznikowy. Wirniki obracają się proporcjonalnie do quasi punktowej prędkości przepływu. W metodzie młynków hydrometrycznych należy odpowiednio zaplanować sposób pomiaru. Istotne jest w tym rozmieszczenie pionów i punktów hydrometrycznych lub prowadzenie młynka hydrometrycznego i jego ustawienie oraz zastosowana metoda /analityczna bądź analityczno-graficzna/ opracowania wyników. Pomiar prędkości młynkiem w ciekach szacowany jest z błędem  $\pm 3\div 5\%$ .

## 3.4. Metoda pomiaru różnic stężenia roztworu soli lub przewodności elektrycznej

Metoda pomiaru różnic stężeń roztworu soli /tzw. chemiczna/ polega na doprowadzeniu stężonego roztworu soli z jednakowym natężeniem i pomiarze jego stężenia w wodzie w drugim przekroju, którego usytuowanie powinno zapewniać dobre wymieszanie roztworu z masą płynącej wody. Bardzo dobre wymieszanie uzyskuje się przy przepływie przez pompy i turbiny wodne. Oznaczając przez:

$k_0$  - zawartość soli w wodzie badanego cieku,  $\text{kg/m}^3$ ,

$k_1$  - zawartość soli w doprowadzanym roztworze,  $\text{kg/m}^3$ ,

$k_2$  - zawartość soli w przekroju badanego cieku,  $\text{kg/m}^3$ ,

$q$  - natężenie doprowadzanego roztworu soli,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

$\dot{Q}$  - poszukiwane natężenie przepływu wody w cieku,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

można ułożyć dwa równania bilansu wody (3.3) i soli (3.4)

$$\dot{Q} + q = \dot{Q}_2 \quad (3.3)$$

$$\dot{Q} \cdot k_0 + q k_1 = \dot{Q}_2 \cdot k_2 \quad (3.4)$$

Po rozwiązaniu tych równań otrzymuje się poszukiwane natężenie przepływu

$$\dot{Q} = q \frac{k_1 - k_2}{k_2 - k_0} \quad (3.5)$$

Gdy zawartość soli  $k_0$  w wodzie badanego cieku jest znikoma w stosunku do jej zawartości  $k_1$  w roztworze, wówczas można przyjąć  $k_0 = 0$  i równanie (3.5) uprościć do postaci

$$\dot{Q} = q \frac{k_1 - k_2}{k_2} \quad (3.6)$$

Ponadto, jeżeli natężenie  $q < 0,02 \dot{Q}$  wówczas można posługiwać się równaniem

$$\dot{Q} = q \frac{k_1}{k_2} \quad (3.7)$$

Szacuje się, że błąd pomiaru tą metodą wynosi do 2%.

Powyższe zależności można także wykorzystać odpowiednio stosując metodę termometryczną, wówczas w miejsce składników  $k$  należy wprowadzić odpowiednio temperatury.

Kolejna metoda /Allena/ wykorzystuje zwiększenie przewodności elektrycznej wody, gdy zwiększy się w niej zawartość soli. Po wtrysnięciu w czasie  $0,5 \pm 5,0$  s stężonego roztworu soli /o dawce  $10 \pm 90 \text{ dm}^3$ /, pod ciśnieniem ok. 10 atm do płynącej strumieniem wody, należy pomierzyć czas  $t$  przepływu rozcieńczonej fali roztworu soli między dwoma przekrojami hydrometrycznymi o polu  $F$ , odległymi od siebie o wielkość  $l = 10 \pm 20$  m. Elektrody umieszczone w przekrojach są podłączone do obwodu prądu elektrycznego wraz z samopiszącym amperomierzem, który rejestruje czas  $t$  liczony od początku wtrysku do wzniesienia wykresu opisującego zmiany natężenia prądu elektrycznego  $I$  w czasie  $t$ , czyli  $I = f/t$ . Haller na podstawie swoich badań dowiódł, iż za punkt rejestracji czasu należy przyjmować środek ciężkości pół powierzchni pod wykresem  $I = f/t$ . Natężenie przepływu można obliczyć ze wzoru

$$Q = \frac{F \cdot L}{t} \quad (3.8)$$

Szacowana dokładność tej metody wynosi  $\pm 3 \pm 5\%$ . Można ją stosować w pomiarach natężenia przepływu o swobodnym zwierciadle i pod ciśnieniem. Metoda ta jest dość uciążliwa w pomiarach, a zwłaszcza przy opracowywaniu wyników.

### 3.5. Metoda pomiaru przepływomierzami

Aby można było przyrząd uważać [17] za przepływomierz, powinien on być wyposażony w urządzenie wskazujące lub rejestrujące natężenie przepływu niezależnie od zasady działania i wielkości mierzonej /np. wysokość spiętrzenia, spadek ciśnienia itp./. Klasyfikacja przepływomierzy opiera się na kilku kryteriach.

#### 3.5.1. Przepływomierze otwarte

W tych urządzeniach przepływ odbywa się ze swobodnym zwierciadłem wody. Gdy stosunek powierzchni przekroju przewężenia  $F_c$  do powierzchni przekroju dopływowego  $F$  zwany wyróżnikiem otwarcia  $m$  zmienia się wraz z piętrzeniem  $n$ , wówczas przepływomierze nazywa się zmiennymi / $m \neq \text{const}$ /. W tej grupie konstrukcja przepływomierzy opiera się na:

- a/ przelewach mierniczych,
- b/ palisadach mierniczych /rusztach i kratkach/,
- c/ zwężkowych kanałach mierniczych.

#### 3.5.2. Przepływomierze zamknięte

1. Ze stałym wyróżnikiem otwarcia  $m = \text{const}$ , pracujące na zasadzie:
  - a/ zwięzki /kryzy, dysze, zwięzki/,
  - b/ krzywaka, które mogą być kolanem /łukiem/ rurociągu, względnie spiralnej osłony turbiny wodnej reakcyjnej lub pompy odśrodk-

kowej. Wykorzystuje się tu proporcjonalność natężenia przepływu do pierwiastka kwadratowego z przyrostu ciśnienia między wkłęsłą i wypukłą stroną kolana wywołanego siłą odśrodkową.

2. Że zmiennym wyróżnikiem  $m \neq \text{const}$ :

a/ pływakowe, w których  $\Delta p = \text{const}$  jest proporcjonalny do ciężaru pływaka całkowicie zanurzonego w opływającym go strumieniu cieczy,

b/ zaworowe:

- wzniosowe /grzybkowe lub iglicowe/,
- odchylnie /klapowe/,
- zasuwowe.

Wybór przepływomierza uzależniony jest od szeregu czynników, między innymi od wahań przepływu, zakładanej dokładności pomiaru i programu jego realizacji. W niniejszym artykule ograniczono się do przepływomierzy otwartych, ze zmiennym wyróżnikiem otwarcia / $m \neq \text{const}$ /, a mianowicie tych, które wykorzystują przelewy miernicze /p.3.5.1a/.

Podstawowy element przepływomierza, jakim jest przelew, może również być różnego typu. Syntetyczną ich klasyfikację według pracy [6] przedsta- wiono na rysunku 1.

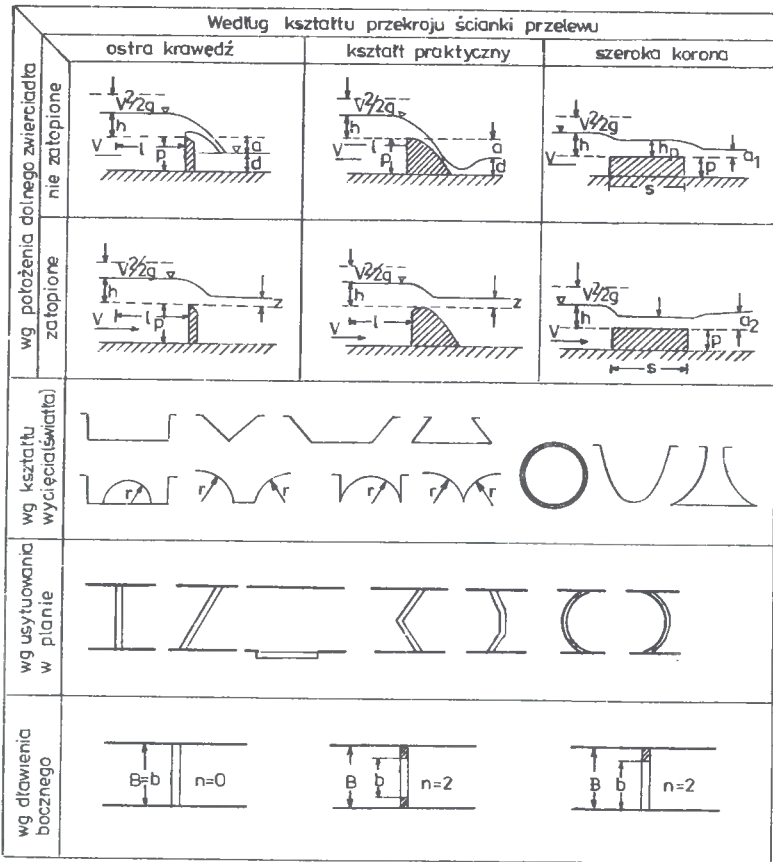
Wybór przelewu, pod względem położenia dolnego zwierciadła wody dla celów badań terenowych, zależy od miejscowych warunków. Na przykład, na polde- rach z konieczności należy stosować przelewy zatopione, zamiast niezato- pionych -choć łatwiejszych w wykonaniu i badaniach. Z rysunku 1 wynika, że istnieje wiele kształtów wycięcia /światła/ przelewowego. Przyjmowane są one w zależności od wielkości i amplitudy wahań natężenia przepływu, a także od dokładności i sposobu pomiaru. Łatwe w wykonaniu są kształty wy- cięcia w formie najprostszych i typowych figur geometrycznych, jednak ich charakterystyka  $Q = f/h$ , /gdzie  $h$  - wysokość piętrzenia mierzona powyżej ściany w odległości  $L = 3h + 4h$ / jest krzywoliniowa. Trudniejsze w wyko- naniu są kształty o prostoliniowej charakterystyce przepływu /ostatni kształt na rys. 1/ jednak ich zaletą jest to, że bardzo łatwo jest skon- struować urządzenie samopiszące do badania dynamiki odpływu  $Q = f/t$ . Po- sługujemy się wówczas zapisem  $h = f/t$ , który natychmiast można przetrans- sponować w zapis  $Q = f/t$ , bowiem w każdym obszarze wysokości piętrze- nia  $h$ , przyrosty  $\Delta h_1$  są wprost proporcjonalne do przyrostów  $\Delta Q_1$ . Dla przelewów prostokątnych niezatopionych o ostrej krawędzi z uwzględnie- niem wysokości prędkości dopływowej  $k = V^2/2g$ , natężenie przepływu obli- cza się z ogólnego wzoru:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} \left( b - \frac{n \cdot h}{10} \right) \left[ (h + k)^{3/2} - k^{3/2} \right] \quad (3.9)$$

Dla przelewu zatopionego o ostrej krawędzi i kształtach praktycznych bez kontrakcji bocznej, oblicza się wydatek ze wzoru:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_1 b \left[ (h - z + k)^{3/2} - k^{3/2} \right] + \mu_2 \cdot b z \sqrt{2g(h - z + k)} \quad (3.10)$$





Rys.1. Klasyfikacja przelewów

gdzie:

$Q$  - natężenie przepływu /wydatek/,  $m^3/s$ ,

$\mu, \mu_1, \mu_2$  - współczynniki wydatku przelewu,

$b$  - długość krawędzi przelewu,  $m$ ,

$n$  - liczba kontrakcji bocznych,

$g$  - przyspieszenie ziemskie,  $m/s^2$ .

Na polderze Załom koło Szczecina zastosowano urządzenie pomiarowe z przelewem prostokątnym, niezatopionym [7], natomiast na polderze Łęg - nowo koło Bydgoszczy zaprojektowano i wykonano podobny przelew w zastawce typu Z-2-1p, który może pracować również jako zatopiony, stąd zainstalowano dwa limnigrafy do rejestracji dynamiki stanów wody górnej i dolnej /rys.2/.



Rys.2. Urządzenie przelewowo - limnigraficzne

### 3.5.3. Przepływomierze elektromagnetyczne

Idea metody elektromagnetycznej znana jest już od około 150 lat. Osobliwie obserwuje się coraz większe zainteresowanie tą metodą w związku z burzliwym rozwojem techniki mikroprocesorowej. Metodę elektromagnetyczną zastosowano w budowanym systemie pomiarowym na polderze Łęgnowo koło Bydgoszczy.

Metoda ta wymaga wzbudzenia w przekroju pomiarowym pola magnetycznego, którego wektor indukcji magnetycznej  $B$  jest prostopadły do wektora prędkości  $V$  płynącej cieczy przewodzącej. Ciecz przewodząca płynąca w obszarze wzbudzonego przez cewkę 2 pola można traktować jako przewodnik. Dzięki czemu na elektrodach 3 umieszczonych po obu brzegach kanału 1, pojawi się różnica potencjałów elektrycznych  $U$  /rys.3/.

Jej wartość jest proporcjonalna do średniej prędkości w danym profilu pomiarowym. Uproszczoną zależność przedstawia wzór

$$U = K \cdot b \cdot B_{\text{sr}} \cdot V_{\text{sr}} \quad (3.11)$$

gdzie:

$U$  - różnica potencjałów elektrycznych między elektrodami pomiarowymi,

$K$  - współczynnik proporcjonalności zależny od parametrów hydraulicznych kanału,

$b$  - szerokość kanału /rozstaw elektrod/,

$B_{\text{sr}}$  - średnia indukcja pola magnetycznego,

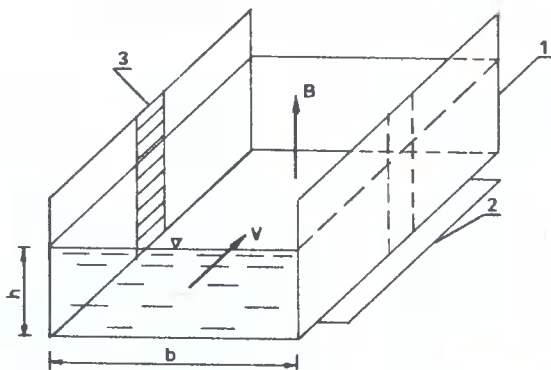
$V_{\text{sr}}$  - średnia prędkość wody w przekroju pomiarowym,

Strumień objętości wody mierzony metodą elektromagnetyczną jest określony zależnością

$$Q = F \cdot V_{\text{sr}} \quad (3.12)$$

gdzie:

$F$  - pole powierzchni przekroju poprzecznego kanału.



Rys.3. Idea metody elektromagnetycznej

Główne zastosowanie metody elektromagnetycznej to pomiary przepływu w małych ciekach naturalnych i sztucznych, a zwłaszcza w ujściowych odcinkach małych rzek, będących pod wpływem zmiennej cofki wywołanej stanami odbiornika lub budowlą wodną.

Metoda elektromagnetyczna wymaga znacznych ingerencji w strukturę kanału przepływu. Pole magnetyczne jest wzbudzane przez zespół cewek, które z reguły instalowane są w sposób naruszający istniejącą infrastrukturę kanału. Dlatego też głównym celem konstruktorów jest opracowanie takiego układu cewki wzbudzającej, który pozwoliłby uzyskać odpowiedni rozkład pola magnetycznego za pomocą cewki o minimalnych rozmiarach.

Aby uzyskać poprawny pomiar prędkości w rozpatrywanej strefie pomiarowej [9] konieczne jest spełnienie warunku przedstawionego zależnością:

$$W = W'_x \cdot B_y - W'_y \cdot B_x = \text{const} \quad (3.13)$$

gdzie:

$W$  - zmodyfikowana funkcja wagi,

$W'_x, W'_y$  - składowe funkcji wagi  $W$  obrazujące wkład poszczególnych części strumienia cieczy do sumarycznej różnicy potencjałów mierzonej na elektrodach,

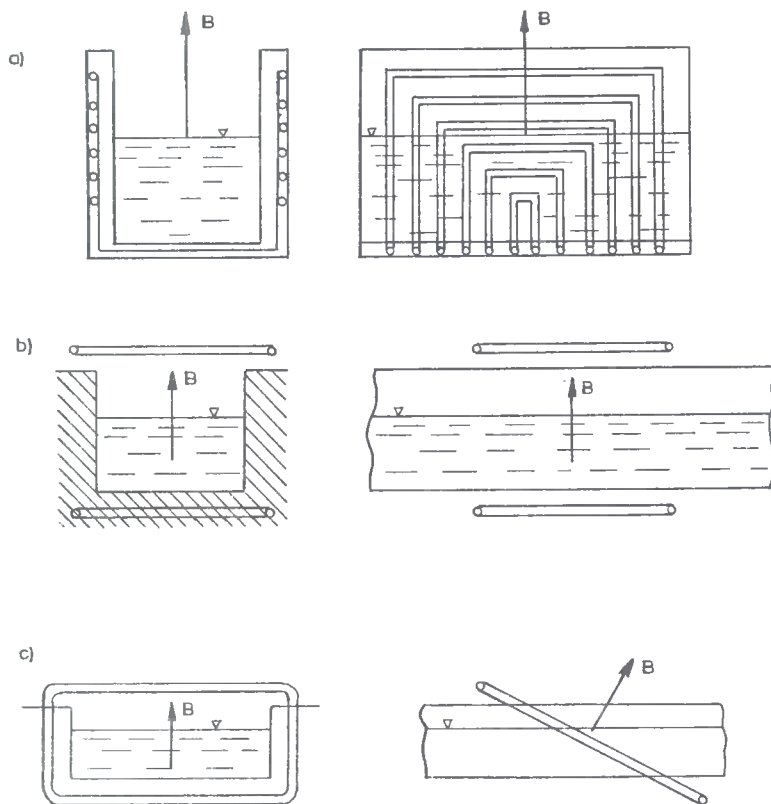
$B_x, B_y$  - składowe wektora indukcji pola magnetycznego wzbudzającego w strefie pomiarowej.

Rozkład funkcji wagi  $W$  determinowany jest w głównej mierze przez kształt przekroju poprzecznego kanału oraz sposób umieszczenia elektrod pomiarowych. Możliwości modelowania rozkładu  $W$  są w związku z tym znacznie ograniczone. W przypadku kanałów o przekroju poprzecznym prostokątnym, izolowanych elektrycznie ściankach ograniczających przepływ, oraz przy zastosowaniu elektrod "długich" obejmujących całą strefę przepływu /rys.3/, rozkład funkcji wagi jest jednorodny w całej strefie pomiarowej. W przypadku tym, zgodnie ze wzorem (3.13), konieczne jest wzbudzenie jednorodnego pola magnetycznego w całej strefie pomiarowej.

Jedno z pierwszych rozwiązań konstrukcyjnych dla kanałów przemysłowych zaproponował Engl [4]. Wykorzystał on pole magnetyczne o kierunku

zgodnym z polem ziemskim, wzbudzone przez cewkę umieszczoną pod dnem kanału. Kształt zastosowanej cewki zapewniał jednorodny rozkład pola magnetycznego.

W zależności od głębokości kanału Engl zaproponował różne konstrukcje cewek wzbudzających /rys.4/. Nierównomierność rozkładu wzbudzonego pola magne-



Rys. 4. Cewki wzbudzające w przepływomierzach Engla

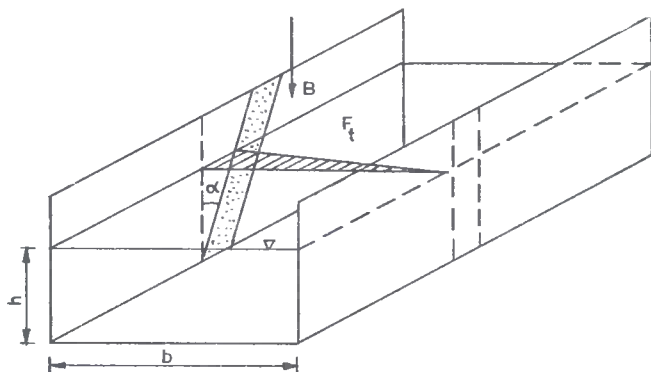
tycznego dla przedstawionych rozwiązań nie przekraczała  $\pm 2\%$ . Problem pomiaru głębokości wody, Engl rozwiązał wykorzystując do zasilania cewki prąd o przebiegu harmonicznym. Pochylając jedną z elektrod pomiarowych wzdłuż brzegu kanału uzyskał zależność amplitudy napięcia transformacji w pętli przewodzącej składającej się z cieczy, elektrod i przewodów doprowadzających od poziomu napełnienia kanału przepływu /rys.5/. Zależność ta przedstawiona jest wzorem

$$U_h = F_h \cdot \partial B / \partial t \quad (3.14)$$

gdzie:

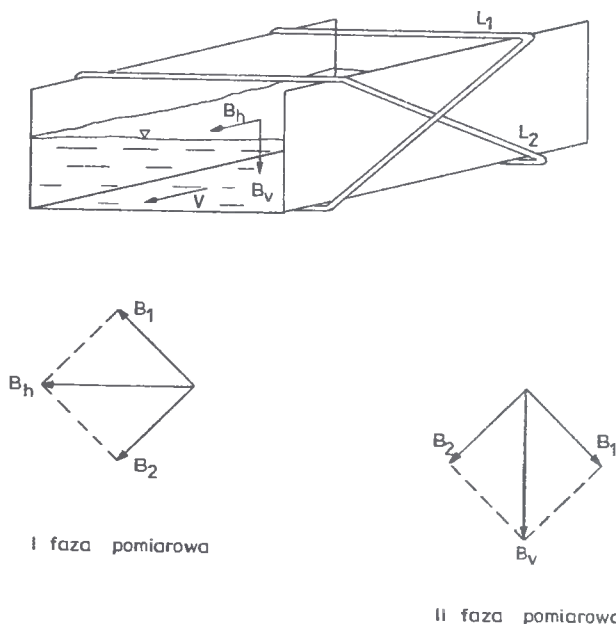
$$F_h = b/4 \cdot \text{tg} \cdot h - \text{płaszczyzna zależna liniowo od głębokości.}$$

Napięcie to jest przesunięte w fazie o  $90^\circ$  w stosunku do  $U$  i jest liniowo zależne od głębokości wody.



Rys.5. Zasada pomiaru napełnienia kanału

Nieco inne rozwiązanie konstrukcyjne zaproponował Gils [5]. Układ wzbudzenia pola magnetycznego składał się z dwóch cewek skrzyżowanych pod kątem prostym i obejmujących cały przekrój pomiarowy /rys.6/.

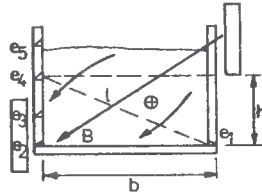


Rys.6. Przepływomierz Gilsa /I i II faza pomiarowa/

W pierwszej fazie pomiarowej cewki wytwarzały pole magnetyczne o wektorze indukcji równoległym do zwierciadła wody. Sygnał użyteczny mierzony w tej fazie na elektrodach pomiarowych jest proporcjonalny do napełnienia wodą kanału. Drugą fazą pomiaru stanowi klasyczny pomiar  $V_{sr}$ . Ze względu na występowanie zakłóceń energetycznych i efektów kwadraturowych, napięcie zmienne zasilające układ cewek wzbudzających w trakcie pomiaru głębokości zastąpiono napięciem stałym kluczkowym z częstotliwością

ok. 1Hz. Bonfig [2] zaproponował modyfikację metody Engla pomiaru poziomu, zastępując przebieg prostokątny napięcia zasilającego układ cewki falą trapezoidalną. Pomiar sygnału proporcjonalnego do głębokości dokonywany jest w trakcie trwania narastającego i opadającego zbocza trapezu /  $\partial B / \partial t \neq 0$  / zaś sygnał proporcjonalny do  $V_{sr}$  mierzony jest w chwilach gdy  $\partial B / \partial t = 0$  i  $B \neq 0$ .

Przedstawione dotychczas rozwiązania wykorzystywały elektrody długie wykonane z wysoko jakościowej stali nierdzewnej. Oddzielną grupę przepływomierzy dla kanałów otwartych stanowią przepływomierze wykorzystujące elektrody punktowe. Rolff [15] zastosował zestaw elektrod punktowych wraz z układem wzbudzającym skośne pole magnetyczne /rys.7/.



Rys.7. Przepływomierz ze skośnym polem magnetycznym i elektrodami punktowymi

Elektrodami czynnymi są zawsze elektroda  $e_1$  i w zależności od poziomu  $e_n - e_2$ . Przełączanie elektrod odbywa się automatycznie, w takt zmian napełnienia wodą kanału. Pomiar głębokości odbywa się drogą pomiaru rezystancji odcinka  $e_1 - e_n$ . Odstęp pomiędzy elektrodami  $L$  jest funkcją głębokości wody  $h / L = b^2 + h_{en}^2$ , tak więc sygnał użyteczny będzie bezpośrednio proporcjonalny do przepływu

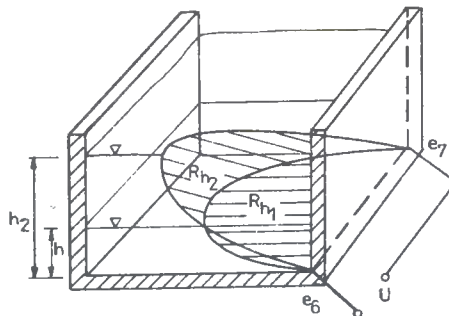
$$U = K \cdot B \cdot V \cdot \sqrt{b^2 + h_{en}^2} \quad (3.15)$$

Nieco inną ideę pomiaru głębokości /napełnienia/, wykorzystującą elektrody punktowe i efekt transformatorowy, przedstawia rys.8. Napięcie indukowane na elektrodach  $e_1 - e_6$  opisane jest zależnością

$$U = k \cdot B \cdot F_h \quad (3.16)$$

gdzie:

$F_h$  - powierzchnia proporcjonalna do głębokości  $h$ .

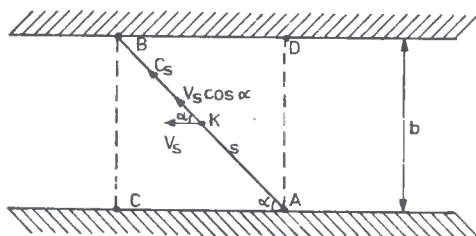


Rys.8. Pomiar napełnienia z wykorzystaniem efektu transformatorowego

Przedstawione powyżej rozwiązania konstrukcyjne stanowią pewien wybrany fragment charakterystyczny dla spotykanych obecnie tendencji rozwojowych metody elektromagnetycznej w zastosowaniu do otwartych kanałów.

#### 3.5.4. Przepływomierze ultradźwiękowe

Metoda ultradźwiękowa pomiaru przepływu wykorzystuje zjawisko zmiany prędkości ultradźwiękowej w płynie będącym w ruchu, w stosunku do jej prędkości w płynie pozostającym w spoczynku. Pomiarowi podlegają wywołane tym zjawiskiem zmiany kąta fazowego, czasu przebiegu fali, częstotliwości lub mocy fali ultradźwiękowej [1,6,16]. Zasadę pomiaru prędkości ruchu cieczy metodami ultradźwiękowymi można przedstawić na przykładzie /rys.9/. Dwa przetworniki hydroakustyczne A i B umieszczone są w polu przepływowym. Pomiar może być dokonywany trzema różnymi sposobami: metodą pomiaru czasu przelotu czoła fali, metodą pomiaru częstotliwości obiegu impulsów i metodą pomiaru różnicy faz sygnałów.



Rys.9. Schemat pomiaru prędkości średniej

W metodzie opartej na pomiarze czasu przelotu czoła fali, przetworniki A i B wzbudzone są równocześnie impulsem napięciowym, z częstotliwością  $f_r$ , generując serię tłumionych wykładniczo oscylacji mechanicznych. Wytworzone fale przemieszczają się w kierunku przeciwnego przetwornika. Z pewnym uproszczeniem można założyć [16], że prędkość fali dźwiękowej  $V$  jest sumą geometryczną prędkości propagacji  $c_s$  w danym punkcie ośrodka oraz prędkości ruchu cieczy  $V_s$ . Prędkość  $V_s$  jest składową prędkości miejscowej w kierunku osi geometrycznej kanału. Można wykazać [16], że prędkość średnia ruchu cieczy  $V_{sr}$  na odcinku AB /rys.9/ w dowolnej płaszczyźnie pionowej lub poziomej przekroju poprzecznego kanału opisana jest wzorem

$$V_{sr} = \frac{(t_2 - t_1) \cdot c_0^2}{2 \cdot b \cdot \cos \alpha} \quad (3.17)$$

gdzie:

- $t_2$  - czas przelotu fali akustycznej w kierunku przeciwnym do kierunku wektora prędkości cieczy,
- $t_1$  - czas przelotu fali akustycznej w kierunku zgodnym z kierunkiem wektora prędkości cieczy,
- $c_0$  - prędkość dźwięku,
- $b$  - odległość przetworników ultradźwiękowych,
- $\alpha$  - kąt pomiędzy osią symetrii kanału przepływu a prostą łączącą przetworniki.

W metodzie pomiaru częstotliwości obiegu sygnału impuls akustyczny przesyłany jest z A do B. Czoło fali docierające do B wyzwala w układzie następny impuls w tym samym kierunku. Sygnałem wyjściowym w tej metodzie jest wartość częstotliwości powtarzania tak uwarunkowanego generatora impulsów. Częstotliwość impulsów biegnących w kierunku przeciwnym do kierunku płynącej cieczy wynosi  $f_{AB} = 1/t_{AB}$ , zaś w kierunku zgodnym  $f_{BA} = 1/t_{BA}$ . Różnica tych częstotliwości jest proporcjonalna do poszukiwanej prędkości cieczy zgodnie z zależnością

$$\Delta f = f_{AB} - f_{BA} = 1/t_{AB} - 1/t_{BA} = 2/b \cdot v_{sr} \cdot \cos \alpha \quad (3.18)$$

W metodzie pomiaru różnicy faz, sygnały ultradźwiękowe wysyłane są z punktu A do B i punktu B do A jednocześnie z częstotliwością  $f_A$  i  $f_B$ . Różnica faz tych sygnałów  $\phi_B - \phi_A$  jest proporcjonalna do prędkości mierzonyj  $v_{sr}$

$$\Delta \phi = \phi_B - \phi_A = (k_B/c^2) v_{sr} \cos \alpha \quad (3.19)$$

Szczegółowa charakterystyka metod hydrometrii ultradźwiękowej, w kontekście jej zastosowań do analizy pól przepływowych, przedstawiona jest w pracy [16]

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy podano kilka metod ustalania miarodajnych odpływów i hydrogramów odpływu do projektowania i eksploatacji przepompowni ze zbiornikami wyrównawczymi na polderach. Klasyfikując te metody według głównych składników wchodzących do formuł obliczeniowych, a w przypadku dynamiki odpływu zwracając uwagę na technikę obliczania hydrogramów po opadach deszczu, stwierdzono, że do wdrożenia w praktyce tych metod wskazane są badania terenowe. W tym celu dokonano przeglądu metod hydrometrycznych konwencjonalnych i nowoczesnych metod mogących znaleźć zastosowanie w warunkach polderowych, gdzie dość często panują zmienne warunki ruchu wody. Dość szczegółowo omówiono metody elektromagnetyczne, z których jedną zastosowano w kraju, w warunkach polderowych po raz pierwszy, w Łęgnowie koło Bydgoszczy [12].

#### LITERATURA

- [1] Bonfig K.W.: Technische Durchfluß-messung. Vulkan - Verlag, Essen 1977
- [2] Bonfig K.W.: New developments in magnetic flow measurement in partly filled open channel. ACTA IMEKO, 1982
- [3] Dębski K.: Hydrologia. Arkady, Warszawa 1970, s.368
- [4] Engl L.: Über ein induktives Verfahren zur Durchflussmessung in offenen Gerinnen. ACTA IMEKO, 1967



- [5] Gils M.: Discharge measurement in open water by means of magnetic induction. Symposium on Hydromertry, Koblenz 1970
- [6] Herschy R.W.: Streamflow measurement. Elsevier applied science publishers LTD, New York 1985
- [7] Klugiewicz J.: Urządzenie do ciągłej rejestracji przepływu cieczy w przewodach otwartych. Gospodarka wodna nr 5, 1975, ss.156-158
- [8] Klugiewicz J.: Metody ustalania dynamiki odpływu wody z polderów Pomorza Zachodniego do projektowania i eksploatacji przepompowni. Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz Budownictwo 13, s. 116, 1979
- [9] Klugiewicz J.: Odwadnianie terenów depresyjnych. Rozprawy nr 12, ATR Bydgoszcz, 1983 ss.179
- [10] Klugiewicz J.: Hydraulika ATR Bydgoszcz, 1986, ss.174
- [11] Klugiewicz J.: Analiza hydrauliczna kanałów polderowych dla warunków nieustalonego ruchu wody. Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz, Budownictwo 23, ss.63-70, 1987.
- [12] Klugiewicz J., Dzieweczyński P., Chwaleba A., Kalicki A., Michalski A.: Elektromagnetyczny system pomiaru dynamiki odpływu wody z polderu Łęgnowo, /w niniejszym zeszycie/
- [13] Lambor J.: Hydrologia inżynierska. Arkady, Warszawa 1971, ss.362
- [14] Michalski A.: Analiza dokładnościowa metody elektromagnetycznej pomiaru średniej prędkości wody w kanałach otwartych. Rozprawa doktorska, Warszawa 1984
- [15] Rolff P.I., Starke I.: Magnetische Abflussmessung in offenen Rechteckgerinnen, ATM nr 5, 1973
- [16] Różdżyński K.: Metody hydrometrii ultradźwiękowej. Prace Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk 1984
- [17] Troskoleński A.T.: Hydromechanika techniczna, t.III. Pomiary wodne. PWT, Warszawa 1957

METHODS OF WATER OUTLET DETERMINATION AND MEASUREMENT FROM POLDER FOR DESIGN AND EKSPLOATATION OF PUMPING STATION

Summary

The methods of water outlet and water outlet hydrographs from polders for design and eksploataction of pumping station and capacity of equalizing tanks purposes were discussed.

The methods differ by parameters entering into calculating algorithms. It appeared, that practical application of these methods needs a ground measuring. The conventional and modern hydrometric methods which can be used by main polders, measurements, where usually pumps are located and water movement condition are changed quickly, were reviewed. The electromagnetic method, which was applied to measurement system operated by microcomputer in polder Łęgnowo, near Bydgoszcz, was discussed in particular.



Jan Klugiewicz  
Piotr Dzieweczyński  
Augustyn Chwaleba  
Andrzej Kalicki  
Andrzej Michalski

ELEKTROMAGNETYCZNY SYSTEM POMIARU DYNAMIKI ODPIYU WODY  
Z POLDERU ŻEGNOWO

Dominacja ruchu zmiennego wody przed stacją pomp ogranicza stosowanie konwencjonalnych metod pomiaru dynamiki odpiwu wody z polderów. Jej znajomość na wybranych polderach, umożliwi wdrożenie nowych metod ustalania wydajności pomp i pojemności zbiorników wyrównawczych. W pracy omówiono zaprojektowany i wykonany system elektromagnetyczny pomiaru, składający się z zespołu generacji pola magnetycznego, zespołu wstępnej obróbki sygnału pomiarowego i mikrokomputera zarządzającego. Ponadto zaprezentowano drugie urządzenie pomiarowe przelewowo-limnigraficzne oraz szereg nowatorskich rozwiązań zastosowanych w powyższych urządzeniach.

1. WSTĘP

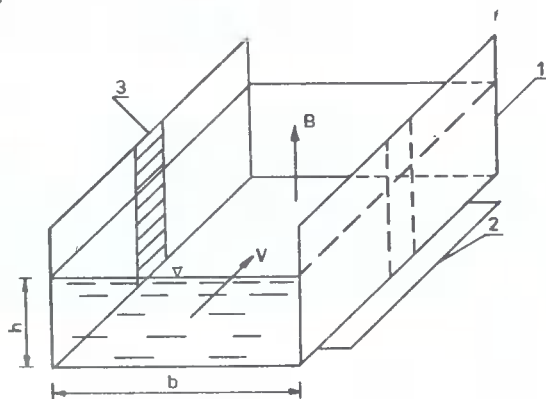
Znajomość odpiwu wody z terenów depresyjnych, odwadnianych systemami polderowymi, jest niezbędna do projektowania i eksploatacji, zwłaszcza przepompowni i zbiorników wyrównawczych wchodzących w ich skład. Na etapie projektowania i eksploatacji powinno się ustalać optymalną wydajność przepompowni i objętość wyrównawczą zbiorników. Przy ustalaniu maksymalnej wydajności pomp najbardziej przydatne są odpiwy ze spływów deszczowych, bowiem one osiągają największe wartości i występują w okresie wegetacyjnym, w którym uprawy podlegają szczególnej ochronie przeciwpowodziowej. Przy doborze pomp o mniejszej wydajności bardzo istotną jest znajomość odpiwów gruntowych, gdyż charakteryzują się one niewielkimi wartościami i amplitudami wahań, lecz okres ich występowania jest długi [5].

Pomiary odpiwu [8], dokonywane przy pomocy konwencjonalnych metod są bardzo uciążliwe i mają ograniczone zastosowanie na polderach ze względu na zmienne warunki ruchu wody w pobliżu przekroju kluczowego zlewni polderowej, w którym z reguły istnieje przepompownia odwadniająca. W tych warunkach wykorzystanie krzywej konsumpcyjnej ogranicza się do fazy pompowania, w wyniku której tworzą się krzywe /powierzchnie/ depresji wód powierzchniowych na wlocie do komory ssącej i wód gruntowych w strefie przylegającej do sieci odwadniającej. Przerwa w pracy agregatów pompowych początkowo wywołuje krzywą /powierzchnię/ piętrzenia, a następnie mogą na -

stąpić zmienne kierunki i warunki ruchu, kończące się bezruchem [6]. Tak więc od momentu wyłączenia z pracy agregatów pompowych nie można korzystać z krzywej konsumcyjnej, bowiem istniejącym stanom wody nie towarzyszą przepływy lub nie odpowiadają tym warunkom, w jakich wyznaczona była powyższa krzywa.

Chcąc uchronić się od mankamentów konwencjonalnych metod pomiaru przepływu podjęto próbę wdrożenia systemu elektromagnetycznego.

Idea elektromagnetycznej metody pomiaru natężenia odpiływu opiera się na wzajemnym oddziaływaniu dwóch wektorów: prędkości wody  $V$  oraz indukcji pola magnetycznego  $B$  wzbudzonego przez cewkę 2 w strefie pomiarowej/rys. 1.1/. W efekcie ich wzajemnego oddziaływania indukuje się pole elektryczne  $E$ , którego pomiar umożliwia wyznaczenie średniej prędkości wody  $V_{\text{sr}}$  w badanym przekroju.



Rys.1.1. Idea metody elektromagnetycznej

Wyznaczenie indukowanego pola elektrycznego jest realizowane poprzez pomiar różnicy potencjałów  $U = \phi_1 - \phi_2$  dwóch metalowych elektrod, umieszczonych na przeciwległych brzegach kanału 1 w rozpatrywanej strefie pomiarowej. Udowodniono [9], że różnica ta jest proporcjonalna do średniej prędkości  $V_{\text{sr}}$  cieczy w danym przekroju pomiarowym ograniczonym elektrodami

$$U = \phi_1 - \phi_2 = K \cdot b \cdot B \cdot V_{\text{sr}} \quad (1.1)$$

gdzie:

$K$  - współczynnik proporcjonalności zależny od parametrów hydraulicznych kanału,

$b$  - odległość między elektrodami /szerokość kanału/.

Przepływ wody  $Q$  można obliczyć ze wzoru:

$$Q = F \cdot V_{\text{sr}} \quad (1.2)$$

gdzie:

$F$  - pole przekroju poprzecznego.

W czasie pomiaru konieczne jest wzbudzenie pola magnetycznego oraz pomiar głębokości, przy założeniu, że szerokość strefy pomiarowej jest stała i wyznaczona przez elektrody pomiarowe.

By dokonać poprawnego pomiaru należy spełnić warunek

$$W = W'_x \cdot B_y - W'_y \cdot B_x = \text{const} \quad (1.3)$$

w którym:

- $W$  - zmodyfikowana funkcja wagi [2],
- $W'_x, W'_y$  - składowe funkcji wagi  $W'$  uwzględniającej wkład poszczególnych części strumienia cieczy do sumarycznej różnicy potencjałów mierzonej na elektrodach [9],
- $B_x, B_y$  - składowe wektora indukcji pola magnetycznego wzbudzonego w strefie pomiarowej.

Celem pracy jest zaprezentowanie podstaw teoretycznych elektromagnetycznej metody pomiaru odpływu i projektu systemu pomiarowego opartego na tej metodzie oraz najważniejszych elementów konstrukcyjnych, zastosowanych na polderze Łęgnowo Koło Bydgoszczy, w ramach programu resortowego RR-II - 19 [7].

## 2. KONCEPCJA ELEKTROMAGNETYCZNEGO SYSTEMU POMIARU NATĘŻENIA ODPIYU WODY Z POLDERU ŁĘGNOWO

Struktura opracowanego systemu pomiarowego bazuje na idei wieloprocesorowych systemów pomiarowych o strukturze rozproszonej /radialnej/ [4]. Poszczególne elementy systemu mogą być umiejscowione w znacznej odległości od siebie. Komunikacja między blokami odbywa się kanałem szeregowym przy zastosowaniu strat - stopowego formatu przesyłanej informacji. Jako elementy procesorowe zastosowano jednokładowe mikrokomputery 8031.

Schemat blokowy elektromagnetycznego systemu pomiarowego zbudowanego dla polderu Łęgnowo przedstawiony jest na rys.2.1.

W schemacie tym można wyróżnić trzy zasadnicze zespoły:

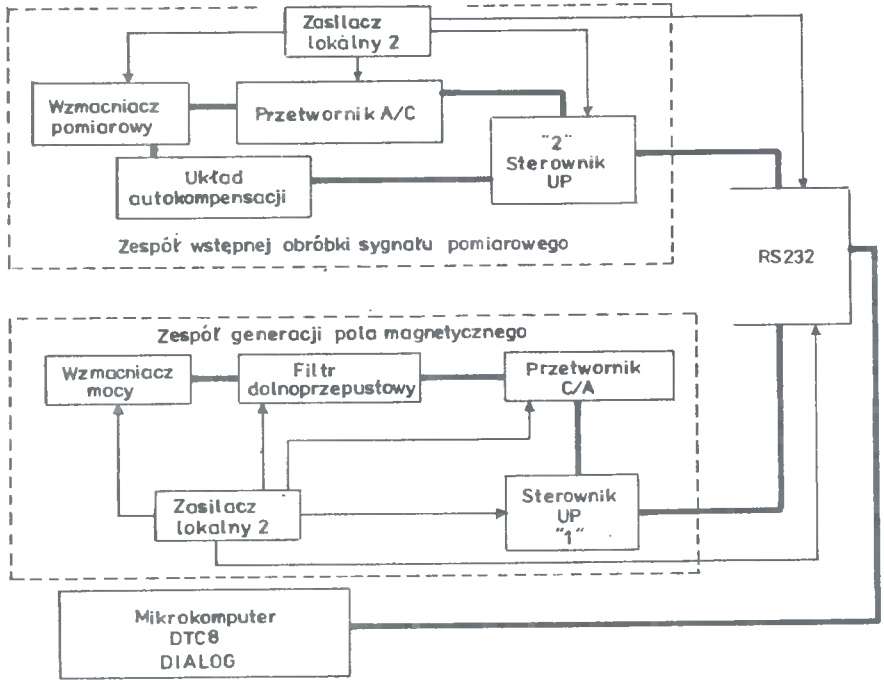
- 1/ zespół generacji pola magnetycznego,
- 2/ zespół wstępnej obróbki sygnału pomiarowego,
- 3/ mikrokomputer zarządzający.

Każdy z zespołów stanowi funkcjonalną całość mającą własne niezależne zasilanie. Wszystkie trzy bloki są od siebie odseparowane galwanicznie.

### 2.1. Zespół generacji pola magnetycznego

Zespół generacji pola magnetycznego składa się z następujących bloków: sterownika mikroprocesorowego "1", przetwornika C/A, filtru dolnoprzepustowego, wzmacniacza mocy, zasilacza lokalnego 1.

Sterownik mikroprocesorowy "1" przeznaczony jest do zamiany informacji, o wartości próbek napięcia odpowiadającego wzbudzanemu polu magnetycznemu, przesyłanej z mikrokomputera zarządzającego w postaci równoległej na postać szeregową. Sterownik ten otrzymuje zwrótnie informację statusową ze wzmacniacza mocy, sygnalizującą sytuacje awaryjne. Sterownik mikroprocesorowy został zrealizowany na mikrokomputerze jednokładowym 8031, w standardowej konfiguracji.



Rys.2.1. Schemat blokowy systemu pomiarowego zbudowanego dla polderu łągowo

Przetwornik C/A zamienia cyfrowy sygnał równoległy na analogowe napięcie próbek. Zespół przetwornika składa się z dwóch zasadniczych części: układu sterującego w postaci licznika rewersyjnego, dekadiera komend i właściwego przetwornika C/A zrealizowanego z wykorzystaniem układu scalonego 7520.

Zadaniem filtra dolnoprzepustowego jest nadanie właściwej postaci na napięciu zasilającym wzmacniacz mocy z uwzględnieniem skończonej długości próbek w czasie, na wyjściu przetwornika C/A. Filtr dolnoprzepustowy został zrealizowany w konfiguracji wzmacniaczy nieodwracających i ma częstotliwość graniczną 30 Hz. Nierównomierność charakterystyki w paśmie przenoszenia równa jest 0,1 dB, a minimalne tłumienie w paśmie zaporowym wynosi 40 dB.

Wzmacniacz mocy jest przetwornikiem napięcie - prąd o wydajności prądowej stosownej dla otrzymania właściwego pola magnetycznego wzbudzonego przez cewkę.

Zasilacz lokalny 1 /korzystając z lokalnej sieci 24 V/ dostarcza napięcie zasilających, niezbędnych dla funkcjonowania bloków składowych zespołu.

## 2.2. Zespół wstępnej obróbki sygnału pomiarowego

Zespół wstępnej obróbki sygnału pomiarowego składa się z następujących bloków: wzmacniacza pomiarowego, układu autokompensacji, przetwornika A/C, sterownika mikroprocesorowego 2, zasilacza lokalnego 2.

Zadaniem wzmacniacza pomiarowego jest wzmocnienie sygnału z elektrod o wartości rzędu dziesiątków  $\mu V$  do poziomu wymaganego przez przetwornik A/C. Wejściowy wzmacniacz pomiarowy charakteryzuje się bardzo dużą rezystancją wejściową, rzędu  $10^{12} \Omega$ , dobrą liniowością charakterystyki przetwarzania oraz wysokim współczynnikiem tłumienia sygnału wspólnego /CMRR/. Jako najczęściej stosowane i wielokrotnie sprawdzone rozwiązanie przyjęto układ z trzema wzmacniaczami operacyjnymi typu ICL 7652, firmy INTERSIL.

Ze względu na występowanie zakłóceń typu energetycznego, wejściowy wzmacniacz instrumentalny uzupełniono o dodatkowe układy filtru dolno - przepustowego typu Butterworth'a /czwartego rzędu o częstotliwości granicznej 10 Hz/. Napięcie pomiarowe występuje na tle dużego napięcia dryftu, pochodzącego od procesów elektrochemicznych w warstwie przyściennej elektrod [1]. Wartość zakłócających napięć elektrochemicznych wielokrotnie przewyższa sygnał użyteczny, proporcjonalny do średniej prędkości przepływu, dlatego też przed rozpoczęciem efektywnego pomiaru konieczna staje się kompensacja tych pasożytniczych napięć elektrochemicznych.

Układ autokompensacji niweluje bieżącą wartość dryftu elektrochemicznego od "zera", aby można było dokonać wzmocnienia pożądanej składowej z elektrod. Układ autokompensacji znajduje się w bloku pomiarowym przetwornika A/C i jest sterowany komendami z dekodera komend. Układ ten działa na zasadzie zbliżonej do przetwarzania A/C z kompensacją wagową. Napięcie potencjału elektrochemicznego jest kompensowane przez dołączenie napięć /o kolejnych wagach/ z przetwornika A/C. W przypadku przekompensowania, napięcie o danej wadze jest wyłączone.

Przetwornik A/C zamienia sygnał pomiarowy analogowy na 12-bitowy sygnał cyfrowy, który za pomocą sterownika mikroprocesorowego 2 przesyłany jest do mikrokomputera zarządzającego.

Sterownik mikroprocesorowy 2 steruje całością zespołu interpretując komendy z mikrokomputera zarządzającego przeznaczone dla układu autokompensacji i przetwornika A/C. Budowy sterownika 2 jest taka sama jak sterownika 1.

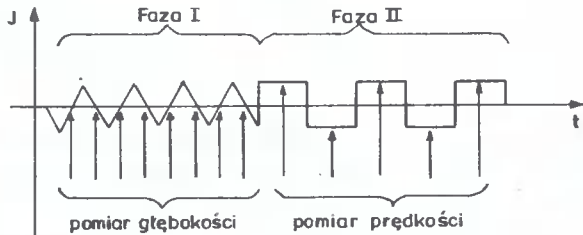
Zasilacz lokalny 2 pełni analogiczne funkcje jak zasilacz 1.

### 2.3. Mikrokomputer zarządzający

Mikrokomputer zarządzający pełni w przepływomierzu następujące funkcje: generacja przebiegu pola magnetycznego, sterowanie procesem pomiaru napięć z elektrod i funkcjonowaniem układu autokompensacji, sterowanie przepływem informacji pomiędzy zespołami systemu, obliczanie przepływu i napełnienia wodą kanału, pomiar czasu rzeczywistego, zbiorcza analiza statystyczna wyników pomiarów, analiza sytuacji awaryjnych. Jako mikrokomputer zarządzający został wykorzystany sterownik mikroprocesowy DIALOG DTC-8.

## 2.4. Uproszczony algorytm pomiaru

Algorytm działania systemu pomiarowego został zaprojektowany w sposób umożliwiający całkowitą kontrolę nad przebiegiem procesu pomiaru, z możliwością uzyskania wyników cząstkowych, co jest szczególnie ważne we wstępnym, rozruchowym etapie prac. Ze względu na przyjęte rozwiązania konstrukcyjne zdecydowano, że przebieg prądu w cewce wzbudzającej będzie charakteryzował się dwiema fazami. W fazie pierwszej prąd będzie miał przebieg czasowy trójkątny. Umożliwi to pomiar sygnału z pochyłonych elektrod, proporcjonalnego do napełnienia wodą kanału (sposób podobny do proponowanego przez Engla i Bonfiga [2, 1]). Mierzony na elektrodach sygnał pomiarowy będzie miał kształt biopolarnej fali prostokątnej /przy  $V = 0$ / i w przypadku  $V \neq 0$  sygnał pomiarowy będzie sumą przebiegu prostokątnego o amplitudzie proporcjonalnej do napełnienia wodą kanału oraz przebiegu trójkątnego, będącego wynikiem wzajemnego oddziaływania wektora indukcji pola magnetycznego  $B$  i wektora prędkości cieczy  $V$ . Eliminacje zakłócającego przebiegu trójkątnego możliwa jest przez próbkowanie sygnału pomiarowego w momentach gdy  $B = 0$ . Na rys.2.2 przedstawiony jest przebieg prądu w cewce wzbudzającej wraz z zaznaczonymi momentami próbkowania sygnału pomiarowego na elektrodach.



Rys.2.2. Przebieg prądu w cewce wzbudzającej z zaznaczonymi momentami próbkowania sygnału pomiarowego

W drugiej fazie przebieg czasowy prądu w cewce wzbudzającej ma kształt bipolarnej fali prostokątnej. W okresach, gdy  $\partial B / \partial t = 0$  dokonywany jest pomiar sygnału proporcjonalnego do średniej prędkości cieczy w kanale. Obliczenie sygnału użytecznego przeprowadzane jest zgodnie ze wzorem:

$$U_v = \frac{V_p + V_n}{n} \quad (2.1)$$

gdzie:

$U_v$  - sygnał proporcjonalny do prędkości,

$V_p$  - amplituda sygnału pomiarowego przy dodatniej polaryzacji prądu zasilającego cewkę wzbudzającą,

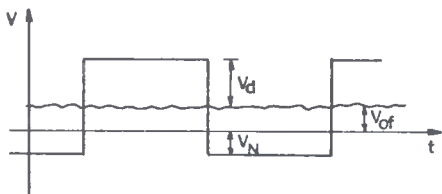
$V_n$  - amplituda sygnału pomiarowego przy ujemnej polaryzacji prądu zasilającego cewkę wzbudzającą,

$n$  - ilość okresów prądu w cewce.



Zastosowanie biopolarnego przebiegu pola magnetycznego w strefie pomiarowej zwiększa czułość układu, jak również pozwala wyeliminować napięcia zakłócające, przesuwające zero przetwornika pierwotnego. Typowy przebieg czasowy sygnału pomiarowego przedstawiony jest na rys.2.3. Sposób eliminacji zakłóceń przestawiony jest wzorami:

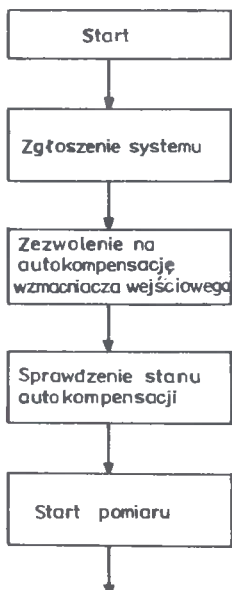
$$\begin{aligned} V_n &= V_N - V_{of} \\ V_p &= V_d + V_{of} \\ V_p + V_n &= V_d + V_{of} + V_N - V_{of} = V_d + V_N \end{aligned} \quad (2.2)$$

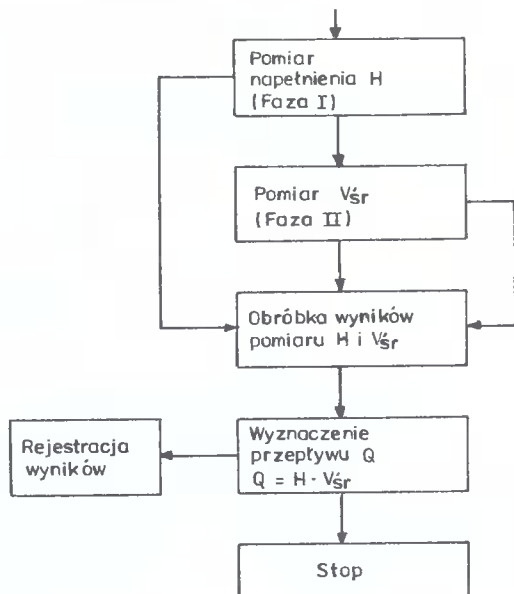


Rys.2.3. Przebieg czasowy użytecznego sygnału pomiarowego

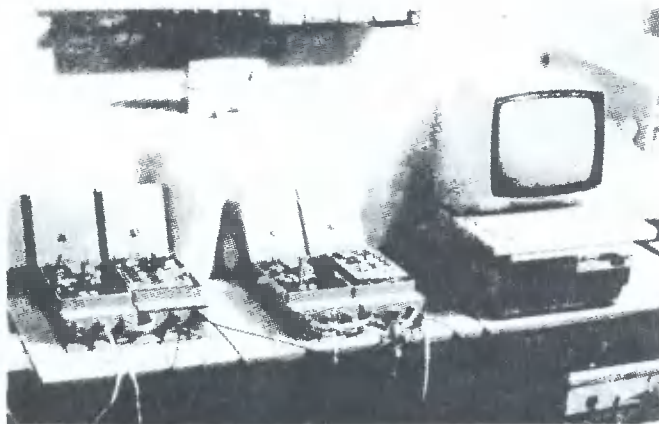
Każdy cykl pomiarowy poprzedzany jest procesem autokompensacji.

Proces pomiaru jest inicjowany sygnałem startu wysyłanym z komputera nadrzędnego, który również zbiera i analizuje uzyskane wyniki. Uproszczony algorytm pracy całego systemu przedstawiony jest na rys.2.4. Widok na urządzenia elektroniczne przedstawia rys.2.5.





Rys.2.4. Uproszczony algorytm pracy systemu pomiarowego



Rys.2.5. Widok na urządzenia elektroniczne systemu

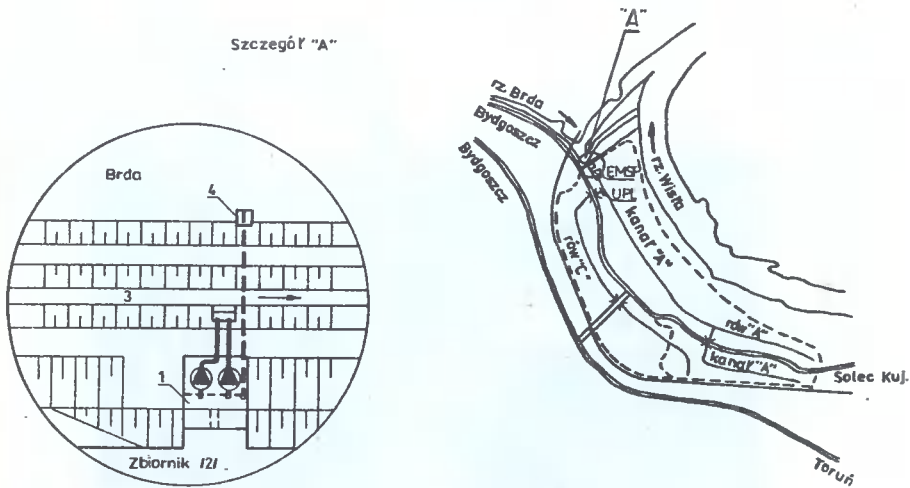
### 3. PROJEKT I BUDOWA STANOWISKA POMIAROWEGO

#### 3.1. Wybór polderu i przekroju hydrometrycznego

W ramach resortowego programu badań /RR-II-19/ nad odwodnieniem terenów depresyjnych, prowadzonych w Katedrze Inżynierii Sanitarnej i Wodnej ATR w Bydgoszczy, zaplanowano prace kameralne i terenowe na **wybranych**

polderach. Prace kameralne polegały na wyznaczeniu planów izochron, natomiast prace terenowe sprowadzały się do zaprojektowania, budowy i uruchomienia systemów pomiarowych dynamiki odpływu wody z polderu.

Do tego celu wytypowano polder Łęgnowo, który jest usytuowany na zawału lewego brzegu rzeki Wisły przed Bydgoszczą i szosą Bydgoszcz-Toruń /rys.3.1/.



Rys.3.1.Schemat polderu Łęgnowo

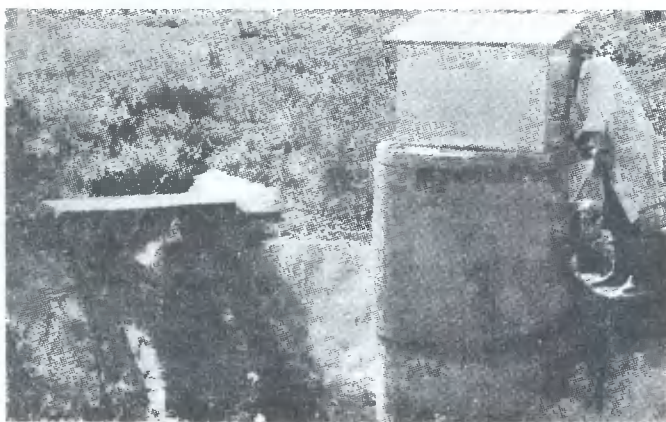
Zlewnia polderu składa się z dwóch części, z których podstawowa stanowi obszar o powierzchni 548 ha, użytkowany rolniczo i ogrodniczo. Rozciąga się on w kierunku NW-SE między wałem wiślany a szosą Bydgoszcz-Solec Kujawski. Z tego obszaru zbędne wody odprowadzane są kanałem "A" do zbiornika wyrównawczego 2 i komory ssącej przepompowni 1. W drugiej części położonej między wyżej wymienionymi szosami, polder jest częściowo zurbanizowany oraz odwadniany rowem "C", wpadającym do kanału "A" powyżej zbiornika wyrównawczego 2.

Zbędna woda na polderze Łęgnowo dopływa przez zbiornik 2 do komory ssącej przepompowni, skąd do odbiorników wodnych może być usunięta układem pompowym oraz, w pewnych okresach, rurociągiem grawitacyjnym. W określonych okresach odpływów z polderu wody są przepompowywane do ogroblonego kanału 3 z odpływem do rzeki Wisły. W okresach, gdy stany wody rzeki Brdy są stosunkowo niskie, włącza się /samoczynnie/ do pracy przepływ grawitacyjny mający wlot w komorze ssącej pomp, a wylot z klapą w starym korycisku 4 rzeki Brdy.

Odmienne ukształtowanie i użytkowanie obu części polderu, a zwłaszcza dynamiki odpływu wody były podstawą do zaplanowania pomiarów hydrome-

trycznych co najmniej w dwóch miejscach /na wspomnianej wyżej sieci/, które są przekrojami kluczowymi zlewni całkowitej i cząstkowej.

Zasadnicze pomiary hydrometryczne, odnoszące się do odpływów z całego polderu, przewidziano do realizacji za pomocą elektromagnetycznego systemu pomiarowego /EMSP/, który zlokalizowano na wlocie do komory ssącej przepompowni 1. Odpływy wody z drugiej, cząstkowej zlewni polderu, przewidziano do rejestracji urządzeniem przelewowo-limnigraficznym /UPL/, składającym się z zastawki typu Z-2-1p według [3], przelewu prostokątnego z wodowskazem i dwóch limnigrafów umieszczonych w obudowie /rys.3.2/.



Rys.3.2. Widok na urządzenie przelewowo-limnigraficzne na polderze Łęgnowo

Przy wyborze polderu i lokalizacji elektromagnetycznego systemu pomiarowego kierowano się następującymi przesłankami:

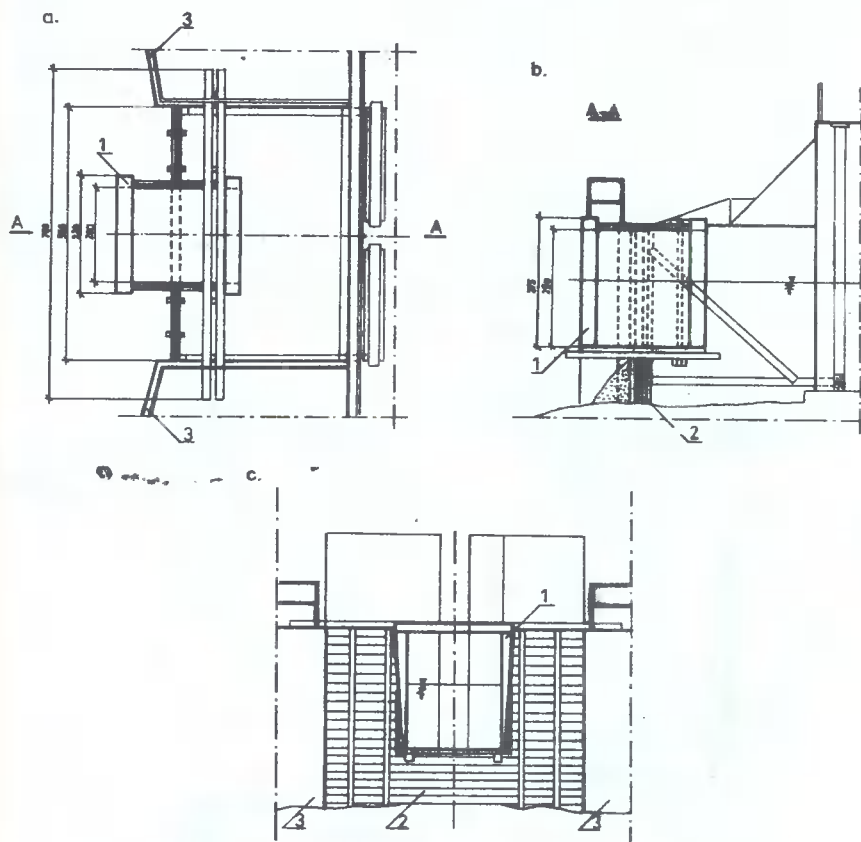
- bliskim usytuowaniem polderu Łęgnowo, a zwłaszcza przepompowni, względem siedziby Katedry Inżynierii Sanitarnej i Wodnej ATR w Bydgoszczy,
- możliwością równoczesnego zbadania dynamiki odpływu wody z dwóch różniących się części zlewni,
- dogodnymi warunkami przebudowy wlotu do komory ssącej przepompowni na potrzeby elektromagnetycznego systemu pomiarowego.

### 3.2. Konstrukcje przebudowy wlotu w przepompowni Łęgnowo

Na rysunku 3.3 przedstawiono drewnianą konstrukcję przebudowy wlotu do komory ssącej przepompowni, która zmniejsza dotychczasowy przekrój wlotowy i stanowi zamocowanie dla cewki wzbudzającej. Obudowa wewnętrzna

cewki stanowi kanał dla odpływającej z polderu wody, w którym rejestrowane są w funkcji czasu stany i natężenia odpływu wody. Charakteryzując ogólnie, zaprojektowano konstrukcję drewnianą /impregnowaną/, która na rys.3.3 przedstawiona została jako:

- a/ widok z góry,
- b/ przekrój podłużny A-A,
- c/ widok od strony zbiornika wyrównawczego.



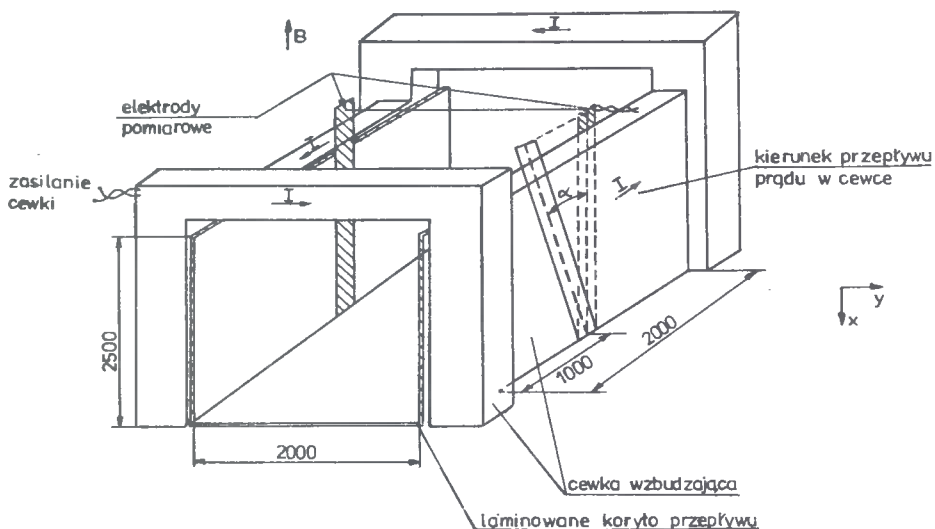
Rys.3.3. Zabudowa wlotu przepompowni dla potrzeb elektromagnetycznego systemu

Cewka wzbudzająca 1, stanowiąca jednocześnie szczelną obudowę kanału przepływowego, została podparta i obudowana ścianką szczelną 2, a drugi koniec - bliższy przepompowni, został zamocowany na konstrukcji drewnianej z krawędziaków opierających się o przyczółki wlotu 3. Ten rodzaj konstrukcji zabudowy został przyjęty do realizacji, jako najbardziej optymalny spośród innych rozważanych wariantów, ze względu na istniejącą konfigurację i podwodne ubezpieczenia wlotu do komory ssącej przepompowni.

## 3.3. Projekt przetwornika pierwotnego

Przetwornik pierwotny w elektromagnetycznym systemie pomiarowym składa się z: kanału przepływowego, cewki wzbudzającej, elektrod pomiarowych oraz przewodów doprowadzających. We wstępnych założeniach projektowych przyjęto wykonanie kanału przepływowego w przetworniku pierwotnym z materiału elektrycznie izolacyjnego oraz zastosowanie elektrod "długich". Dzięki tym warunkom uzyskano równomierny rozkład wektora wagi  $W$ , w całej strefie pomiarowej. Narzuca to konieczność wzbudzenia w strefie pomiarowej pola magnetycznego o równomiernym rozkładzie wektora indukcji  $B$ .

Kanał przepływowy ma szerokość 2 m, wysokość 2,5 m i długość 2m stanowiącą strefę pomiarową. Na rys.3.4 przedstawiony jest schemat stanowiska pomiarowego z zaznaczonym miejscem umieszczenia elektrod, wykonanych z wysokojakościowej stali nierdzewnej typu 1H18N9T. Wymiary elektrod /150mm x 2700 mm/ zapewniają prawidłowy pomiar przy pełnej dynamice zmian stanów wody. Przegubowe zamocowanie pozwala na ich odchylenie o kąt  $30^\circ$  od pionu wzdłuż ściany bocznej kanału, dzięki temu możliwy jest pomiar napełnienia wodą kanału, przy wykorzystaniu tej samej pary elektrod.



Rys.3.4. Przetwornik pierwotny systemu pomiarowego na polderze łęgowym

Obliczenia projektowe kształtu cewki wzbudzającej prowadzone były przy następujących założeniach:

- wartość wektora indukcji /składowa pionowa/ wynosi  $0,02T$ ,
- gęstość prądu płynącego w przekroju cewki wynosi  $3 \times 10^6 A/m^2$ .

Kształt przekroju poprzecznego cewki wzbudzającej uzyskano w procesie optymalizacji poszukując minimum funkcji celu o postaci [10]:

$$F = 0,5 \sum_{i=1}^n /B_i - 0,02/^2 \quad (3.1)$$

gdzie:

$B_i$  - składowa pionowa wektora indukcji w wybranych punktach 1/4 prze-

kroju poprzecznego kanału,

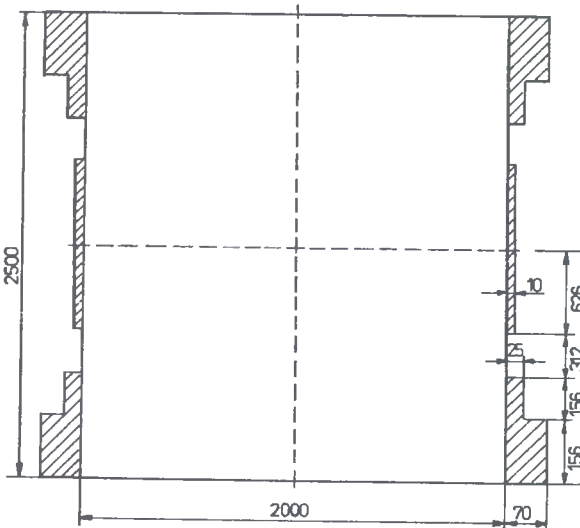
$n$  - liczba punktów, w których zadana jest składowa indukcji równa 0,02 T.

Do aproksymacji przekroju cewki użyto metody elementów skończonych. Do celów optymalizacyjnych wyznaczono, na drodze numerycznej, elementy macierzy Jacobiego, a do rozwiązania algebraicznego układu równań, ustalających poprawki dla zmiennych projektowych w każdej iteracji, wykorzystano procedurę minimalizacji średniokwadratowej z dekompozycją macierzy Jacobiego względem wartości osobliwych /SVA/. Jako jedno z kryteriów oceny dokładności obliczeń procesu optymalizacji przyjęto [10] wartość następującego wyrażenia:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n |B_i - 0,02|}{0,02} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

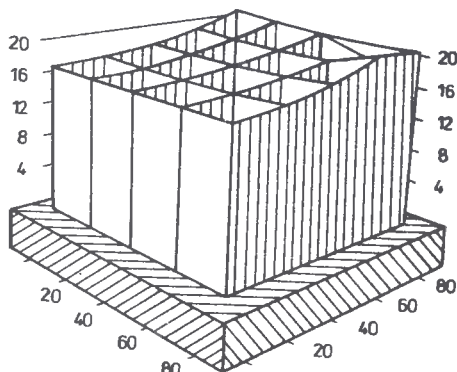
Dla zaprojektowanej cewki współczynnik  $\eta$  wynosi 11,8%.

Uzyskany w wyniku optymalizacji przekrój poprzeczny cewki wzbudzającej przedstawiony jest na rys.3.5, zaś rozkład składowej pionowej wektora indukcji, w 1/4 przekroju kanału od zaprojektowanej cewki, przedstawiony jest na rys.3.6.



Rys.3.5.Przekrój poprzeczny uzwojenia cewki wzbudzającej

indukcja w mT



Rys.3.6. Rozkład wektora indukcji B w 1/4 przekroju kanału przepływu wzbudzonego za pomocą zoptymalizowanej cewki wzbudzającej

### 3.4. Wykonanie cewki wzbudzającej

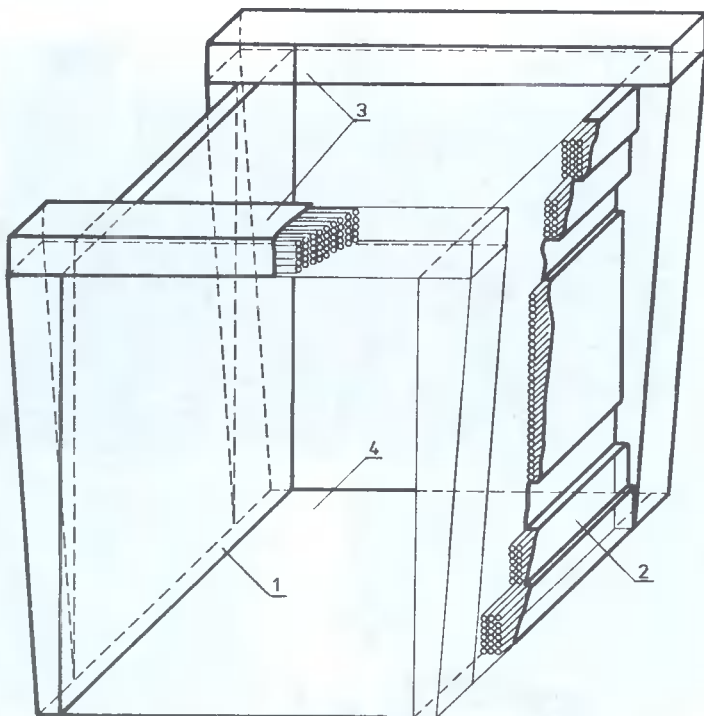
W opisanym wyżej elektromagnetycznym systemie pomiarowym bardzo istotnym elementem jest cewka wzbudzająca. Ze względu na jej duże rozmiary i ciężar oraz na trudne warunki w jakich będzie ona pracować w ciągu wielu lat, należało rozwiązać szereg złożonych zagadnień w fazie projektowania i budowy.

W tym celu opracowano projekt techniczny cewki wzbudzającej z uwzględnieniem wymogów wynikających z powyższych uwarunkowań i wymiarów koryta przepływowego oraz przestrzeni na kable. Do nawijania użyto ok. 4000 m kabla jednożyłowego YKY 1x35 o przekroju  $35 \text{ mm}^2$  w osłonie poliwinilowej  $\phi$  14 mm typu SOS o podwyższonej wytrzymałości na warunki atmosferyczne. Osłona ta nie gwarantowała jednak właściwej pracy cewki w tak trudnych warunkach zewnętrznych /ciągłe zanurzenie w wodzie dolnej jej części/. Dlatego też zaprojektowano zewnętrzną obudowę z tworzyw sztucznych, która spełnia funkcje tzw. karkasu do nawijania kabla, jak również konstrukcji nośnej i poszycia chroniącego zwoje cewki przed czynnikami zewnętrznymi. W tym celu uprzednio zaprojektowano i wykonano stalowe formy, na których elementy obudowy zostały wykonane na zimno z laminatu wielowarstwowego /TWS/, z żywicy poliestrowej /POLIMAL-109/, wzmocnionej warstwami mat z włókna szklanego.

Na rys.3.7 przedstawiono obudowaną cewkę wzbudzającą po złożeniu łupin obudowy. Wewnętrzne elementy 1 są bokami cewki tworzącymi kanał przepływowy. W elementach 2 uformowano przestrzenie do układania kabli. W górnej części wykonano dwa łączące kanały 3, w których przechodzą kable z boków cewki. U dołu wykonano z laminatu podłogę 4, która stabilizuje rozstaw boków oraz izoluje strefę pomiarową koryta od otoczenia.

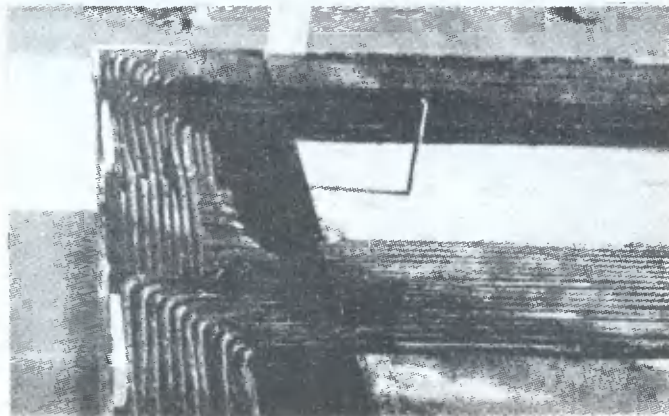
Poszczególne łupiny obudowy cewki wzbudzającej są odpowiednio połączone metodą klejenia, a ponadto połączenia dodatkowo wzmocniono laminowaniem. Zewnętrzne powierzchnie obudowy są bitumowe, aby wykluczyć infiltrację wody powierzchniowej. W celu zabezpieczenia przed gromadzeniem





Rys.3.7. Cewka wzbudzająca elektromagnetycznego systemu pomiaru

się wody, np. z kondensacji pary wodnej w wolnych przestrzeniach wewnątrz obudowy i między kablami, całą zbędną porowatość wypełniono nienasiąkliwą substancją dodatkowo zabezpieczającą polwinitową osłonę kabli. Na rys.3.8 i 3,9 zilustrowano różne etapy nawijania cewki wzbudzającej, natomiast

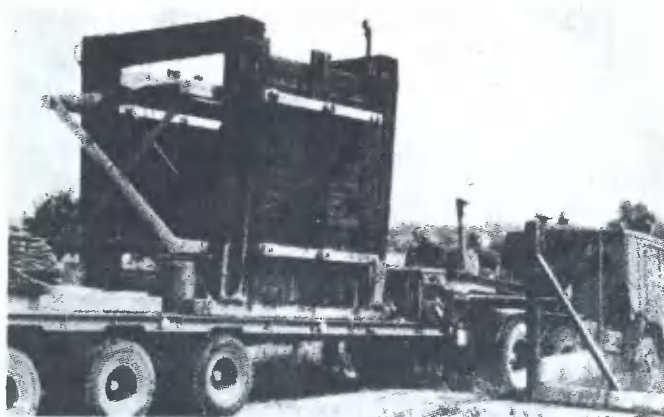


Rys.3.8. Sposób ułożenia kabli w narożnikach cewki

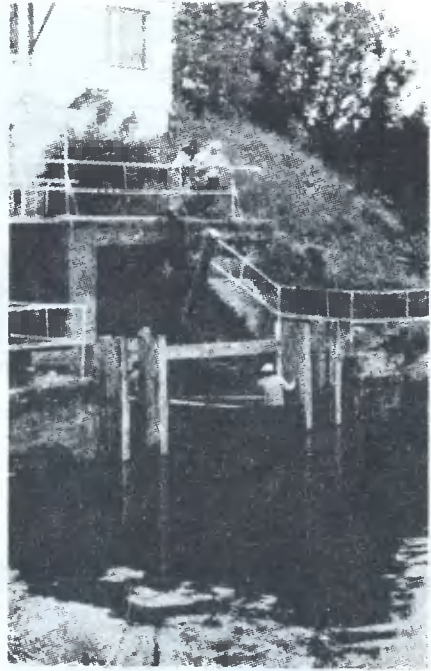
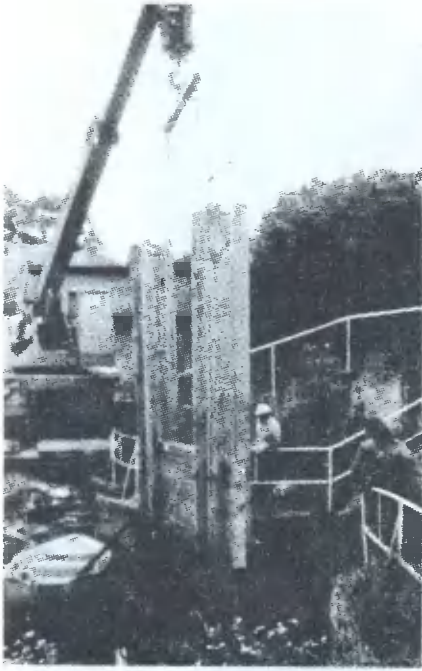


Rys.3.9. Kable ułożone w kanale i na płaszczyźnie obudowy cewki

i podczas transportu i sposób montażu zabudowy wlotu przepom - wo przedstawiono na rys. 3.10+3.15.

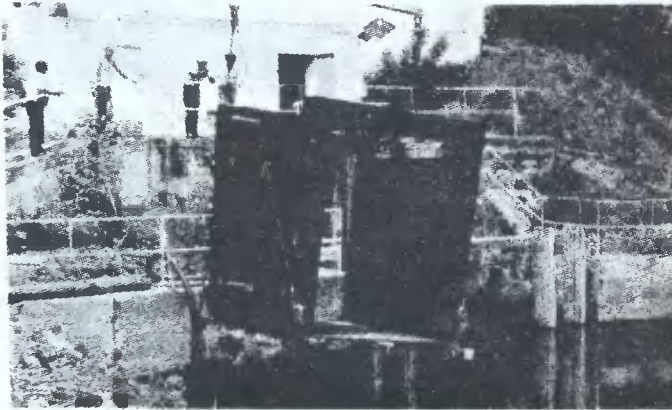


Rys.3.10. Transport samochodowy cewki

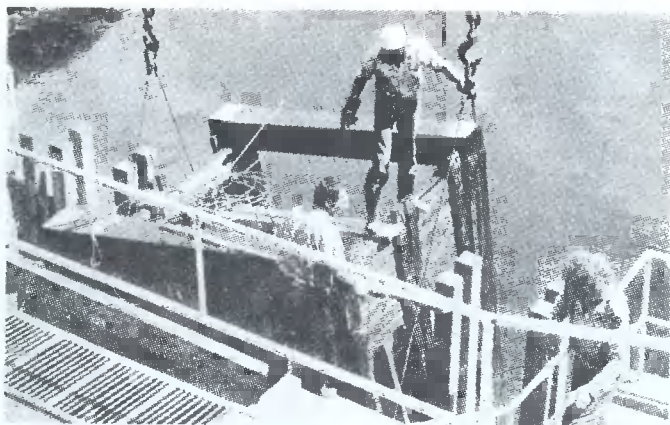


Rys.3.11. Zatapianie ścianki szczelnej z przewodnicami

Rys.3.12. Zatapianie zastrzałów



Rys.3.13. Transport cewki dźwigiem



Rys.3.14. Wprowadzenie cewki do przewodnic



Rys.3.15. Osadzanie cewki na ścianie szczelnej

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy podano warunki ruchu panujące przed przepompowniami polderowymi, które ograniczają stosowanie konwencjonalnych metod rejestracji dynamiki odpływu wody. Omówiono koncepcję elektromagnetycznego systemu pomiarowego, składającego się z zespołu generacji pola magnetycznego, zespołu wstępnej obróbki sygnału pomiarowego i mikrokomputera zarządzającego. Ponadto zaprezentowano szereg nowatorskich rozwiązań dotyczących praktycznego wdrożenia tego systemu na polderze Łęgowo koło Bydgoszczy, jak np. konstrukcję przebudowy wlotu do przepompowni i wielkogabarytowej cewki wzbudzającej. Podano również charakterystykę rozmieszczenia polderu i sieci odwadniającej, wraz z uzasadnieniem skonstruowania i wykonania dodatkowego urządzenia pomiarowego /przelewowo-limnigraficznego/.

## LITERATURA

- [1] Bonfig K.W.: Technische Durchfluß - messung. Vulkan-Verlag. Essen 1977
- [2] Engl L.: Uber ein induktives Verfahren zur Durchflussmessung in offenen Gerinnen. ACTA IMEKO 1967
- [3] Informator o projektach typowych budowli stosowanych w budownictwie wodno-melioracyjnym. "BIPROMEL" nr 4, 1976
- [4] Kalicki A., Michalski A.: Electromagnetic flowmeter for industrial open channels. Proceedings of International Metrology Congress, Paris '89. Paryż 1989, ss. 359-364
- [5] Klugiewicz J.: Odwadnianie terenów depresyjnych. Rozprawy nr 12 ATR, Bydgoszcz, ss. 179, 1983
- [6] Klugiewicz J.: Analiza hydrauliczna kanałów polderowych dla warunków nieustalonego ruchu wody. ZN ATR Bydgoszcz nr 134, seria Budownictwo 23, ss. 63 -70, 1987
- [7] Klugiewicz J., Dzieweczyński P.: Odwadnianie terenów depresyjnych. Sprawozdanie z badań z lat 1986-1989 w ramach programu RR-II-19. ATR Bydgoszcz /maszynopisy/
- [8] Klugiewicz J., Dzieweczyński P., Totczyk G., Chwaleba A., Kalicki A., Michalski A.: Metody ustalania i pomiaru odpływu wody z polderów do projektowania i eksploatacji przepompowni. /w niniejszym zeszycie/
- [9] Michalski A.: Analiza dokładnościowa metody elektromagnetycznej pomiaru średniej prędkości wody w kanałach otwartych. Rozprawa doktorska, Warszawa 1984
- [10] Michalski A., Sikora J., Wincenciak St.: Metoda projektowania optymalnego kształtu cewki wzbudzającej przepływomierzy elektromagnetycznych dla kanałów otwartych. Rozprawy elektrotechniczne, 35, z. 1, ss. 61-75, 1989

ELECTROMAGNETIC MEASUREMENT SYSTEM OF WATER OUTLET DYNAMICS  
FROM ŁĘGNOWO POLDER

Summary

Superiority of water variable motion in front of pumping static limits applying conventional methods of water outlet dynamics measurement from polders. This superiority acquaintance on chosen polders will allow to introduce new methods to determine the delivery of pumps and capacity of levelling vessels.

Designed and made electromagnetic system including electromagnetic field's generating unit, preliminary processing measuring signal unit and regulating microcomputer was discussed in this work. The second, new overfall limnigraph measurement system and series of new solutions applied to above mentioned equipments were also presented.



Tomasz Szczuraszek

ZUŻYCIE PALIWA PRZEZ POJAZDY SAMOCHODOWE W ZALEŻNOŚCI  
OD WARUNKÓW RUCHU DROGOWEGO

W pracy przedstawiono zależności między zużyciem paliwa przez typowe w Polsce pojazdy samochodowe a warunkami ruchu drogowego. Omówiono przykłady zastosowania tych zależności do celów praktycznych związanych z projektowaniem, modernizacją i utrzymaniem dróg.

1. WSTĘP

Przedmiotem niniejszego artykułu jest określenie zależności między zużyciem paliwa a warunkami ruchu drogowego /cechami drogi i ruchu/ dla typowych w kraju pojazdów samochodowych. W dostępnej literaturze technicznej i w opracowaniach popularnonaukowych nie znajdziemy kompleksowego ujęcia tego problemu. Z tego też powodu, w Polsce przy wykonywaniu ekonomicznych analiz ruchu drogowego często korzysta się z danych zagranicznych, które niestety znacznie różnią się od danych krajowych - przede wszystkim ze względu na specyfikę parku samochodowego.

Podstawą analizy eksploatacyjnego zużycia paliwa były plany warstwowe jednostkowego zużycia paliwa\* wybranych samochodów, uzyskane z badań silników na hamowni. Dane te otrzymano bezpośrednio z Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie. Do analizy przyjęto typowe samochody uczestniczące w ruchu drogowym w Polsce, reprezentujące najważniejsze i zarazem najliczniejsze grupy rodzajowe [6,10,11]:

- a/ grupa pojazdów o średnim i wyższym standardzie jazdy - Fiat 125P-1500 i Polonez 1500 S;
- b/ grupa pojazdów osobowych o niskim standardzie jazdy - Fiat 126P;
- c/ grupa lekkich pojazdów ciężarowych - Żuk A11-B;
- d/ grupa średnich pojazdów ciężarowych /w tym także autobusy/ - Star 200, Autosan H9-21 i Jelcz 316;
- e/ grupa ciężkich pojazdów ciężarowych - Star 200 z przyczepą D-50 i Jelcz 316 z przyczepą D-83.

Przy doborze pojazdów w danych grupach rodzajowych kierowano się zarówno własnymi wynikami badań ruchu drogowego [6,11], jak i opinią Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie.

\* Ilość paliwa zużywanego przez silnik na jednostkę pracy efektywnej.

## 2. ZUŻYCIE PALIWA A WARUNKI RUCHU. ANALIZA

Jednostkowe zużycie paliwa charakteryzowane jest poprzez pole skalne /warstwice/ w układzie współrzędnych prostokątnych średniego ciśnienia efektywnego  $P_e^{***}$  i prędkości obrotowej silnika  $n_s$ . Na rys.1 przedstawiono przykładowo wykres jednostkowego zużycia paliwa dla silnika Fiata 125P - 1500, uzyskany z Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie /opracowany w starych jednostkach miar/. Aby wyznaczyć zależność między zużyciem paliwa a warunkami ruchu, należy odpowiednio przetransponować opisywaną charakterystykę zużycia paliwa na układ współrzędnych obejmujących miary warunków ruchu, tzn. prędkość pojazdów oraz jej zmianę. Analizę taką wykonano w pięciu następujących etapach.

## A. Etap I

Pierwszym etapem analizy była transformacja charakterystyk warstwicznych jednostkowego zużycia paliwa  $q_e$  z układu współrzędnych  $P_e$  i  $n_s$  na układ współrzędnych momentu obrotowego silnika  $M_s$  i prędkości obrotowej silnika  $n_s$ . Zużycie paliwa określono w jednostkach zużycia godzinowego  $Q_h$ , które jest równe iloczynowi wartości  $q_e$  i uzyskiwanej przez silnik mocy netto  $N_{NET}^{***}$ :

$$Q_h = q_e \cdot N_{NET} \quad [N/h] \quad (1)$$

Wartość momentu obrotowego silnika  $M_s$  wyznaczono na podstawie wzoru [2]:

$$M_s = 0,8 \cdot 10^4 \cdot U_{sk} \cdot P_e \quad [Nm] \quad (2)$$

gdzie:

$U_{sk}$  - pojemność skokowa silnika [l] ( $[dcm^3]$ ),  
 $P_e$  - średnie ciśnienie efektywne [Pa] ( $[N/m^2]$ ),  
 $N_{NET}$  - moc netto silnika [W].

## B. Etap II

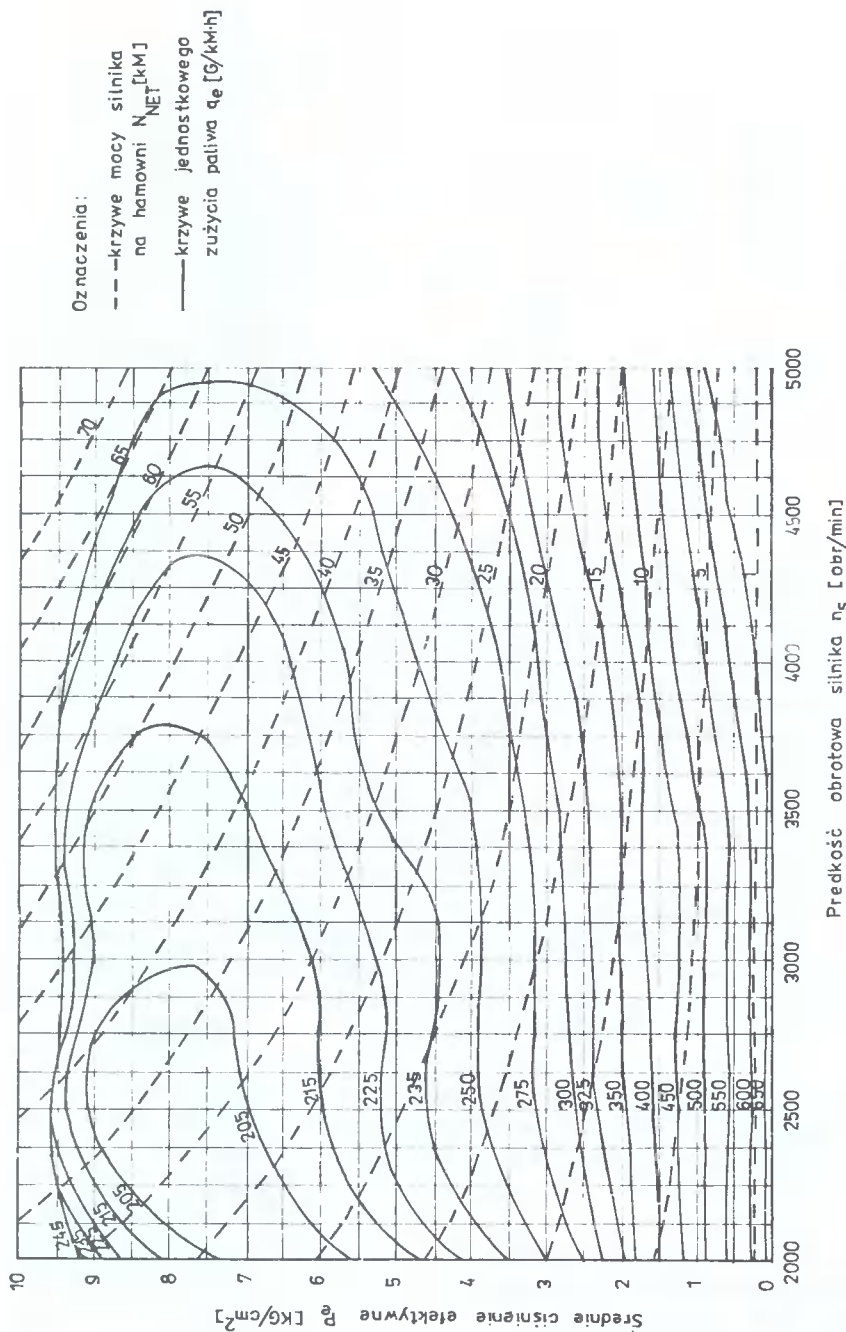
Drugim etapem analizy była kolejna transformacja uzyskanych charakterystyk z godzinowego zużycia paliwa na przebiegowe  $Q$ , tj. na zużycie przypadające na przebytą przez pojazd drogę. Przebiegowe zużycie paliwa  $Q$  określono dla każdego pojazdu przyjętego do analizy, przy poszczególnych przełożeniach skrzyni biegów w układzie współrzędnych prostokątnych: siły napędowe  $P_k$  i prędkości pojazdu  $V$ . Wykorzystano w tym celu następujące zależności wynikające z teorii ruchu samochodu [2]:

$$P_k = M_s \cdot \delta \cdot \eta_m \cdot \left( \frac{i_c}{r_k} \right)_i \quad [N] \quad (3)$$

\*\*\* Ciśnienie w cylindrze silnika, przy którym praca wykonana przez silnik w ciągu jednego obiegu równałaby się pracy użytecznej.

\*\*\* Moc silnika przy największej prędkości obrotowej oraz przy danych, innych warunkach pracy ustalonych odpowiednimi normami.





Rys.1. Charakterystyka warstwowa jednostkowego zużycia paliwa silnika 115C 076 - Fiata 125P-1500

$$V = n_s \cdot \frac{3,6}{\left(\frac{i_c}{r_k}\right)_i} \quad [\text{km/h}] \quad (4)$$

$$Q = \frac{Q_h}{V} \cdot \frac{100}{\gamma \cdot g} \quad [1/100 \text{ km}] \quad (5)$$

gdzie:

$P_k$  - siła napędowa [N],

$M_s$  - moment obrotowy silnika [Nm],

$\delta$  - współczynnik tzw. "mocy pod maską",

$\eta_m$  - sprawność mechaniczna elementów napędowych pojazdu:

$$\eta_m = \eta_s \cdot \eta_b \cdot \eta_w \cdot \eta_p \quad (6)$$

$\eta_s, \eta_b, \eta_w, \eta_p$  - sprawność mechaniczna, odpowiednio: sprzęgła, skrzyni biegów, wału napędowego i przekładni głównej,

$\left(\frac{i_c}{r_k}\right)_i$  - wartość przełożenia szybkobieżności biegu  $i$ ,

$i_c$  - przełożenie całkowite:

$$i_c = i_{bi} \cdot i_p \quad (7)$$

$i_{bi}$  - przełożenie skrzyni biegów dla biegu  $i$ ,

$i_p$  - przełożenie przekładni głównej,

$r_k$  - promień kinematyczny koła ogumionego [m],

$n_s$  - prędkość obrotowa silnika [rad/s],

$V$  - prędkość pojazdu [km/h],

$g$  - przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ],

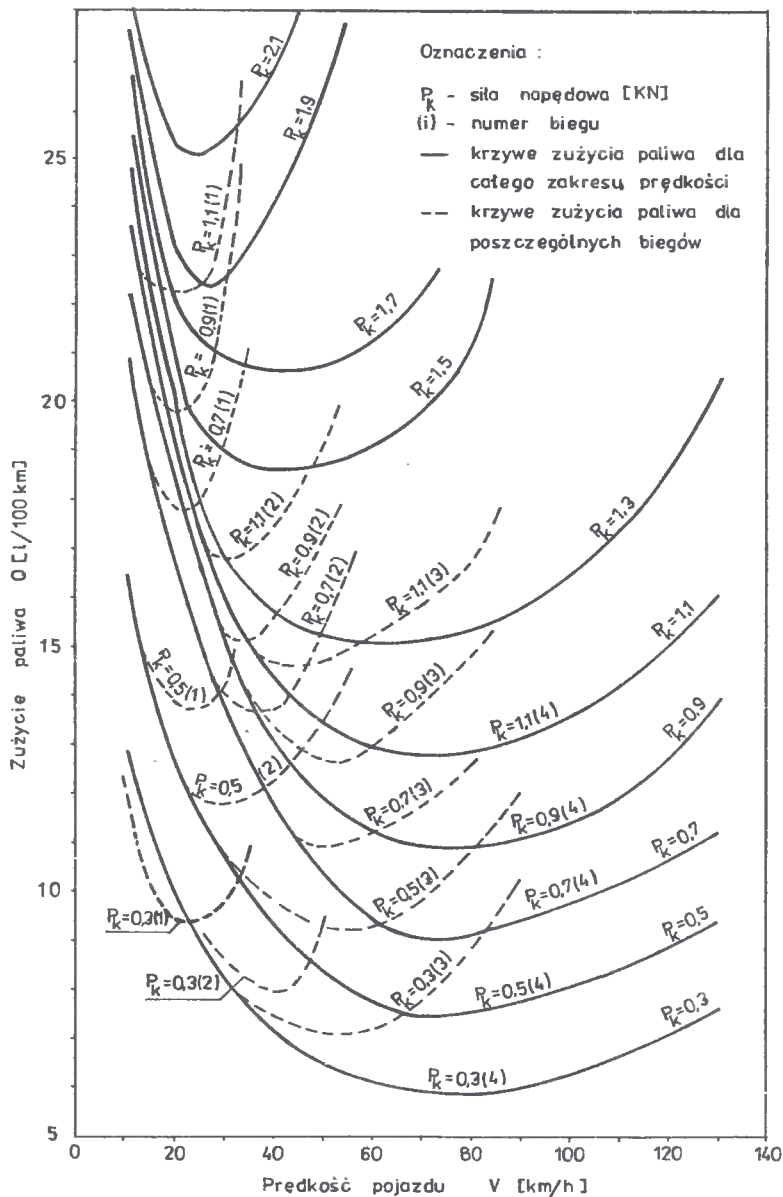
$\gamma$  - gęstość paliwa [kg/l]

### C. Etap III

W poprzednim etapie analizy określono wartości zużycia paliwa pojazdów oddzielnie dla poszczególnych biegów. Taki układ szukanych zależności jest jednak mało praktyczny, stąd też zachodziła konieczność przedstawienia ich bez względu na rodzaj biegu, w całym zakresie eksploatacyjnej prędkości pojazdu. W tym celu wykorzystano metodę wykreslną, polegającą na aproksymacji wartości  $Q$ . Aproksymowano poszczególne funkcje  $Q = \phi / V / i$  dla odpowiednich biegów/ przy danych wartościach siły napędowej  $P_k$  w jedną krzywą  $Q = \phi / V /$  w całym możliwym zakresie zmienności  $V$ . Przyjęto przy tym, że:

- kierowca dokonuje wyboru biegu w procesie ruchu w sposób optymalny,
- decydującym biegiem w danym zakresie prędkości  $V$  pojazdu jest ten bieg, przy którym uzyskuje się mniejszą wartość zużycia paliwa  $Q$ ,
- zmiana funkcji  $Q = \phi / V /$  między biegami musi być płynna.

Na rys. 2 przedstawiono opisywany wyżej etap analizy w wybranym zakresie wartości zmiennych dla samochodu Fiat 125P - 1500. Linia ciągłą zilustrowano na nim ostateczne wartości szukanych funkcji, natomiast przerywaną - funkcje dla poszczególnych biegów.



Rys.2. Wykres przebiegowego zużycia paliwa samochodu Fiat 125P-1500

D. Etap IV

Wykresy funkcji  $Q = \phi / V$  były podstawą dalszych etapów analizy. W oparciu o nie opracowano dla poszczególnych pojazdów tablice przebiegowego zużycia paliwa  $Q$ . Tablice te stanowiły zbiór danych do analizy regresji i

korelacji umożliwiającej określenie matematycznego modelu funkcji Q. Analizę tę wykonano za pomocą obliczeń komputerowych. Uzyskane w ten sposób funkcje przebiegowego zużycia paliwa przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Przebiegowe zużycie paliwa wybranych pojazdów samochodowych

Rodzaj pojazdu	Postać funkcji Q [l/100 km]	Współczynnik korelacji
Fiat 125p-1500	$17,29 - 0,2856 \cdot v + 0,7965 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,2969 \cdot P_k^2 \cdot 10^{-5} + 0,1377 \cdot v^2 \cdot 10^{-2}$	0,97
Polonez 1500-S	$11,31 + 0,5517 \cdot P_k \cdot 10^{-2} - 0,1577 \cdot v + 0,3189 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,1741 \cdot P_k^2 \cdot 10^{-5} + 0,7483 \cdot v^2 \cdot 10^{-3}$	0,99
Fiat 126p	$8,86 + 0,9275 \cdot P_k \cdot 10^{-2} - 0,2266 \cdot v + 0,1266 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-3} + 0,1305 \cdot v^2 \cdot 10^{-2}$	0,96
Żuk A11-B	$-0,01 + 0,1540 \cdot P_k \cdot 10^{-1} - 0,2193 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,3574 \cdot v^2 \cdot 10^{-3}$	0,99
Star 200	$36,38 + 0,3343 \cdot P_k \cdot 10^{-2} - 0,9952 \cdot v + 0,6103 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,3340 \cdot P_k^2 \cdot 10^{-6} + 0,7506 \cdot v^2 \cdot 10^{-2}$	0,98
Autosan H9-21	$22,47 + 0,6289 \cdot P_k \cdot 10^{-2} - 0,5267 \cdot v + 0,2705 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,1336 \cdot P_k^2 \cdot 10^{-6} + 0,4947 \cdot v^2 \cdot 10^{-2}$	0,99
Jelcz 316	$28,72 + 0,7074 \cdot P_k \cdot 10^{-2} - 0,9783 \cdot v + 0,1607 \cdot v \cdot P_k \cdot 10^{-4} + 0,8309 \cdot P_k^2 \cdot 10^{-7} + 0,8623 \cdot v^2 \cdot 10^{-2}$	0,98
Oznaczenia: $P_k$ - siła napędowa [N] $v$ - prędkość pojazdu [km/h], ( $v \geq 10$ km/h)		

#### E. Etap V

Podczas ruchu pojazdu wartość siły napędowej  $P_k$  równa jest sumie oporów ruchu W:

$$P_k = W, \quad (8)$$

którą można wyrazić wzorem [2]:

$$W = \left[ \frac{1,039 \cdot 10^{-4}}{g^2 \cdot R^2 \cdot k} \cdot V^4 + \left( \frac{0,049 \cdot c \cdot F}{G} + A \cdot f \right) \cdot V^2 + \left( f + 0,01 \cdot I + \frac{\delta \cdot a}{g} \right) \right] \cdot G \quad [N] \quad (9)$$

gdzie:

- f - współczynnik podstawowego oporu toczenia, zależny od właściwości nawierzchni jezdni i ogumienia kół pojazdu,
- A - współczynnik dodatkowego oporu toczenia/zwykle przyjmuje się go, jako równy  $4,5 \cdot 10^{-5}$ ,
- G - ciężar całkowity pojazdu /wraz z ładunkiem/ [N],

- c - współczynnik kształtu nadwozia pojazdu,  
 F - pole rzutu bryły pojazdu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku ruchu  $[m^2]$ ,  
 I - pochylenie podłużne drogi [%] /w przypadku spadku zmienna przyjmuje wartość ujemną/,  
 a - przyspieszenie lub opóźnienie pojazdu  $[m/s^2]$  /w przypadku opóźnienia zmienna przyjmuje wartość ujemną/,  
 $\delta$  - współczynnik mas wirujących:

$$\delta = 1,04 + 0,05 \cdot i_{bi}^2 \quad (10)$$

- R - promień krzywizny drogi w planie  $[m]$ ,  
 k - współczynnik skrętu, zależny od współczynnika przyczepności poprzecznej nawierzchni.

Na podstawie własnych wyników badań [10,11] przyjęto, że:

$$G = \alpha \cdot G_{\max} \quad [N], \quad (11)$$

gdzie:

- $G_{\max}$  - maksymalny ciężar pojazdu wraz z ładunkiem  $[N]$ ,  
 $\alpha$  - współczynnik średniego stopnia załadowania pojazdu, równy: 0,883 dla pojazdów osobowych o średnim i wyższym standardzie jazdy; 0,852 dla pojazdów osobowych o niskim standardzie jazdy; 0,846 dla lekkich pojazdów ciężarowych; 0,741 dla średnic pojazdów ciężarowych i 0,635 dla ciężkich pojazdów ciężarowych.

Wykorzystując więc dane konstrukcyjne rozpatrywanych pojazdów [3], wzór na sumę oporów ruchu na drodze o nawierzchni asfaltowej przedstawiono następująco:

- dla Fiata 125P - 1500:

$$W = 172,20 + 0,14755 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,08321 \cdot V^2 + 123 \cdot I + 1504,59 \cdot a \quad [N] \quad (12)$$

- dla Poloneza 1500 S:

$$W = 186,76 + 0,16003 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,08112 \cdot V^2 + 133,4 \cdot I + 1563,81 \cdot a \quad [N] \quad (13)$$

- dla Fiata 126F:

$$W = 105,28 + 0,09021 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,05325 \cdot V^2 + 75,2 \cdot I + 881,55 \cdot a \quad [N] \quad (14)$$

- dla Żuka A11-B:

$$W = 248,89 + 0,24880 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,22680 \cdot V^2 + 207,4 \cdot I + 2431,41 \cdot a \quad [N] \quad (15)$$

- dla Stara 200:

$$W = 1046,40 + 1,04605 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,42929 \cdot V^2 + 872 \cdot I + 12533,33 \cdot a \quad [N] \quad (16)$$

- dla Autosana H9-21:

$$W = 1107,48 + 1,10711 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,34384 \cdot V^2 + 922,9 \cdot I + 13264,92 \cdot a \quad [N] \quad (17)$$

- dla Jelcza 316:

$$W = 1617,60 + 1,61706 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,45500 \cdot V^2 + 1348 \cdot I + 16077,06 \cdot a \quad [N] \quad (18)$$

- dla Stara 200 z przyczepą D-50:

$$W = 1442,40 + 1,44191 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,44711 \cdot V^2 + 1202 \cdot I + 17276,45 \cdot a \quad [N] \quad (19)$$

- dla Jelcza 316 z przyczepą D-83:

$$W = 2245,56 + 2,24480 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,48325 \cdot V^2 + 1871,3 \cdot I + 22318,26 \cdot a \quad [N] \quad (20)$$

Wyżej przedstawione wzory na sumę oporów ruchu (12 - 20) oraz zależności zamieszczone w tabelicy 1 podstawiono do równania (8). Otrzymano w ten sposób ostateczne postacie funkcji opisujące związek między zużyciem paliwa a warunkami ruchu. Funkcje te przedstawiono w tabelicy 2. Opracowano je dla poszczególnych grup rodzajowych pojazdów, przyjmując przy tym - na podstawie własnych wyników badań [11] - następującą strukturę udziału poszczególnych pojazdów w danych grupach rodzajowych:

- w grupie pojazdów osobowych o wyższym i średnim standardzie jazdy: 50% samochodów Fiat 125P i 50% samochodów Polonez,
- w grupie pojazdów osobowych o niskim standardzie jazdy: 100% samochodów Fiat 126P,
- w grupie lekkich pojazdów ciężarowych: 100% samochodów Żuk,
- w grupie średnich pojazdów ciężarowych: 45% samochodów Star 200, 30% autobusów Autosan i 25% samochodów Jelcz 316,
- w grupie ciężkich pojazdów ciężarowych: 65% samochodów Star 200 z przyczepą i 35% samochodów Jelcz z przyczepą.

Należy zaznaczyć, że opracowane wzory na zużycie paliwa /tabela 2/ określone zostały dla ruchu pojazdów po drodze o nawierzchni asfaltowej. Wykorzystanie ich więc w analizie ruchu pojazdów po innej nawierzchni wymaga uwzględnienia odpowiedniej poprawki. Poprawkę tę stanowi wartość dodatkowego oporu toczenia, którą można określić poprzez ekwiwalent dodatkowego oporu wzniesienia. W obliczeniach należy wówczas przyjąć pochYLENIE podłużne drogi odpowiednio większe od faktycznego o wartość:

$$\Delta I = (10^2 + 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot V^2) \cdot (f_N - f) \quad [%] \quad (21)$$

gdzie:

$f, f_N$  - współczynniki podstawowego oporu toczenia, odpowiednio dla nawierzchni asfaltowej oraz nawierzchni analizowanej drogi.

Tablica 2

Eksploatacyjne zużycie paliwa przez pojazdy poszczególnych grup rodzajowych na drodze o nawierzchni asfaltowej

Grupa rodzajowa pojazdów	Postać funkcji Q [l/100 km]
Pojazdy osobowe o wyższym i średnim standardzie jazdy	$14,30 - 0,2217 \cdot V + 0,1062 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + (1,5379 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,8217 \cdot V^2 + 1795 + 1282I + 15342 \cdot a) \cdot [0,3622 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,1935 \cdot V^2 + 55,77 \cdot V + 3181 + 302 \cdot I + 3613 \cdot a] \cdot 10^{-7}$
Pojazdy osobowe o niskim standardzie jazdy	$8,86 - 0,2266 \cdot V + 0,1305 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + (0,9021 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,5325 \cdot V^2 + 1053 + 752 \cdot I + 8816 \cdot a) \cdot (9,27 + 0,1266 \cdot V) \cdot 10^{-4}$
Lekkie pojazdy ciężarowe	$-0,01 + 0,3574 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 + (0,2488 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,2268 \cdot V^2 + 248,9 + 207,4 \cdot I + 2431,4 \cdot a) \cdot (154,02 - 0,2192 \cdot V) \cdot 10^{-4}$
Średnie pojazdy ciężarowe i autobusy	$30,29 - 0,8804 \cdot V + 0,7017 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + (1,2071 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,4101 \cdot V^2 + 1207 + 1006 \cdot I + 13639 \cdot a) \cdot (0,2549 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,0866 \cdot V^2 + 39,60 \cdot V + 5415 + 212 \cdot I + 2880 \cdot a) \cdot 10^{-6}$
Ciężkie pojazdy ciężarowe	$33,70 - 0,9893 \cdot V + 0,7897 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + (1,7229 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,4598 \cdot V^2 + 1724 + 1436 \cdot I + 19041 \cdot a) \cdot (0,4242 \cdot \frac{V^4}{R^2} + 0,1132 \cdot V^2 + 45,30 \cdot V + 5073 + 354 \cdot I + 4688 \cdot a) \cdot 10^{-6}$
Oznaczenia: V - prędkość pojazdu [km/h], (V ≥ 10 km/h) R - promień krzywizny drogi w planie, [m] a - przyspieszenie pojazdu [m/s <sup>2</sup> ], (a ≥ 0) I - pochylenie podłużne drogi [%], (I ≥ -1%)	

Należy także zaznaczyć, że opracowane wzory nie powinny być bezpo-  
średnio stosowane, w przypadkach gdy prędkości pojazdów są mniejsze od  
10 km/h oraz gdy I = -1% lub a = 0 m/s<sup>2</sup>. Powyższa uwaga jest istotna dla  
zachowania odpowiedniej dokładności obliczeń, bowiem w wyżej wymienionych  
przypadkach korzystanie z omawianych wzorów prowadzi do błędnych ustaleń  
wartości zużycia paliwa. Wynika to z teoretycznego /w dużym stopniu/ cha-  
rakteru analizy, obejmującej wyprowadzenie wzorów. W przypadku pochylenia  
odcinka drogi I = -1 można w obliczeniach założyć I = -1, co umożliwi  
przybliżone oszacowanie wielkości zużycia paliwa. Podobnie można uczynić  
gdy V = 10 km/h i a = 0 m/s<sup>2</sup>.

## 3. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE OPRACOWANYCH FUNKCJI ZUŻYCIA PALIWA

Prawidłowy wybór sposobu rozwiązania danego zadania związanego z budową, modernizacją i utrzymaniem dróg, bardzo często wymaga wykonania analizy ekonomicznej. Spośród zadań wymagających takich analiz należy wymienić przede wszystkim:

- wybór wariantu projektowanej drogi,
- podjęcie decyzji o budowie obwodnicy dla danego osiedla, czy miasta,
- wybór wariantu objazdu odcinka drogi na czas jego remontu,
- podjęcie decyzji o modernizacji lub przebudowie drogi /np. podjęcie decyzji o zastosowaniu szerszego przekroju poprzecznego jezdni lub budowie dodatkowych pasów ruchu/.

Podstawą analizy ekonomicznej jest bilans kosztów przewidywanych na realizację danego zadania. Koszty te obejmują trzy zasadnicze składniki, tj.: materiały, robociznę oraz ruch. W praktyce obliczenie kosztów dwóch pierwszych składników nie nastrocza specjalnych trudności, odwrotnie jest jednak w przypadku kosztów ruchu.

Na koszty ruchu składa się głównie: zużycie paliwa, amortyzacja pojazdów oraz straty czasu użytkowników drogi. Koszty zużycia paliwa można wyznaczyć na podstawie wzorów zamieszczonych w tablicy 2. Koszty amortyzacji natomiast najczęściej przyjmuje się równe 1/3 kosztów zużycia paliwa [4]. Do wyznaczenia kosztów ruchu niezbędna jest także znajomość charakterystyk ruchu, takich jak: natężenie, struktura rodzajowa, prędkości pojazdów, itp. Charakterystyki te stanowią dane do obliczania kosztów zużycia paliwa i jednocześnie umożliwiają określenie kosztów strat czasu użytkowników drogi. Można je wyznaczyć poprzez bezpośrednie pomiary w terenie lub poprzez wykorzystanie innych źródeł danych, jak np: wyników generalnych pomiarów ruchu [5], wytycznych obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu [6,7] lub dostępnych w literaturze wyników badań cech ruchu [10,11].

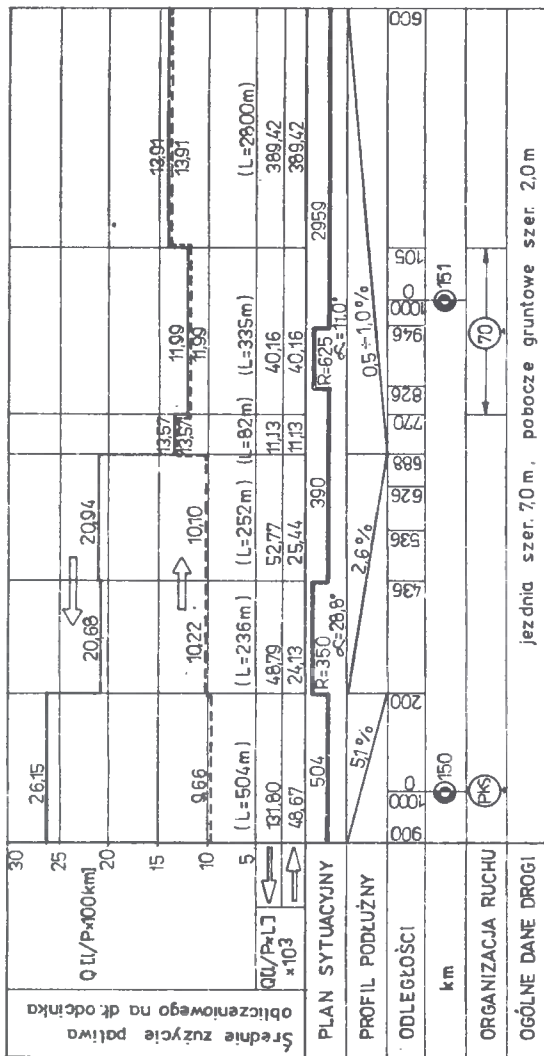
Przedstawione w pracy zależności między zużyciem paliwa a warunkami ruchu zostały wykorzystane przez autora między innymi do oceny wariantów objazdów dwóch remontowanych mostów drogowych w województwie bydgoskim [8,9]. Należy podkreślić, że spośród wszystkich kosztów, właśnie koszty zużycia paliwa były decydujące w wyborze optymalnych rozwiązań tych objazdów. Obliczenie kosztów ruchu wykonano za pomocą specjalnie do tego celu opracowanego programu komputerowego, w którym wykorzystano, oprócz wcześniej wspomnianych zależności i wyników terenowych pomiarów natężenia i struktury rodzajowej ruchu, również wzory na średnią prędkość pojazdów, przedstawione w pracach [6,10]. Dla ułatwienia analiz, zużycie paliwa określono w jednostkach paliwa obliczeniowego, za które uznano etylinę 94:

$$Q_{obl} = \sum_{j=1}^5 Q_j \cdot P_j \cdot b_j \quad [l/P \cdot 100 \text{ km}] \quad (23)$$

gdzie:

- $Q_j$  - zużycie paliwa przez pojazdy grupy rodzajowej  $j$  [ $l/P \cdot 100 \text{ km}$ ],
- $P_j$  - udział w potoku pojazdów grupy rodzajowej  $j$ ,
- $b_j$  - stosunek ceny paliwa wykorzystywanego przez pojazdy grupy rodzajowej  $j$  do ceny paliwa obliczeniowego.



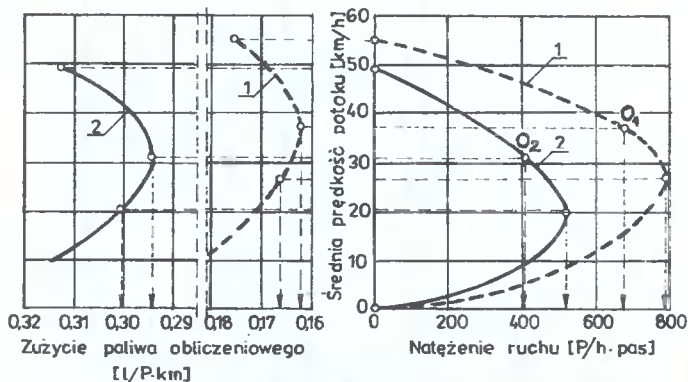


oznaczenie kierunków ruchu  
 L - długość odcinka

Rys.3. Fragment wykresu zużycia paliwa przez pojazdy potoku na wybranym odcinku jednej z dróg województwa bydgoskiego

Na rysunku 3 przedstawiono fragment wykresu ilustrującego sposób obliczeń zużycia paliwa przez pojazdy potoku na jednej z alternatywnych dróg objazdowych. Natężenie ruchu na tej drodze wynosiło 689 P/h przy udziale: 60% pojazdów osobowych, 16% pojazdów dostawczych i 24% pojazdów ciężarowych.

Opracowane przez autora funkcje zużycia paliwa mogą być wykorzystane także w metodzie obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na międzywęziowych odcinkach dróg. Koszty zużycia paliwa /lub pełne koszty ruchu/ mogłyby bowiem w tej metodzie pełnić rolę jednego z mierników oceny warunków ruchu, charakteryzującego efektywność komunikacji drogowej. Na rys.4 przedstawiono przykładowe wykresy zużycia paliwa przez pojazdy na wybranym pasie ruchu odcinka zamiejskiej dwupasowej drogi dwukierunkowej o danych cechach drogowo-ruchowych.



Rys.4. Zależność zużycia paliwa przez pojazdy od natężenia ruchu i średniej prędkości potoku /odcinek dwupasowej drogi dwukierunkowej o szerokości jezdni 7,00m, położony w łuku  $R=150m$  na wzniesieniu 5%/  
 1-przy udziale w potoku 14% pojazdów ciężarowych,  
 2-przy udziale w potoku 38% pojazdów ciężarowych,  
 $O_1, O_2$ - optymalne warunki ruchu z punktu widzenia kosztów zużycia paliwa

Wykresy te ilustrują sposób określania optymalnego przedziału warunków ruchu z punktu widzenia kosztów zużycia paliwa. Opracowano je na podstawie obliczeń komputerowych, przy wykorzystaniu wzoru (23), wzorów na zużycie paliwa zamieszczonych w tabeli 2 oraz wzorów opisujących fundamentalne zależności ruchu dla danego odcinka drogi pomiędzy natężeniem, gęstością i prędkością, przedstawionych w pracy [10].

#### LITERATURA

- [1] Cielecki A., Jamroz K., Szczuraszek T.: Koszty jako kryterium oceny warunków ruchu. Materiały IV konferencji naukowej nt.: "Nauka i praktyka w transporcie". Warszawa 1985
- [2] Dębicki M.: Teoria samochodu, teoria napędu. WNT, Warszawa 1971

- [3] Katalogi charakterystyk konstrukcyjno-eksploatacyjnych wybranych samochodów produkcji krajowej
- [4] Praca zbiorowa. Efekty ekonomiczne dla ruchu samochodowego wynikające z wyeliminowania pojazdów konnych z ruchu na drogach o nawierzchni ulepszonej. IBDiM, Warszawa 1978 /bez publikacji/
- [5] Praca zbiorowa. Ruch drogowy 1985. Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Dróg i Mostów. Warszawa 1987
- [6] Praca zbiorowa. Szczegółowa metoda obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na jednorodnych odcinkach zamiejskich dwupasowych dróg dwukierunkowych. Politechnika Gdańska, ATR Bydgoszcz; 1990 /bez publikacji/
- [7] Praca zbiorowa. Tymczasowe wytyczne obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu na drogach zamiejskich. Politechnika Warszawska, Politechnika Gdańska, ATR Bydgoszcz. 1987, /bez publikacji/
- [8] Szczuraszek T., Kempa J.: Analiza wariantów objazdu mostu w m. Nakło na czas remontu. Bydgoszcz 1990, /bez publikacji/
- [9] Szczuraszek T., Kempa J.: Analiza wariantów objazdu mostu w m. Wilcze Gardło na czas remontu. Bydgoszcz 1990, /bez publikacji/
- [10] Szczuraszek T.: Model ruchu potoku pojazdów na dwupasowej drodze dwukierunkowej. Rozprawy Nr 40, ATR Bydgoszcz 1990
- [11] Szczuraszek T.: Propozycja nowej klasyfikacji rodzajowej pojazdów Zesz. Nauk., ATR, Budownictwo 26, Bydgoszcz 1990, s.47

THE FUEL CONSUMPTION BY AUTOMOTIVE VEHICLES DEPENDING ON  
TRAFFIC CONDITIONS

Summary

In the paper the dependences between the fuel consumption of typical Polish automotive vehicles and traffic conditions have been presented. The application examples of these dependences for practical purposes /i.e. design, modernization and road maintenance/ have been also given.



Edward Kujawski  
Jan Gadomski

### NIEKTÓRE PROBLEMY INTERPRETACJI WYNIKÓW PRECYZYJNEJ NIWELACJI GEOMETRYCZNEJ ŻELBETOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH

W pracy przedstawiono możliwość wykorzystania pomiarów niwelacyjnych do ustalenia wpływu zmian temperatury otoczenia na przemieszczenia pionowe mostu żelbetowego. Wykorzystując analizę statystyczną do analizy wyników długookresowych pomiarów, istnieje możliwość określenia zmian reologicznych betonu. Analizę wykonano dla mostu z betonu sprężonego, o rozpiętości przęsła 28 m.

Na końcowy wynik przemieszczeń obiektów budowlanych mają wpływ różne czynniki fizyczne. Jedne z nich wpływają w sposób istotny, a inne-niewielki, jedne powodują odkształcenia sprężyste, a inne-odkształcenia trwałe. Aby można wyróżnić wpływ poszczególnych czynników należy /podczas badań/ dokonywać rejestracji poziomu tych czynników. W zależności od obiektu powinno ustalić się przewidywane źródła wpływu na wektory przemieszczeń. W przypadku obiektów mostowych, a w szczególności betonowych, zmiany i przebieg odkształceń wywołane są przyczynami zewnętrznymi i wewnętrznymi. Przyczynami zewnętrznymi mogą być działania mechaniczne, jak obciążenia krótko- i długotrwałe stałe lub zmienne w czasie, oraz temperatura i wilgotność środowiska. Do przyczyn wewnętrznych zaliczyć można procesy fizykochemiczne zachodzące w betonie przez dłuższy czas. Podane przyczyny wywołują odkształcenia betonu zależne nie tylko od intensywności ich działania, lecz także od czasu trwania tego działania. Czynniki te mają w wielu przypadkach istotny wpływ na stan naprężenia i odkształcenia konstrukcji betonowych, żelbetowych i sprężonych [2].

W większości przypadków pomiary kontrolne długo- lub krótkookresowe obiektów mostowych są dokonywane metodami geodezyjnymi, a w szczególności za pomocą precyzyjnej niwelacji geometrycznej. Po opracowaniu wyników pomiarów powstają zestawienia przemieszczeń pionowych punktów kontrolowanych, w których to tkwią składowe przemieszczenia z tytułu wpływu różnych źródeł. Wyróżnienia wpływu poszczególnych czynników można dokonać metodami statystycznymi. Jedną z powszechnie stosowanych metod jest analiza wariancji, za pomocą której można wyróżnić jak gdyby zmiany jakościowe /np. dany czynnik ma wpływ na wynik końcowy, a inny nie ma wpływu/. Oprócz takiego wyróżnienia, z reguły interesują nas zmiany ilościowe /np. dany czynnik ma wpływ tego rzędu na wynik końcowy/. W związku z tym wy-

daje się celowe stosowanie analizy regresji wielokrotnej, za pomocą której ustala się wielkość wpływu, a także można ustalić stopień wyjaśnienia zaistniałej zmienności wyników.

W pracy tej do analizy wykorzystano wyniki niwelacji Mostu Młyńskiego w Bydgoszczy znajdującego się w ciągu ulicy Marszałka Focha. Przęsła środkowe Mostu Młyńskiego, o rozpiętości 28 m, wykonane są z betonu sprężonego. Sprężenia dokonano systemem Baur-Leonhardt kablami sprężającymi, składającymi się z 37 drutów  $\phi$  5 mm, o sile zrywającej 104 tony. Kable sprężające, w ilości 10 sztuk, przeprowadzone są wzdłuż każdej z belek głównych i znajdują się w otulinie z zaprawy betonowej. Konstrukcję mostu wykonano z betonu marki "400" wibrowanego wibratorem wglębnym.

Analizę pionowych przemieszczeń pomierzonych w środku przęsła mostu i wybór "najlepszego" równania regresji dokonano według procedury regresji krokowej. Do analizy wzięto pod uwagę czas, jaki upłynął od pierwszego analizowanego pomiaru  $X_1$ , temperaturę powietrza, jaka była podczas pomiarów  $X_2$  i wilgotność powietrza w tym czasie  $X_3$ . Należy wyraźnie podkreślić, że wyniki pomiarów dotyczą mostu w wieku 20-21 lat.

Procedura regresji krokowej polega na wprowadzeniu kolejnych zmiennych niezależnych do równania regresji i powtórnych badaniu, na każdym etapie wprowadzonych do modelu zmiennych niezależnych w poprzednich etapach. Zmienna niezależna, która mogła być najlepszą pojedynczą zmienną do wprowadzenia w poprzedzającym etapie, może w etapie późniejszym być zbędna, ze względu na swoją zależność od innych zmiennych niezależnych występujących teraz w regresji. W celu sprawdzenia tego, ocenia się i porównuje kryterium  $F$  dla każdej zmiennej niezależnej w regresji w każdym etapie obliczeń z wartością krytyczną  $F_{0,05}$  i  $F_{0,01}$ . Każda zmienna niezależna, której udział jest nieistotny, jest usuwana z modelu. Obliczenia trwają tak długo, aż żadna ze zmiennych niezależnych nie będzie mogła być dopuszczona do równania i żadna odrzucona.

W naszym przypadku macierz niecentrowanych sum kwadratów i niecentrowanych sum iloczynów mieszanych ma postać

$$X'X = \begin{bmatrix} 2\ 295 & 546 & 4\ 116 & -671 \\ 141\ 669 & 15\ 488 & 177\ 635 & -38\ 436 \\ & 10\ 433 & 37\ 132 & -740 \\ & & 316\ 148 & -51\ 186 \\ & & & 15\ 703 \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$X'X = \begin{bmatrix} \sum X_1 & \sum X_2 & \sum X_3 & \sum Y \\ \sum X_1 X_1 & \sum X_1 X_2 & \sum X_1 X_3 & \sum X_1 Y \\ \sum X_1 X_2 & \sum X_2 X_2 & \sum X_2 X_3 & \sum X_2 Y \\ \sum X_1 X_3 & \sum X_2 X_3 & \sum X_3 X_3 & \sum X_3 Y \\ \sum X_1 Y & \sum X_2 Y & \sum X_3 Y & \sum Y^2 \end{bmatrix}$$

a po scentrowaniu względem wartości średnich macierz jest następująca

$$X_c'X_c = \begin{bmatrix} 45\,904,91 & -7\,295,09 & 5\,885,55 & -10\,437,00 \\ & 5\,012,71 & -3\,728,65 & 591,20 \\ & & 8\,121,53 & -970,80 \\ & & & 7\,516,80 \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$\sum x_i x_j = \sum X_i X_j - \frac{(\sum X_i)(\sum X_j)}{n}$$

W rozważanym przypadku  $n = 55$ .

Wykorzystując macierz  $X_c'X_c$  obliczono współczynniki korelacji i utworzono macierz korelacji zmiennych niezależnych

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,000\,000 & -0,480\,911 & 0,304\,816 \\ & 1,000\,000 & -0,584\,382 \\ & & 1,000\,000 \end{bmatrix}$$

oraz wektor korelacji zmiennych niezależnych ze zmienną zależną

$$T = \begin{bmatrix} r_{1Y} \\ r_{2Y} \\ r_{3Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,561\,862 \\ 0,964\,622 \\ -0,124\,249 \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$r_{ij} = \frac{\sum x_i x_j}{\sqrt{(\sum x_i^2)(\sum x_j^2)}}$$

Następnie według procedury regresji krokowej ustalono następujące równanie regresji

$$Y = -2,103 - 0,005157 \cdot X_1 + 0,1106 \cdot X_2$$

gdzie:

$Y$  - przemieszczenie w mm,

$X_1$  - czas w tygodniach,

$X_2$  - temperatura powietrza w  $^{\circ}\text{C}$ .

Powyższe równanie wyjaśnia w 94,3% zmienności występujące w mierzonej wielkości  $Y$ .

W analizowanym przykładzie okres obserwacji mostu wynosił 88 tygodni, w tym czasie temperatura powietrza była od  $-7^{\circ}\text{C}$  do  $+26^{\circ}\text{C}$ , a wilgotność względna powietrza wahała się w granicach 44% ÷ 95%. Pomiarzy zostały wykonane w 20 i 21 roku istnienia obiektu, tzn. w starym wieku dla betonu, w którym to procesy "biologiczne" już wygasły. Stąd też do równania nie wszedł jeden z istotnych czynników, a mianowicie wilgotność otoczenia.

Najistotniejszym w równaniu jest ustalenie wpływu czynnika zmiennego, jakim jest temperatura oraz czynnika systematycznego, jakim jest biegnący jednokierunkowo czas.

Przedstawione równanie regresji odnosi się do analizowanego wieku, ponieważ nie były dokonywane systematyczne pomiary we wcześniejszym okresie czasu, kiedy to wpływ zmian temperatury otoczenia i wilgotności na elementy żelbetowe lub sprężone w młodym wieku jest znaczny [2].

Stosując powyższy sposób postępowania i wykorzystując długookresowe pomiary kontrolne można wyznaczyć zmiany z tytułu procesów reologicznych betonu, zachodzące nawet w tak długim okresie czasu.

#### LITERATURA

- [1] Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973  
[2] Mitzel A.: Reologia betonu. Arkady, Warszawa 1972

#### SOME PROBLEMS OF THE INTERPRETATION OF RESULTS OF PRECISE LEVELLING OF THE REINFORCED CONCRETE BRIDGES

##### Summary

In this work, possibilities of using the levelling to fix the effect of the environment temperature changes on the vertical displacement of a reinforced concrete bridge are presented. Rheologic changes of concrete are specified by using the statistical analysis. This analysis has been done for the prestressed concrete bridge of 28 m span.



Maria Gadomska  
Jan Gadomski

WPLYW TEMPERATURY NA PRZEMIESZCZENIA PIONOWE  
FUNDAMENTÓW MASZYN PAPIERNICZYCH

W pracy omówiono badania pionowych przemieszczeń fundamentów maszyn papierniczych. Jednym z istotnych czynników, który należy uwzględnić podczas interpretacji branżowej wyników pomiarów przemieszczeń, jest temperatura. Zróżnicowane pole temperatur spowodowane jest warunkami technologicznymi pracy maszyn papierniczych.

1. WSTĘP

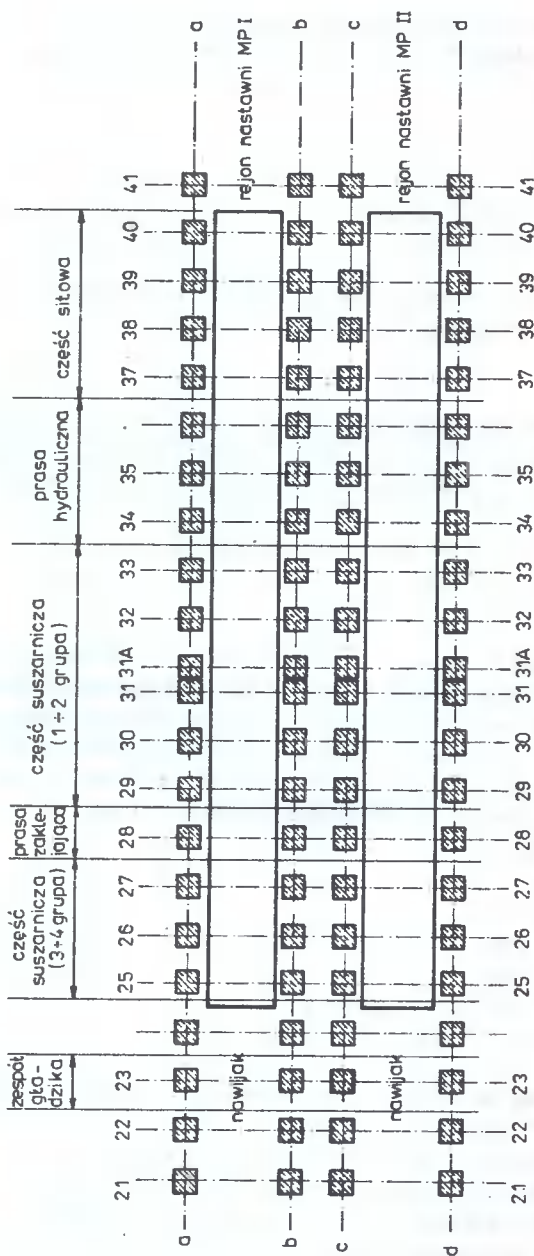
Współczesny przemysł wymaga stosowania maszyn i urządzeń o bardzo wysokiej precyzji działania. Dotyczy to również dużych maszyn wykorzystywanych w przemyśle papierniczym. Największe w Polsce maszyny papiernicze /produkcji kanadyjskiej/ znajdują się w Zakładach Celulozowo-Papierniczych w Kwidzynie. Maszyny te składają się z wielu zestawów walców i pras opartych na blachach podwalinowych, które znajdują się na całej długości maszyny /ok. 100 m/. Główne części maszyny to /patrz rys.1/:

- część sitowa,
- prasa hydrauliczna,
- część suszarnicza /1 i 2 grupa/,
- prasa zaklejająca,
- część suszarnicza /3 i 4 grupa/,
- zespół gładzika - "ruszt królewski",
- nawijak.

Maszyny posadowione są na żelbetowych fundamentach ramowych o rozstawie słupów 6 m i wysokości 7,10 m.

Niezakończone działanie maszyn papierniczych wymaga, aby poszczególne ich zespoły pozostawały w ustawieniu określonym bardzo małymi dopuszczalnymi odchyleniami od położenia teoretycznego. Producent maszyn określił również dopuszczalne przemieszczenia fundamentów, na których znajdują się maszyny. I tak, dopuszczalne osiadanie jednego słupa w stosunku do słupów sąsiednich nie może przekroczyć 0,1 cala /2,5 mm/ dla rozstawu słupów wynoszącego 20 stóp /około 6 m/.

Przedmiotem zainteresowania użytkowników tych maszyn jest przede wszystkim nierównomierne osiadanie fundamentów, które ma wpływ na pracę maszyn i w efekcie końcowym na jakość produkowanego papieru. W tym celu przeprowadza



Rys.1. Schemat rozmieszczenia poszczególnych części maszyn na fundamentach /MP I- maszyna papiernicza I; MP II- maszyna papiernicza II/

się /metodami geodezyjnymi/ okresowe obserwacje przemieszczeń pionowych poszczególnych elementów fundamentów. Wymagania dokładnościowe zmuszają do stosowania wysokiej klasy niwelatorów precyzyjnych i optymalnego programu obserwacji na stanowisku. W pomiarach tego typu mamy zwykle do czynienia z obszarami o dużym zróżnicowaniu pola temperaturowego. Wynika to zarówno z procesu technologicznego, jak i ograniczenia przestrzeni osiowymi, czy ściankami działowymi. Przez to utrzymuje się w nich stała temperatura, charakterystyczna dla tego rodzaju pomieszczeń, różna od temperatury w sąsiednich pomieszczeniach.

## 2. BADANIA FUNDAMENTÓW

Na zlecenie użytkownika maszyn przeprowadzono okresowe pomiary przemieszczeń pionowych fundamentów. W tym celu na słupach fundamentu, na wysokości około 0,70 m powyżej poziomu posadzki zastabilizowano 88 reperów, które utworzyły sieć niwelacyjną dowiązaną do czterech stałych punktów znajdujących się poza badanym obszarem. Pomiary wykonano za pomocą niwelatora samopoziomującego Ni 002 i zestawu łąt, o różnych długościach, do niwelacji precyzyjnej. Podczas pomiarów przemieszczeń dokonywano również rejestracji temperatury otoczenia i konstrukcji /betonu/ na wysokości punktów kontrolowanych. Temperaturę otoczenia mierzono termometrem rtęciowym, a temperaturę betonu czujnikiem termistorowym. Różnice temperatur konstrukcji zestawiono w tabeli 1, a obliczone przemieszczenia pionowe punktów kontrolowanych w tabeli 2 oraz przedstawiono odpowiednio na rysunkach 2 i 3. Na rysunku 4 przedstawiono porównanie różnic temperatur i przemieszczeń punktów w przekrojach podłużnych dla poszczególnych linii słupów.

Tabela 1

Różnice temperatur betonu /słupów fundamentu/ podczas pracy maszyn papierniczych

Nr punktu	$\Delta t$ [°C]	Nr punktu	$\Delta t$ [°C]	Nr punktu	$\Delta t$ [°C]	Nr punktu	$\Delta t$ [°C]
21 a	+ 1,5	21 b	+ 1,0	21 c	+ 1,0	21 d	0,0
22 a	+ 1,6	22 b	+ 0,4	22 c	0,0	22 d	0,0
23 a	+ 1,3	23 b	+ 0,7	23 c	+ 0,8	23 d	+ 0,5
25 a	+ 5,3	25 b	+ 5,8	25 c	+ 8,3	25 d	+ 8,3
26 a	+ 5,3	26 b	+ 5,0	26 c	+ 7,1	26 d	+11,3
27 a	+ 4,0	27 b	+ 3,0	27 c	+ 7,3	27 d	+ 7,3
28 a	+ 8,8	28 b	+ 2,8	28 c	+ 2,8	28 d	+ 2,6
29 a	+11,3	29 b	+10,8	29 c	+11,8	29 d	+10,3
30 a	+10,3	30 b	+11,0	30 c	+11,8	30 d	+10,3
31 a	+ 7,3	31 b	+ 6,8	31 c	+ 8,8	31 d	+ 9,8
31 Aa	+ 7,3	31 Ab	+ 6,8	31 Ac	+ 8,8	31 Ad	+ 9,8
32 a	+10,3	32 b	+17,8	32 c	+ 9,8	32 d	+ 9,5
33 a	+10,3	33 b	+11,3	33 c	+10,8	33 d	+10,8
34 a	+ 5,5	34 b	+ 5,8	34 c	+ 5,3	34 d	+ 6,3
35 a	+ 6,0	35 b	+ 5,8	35 c	+ 5,2	35 d	+ 6,5
37 a	+ 6,3	37 b	+ 6,0	37 c	+ 6,0	37 d	+ 6,0
38 a	+ 7,6	38 b	+ 6,6	38 c	+ 5,8	38 d	+ 8,8
39 a	+ 7,1	39 b	+ 6,0	39 c	+ 6,3	39 d	+ 7,3
40 a	+ 8,3	40 b	+ 5,0	40 c	+ 5,0	40 d	+ 5,8
41 a	+ 6,3	41 b	+ 4,3	41 c	+ 4,5	41 d	+ 5,0



Tabela 2

## Przemieszczenia pionowe punktów badanych podczas pracy maszyn papierniczych

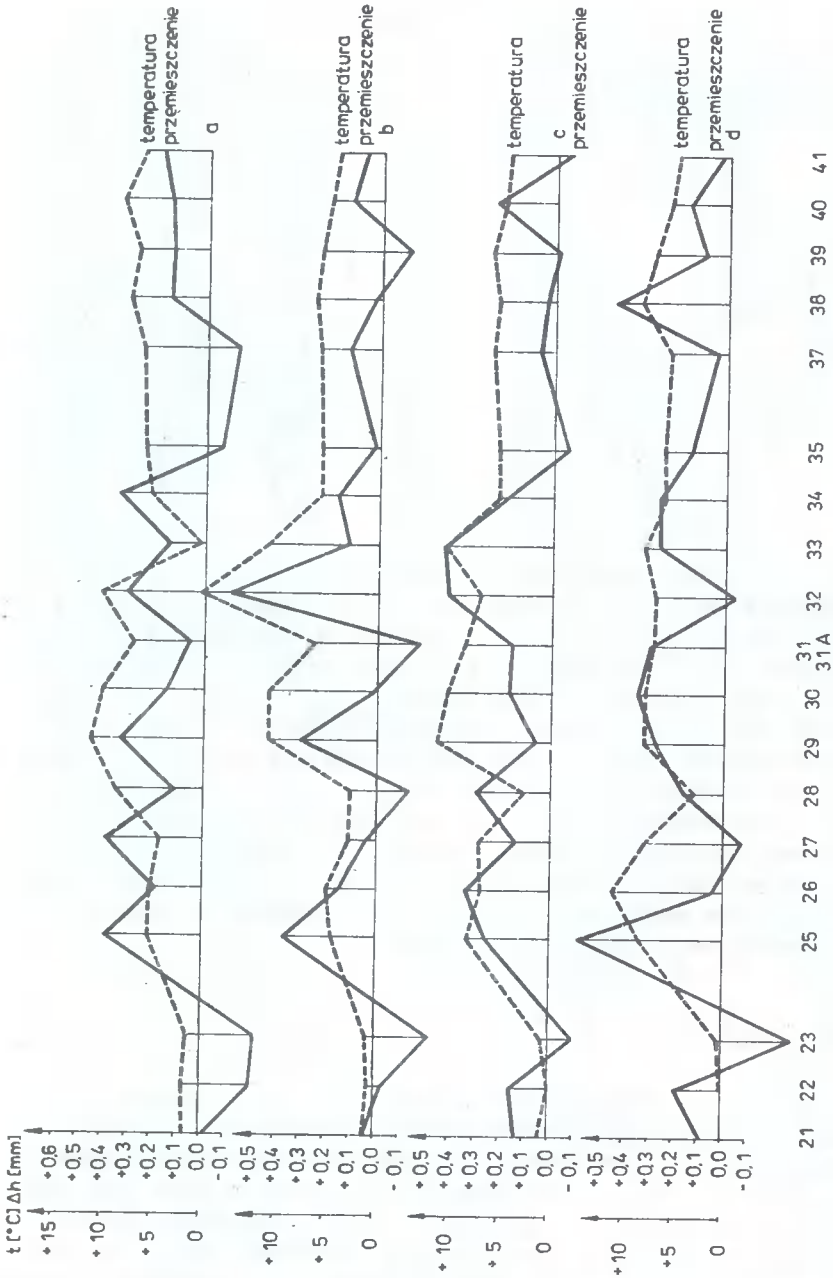
Nr punktu	$\Delta h$ mm	Nr punktu	$\Delta h$ mm	Nr punktu	$\Delta h$ mm	Nr punktu	$\Delta h$ mm
21 a	-0,02	21 b	+0,16	21 c	+0,12	21 d	+0,08
22 a	-0,20	22 b	-0,09	22 c	+0,14	22 d	+0,19
23 a	-0,22	23 b	-0,22	23 c	-0,10	23 d	-0,29
25 a	+0,39	25 b	+0,38	25 c	+0,25	25 d	+0,59
26 a	+0,20	26 b	+0,16	26 c	+0,32	26 d	+0,05
27 a	+0,39	27 b	-0,03	27 c	+0,13	27 d	-0,08
28 a	+0,12	28 b	-0,12	28 c	+0,30	28 d	+0,16
29 a	+0,33	29 b	+0,31	29 c	+0,06	29 d	+0,29
30 a	+0,16	30 b	+0,02	30 c	+0,17	30 d	+0,35
31 a	+0,08	31 b	-0,18	31 c	+0,15	31 d	+0,27
31 Aa	+0,04	31 Ab	-0,18	31 Ac	+0,18	31 Ad	+0,33
32 a	+0,41	32 b	+0,60	32 c	+0,41	32 d	-0,03
33 a	+0,14	33 b	+0,11	33 c	+0,43	33 d	+0,28
34 a	+0,33	34 b	+0,18	34 c	+0,20	34 d	+0,28
35 a	-0,07	35 b	+0,01	35 c	-0,06	35 d	+0,14
37 a	-0,12	37 b	+0,12	37 c	+0,06	37 d	-0,04
38 a	+0,14	38 b	+0,02	38 c	+0,03	38 d	+0,45
39 a	+0,13	39 b	-0,11	39 c	-0,01	39 d	+0,09
40 a	+0,15	40 b	+0,11	40 c	+0,23	40 d	+0,17
41 a	+0,19	41 b	+0,07	41 c	-0,05	41 d	+0,02

Analizując przedstawione wyniki obserwacji można zauważyć dużą niejednorodność pola temperatur. Największe różnice temperatur występują w częściach suszarniczych, a następnie w części sitowej, gdzie dodatkowo występuje bardzo duża wilgotność. Z danych wynika, że największe przemieszczenia występują w częściach suszarniczych.

Celem ustalenia zależności między temperaturą konstrukcji a wartościami przemieszczeń poszczególnych punktów, przeprowadzono analizę korelacji liniowej. Uzyskano współczynnik regresji  $r = 0,49$ , co przy 78 stopniach swobody z prawdopodobieństwem 0,999 pozwala odrzucić hipotezę, że nie istnieje wpływ temperatury na przemieszczenia punktów kontrolnych badanych fundamentów [3]. Z tego wynika, że na aktualne położenie punktów kontrolowanych ma wpływ nie tylko rzeczywiste osiadanie fundamentu, lecz również zakłócenia z tytułu różnic temperatur.

### 3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania świadczą o tym, że przy zróżnicowanym polu temperaturowym, spowodowanym technologicznymi źródłami ciepła, należy brać pod uwagę temperaturę jako jeden z istotnych czynników, które wpływają na wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych. W przypadku pomiarów przemieszczeń fundamentów maszyn papierniczych zmiany te są znaczące i należy brać je pod uwagę przy interpretacjach branżowych wyników. Dlatego też celem jest dołączenie rozkładu różnic temperatur na badanym obiekcie do opracowań geodezyjnych. Wydaje się również celowym, aby w takich przypadkach brać



Rys. 4. Wykresy temperatur i przemieszczeń pionowych /przekroje podłużne/

również pod uwagę wpływ takiego rozkładu temperatur na instrument [1], a po ustaleniu charakterystyk zmian osi celowej ze względu na zmiany temperatury, ustalić odpowiedni program obserwacyjny.

## LITERATURA

- [1] Gadomski J., Kujawski E., Luther L.: Badania wpływu skokowych zmian temperatury na zmianę położenia osi celowej w niwelatorach samopoziomujących. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 59, Konferencja nr 30, Wrocław 1989
- [2] Łączkowski A., Gadomska M., Gadomski J.: Badanie wpływu urządzeń wi-brujących - maszyn papierniczych na deformacje fundamentów blokowych i stopowych /maszynopis/
- [3] Mercik S.: Rozkład temperatur w obudowie urządzenia do ciągłego odlewania stali w hucie "Jedność". Problemy projektowe hutnictwa i przemysłu maszynowego. Gliwice, 1970/5
- [4] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1965

THE INFLUENCE TEMPERATURE ON VERTICAL DISPLACEMENTS OF  
FOUNDATIONS PAPER'S MACHINES

Summary

This article presents the effects of research of vertical displacements of the foundations paper machines. One of the fundamental factors we should take under the consideration, during the trade interpretation of measurement displacement results is temperature. Diversified thermal field is owing to technological conditions of working of paper machines.





Maria Gadomska  
Piotr Czembor  
Ryszard Rus

## PRÓBA WYKORZYSTANIA METODY ALINIOMETRYCZNEJ DO OKREŚLENIA GEOMETRII UKŁADU JEZDNEGO FREZARKI BRAMOWEJ

W artykule przedstawiono próbę wykorzystania aliniometru Fluchtfernrohr 01 do pomiaru prostoliniowości przemieszczania się stołu frezarki bramowej. Uzyskane wyniki pozwalają określić geometrię układu jezdnej maszyny.

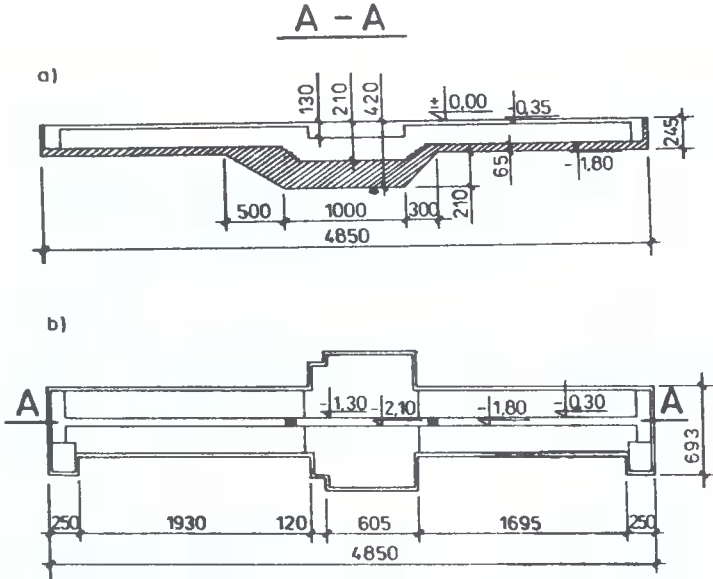
### 1. WSTĘP

Budownictwo maszynowe jest jedną z dziedzin zainteresowań geodetów zajmujących się zagadnieniami inżynieryjno-przemysłowymi. Metody geodezyjne wykorzystywane są zwłaszcza w pomiarach prowadzonych przy ustawianiu, montażu i eksploatacji maszyn oraz urządzeń mechanicznych, charakteryzujących się znacznymi wymiarami. Jednakże tradycyjne metody geodezyjne nie zawsze mogą być zastosowane, bądź ze względu na wysokie wymagania dokładnościowe, bądź ze względu na brak możliwości swobodnego dostępu do maszyn i urządzeń, czy z braku możliwości stabilizacji punktów kontrolnych. Właśnie ostatni czynnik znacznie utrudniał badanie geometrii układu jezdnej frezarki bramowej, zamontowanej w Zakładach Przemysłu Metalowego H. Cegielski w Poznaniu. Tradycyjna metoda niwelacji precyzyjnej wymaga stabilizacji punktów kontrolnych, co jest niemożliwe w przypadku stołu obrabiarki. Dlatego też podjęto próbę określenia geometrii układu jezdnej obrabiarki metodą aliniometrii optycznej, z wykorzystaniem instrumentu Fluchtfernrohr 01.

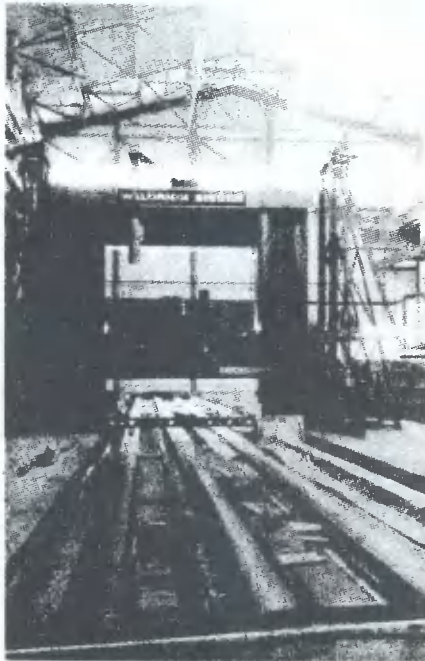
### 2. BADANY OBIEKT

Przedmiotem obserwacji był zespół obejmujący fundament, łożo i stół frezarki bramowej firmy Waldrich - Siegen. Kształt i wymiary fundamentu przedstawiono na rysunku 1. Górna płaszczyzna fundamentu z otworami, wnękami i podłużnym kanałem wynika z rozwiązania konstrukcyjnego maszyny. Fundament ma wydłużony kształt dostosowany do ruchomego obciążenia eksploatacyjnego. Część środkowa górnej płaszczyzny fundamentu, na której opiera się główna część maszyny, jest poszerzona i obniżona w stosunku do części skrajnych, na których opiera się łożo maszyny. Ruchomy stół ma dłu-

gość 22 m i może być obciążony na całej długości obciążeniem równomiernym wynoszącym 300 kN/m. Ogólny widok obrabiarki podczas montażu przedstawia rysunek 2.



Rys.1. Fundament frezarki bramowej firmy Waldrich-Siegen:  
a/ przekrój podłużny, b/rzut poziomy

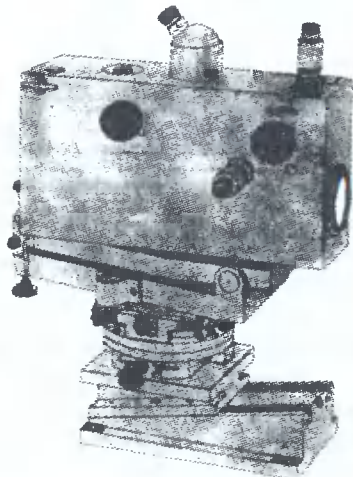


Rys.2. Obrabiarka podczas montażu /widok ogólny/

Obrabiany element mocowany jest na stole przesuwającym się wzdłuż osi głównej maszyny po łożu z czterema płaskimi prowadnicami. Dzięki temu element obrabiany może być przemieszczany pod frezem, który obrabia jego górną i boczne płaszczyzny. Frez zamocowany jest w suporcie, który posiada dwa ruchy: góra - dół oraz lewo-prawo. Obrabianie elementu odbywa się w ten sposób, że frez zablokowany zostaje na określonej wysokości lub odległości i wprawiany w ruch obrotowy, zaś element obrabiany przesuwany jest pod nim razem z przemieszczającym się stołem. Inną możliwością jest przesuwanie suportu z frezem po prowadnicach bramy, w kierunku prostopadłym do ruchu stołu.

Ze schematu pracy obrabiarki wyłania się podstawowy warunek poprawności obróbki: stół i suport muszą przemieszczać się prostoliniowo. Warunek ten jest szczególnie ważny dla stołu, którego droga przesuwu jest kilkakrotnie dłuższa, niż suportu. Oczywiście warunek ten dotyczy w jednakowym stopniu płaszczyzny poziomej, jak i pionowej. Niespełnienie warunku prostoliniowości przesuwu stołu, czy suportu, powoduje w konsekwencji nieprawidłową obróbkę.

Celem określenia pracy układu jezdnego obrabiarki prześledzono charakterystykę geometryczną drogi przesuwu stołu na odcinku 0 m - 21.7 m - 0 m. Pomiarów dokonano aliniometrem precyzyjnym Fluchtfernrohr 01 /FF 01/, firmy Carl Zeiss /rys.3/.



Rys.3. Aliniometr precyzyjny Zeiss FF 01

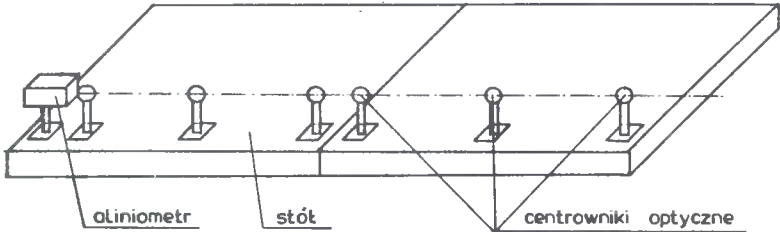
### 3. CHARAKTERYSTYKA INSTRUMENTU FF 01

Aliniometr precyzyjny FF 01 przeznaczony jest do pomiaru liniowych wielkości niewielkich odchyłeń szeregu punktów od przyjętej prostej, przy czym wektor wychylenia rozkładany jest na składową poziomą i pionową. Po pomiaru odchyłeń dokonuje się za pomocą mikrometru optycznego o dwóch płyt-

kach płaskorównoległych i dwóch śrubach mikrometrycznych o najmniejszej działce  $1 \mu\text{m}$  w zakresie  $2200 \mu\text{m}$ . Luneta pracuje w dwóch zakresach pomiarowych:  $0 - 20 \text{ m}$  oraz  $0 - \infty$ . Zakres pierwszy charakteryzuje się tym, że obraz celu zachowuje w polu widzenia lunety stałą wielkość, bez względu na oddalenie celu od lunety. Cecha ta ma zapewnić jednakowy błąd celowania w całym zakresie  $0 - 20 \text{ m}$ . Drugą unikalną cechą lunety jest jej zero-wa najkrótsza odległość, co oznacza, że nawet wówczas, gdy cel dotyka o-biektu, uzyskanie ostrego obrazu w lunecie jest możliwe. Do sygnalizacji mierzonych punktów oraz do określenia ich ewentualnego odchylenia od prostej używano centrowników optycznych, opracowanych i skonstruowanych w OPGK Katowice [4].

#### 4. SPOSÓB POMIARU

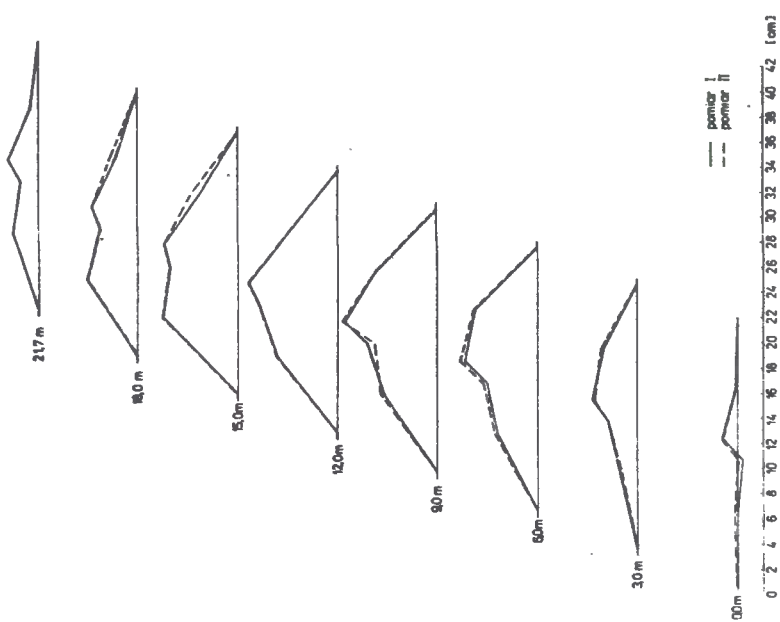
Na stole wzdłuż dłuższej krawędzi ustawiono aliniometr oraz centrowniki optyczne, jak na rysunku 4.



Rys.4. Szkic rozmieszczenia aliniometru i centrowników optycznych na stole obrabiarki

Badanie prostoliniowości polegało na pomiarze odchyień od prostej określonej przez dwa skrajne centrowniki szeregu. Podczas pomiarów stół przesuwano co  $3 \text{ m}$ . Tak więc w każdym położeniu stołu /to jest w pozycjach  $0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60 \text{ m}$ / przeprowadzono niezależne pomiary prostoliniowości stołu w płaszczyznach poziomej i pionowej. W czasie pomiarów stół obrabiarki był obciążony dodatkowo elementem o wadze około  $600 \text{ kN}$ . Uzyskane w trakcie pomiarów odchylenia od prostoliniowości zestawiono w tabeli, a graficzną ich ilustrację przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na niespełnienie warunku płaskości stołu, a maksymalne odchylenia od prostej w płaszczyźnie pionowej, wynoszące około  $0.70 \text{ mm}$ , świadczą o bardzo złym stanie układu jezdnego obrabiarki.



Rys. 5. Średnie wychylenia punktów stołu od prostej w pionozchnyźnie poziomej /wychylenie 1mm=0,02mm/

Rys. 6. Wychylenie punktów stołu od prostej w pionozchnyźnie pionowej

Tabela

## Odchylenia punktów od prostej

Pozłożenie Nr punktu	Odchylenia punktów [mm]												
	Poziom						Pion						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
0	0,00	+0,02	-0,01	-0,06	+0,13	0,00	0,00	0,04	+0,12	+0,01	0,00	+0,01	0,00
0	0,00	+0,02	-0,04	-0,07	+0,03	0,00	0,00	-0,01	+0,12	+0,01	0,00	+0,01	0,00
3	0,00	+0,01	-0,05	-0,07	+0,12	0,00	0,00	+0,22	+0,34	+0,28	0,00	+0,28	0,00
3	0,00	0,00	-0,04	-0,10	+0,14	0,00	0,00	+0,22	+0,34	+0,28	0,00	+0,28	0,00
6	0,00	-0,01	-0,04	-0,08	+0,14	0,00	0,00	+0,40	+0,58	+0,50	0,00	+0,50	0,00
6	0,00	0,00	-0,05	-0,11	+0,10	0,00	0,00	+0,43	+0,61	+0,51	0,00	+0,51	0,00
9	0,00	0,00	-0,03	-0,07	+0,12	0,00	0,00	+0,57	+0,74	+0,50	0,00	+0,50	0,00
9	0,00	-0,02	-0,06	-0,12	+0,10	0,00	0,00	+0,50	+0,76	+0,50	0,00	+0,50	0,00
12	0,00	+0,01	-0,01	-0,07	+0,13	0,00	0,00	+0,62	+0,71	+0,39	0,00	+0,39	0,00
12	0,00	+0,02	+0,01	-0,05	+0,18	0,00	0,00	+0,62	+0,71	+0,39	0,00	+0,39	0,00
15	0,00	+0,02	+0,01	-0,02	+0,03	0,00	0,00	+0,54	+0,58	+0,31	0,00	+0,31	0,00
15	0,00	0,00	-0,02	-0,04	+0,13	0,00	0,00	+0,54	+0,58	+0,31	0,00	+0,31	0,00
18	0,00	+0,04	+0,03	0,00	+0,14	0,00	0,00	+0,41	+0,36	+0,17	0,00	+0,17	0,00
18	0,00	+0,04	+0,03	0,00	+0,15	0,00	0,00	+0,29	+0,36	+0,21	0,00	+0,21	0,00
21,7	0,00	+0,02	-0,02	-0,08	+0,10	0,00	0,00	+0,19	+0,23	+0,07	0,00	+0,07	0,00

## 5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie aliniometrii optycznej do pomiarów eksploatacyjnych układu jezdnego obrabiarek bramowych o dużych wymiarach pozwala na podjęcie szybkiej decyzji o konieczności rektyfikacji łoża maszyny. Metoda ta nie wymaga stabilizacji punktów kontrolnych i pozwala na uzyskanie wyników jednocześnie w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej.

## LITERATURA

- [1] Gadomska M.: Geodezyjne badanie fundamentu frezarki i związku między odkształceniami a dokładnością obróbki dużych elementów silników okrętowych. /praca doktorska/ ATR, Olsztyn 1985
- [2] Gocał J., Żak M.: Prace geodezyjne w budownictwie maszynowym. Skrypty uczelniane nr 965 AGH, Kraków 1985
- [3] Spyra L.: Badanie przydatności, modernizacja i zastosowanie instrumentów do tyczenia przy montażu turbin parowych ze specjalnym uwzględnieniem przyrządu Zeissa FF 01. /praca doktorska/ Politechnika Warszawska, 1976
- [4] Żak M.: Aliniometryczna metoda osiowania elementów ustrojów wirujących. Zesz.Nauk. AGH, Geodezja z.64, Kraków 1981

THE TEST OF THE USAGE OF THE ALIGNMENT METHOD FOR THE  
DETERMINATION OF THE GEOMETRY MILLING PLANER TRAVEL SYSTEM

Summary

The paper presents a test of the Fluchtfernrohr 01 instrument for the rectilinearity measurement of the milling planer table displacement. The obtained results give an information about the geometry of machine travel system.





Jan Lorkowski  
Jan Górski

AUTOMATYZACJA PROCESU WYZNACZANIA EKSTREMALNYCH  
WIELKOŚCI STATYCZNYCH I GEOMETRYCZNYCH

W artykule przedstawiono algorytm automatyzacji procesu wyznaczenia wartości ekstremalnych wielkości statycznych i geometrycznych od różnych zestawów obciążeń. W wielu programach użytkowych brakuje segmentów wykonujących te obliczenia, lub segmenty te nie są skonstruowane optymalnie. Taka sytuacja bardzo obniża wartości użytkowe profesjonalnego oprogramowania obliczeń statycznych konstrukcji inżynierskich. Przedstawiony algorytm został wykorzystany w różnych programach statycznych konstrukcji, między innymi w programie służącym do projektowania posadowień bezpośrednich, zgodnie z wymogami obowiązującej normy gruntowej. W wyniku obliczeń projektant uzyskuje zestaw ekstremalnych wielkości statycznych i geometrycznych, wymaganych przy projektowaniu.

## 1. WSTĘP

Istotnym zagadnieniem w obliczeniach statycznych konstrukcji inżynierskich od praktycznie działających na nie zestawów obciążeń jest uwzględnienie, zgodnie z normami [1,2,3], wszystkich typów obciążeń oraz wykonanie /według normy/ wariantowania ostatecznych wyników obliczeń w celu wyznaczenia ekstremalnych wartości sił, przemieszczeń itp. Siły przekrojowe, przemieszczenia i inne wielkości należy w odpowiedni sposób superponować, przemnażać przez współczynnik obciążeń, rozróżniać wielkości powstałe od obciążeń: krótkotrwałych, długotrwałych, stałych zmiennych itp. Przy tradycyjnym sposobie obliczeń nie stanowi to dla wytrawnego konstruktora większej trudności, a jednym utrudnieniem jest duża pracochłonność. Również przy obliczeniach z wykorzystaniem komputerów, przy najbardziej nieefektywnym sposobie postępowania, można liczyć zadanie dla każdego zestawu obciążeń niezależnie, a następnie uzyskane wyniki superponować tradycyjnie. Najlepiej jednak wykorzystać do obliczeń taki program, któremu zadaje się różne zestawy obciążeń, program zaś sam je identyfikuje i w końcowej fazie obliczeń wszystkie wielkości superponuje zgodnie z życzeniem użytkownika, jak np. w [4]. Niniejszy artykuł przedstawia jeden ze sposobów przygotowania danych o obciążeniach i algorytm przekształceń zapisu tekstowego na kod cyfrowy umożliwiający ostateczną obróbkę wyników obliczeń. Według tego algorytmu napisano segment dotyczący wariantowania obciążeń i superpozycji wyników w dużym programie obliczeń

statycznych posadowień bezpośrednich konstrukcji budowlanych. Należy nadmienić, że liczne, skądinąd dobre, programy mają ten mankament, że brak im segmentu umożliwiającego automatyczne wyznaczanie wartości ekstremalnych.

Wariantowanie obciążeń wydaje się być zagadnieniem stosunkowo prostym, ale czy tak jest rzeczywiście. Zazwyczaj w obliczeniach statycznych uwzględnia się pewną skończoną liczbę zestawów obciążeń. Za każdym razem jest to sytuacja mniej lub bardziej skomplikowana. Wyobraźmy sobie, że mamy do rozwiązania zadanie, w którym występują wszystkie zestawy, z którymi projektant miał do czynienia. W takim przypadku można powiedzieć, że jest to zadanie uniwersalne /mamy wówczas zestawy wzajemnie wykluczające się, zestawy warunkowe itp./. Właśnie taki rodzaj zadania należy rozpatrywać przy opracowaniu programu na komputer, gdyż program powinien spełniać warunki uniwersalności i uwzględniać przynajmniej te wszystkie przypadki obciążeń, jakie dopuszcza norma. Oczywiście zagadnienie komplikuje się, a liczba funkcji logicznych, które należy spełnić dla prawidłowego rozwiązania zadania jest znaczna. Dla umysłu ludzkiego nie stanowi to większej trudności, jednak by taki zbiór logiczny przełożyć na kod cyfrowy /łatwy w dalszej obróbce/ należy przygotować odpowiedni zapis tekstowy zagadnienia, zrozumiały dla przeciętnego użytkownika. Wariantowanie obciążeń dokonuje się na podstawie określonej kombinacji zestawów obciążeń. Kombinacji może być kilka i mogą one mieć mniej lub bardziej złożony charakter.

## 2. KOD TEKSTOWY KOMBINACJI

Kombinację obciążeń tworzymy w ciągu wyrażeń logicznych zapisanych poprzez ciąg znaków pisanych.

Do znaków tych należą:

- cyfry od 0 do 9 - jako numery zestawów obciążeń lub wartości współczynników obciążeń, lub wartości mnożników;
- \* - znak mnożnika zestawu przez współczynnik obciążeń;
- - ujemna wartość obciążenia lub mnożnika;
- ( ) - nawiasy ograniczające wyrażenia logiczne;
- . - kropka dziesiętna;
- + - gdy należy dokonać bezwarunkowego sumowania wyników, niezależnie od wpływu tego sumowania na wartość ekstremum;
- W - jeżeli należy dokonać warunkowego sumowania, czyli tylko wówczas, gdy powiększa to bezwzględną wartość wyliczonego ekstremum;
- L - gdy należy dokonać alternatywnego wyboru tej wartości, która najbardziej zwiększa bezwzględną wartość ekstremum;
- K - symbol końca zapisu kombinacji.

Nie wnikając w treść, przykładowy zapis kombinacji obciążeń może przyjąć postać

$$1*1.2+2(1*1.5+3)L2 L5 * 0.9 W4 * 1.2+(3L(2+4L3 * 1.5))K \quad (1)$$

Wyrażenia mogą być pojedyncze lub złożone.

W wyrażeniu pojedynczym występuje co najmniej numer zestawu obciążeń, po którym może wystąpić znak mnożenia i liczba rzeczywista dodatnia lub ujemna, jako współczynnik obciążeń lub dodatkowy mnożnik, przez który zostaną pomnożone wyniki tego zestawu przy wyznaczaniu ekstremum.

Jeżeli po numerze zestawu nie wystąpi znak mnożenia to przyjmuje się mnożnik równy 1: Wyrażenia złożone występują wewnątrz okrągłych nawiasów. Bezpośrednio za nawiasem zamykającym nie może występować znak mnożenia i mnożnik dla wnętrza nawiasu. Wewnątrz nawiasów mogą występować wyrażenia pojedyncze lub złożone połączone ze sobą znakami +, W lub L. Dopuszcza się tylko potrójne zagłębienie nawiasów. Na trzecim poziomie zagłębienia, czyli po otwarciu trzeciego nawiasu, może występować wyrażenie złożone tylko z wyrażenń prostych połączonych ze sobą znakiem +, nakazującym bezwzględne sumowanie. Wyrażenie nie poprzedzone żadnym znakiem /na początku zapisu kombinacji lub po otwierającym nawiasie/ będzie sumowane bezwarunkowo, jeśli po nim występuje znak + lub W, albo będzie traktowane jako wyrażenie alternatywne - jeśli po nim występuje znak L.

Znak W nakazuje nie uwzględniać wartości wyrażenń po nich występujących, jeżeli uwzględnienie tych wartości wpływałoby na zmniejszenie bezwzględnej wartości wyliczonego ekstremum. Dlatego, wyrażenie złożone, poprzedzone znakiem + /jawnie lub domyślnie/ nie może składać się wyłącznie z wyrażenń poprzedzonych znakami W.

Błędny więc jest zapis:

$$(W3 W2 * 1.5) + 1 * 0,5$$

3,2,1-numery zestawów obciążeń.

1.5,0.5-mnożniki zestawów

gdyż przed nawiasem domyślnie występuje znak +, co jest sprzeczne ze znakiem W wewnątrz nawiasów.

Poprawny jest natomiast zapis:

$$W3 W2 * 1.5 + 1 * 0.2$$

Podobnie, wyrażenie połączone z innymi wyrażeniami alternatywą L nie może być poprzedzone znakiem W lub +.

Błędny jest więc wyrażenie:

$$W(1 * 1.1 L3) L1 * -0.5,$$

gdyż takie ustawienie dyrektyw W i L jest nielogiczne. Dla przejrzystości zapisu i uniknięcia pomyłek należy zamknąć w nawiasach każde złożone wyrażenie alternatywne.

Dlatego też zapis:

$$1 * 1.2 + 3 * 2 L2 L5 * 0.9$$

mimo logicznej poprawności należy zapisać:

$$(1 * 1.2 + 3 * 2) L2 L5 * 0.9,$$

jeżeli na wyższym poziomie ma być dokonany wybór jednego z trzech wariantów. Natomiast jeżeli na wyższym poziomie ma być do pierwszej wartości bezwzględnie dodany wynik wybrany spośród trzech wariantów, należy zapisać:

$$1 * 1.2 + (3 * 2 L2 L5 * 0.9).$$

Podobnie nie należy tworzyć zapisu:

$$1 * 1.2 + (3 * 2 L2) L5 * 0.9.$$

Należy natomiast zapisać:

$$(1 * 1.2 + (3 * 2 L2)) L5 * 0.9,$$

lub w innym znaczeniu zapisać:

$$1 * 1.2 + (3 * 2 L2 L5 * 0,9).$$

Cały zapis każdej kombinacji należy zakończyć literą K.

Najprostszym zapisem kombinacji jest podanie numeru zestawu obciążeń i napisanie litery K, co spowoduje wydrukowanie wyników od tego jednego zestawu obciążeń. Na zakończenie tego punktu przedstawiamy przykład poprawnego, lecz bardziej złożonego zapisu kombinacji

$$(1 * 1.5 W((3+4) L (3 * -1+4 * -1))) L (1 * 0.5 W3 W4+(5 L5 * -1 L6))K \quad (2)$$

Wyjaśniając znaczenie tego zapisu wprowadzimy pewien skrót myślowy, a mianowicie: mówiąc sumowanie zestawów mamy na myśli sumowanie wyników uzyskanych z rozwiązania poszczególnych zestawów.

Powyższy przykład należy rozważyć jako dwie złożone grupy /I i II/, które należy alternatywnie wybrać zgodnie ze znaczeniem dyrektywy L. Zanim jednak to nastąpi należy rozpatrzyć każdą z tych grup.

Grupa I

- do SI dodać bezwzględnie zestaw 1 \* 1.5,
- do SI dodać warunkowo (W) suma zestawu 3 i 4 lub (L) suma zestawu 3 \* -1 i 4 \* -1.

Grupa II

- do SII dodać bezwarunkowo zestaw 1 \* 0.5,
- do SII dodać warunkowo (W) zestaw 3,
- do SII dodać warunkowo (W) zestaw 4,
- do SII dodać bezwarunkowo zestaw 5 lub (L) zestaw 5 \* -1 lub (L) zestaw 6.

Dopiero teraz może nastąpić alternatywny wybór między SI i SII.

SI i SII są to umowne sumy dla I i II grupy, równe zero przed rozpoczęciem sumowania.

### 3. KOD NUMERYCZNY ZAPISU

Zapis tekstowy kombinacji niewygodny jest i wręcz nie nadaje się do bezpośredniej obróbki w trakcie wyliczania ekstremów. Dlatego należy go rozszyfrować i na tej podstawie stworzyć odpowiednią "konstrukcję", która w łatwy sposób pozwoli wyliczyć ekstrema.

Tekstowy zapis kombinacji jest obrabiany znak po znaku i na jego podstawie tworzy się tablicę TK wypełnioną odpowiednimi symbolami cyfrowymi. Tablica TK składa się z ośmiu wierszy.

Poszczególne wiersze zawierają:

- |                      |        |
|----------------------|--------|
| 1. Numer grupy       | - ng   |
| 2. Jej status        | - sg   |
| 3. Numer podgrupy    | - npg  |
| 4. Jej status        | - spg  |
| 5. Numer podpodgrupy | - nppg |
| 6. Jej status        | - sppg |

7. Numer zestawu - nz

8. Mnożnik obciążenia dla zestawu - mz

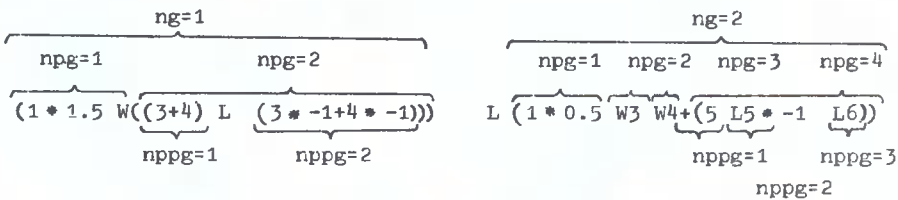
Potrójne zagiębienie grup wynika z potrójnego zagiębienia nawiasów, w wierszach 1,3,5 tablicy znajdują się odpowiednio naliczone kolejne numery grup p.g i p.p.g.

Cała tablica TK ma tyle kolumn, ile w zapisie tekstowym kombinacji występuje elementarnych wyrażeń pojedynczych, tzn. tyle razy ile jest w kombinacji zapisanych numerów zestawów obciążeń.

Dla przykładu 2 tablica TK będzie wypełniona wg poniższego schematu

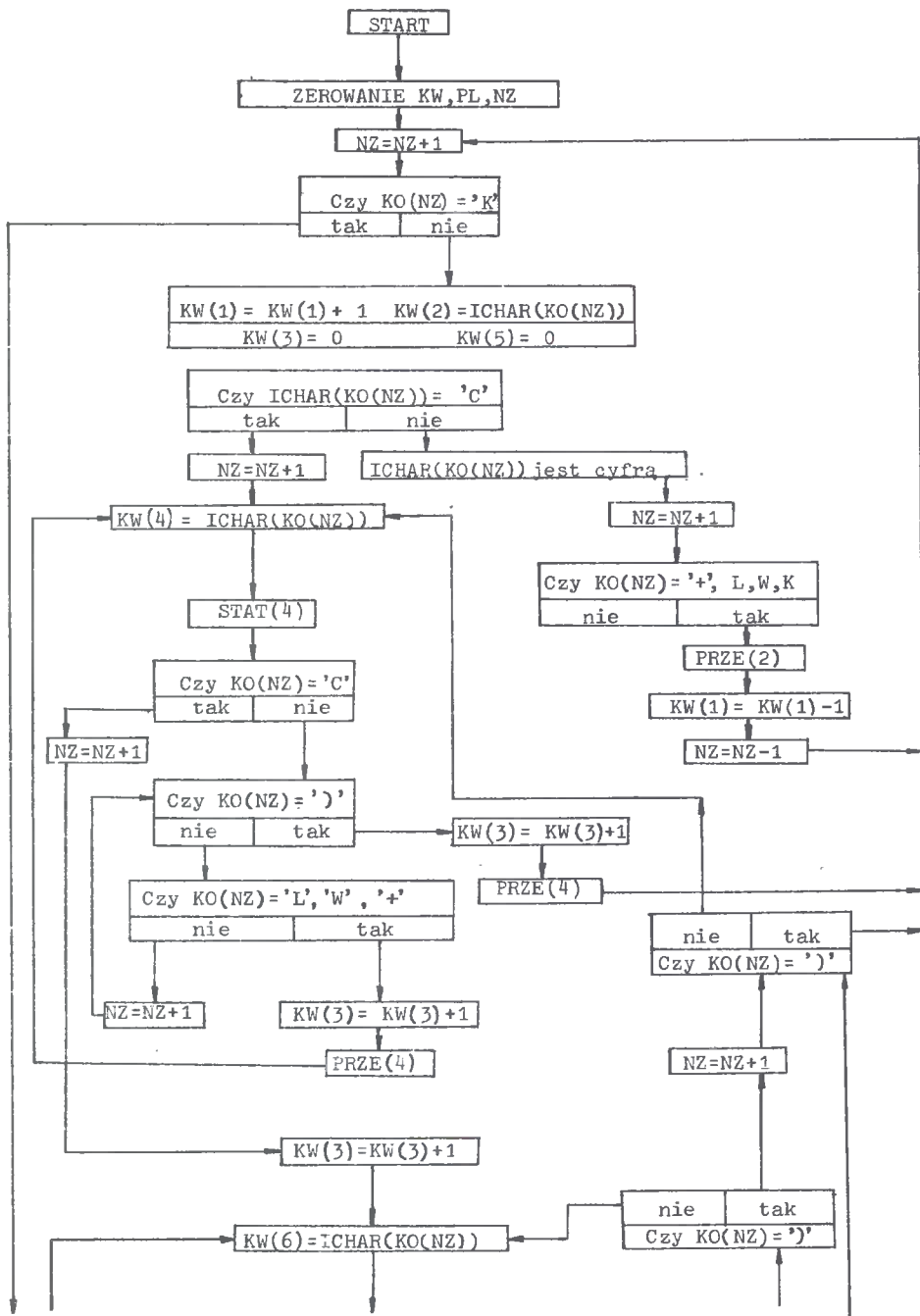
Nr pozycji zagiębienia	Nr wiersza												
0	1	ng	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
0	2	sg	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
1	3	npg	1	2	2	2	2	1	2	3	4	4	4
1	4	spg	+	W	W	W	W	+	W	W	+	+	+
2	5	nppg	0	1	1	2	2	0	0	0	1	2	3
2	6	sppg	0	L	L	L	L	0	0	0	L	L	L
3	7	nz	1	3	4	3	4	1	3	4	5	5	6
3	8	mz	1.5	1	1	-1	-1	0.5	1	1	1	-1	1

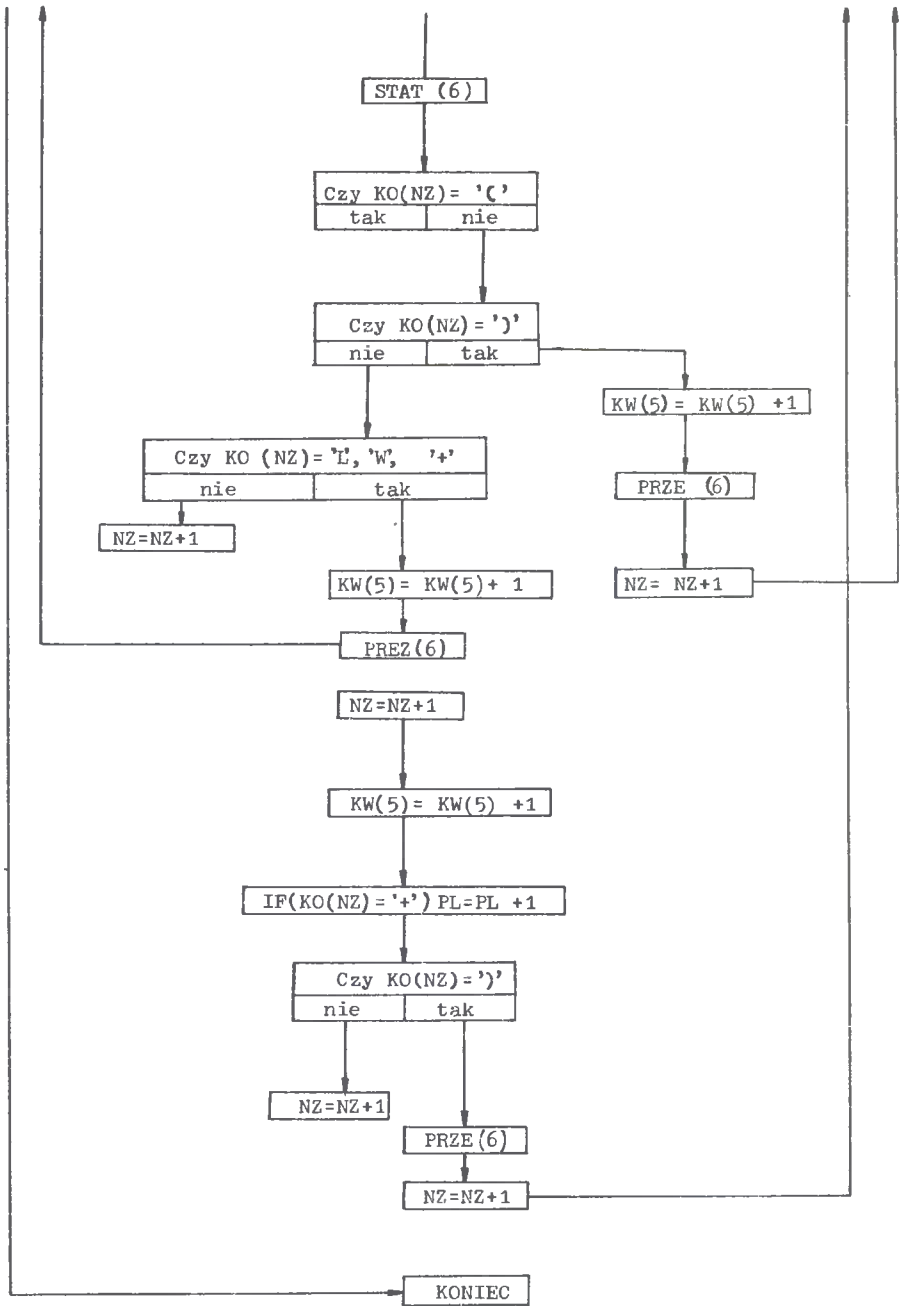
Dla jasności można przedstawić to schematycznie, w postaci zapisu tekstowego.

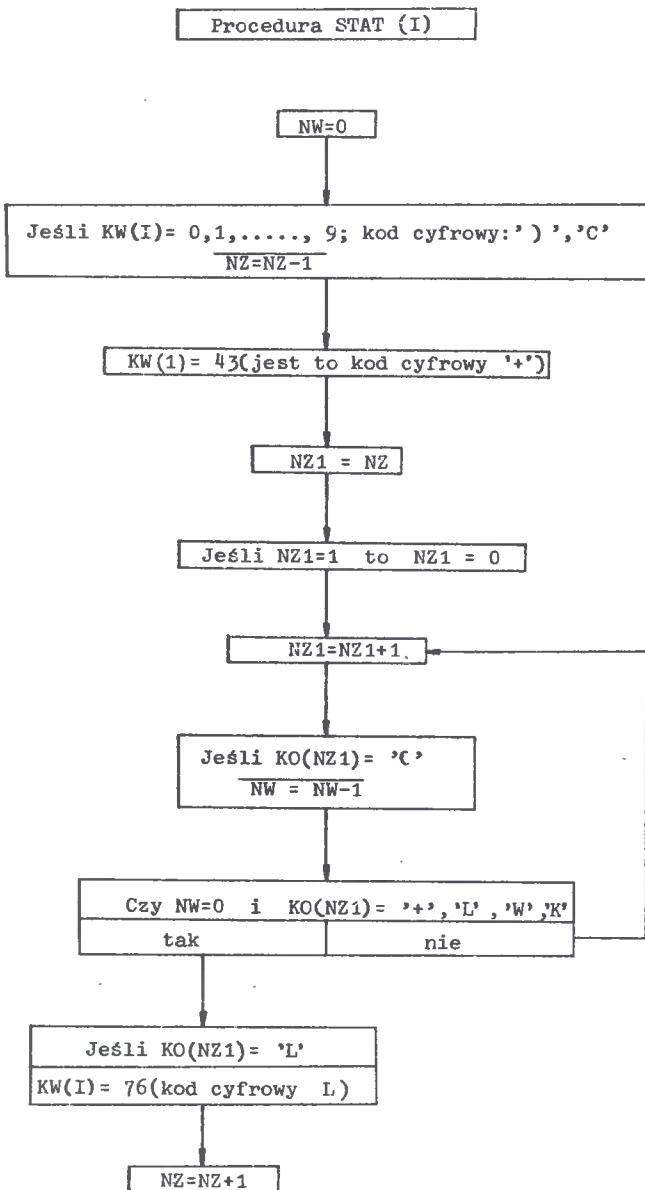


#### 4. SCHEMAT BLOKOWY PROCEDURY

Napisanie procedury budującej tablicę TK jest stosunkowo skomplikowane. Po - niżej przedstawiono jej schemat blokowy,







gdzie:

- K0 - tablica wierszowa typu Charakter zawierająca zapis tekstowy;
- NZ - numer kolejnego elementu w tablicy KO;
- KW(8) - tablica zawierająca elementy jednej aktualnie obrabianej kolumny tablicy TK /w kolejności jak w punkcie 4/;



- K - znak końca zapisu tekstowego dla zestawu obciążeń;  
 STAT( ) - powtarzalny segment procedury zależny od parametru 2,4 lub 6, pozwalający na ustalenie symbolu: grupy, podgrupy i podpodgrupy;  
 PRZE( ) - powtarzalny segment, procedura przesyłająca wypełnioną tabelicę KW w odpowiednie miejsce tablicy TK;  
 L,W,+,(-) patrz p.2.

## 5. WYSZUKIWANIE EKSTREMÓW NA PODSTAWIE TABLICY TK

Wyliczenie wartości ekstremalnych dla całej kombinacji przebiega przez wszystkie poziomy tablicy TK, poczynając od najniższego poziomu zagłębienia, czyli od wiersza 7 i 6. Na najniższym, trzecim poziomie zagłębienia występuje tylko bezwzględne sumowanie wartości od poszczególnych zestawów obciążeń. Przy przejściu na wyższe poziomy /2,1,0/, dla każdego wyrażenia dokonuje się wyboru wartości ekstremalnej w sposób określony statusem tego wyrażenia na tym poziomie. Umieszczony w tablicy TK status 0 nakazuje przeniesienie wartości wyrażenia na poziom wyższy bez zmian.

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony algorytm okazał się skutecznym i dobrym narzędziem. Umożliwia on szybkie wyznaczenie ekstremalnych wartości wielkości statystycznych i geometrycznych od dowolnych kombinacji zestawów obciążeń.

## LITERATURA

- [1] PN-82/B-02000 - Obciążenia budowli
- [2] PN-82/B-02001 - Obciążenia stałe
- [3] Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe PN-82/B-203
- [4] Program WB-21

## AUTOMATION OF THE PROCESS FOR DETERMINATION OF THE EXTREME STATIC AND GEOMETRIC QUANTITIES

### Summary

The algorithm of automatization for process determination of the extreme static and geometric quantities from various load rest is presented. Many utility computer programs have not any segments making these calculations, or these segments are not built in the best possible manner. This diminishes very much the useful values of the professional software of engineering structure calculations. Presented algorithm is used in the program of static calculations for foundations base desigus in accordance to obligatory soil standard. As a result of the calculations, designer obtains necessary set of the extreme static and geometric quantities.



Adam Podhorecki

METODA ELEMENTÓW CZASOPRZESTRZENNYCH W ZASTOSOWANIU DO  
 ROZWIĄZYWANIA PEWNYCH PROBLEMÓW GEOMETRYCZNIEM  
 NIELINIOWYCH

Praca stanowi kontynuację rozprawy [1], w której sformułowano ogólne równania ruchu ciągłego ośrodka lepkosprężystego. W celu lepszego zilustrowania zastosowań metody elementów czasoprzestrzennych do rozwiązywania różnych zadań mechaniki konstrukcji z nieliniowościami geometrycznymi, przedstawia się przykłady dotyczące drgań tarcz lepkosprężystych i drgań cięgna wiotkiego.

1. WPROWADZENIE

W pracy [1] dokonano sformułowania ogólnych równań ruchu ciągłego ośrodka lepkosprężystego w postaci różniczkowo-całkowej oraz w postaci układu nieliniowych równań algebraicznych metody elementów czasoprzestrzennych /MECZ/. Ruch ciała analizowano w przedziale czasu  $t \in \langle 0, \infty \rangle$ . Do określenia deformacji i ruchu ośrodka użyto stacjonarnego opisu Lagrange'a  $\underline{X}$ . Równania stanu przyjęto w postaci całkowej

$$T_{ij}(\underline{X}, t) = \Psi_{ijkk}^*(\underline{E}, \underline{X}, t) E_{kk}(\underline{X}, 0) + \Psi_{ijkl}^{**}(\underline{E}, \underline{X}, t) E_{kl}(\underline{X}, 0) + \int_0^t \left[ \Psi_{ijkk}^*(\underline{E}, \underline{X}, t-z) \frac{\partial E_{kk}}{\partial z}(\underline{X}, z) + \Psi_{ijkl}^{**}(\underline{E}, \underline{X}, t-z) \frac{\partial E_{kl}}{\partial z}(\underline{X}, z) \right] dz \quad (1.1)$$

$$\underline{X}, t \in \mathcal{B}_0 \times \langle 0, \infty \rangle, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3$$

( $\mathcal{B}_0$  - objętość badanego ciała w konfiguracji nieodkształconej),

gdzie  $\Psi_{ijkl}^*$  i  $\Psi_{ijkl}^{**}$  są tensorowymi funkcjami relaksacji materiału, które można wyznaczyć doświadczalnie,  $E_{ij}$  oznacza tensor odkształcenia Greena

$$E_{ij}(\underline{X}, t) = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial X_j} + \frac{\partial u_j}{\partial X_i} + \frac{\partial u_k}{\partial X_i} \frac{\partial u_k}{\partial X_j} \right], \quad (1.2)$$

natomiast  $T_{ij}$  jest II tensorem naprężenia Pioli - Kirchhoffa. W pracy [1] podano jawne postacie funkcji relaksacji dla znanych modeli reologicznych liniowej lepkosprężystości, natomiast w publikacji [2] pokazano także inne funkcje relaksacji i równania fizyczne dla szerszej klasy ośrodków lepkosprężystych.

Równania ruchu MECZ mają następującą postać [1]:

$$\Lambda_{\alpha} = K_{\alpha\beta}(\underline{r}) r_{\beta} - R_{\alpha} = 0, \quad (1.3)$$

$\alpha, \beta = 1, 2, \dots, B$  ( $B$  - liczba węzłów siatki czasoprzestrzennej \* liczba stopni swobody w węźle),

gdzie  $K_{\alpha\beta}$  jest globalną macierzą sztywności czasoprzestrzennej,  $R_{\alpha}$  za-

$$K_{\alpha\beta} = \sum_{e=1}^E \left[ {}^e K_{\alpha\beta}^{(kon)} + {}^e K_{\alpha\beta}^{(u)} + {}^e K_{\alpha\beta}^{(\sigma)} - {}^e M_{\alpha\beta} \right],$$

$${}^e K_{\alpha\beta}^{(kon)} = \iint_{\Omega_e} {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e {}^e \mathbf{D}_{ij\beta}^e d\Omega,$$

$${}^e K_{\alpha\beta}^{(u)} = \iint_{\Omega_e} {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e {}^e \mathbf{D}_{ij\beta}^e(\underline{r}) d\Omega, \quad (1.4)$$

$${}^e K_{\alpha\beta}^{(\sigma)} = \iint_{\Omega_e} {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e(\underline{r}) \left[ {}^e \mathbf{D}_{ij\beta}^e + {}^e \mathbf{D}_{ij\beta}^e(\underline{r}) \right] d\Omega$$

$${}^e M_{\alpha\beta} = \iint_{\Omega_e} \dot{W}_{i\alpha}^e \varphi_o^e \hat{\Phi}_{j\beta}^e d\Omega,$$

wiera impulsy obciążeniowe,  $\hat{\Phi}$  oznacza obciążenie powierzchniowe,  $\varphi_o$   $f_o$  -

$$R_{\alpha} = \iint_{\Omega_e} W_{i\alpha}^e \varphi_o^e f_{oi}^e d\Omega + \iint_{\partial\Omega_e} W_{i\alpha}^e \hat{f}_{oi}^e d(\partial\Omega) + \quad (1.5)$$

$$- \int_{\mathcal{B}_o^e} W_{i\alpha}^e \varphi_o^e \dot{u}_i^e \Big|_{t_{(0)}^e}^{t_{(k)}^e} d\mathcal{B}_o - \iint_{\Omega_e} T_{ij}^e(t_{(0)}^e) \left[ {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e + {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e(\underline{r}) \right] d\Omega,$$

obciążenie objętościowe,  $\dot{u}$  - prędkość początkową, natomiast  $\underline{r}$  - wektor przemieszczeń węzłowych siatki czasoprzestrzennej. Funkcję kształtu elementu czasoprzestrzennego reprezentują wielkości  $\Phi_{i\alpha}(\underline{X}, t)$  oraz  $W_{i\alpha}(\underline{X}, t)$ . Od funkcji kształtu zależą wielkości

$$\begin{aligned} {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \Phi_{i\alpha}^e}{\partial X_j} + \frac{\partial \Phi_{j\alpha}^e}{\partial X_i} \right], \\ {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^{*e} &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial W_{i\alpha}^e}{\partial X_j} + \frac{\partial W_{j\alpha}^e}{\partial X_i} \right], \\ {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^e &= \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi_{k\beta}^e}{\partial X_i} \frac{\partial \Phi_{k\alpha}^e}{\partial X_j} \mathbf{r}_{\beta}, \\ {}^e \mathbf{B}_{ij\alpha}^{*e} &= \frac{\partial \Phi_{k\beta}^e}{\partial X_i} \frac{\partial W_{k\alpha}^e}{\partial X_j} \mathbf{r}_{\beta}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad \alpha, \beta = 1, 2, \dots, A, \quad e = 1, 2, \dots, E,$$

$$(X, t) \in \Omega_e : \{ \mathcal{B}_0^e \times (t_{(0)}^e \leq t \leq t_{(k)}^e), t_{(0)}^e \geq 0, t_{(k)}^e < \infty \},$$

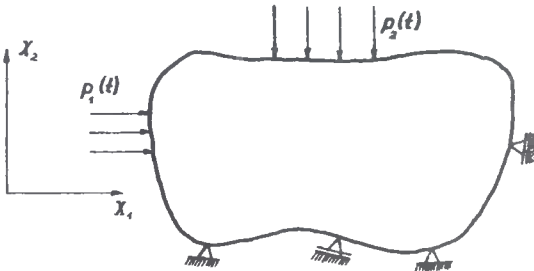
$\Omega_e$  = obszar elementu czasoprzestrzennego,  
 $A$  = liczba węzłów elementu czasoprzestrzennego \* liczba stopni swobody w węźle,  
 $E$  = liczba elementów czasoprzestrzennych.

Wielkości  $D_{ij\alpha}$  i  $D_{ij\beta}$  charakteryzują własności lepkosprężyste rozważanego materiału i zależą od przyjętej funkcji relaksacji [1]. W analizie wanych przykładach miarą własności lepkich jest współczynnik  $\lambda$  wyrażany w jednostkach czasu.

W celu lepszego zilustrowania zastosowań metody elementów czasoprzestrzennych do rozwiązywania różnych zadań mechaniki konstrukcji z nieliniowościami geometrycznymi, przedstawia się w niniejszej pracy kilka przykładów. Pierwsze trzy przykłady dotyczą drgań tarcz lepkosprężystych, natomiast dwa dalsze - drgań cięgna wiotkiego. Równania (1.3) należy jeszcze uzupełnić warunkami brzegowymi i początkowymi. Stosowany w analizie nieliniowej termin okres drgań oznacza czas mierzony między dwoma przejściami układu przez położenie równowagi.

## 2. DRGANIA TARCZ LEPKOSPŘĘŻYSTYCH

Analizie poddano tarczę w płaskim stanie naprężenia, na którą działa dowolnie zmienne obciążenie /rys.2.1/. Ogólne wzory zestawione w punkcie poprzednim, tj. opisujące macierz sztyw-



Rys.2.1. Schemat tarczy

ności elementu czasoprzestrzennego (1.4) oraz macierz impulsów węzłowych (1.5), można wprost zastosować do analizy płaskiego stanu naprężenia. Do dalszych rozważań przyjęto elementy czasoprzestrzenne w kształcie graniastosiępa i pięciościanu /rys.2.2/. Wyrazami macierzy kształtu są funkcje liniowe [3]:

a/ dla elementu o kształcie graniastostupa /rys.2.2a/ ,

$$\Phi_{i\alpha}(\xi, \eta, \tau) = \frac{1}{8} (1 + \xi \xi_{\alpha}) (1 + \eta \eta_{\alpha}) (1 + \tau \tau_{\alpha}),$$

$$\xi_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 3, 4, 7, 8, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 1, 2, 5, 6, \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\eta_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 1, 3, 5, 7, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 2, 4, 6, 8, \end{cases}$$

$$\tau_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 5, 6, 7, 8, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 1, 2, 3, 4, \end{cases}$$

$$-1 \leq \xi \leq 1, \quad -1 \leq \eta \leq 1, \quad -1 \leq \tau \leq 1,$$

b/ dla elementu o kształcie pięciostianu /rys.2.b/

$$\Phi_{i\alpha}(\xi, \eta, \tau) = \frac{1}{4} [1 + \xi \tau_{\alpha} - (1 + \xi_{\alpha}) \tau_{\alpha} \xi - (1 + \tau_{\alpha}) \xi_{\alpha} \tau] (1 + \eta \eta_{\alpha}),$$

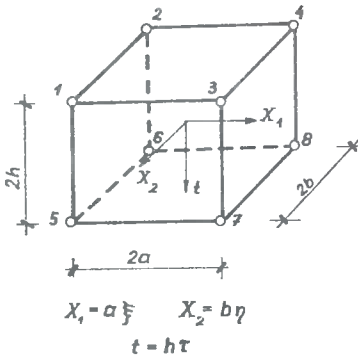
$$\xi_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 1, 2, 3, 4, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 5, 6, \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\eta_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 1, 3, 5, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 2, 4, 6, \end{cases}$$

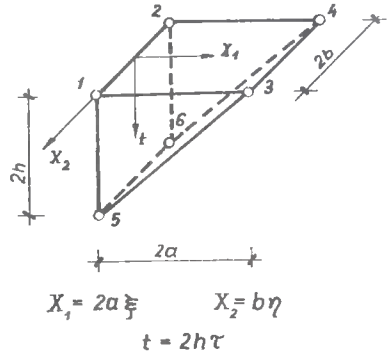
$$\tau_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha = 1, 2, 5, 6, \\ -1 & \text{dla } \alpha = 3, 4, \end{cases}$$

$$0 \leq \xi \leq 1, \quad -1 \leq \eta \leq 1, \quad 0 \leq \tau \leq 1.$$

a)



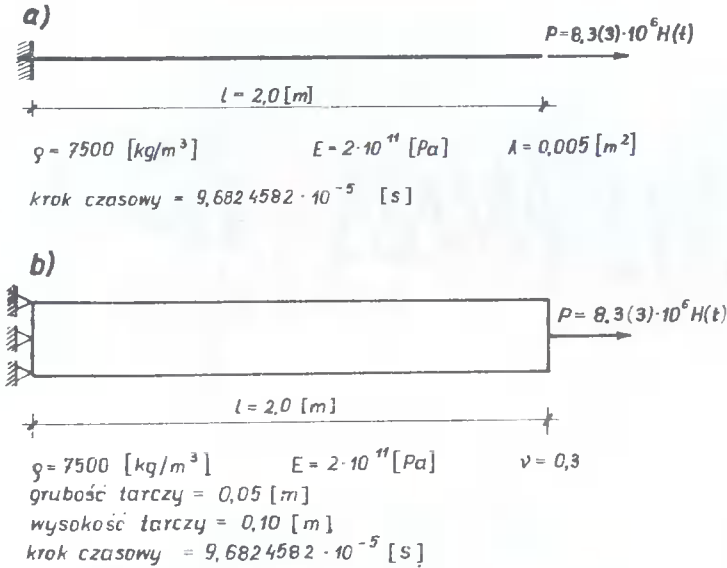
b)



Rys.2.2. Elementy czasoprzestrzenne tarczy

### Przykład 1

W pracy [1] /str.35 ÷ 40/ analizowano drgania podłużne pręta - osiowy stan naprężenia /por.rys.2.3 a/. W celu porównania wyników dokonujemy zamiany osiowego stanu naprężenia na płaski stan naprężenia /rys.2.3b/.

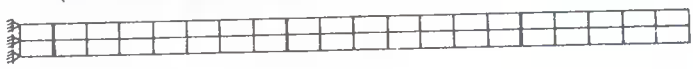


Rys.2.3. Wspornik obciążony siłą podłużną  
 a/ drgania pręta /osiowy stan naprężenia/ analizowane w pracy 1  
 b/ drgania tarczy /płaski stan naprężenia/

Na rysunku 2.4. pokazano podział tarczy na przestrzenne elementy skończone, natomiast na rysunkach 2.5 ÷ 2.9 przedstawiono wykresy przemieszczeń poziomych punktów przyłożenia siły wymuszającej i prędkości tych przemieszczeń w funkcji czasu.

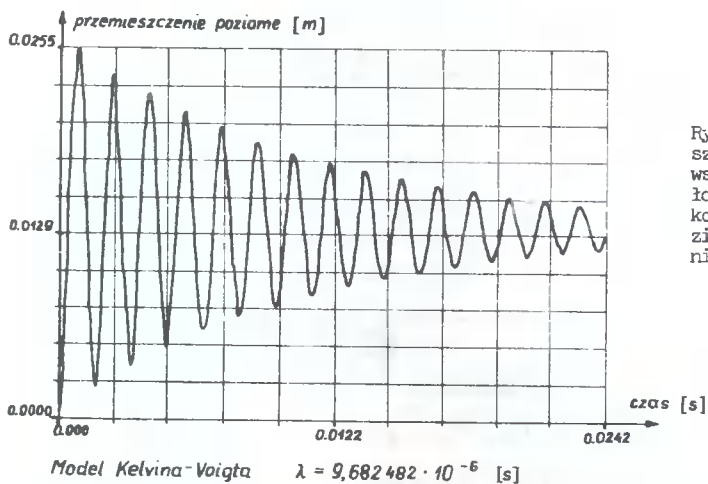
Rozpatrywano model geometrycznie liniowy i geometrycznie nieliniowy. Analizując otrzymane rezultaty można sformułować następujące uwagi:

1. Okres drgań wynosi  $T = 1,6267 \cdot 10^{-3} [s]$ , podczas gdy przy analizie osiowego stanu naprężenia ([1], str.35) uzyskano  $T = 1,5491933 \cdot 10^{-3} [s]$ .
2. Efektywność tłumienia drgań, przy analizie płaskiego stanu naprężenia, jest zbliżona do efektywności tłumienia przy analizie osiowego stanu naprężenia.
3. Przemieszczenia drgań tłumionych zbiegają asymptotycznie do przemieszczeń od statycznego działania obciążenia. Dla modelu geometrycznie liniowego przemieszczenie to wynosi  $0,0134 [m]$ , podczas gdy dla osiowego stanu rozważanego w pracy [1] przemieszczenie to wynosiło  $0,01667 [m]$ . Relacje te zostają zachowane analogicznie dla modelu geometrycznie nieliniowego.
4. Reasumując, należy podkreślić zgodność jakościową i dużą zbliżoność ilościową rezultatów otrzymanych z obliczeń osiowego stanu naprężenia oraz z obliczeń płaskiego stanu naprężenia. Zgodność ta wynika z małej wysokości przekroju poprzecznego względem rozpiętości ( $1/h = 200/10 = 20 > 5$ ).

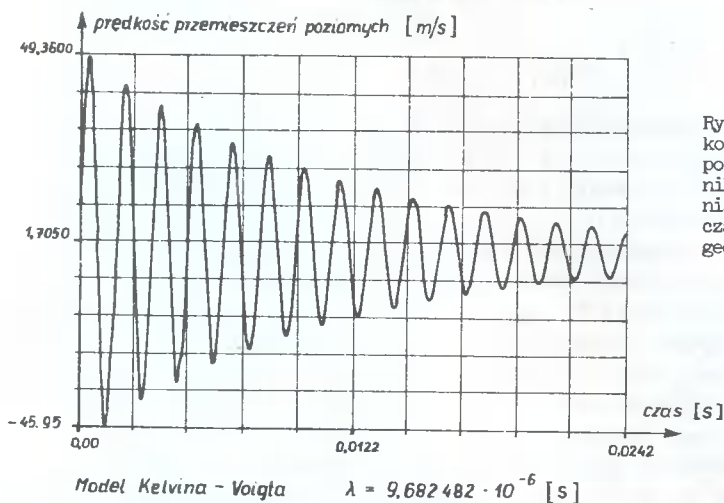


Liczba przestrzennych elementów skończonych = 40  
 Liczba węzłów = 63

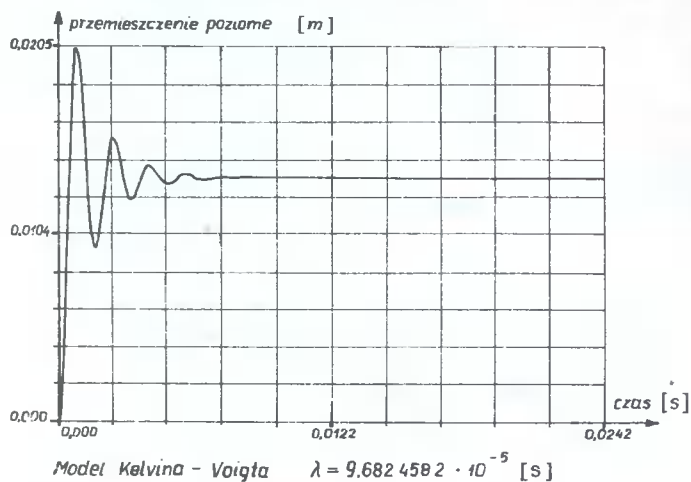
Rys.2.4. Podział wspornika /tarczy/ na elementy skończone



Rys.2.5. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

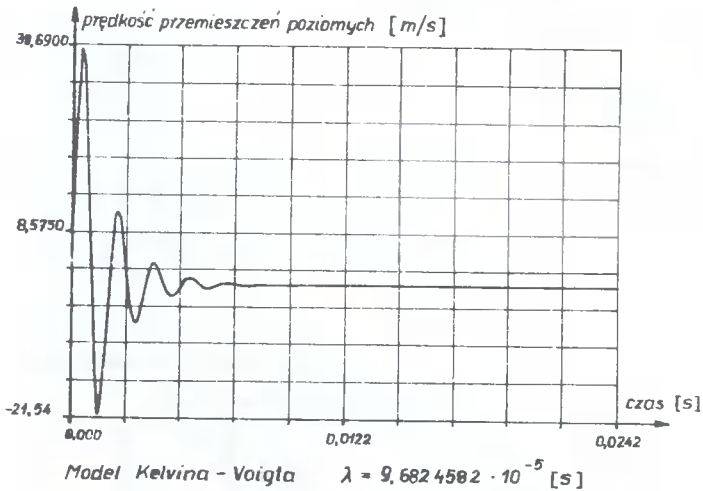


Rys.2.6. Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

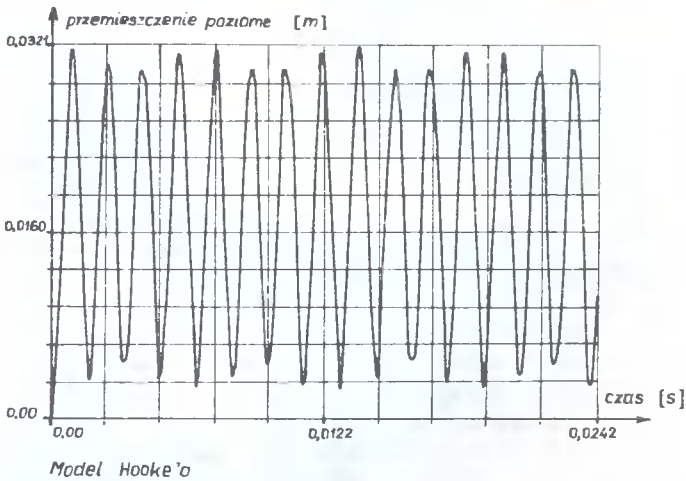


Rys.2.7. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej





Rys.2.8. Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

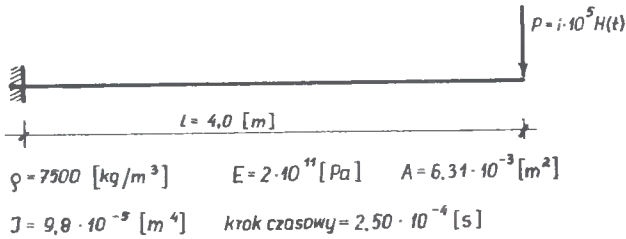


Rys.2.9. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej

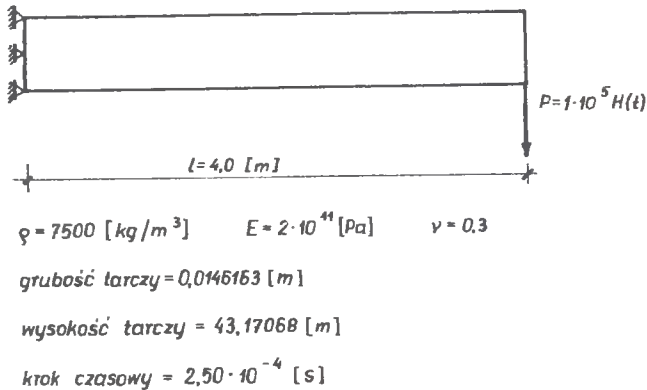
## Przykład 2

W pracy [1]/str.48÷51/ analizowano drgania wspornika. Były to drgania poprzeczne przy analizie geometrycznie liniowej i drgania sprzężone /poprzeczne i podłużne/ przy analizie geometrycznie nieliniowej. W celu porównania wyników, wspornik traktujemy jak tarczę /rys.2.10/.

a)



b)

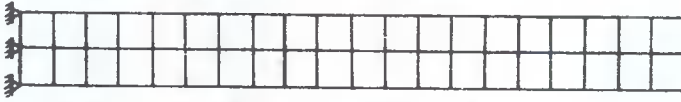


Rys.2.10. Wspornik obciążony poprzeczną siłą Heaviside'a  
 a/ drgania wspornika analizowane w pracy [1]  
 b/ drgania tarczy

Na rysunku 2.11 pokazano podział tarczy na przestrzenne elementy skończone, natomiast na rysunkach 2.12 ÷ 2.24 przedstawiono wykresy przemieszczeń pionowych i poziomych oraz prędkości tych przemieszczeń punktu przyłożenia siły wymuszającej w funkcji czasu. Rozpatrywano model geometrycznie liniowy i geometrycznie nieliniowy. Analizując otrzymane rezultaty można sformułować następujące uwagi:

1. Amplituda przemieszczeń, drgań nietłumionych, przy analizie modelu geometrycznie liniowego wynosi 0,2143 [m], podczas gdy stosując analizę belkową [1] uzyskano rezultat 0,2177 [m] /różnica ok. 2%/. Większą rozbieżność otrzymano przy analizie modelu geometrycznie nieliniowego, która wyniosła ok.20%.
2. Okres drgań nietłumionych przy analizie modelu geometrycznie liniowego wynosi 0,046 [s], podczas gdy stosując analizę belkową [1] uzyskano wynik 0,0445 [s] /różnica ok.3%/. Przy analizie modelu geometrycznie nieliniowego rozbieżność wyników wynosi ok.12%.

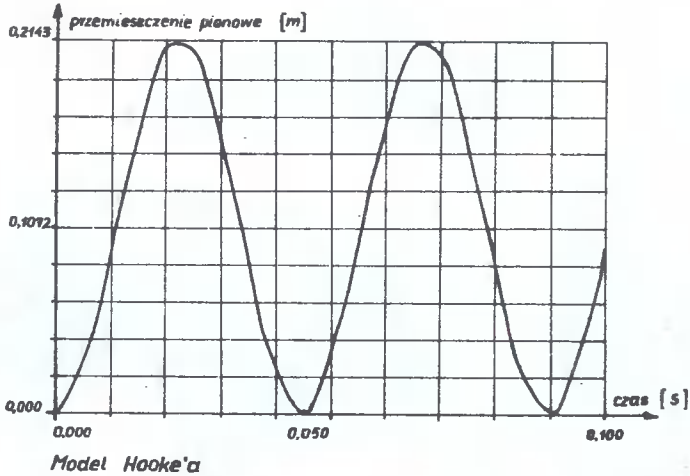
3. Przy analizie modelu geometrycznie nieliniowego w stosunku do modelu geometrycznie liniowego nastąpiły zmiany amplitud i okresu o ok. 10%.



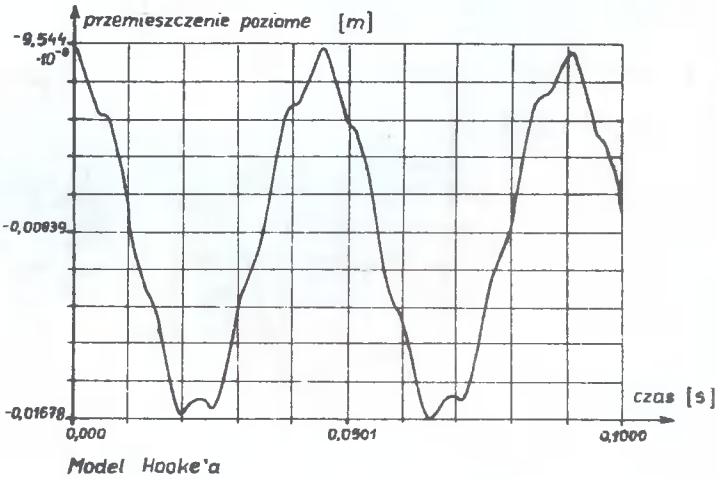
liczba przestrzennych elementów skończonych = 40

liczba węzłów = 63

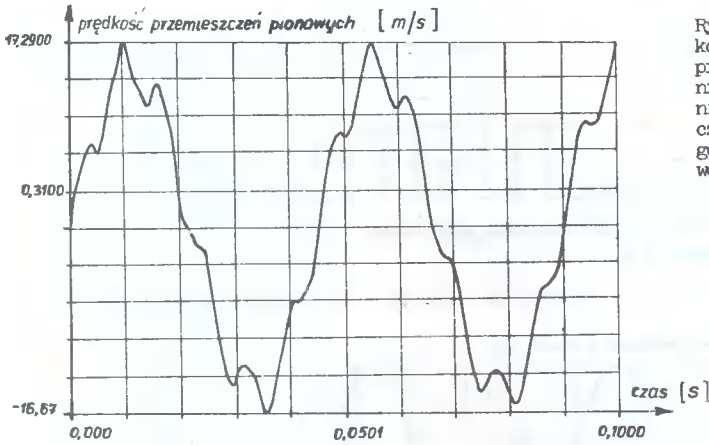
Rys.2.11. Podział wspornika /tarczy/ na elementy skończone



Rys.2.12. Wykres przemieszczeń pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

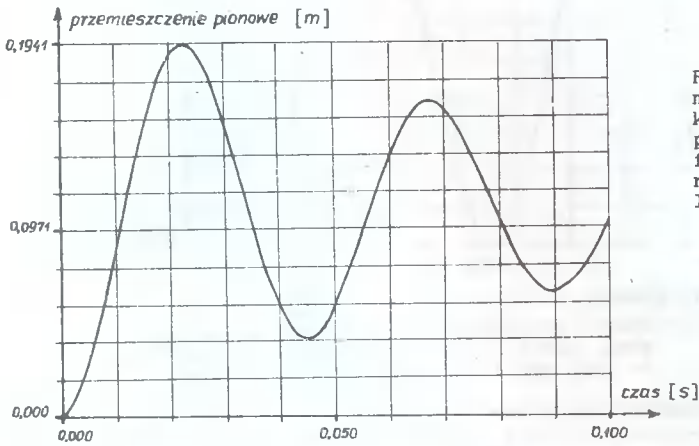


Rys.2.13. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

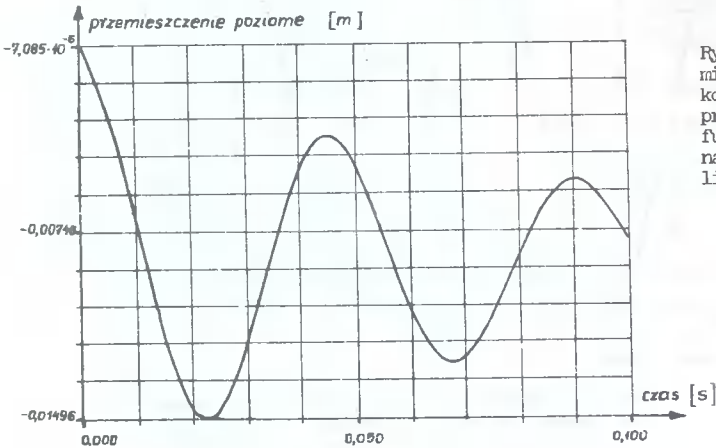


Model Hooke'a

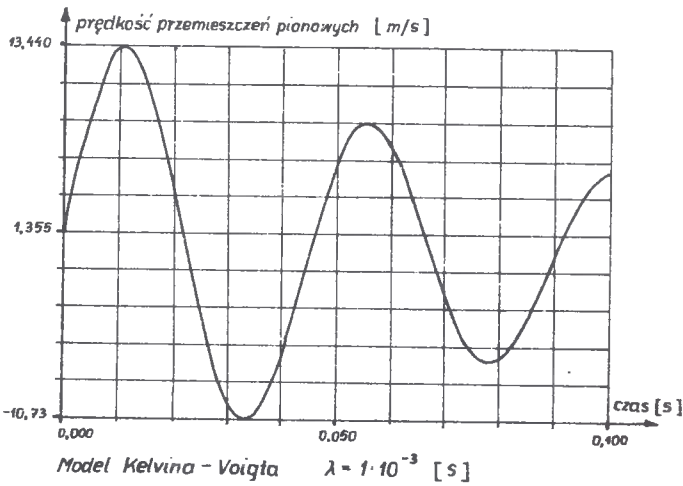
Rys.2.14. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

Model Kelvina - Voigta  $\lambda = 1 \cdot 10^{-3}$  [s]

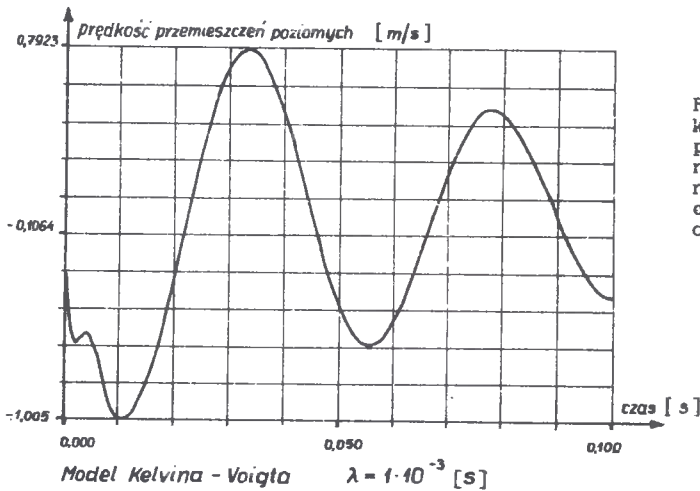
Rys.2.15. Wykres przemieszczeń pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej

Model Kelvina - Voigta  $\lambda = 1 \cdot 10^{-3}$  [s]

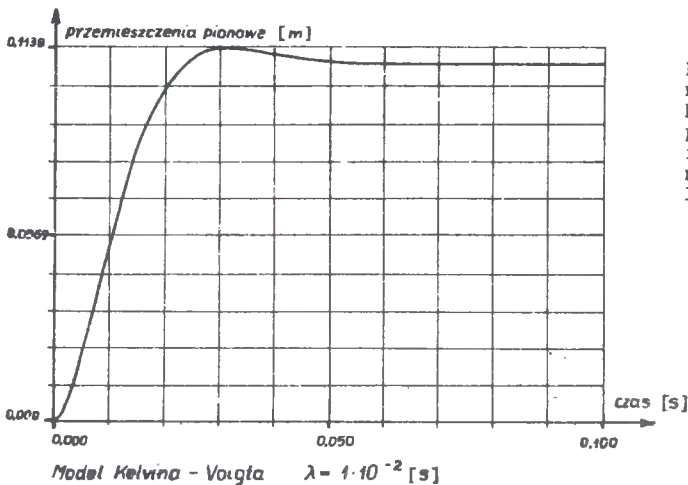
Rys.2.16. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



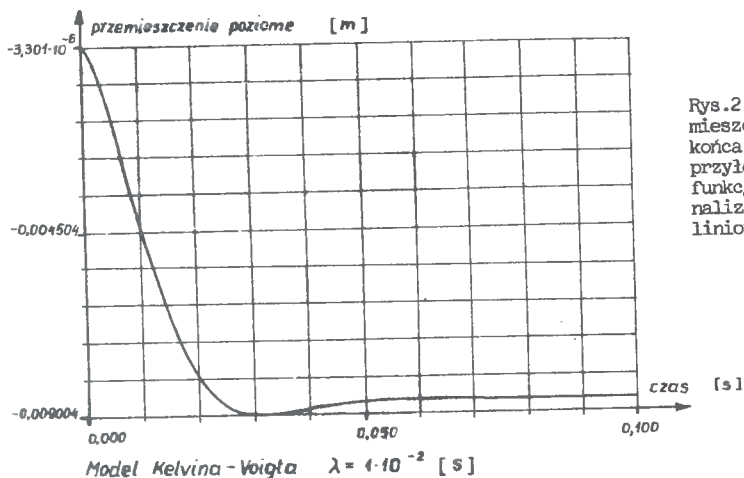
Rys.2.17. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



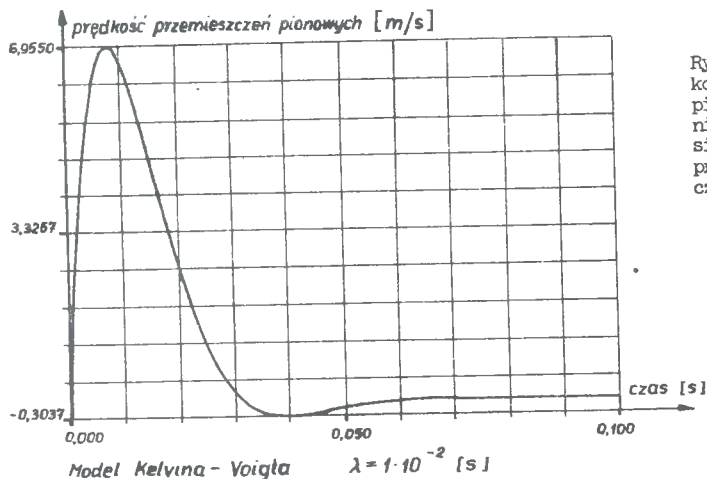
Rys.2.18. Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



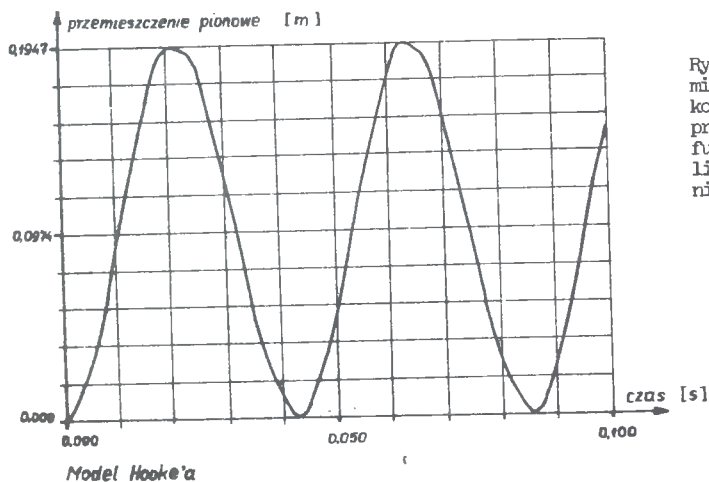
Rys.2.19. Wykres przemieszczenia pionowego końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



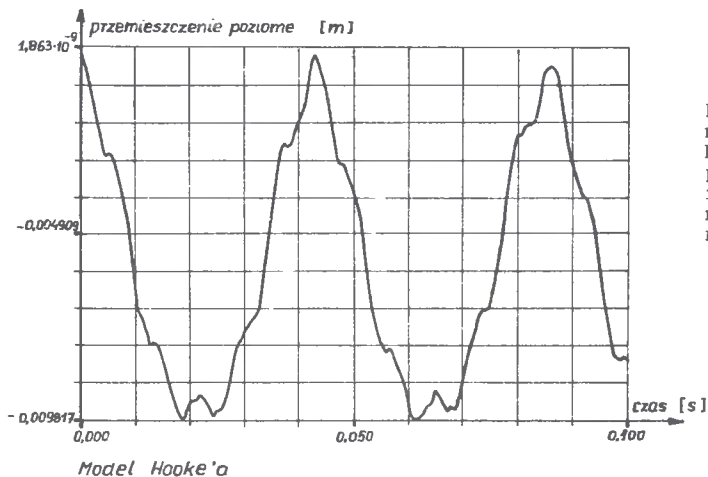
Rys.2.20. Wykres przesunięć poziomych końca wspornika/punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



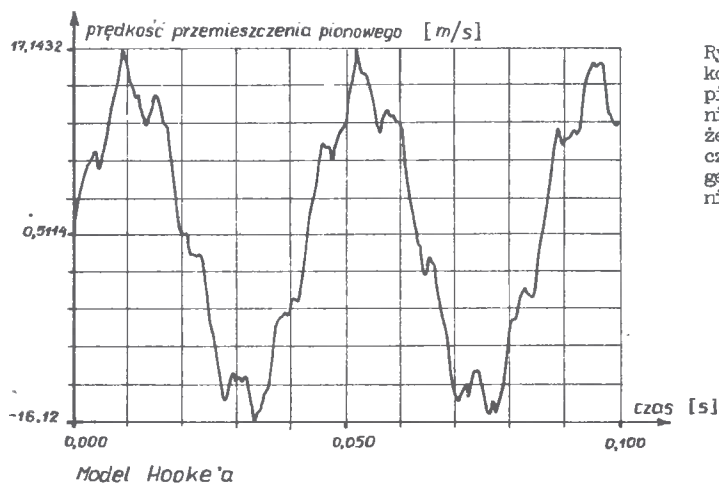
Rys.2.21. Wykres prędkości przesunięć pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



Rys.2.22. Wykres przesunięcia pionowego końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



Rys.2.23. Wykres przemieszczeń poziomych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej

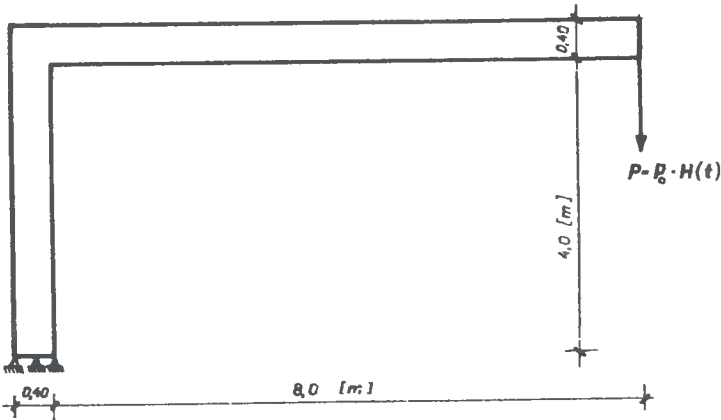


Rys.2.24. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych końca wspornika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej

### PRZYKŁAD 3

W celu lepszego zaobserwowania efektów geometrycznie nieliniowych przeanalizowano drgania wysięgnika stalowego /rys.2.25/.

Na rysunku /2.26/ przedstawiono podział wysięgnika na elementy skończone, natomiast na rysunkach 2.27 ÷ 2.43 pokazano wykresy przemieszczeń i prędkości przemieszczeń końca wysięgnika w funkcji czasu, przy analizie geometrycznie liniowej i geometrycznie nieliniowej, przy czym rys.2.27 ÷ 2.43 dotyczą modelu Hooke'a.



$$\rho = 7500 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [Pa]} \quad \nu = 0,3$$

$$\text{grubość tarczy} = 0,08 \text{ [m]} \quad \text{ krok czasowy} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ [s]}$$

$$P = 1 \cdot 10^5 \text{ [N]} \quad \text{ oraz } \quad P = 1 \cdot 10^6 \text{ [N]}$$

Rys.2.25. Wysięgnik obciążony siłą Heaviside'a

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące uwagi:

1. Zestawienie amplitud przemieszczeń drgań nie tłumionych przedstawiono w tabelcy 1.

Tabelca 1

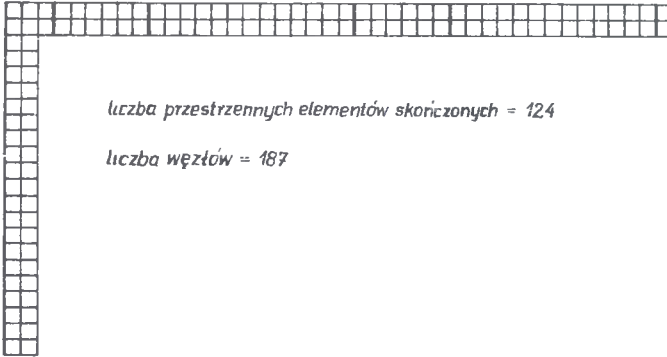
Nazwa parametru	Jednostka	Model geometryczny	Amplituda siły wymuszającej w [MN]	
			0,1	1,0
Amplituda przemieszczeń pionowych	m	liniowy	1,0470	10,470
		nieliniowy	0,9262	6,3215
Amplituda przemieszczeń poziomych	m	liniowy	0,0253	0,2530
		nieliniowy	0,0224	0,1471
Okres drgań przemieszczeń pionowych	s	liniowy	0,370	0,370
		nieliniowy	0,352	0,328

Analizując to zestawienie można stwierdzić, że amplitudy przemieszczeń przy analizie geometrycznie nieliniowej są mniejsze o ok. 13% przy sile  $P_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ [N]}$ , oraz o ok. 66% przy sile  $P_0 = 1 \cdot 10^6 \text{ [N]}$ , w stosunku do amplitud otrzymanych przy analizie geometrycznie liniowej. Okresy drgań ulegają skróceniu odpowiednio o ok. 5% i ok. 13%.

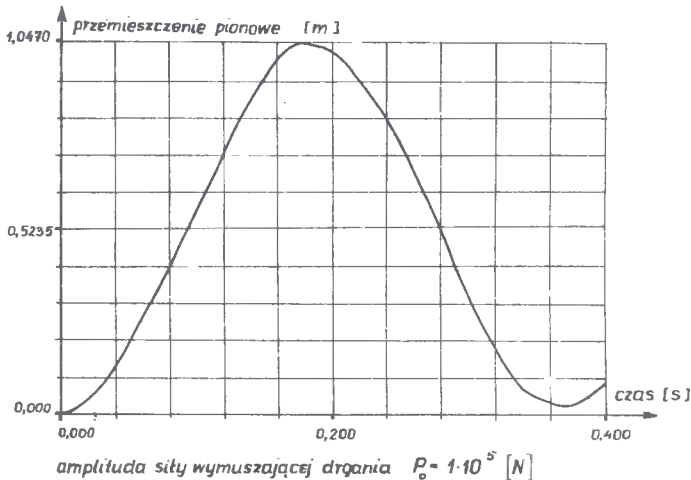
2. Tłumienie wewnętrzne /model Kelvina - Voigta/ powoduje, że przemieszczenia zmierzają asymptotycznie do wartości wynikającej ze statycznego działania siły. Sprowadzając płaski stan naprężenia do klasycznej teorii prętowej, ugięcie końca wysięgnika od staty -



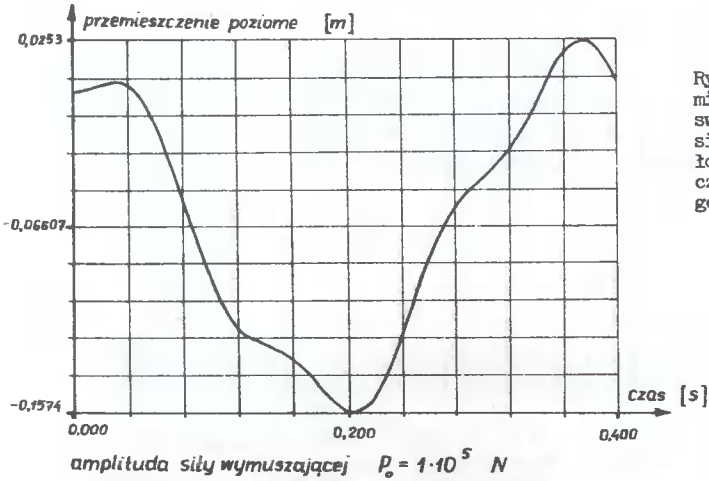
cznego działania siły  $P = 1 \cdot 10^5$  [N], przy modelu geometrycznie liniowym, wynosi /skorzystano z równania pracy wirtualnej dla ciał sprężyste odkształconych/  $\delta_{\max} = 0,546325$  [m]. Ugięcie to w modelu Kelvina - Voigta, po wytlumieniu drgań /rys.2.36/, równa się natomiast wartości  $0,53009$  [m], co oznacza różnicę ok. 3%.



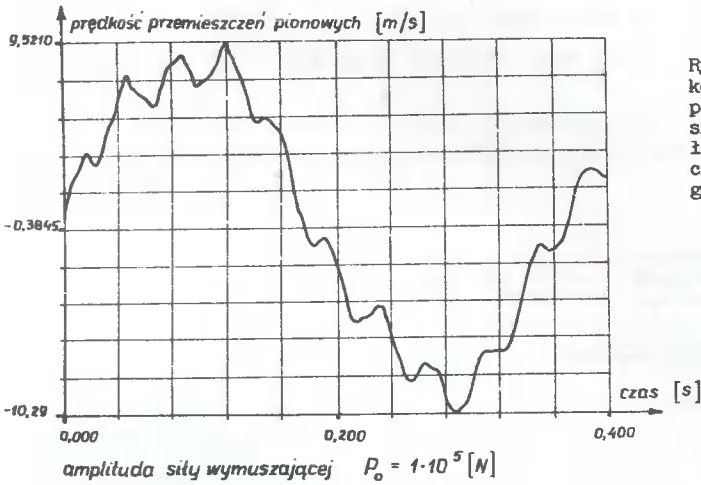
Rys.2.26. Podział wysięgnika na elementy skończone



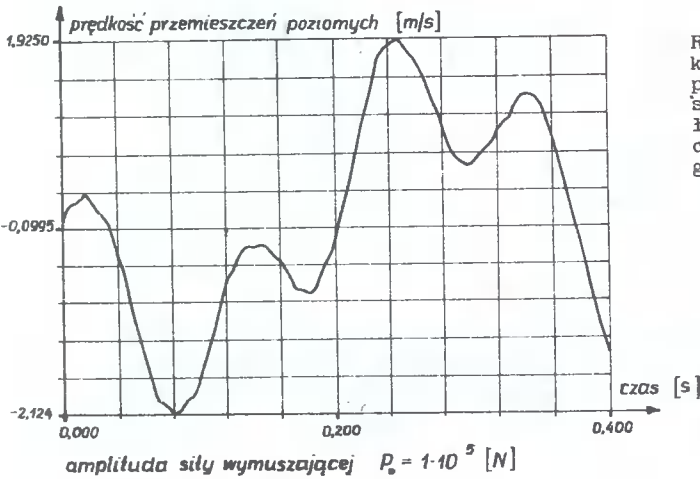
Rys.2.27. Wykres przemieszczeń pionowych swobodnego końca wysięgnika /punkt przyłożenia siły / w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



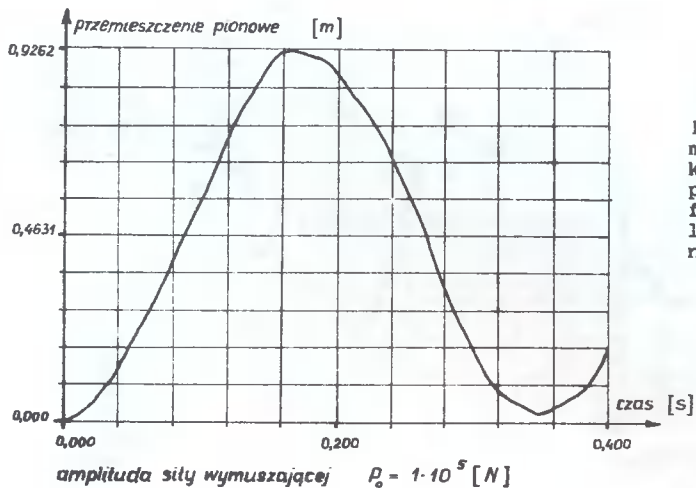
Rys.2.28.Wykres prze -  
mieszczeń poziomych  
swobodnego końca wy-  
sięgnika /punkt przy-  
łożenia siły/w funkcji  
czasu przy analizie  
geometrycznie liniowej



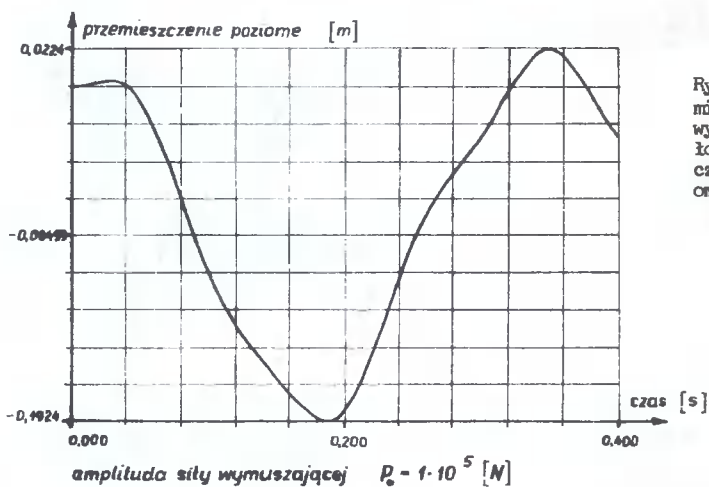
Rys.2.29.Wykres pręd-  
kości przemieszczeń  
pionowych końca wy-  
sięgnika /punkt przy-  
łożenia siły/w funkcji  
czasu przy analizie  
geometrycznie liniowej



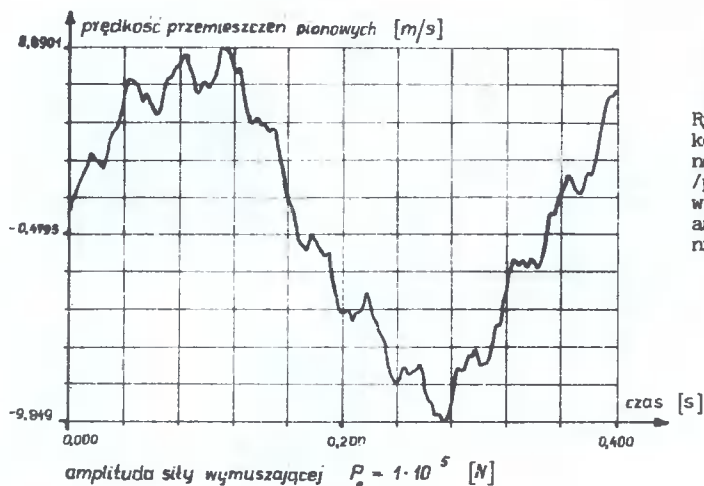
Rys.2.30.Wykres pręd-  
kości przemieszczeń  
poziomych końca wy-  
sięgnika /punkt przy-  
łożenia siły/w funkcji  
czasu przy analizie  
geometrycznie liniowej



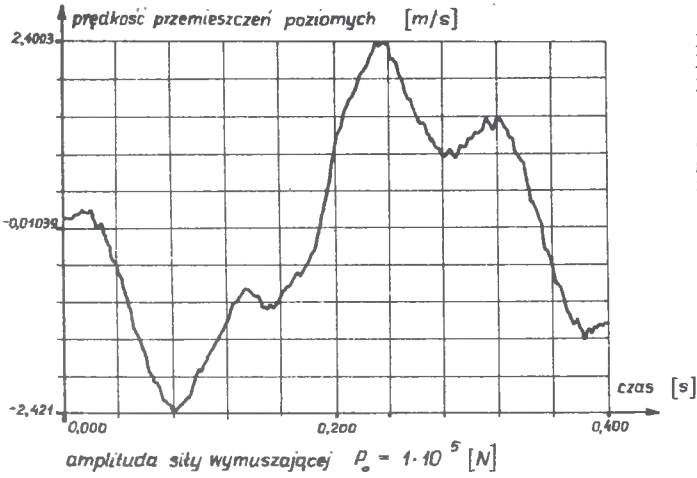
Rys.2.31.Wykres przemieszczeń pionowych końca wysięgnika/punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



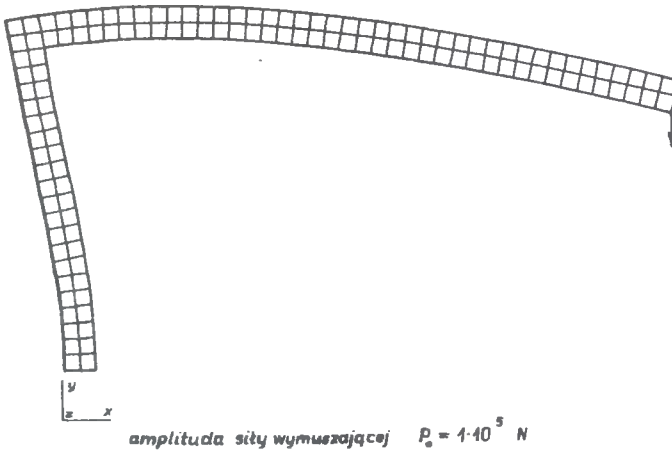
Rys.2.32.Wykres przemieszczeń poziomych wysięgnika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



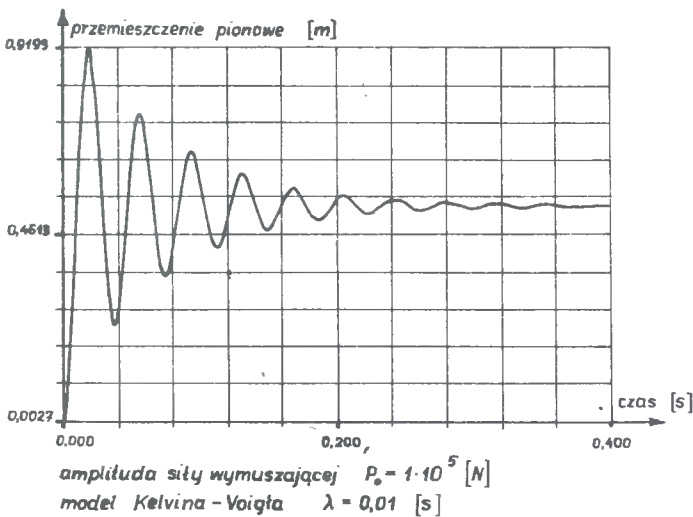
Rys.2.33.Wykres prędkości przemieszczeń pionowych końca wysięgnika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



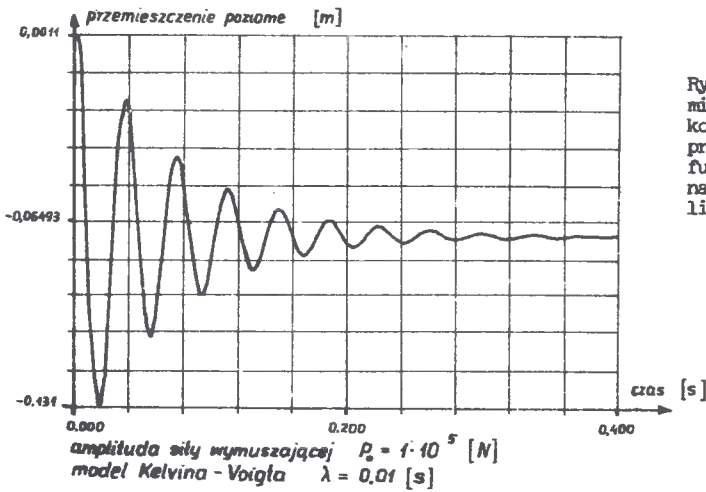
Rys.2.34.Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wysięgnika /punkt przyłożenia siły/w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



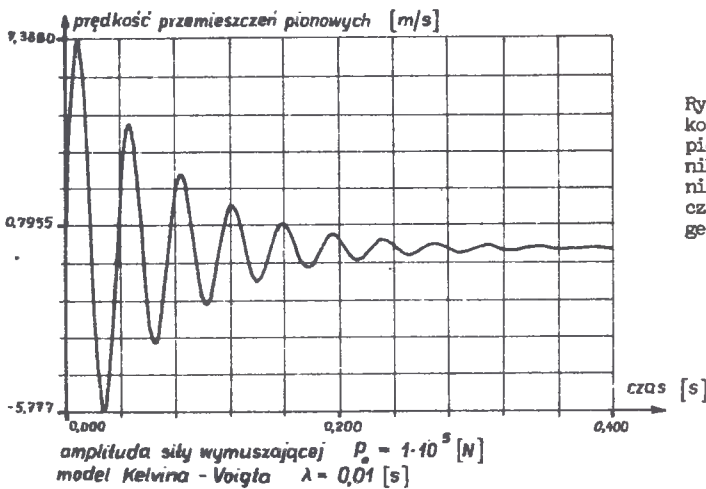
Rys.2.35.Odsztaficona postać wysięgnika w chwili  $t=0,35$  [s]



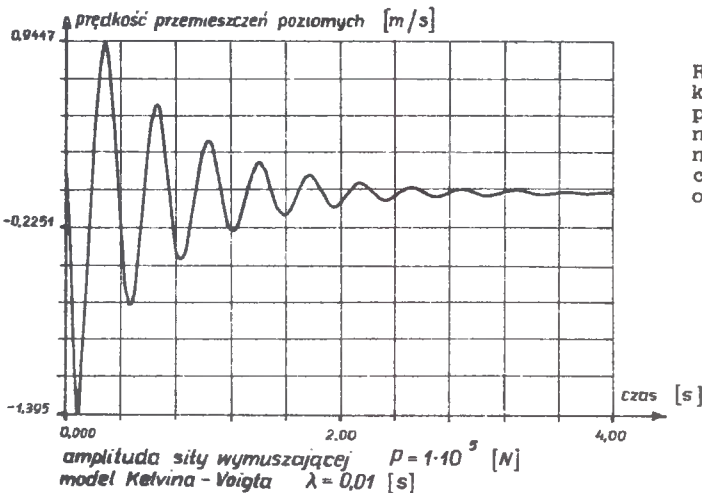
Rys.2.36.Wykres przemieszczeń pionowych końca wysięgnika/punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



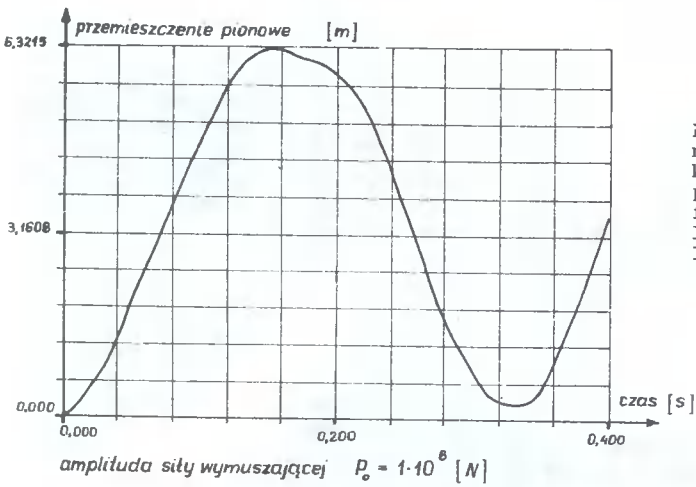
Rys.2.37. Wykres przemieszczeń poziomych końca wysięgnika / punkt przyłożenia siły / w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



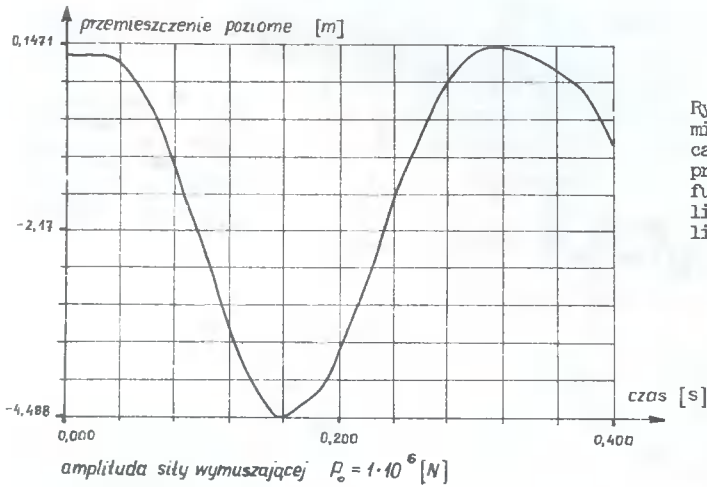
Rys.2.38. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych końca wysięgnika / punkt przyłożenia siły / w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



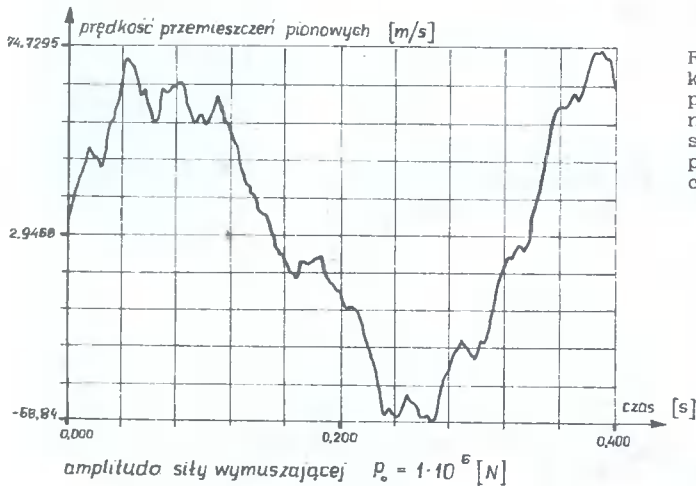
Rys.2.39. Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wysięgnika / punkt przyłożenia siły / w funkcji czasu przy analizie geometrycznie liniowej



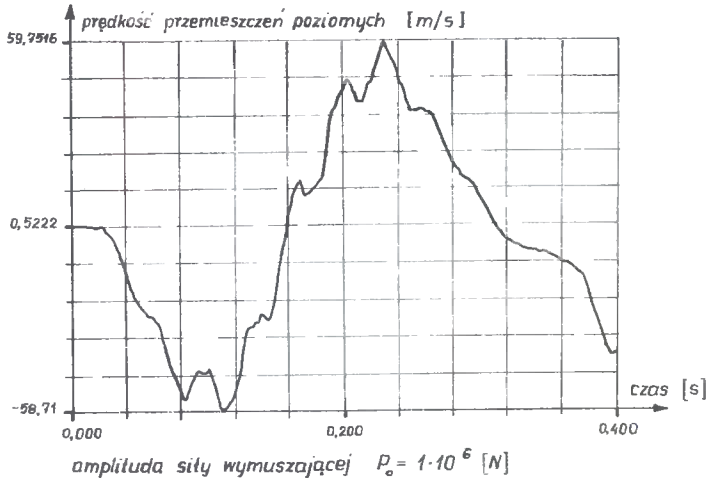
Rys.2.40. Wykres przeszczeń pionowych końca wysięgnika/punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



Rys.2.41. Wykres przeszczeń poziomych końca wysięgnika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



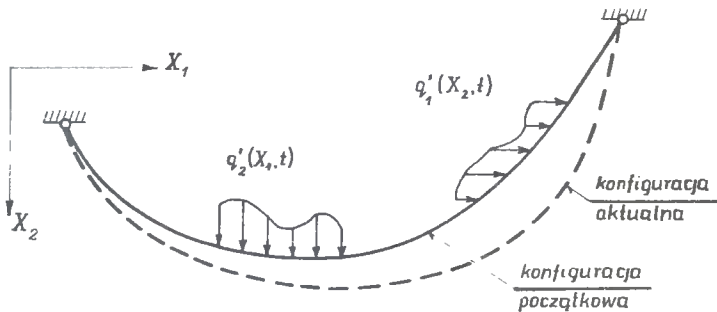
Rys.2.42. Wykres prędkości przeszczeń pionowych końca wysięgnika /punkt przyłożenia siły/ w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej



Rys.2.43. Wykres prędkości przemieszczeń poziomych końca wysięgnika (punkt przyłożenia siły) w funkcji czasu przy analizie geometrycznie nieliniowej

### 3. DRGANIA CIĘGNA WIOTKIEGO

Rozpatruje się cięgno wiotkie mające w naturalnej /początkowej/ konfiguracji długość  $L_0$  i pole przekroju poprzecznego  $A_0$  /rys.3.1/.

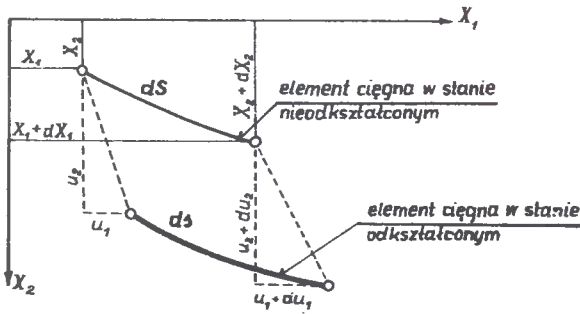


Rys.3.1. Cięgno wiotkie

Długości elementu różniczkowego cięgna w stanie niedokształconym i odkształconym wynoszą odpowiednio /rys.3.2/.

$$dS = \sqrt{(dX_1)^2 + (dX_2)^2} \quad , \quad (3.1)$$

$$d\mathfrak{S} = \sqrt{(dX_1 + du_1)^2 + (dX_2 + du_2)^2} \quad .$$



Rys.3.2. Deformacja elementu różniczkowego cięgna

Wyrażenie podpierwiastkowe (3.1)<sub>2</sub> zapisujemy początkowo w innej, równoważnej formie,

$$ds = dS \sqrt{1 + \left(\frac{du_1}{dS}\right)^2 + \left(\frac{du_2}{dS}\right)^2 + 2 \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + 2 \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0}, \quad (3.2)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{dX_1}{dS}, \quad \cos \alpha_0 = \frac{dX_2}{dS},$$

a następnie rozwijamy w szereg potęgowy, w którym uwzględniamy dwa pierwsze wyrazy

$$ds \cong dS \left[ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{du_1}{dS}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{du_2}{dS}\right)^2 + \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0 \right]. \quad (3.3)$$

Odształcenia cięgna określamy względem konfiguracji nieodszałconej, wykorzystując związek (3.2) lub (3.3)

$$\epsilon = \frac{ds - dS}{dS} = \sqrt{1 + \left(\frac{du_1}{dS}\right)^2 + \left(\frac{du_2}{dS}\right)^2 + 2 \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + 2 \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0} - 1 \cong$$

$$\cong \frac{1}{2} \left[ \left(\frac{du_1}{dS}\right)^2 + \left(\frac{du_2}{dS}\right)^2 \right] + \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0. \quad (3.4)$$

Równania równowagi elementu różniczkowego w konfiguracji nieodszałconej mają postać /rys.3.3/:

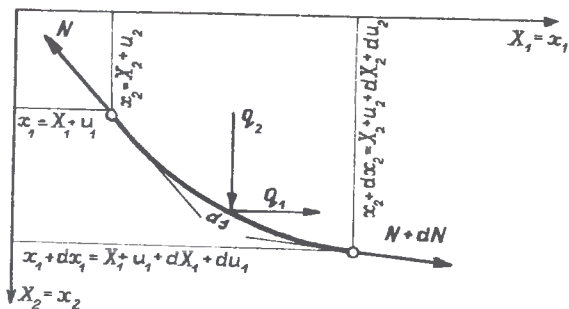
$$\sum P_1 = 0,$$

$$-N \frac{dx_1}{ds} + (N + dN) \frac{d}{ds} (x_1 + dx_1) + q_1 ds - \rho A \ddot{u}_1 ds = 0,$$

$$\sum P_2 = 0,$$

$$-N \frac{dx_2}{ds} + (N + dN) \frac{d}{ds} (x_2 + dx_2) + q_2 ds - \rho A \ddot{u}_2 ds = 0. \quad (3.5)$$





Rys.3.3. Schemat elementu różniczkowego cięzna

Po pominięciu wyrazów wyższego rzędu, równania te przyjmują formę:

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \left( N \frac{dx_1}{ds} \right) + q_1 - \rho A \ddot{u}_1 &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left( N \frac{dx_2}{ds} \right) + q_2 - \rho A \ddot{u}_2 &= 0. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Następnie równania (3.6) wyrażamy we współrzędnych Lagrange'a

$$\begin{aligned} \frac{d}{dS} \left[ N' \left( \sin \alpha_0 + \frac{du_1}{dS} \right) \right] + q_1' - \rho A_0 \ddot{u}_1 &= 0, \\ \frac{d}{dS} \left[ N' \left( \cos \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \right) \right] + q_2' - \rho A_0 \ddot{u}_2 &= 0, \end{aligned} \quad (3.7)$$

gdzie:

$$N' = N \frac{dS}{ds}, \quad q_1' = q_1 \frac{ds}{dS}, \quad q_2' = q_2 \frac{ds}{dS}, \quad A_0 = A \frac{ds}{dS}$$

$$\begin{aligned} \frac{ds}{dS} &= \sqrt{1 + \left( \frac{du_1}{dS} \right)^2 + \left( \frac{du_2}{dS} \right)^2} + 2 \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + 2 \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0 \cong \\ &\cong 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{du_1}{dS} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{du_2}{dS} \right)^2 + \frac{du_1}{dS} \sin \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \cos \alpha_0. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Związek fizyczny opisujemy stosując funkcję relaksacji /por. [1], str.17/,

$$N(S,t) = \Psi(S,t) \mathcal{E}(S,0) + \int_0^t \Psi(S,t-z) \frac{d\mathcal{E}}{dz}(S,z) dz \quad (3.9)$$

lub współczynniki  $\beta$ , które charakteryzują model lepkosprężysty /por. [1], str.32/

$$N(S,t) = \beta_1 \mathcal{E}(S,t) + (\beta_2 + \beta_3 e^{\beta_4 t}) \dot{\mathcal{E}}(S,t) + \beta_5 e^{\beta_4 t} N(S,0). \quad (3.10)$$

Równania: geometryczne (3.4), statyczne (3.7) i fizyczne (3.10) należy uzupełnić warunkami brzegowymi i początkowymi. Następnie tworzymy wyrażenie obrazujące równowagę dla całej rozważanej czasoprzestrzeni

$$\int_{t_0}^{t_1} \int_{L_0}^{L_1} \left\{ \delta u_1 \frac{d}{dS} \left[ N' \left( \sin \alpha_0 + \frac{du_1}{dS} \right) \right] + \delta u_1 (q_1' - \rho A_0 \ddot{u}_1) + \right. \quad (3.11)$$

$$+ \delta u_2 \frac{d}{dS} \left[ N' \left( \cos \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \right) \right] + \delta u_2 \left( \mathbf{q}'_2 - \mathbf{q} A_0 \ddot{u}_2 \right) \Big] dS dt = 0$$

Po przekształceniach wyrażenie to staje się równaniem czteropracy wirtualnej

$$\int_{t_0}^{t_1} \int_{L_0} \left[ \delta u_1 \mathbf{q}'_1 + \delta u_2 \mathbf{q}'_2 - \frac{d(\delta u_1)}{dS} N' \left( \sin \alpha_0 + \frac{du_1}{dS} \right) - \frac{d(\delta u_2)}{dS} N' \left( \cos \alpha_0 + \frac{du_2}{dS} \right) + \left( \delta \dot{u}_1 \dot{u}_1 + \delta \dot{u}_2 \dot{u}_2 \right) \mathbf{q} A_0 \right] dS dt + \int_{t_0}^{t_1} \left( \delta u_1 H_1 + \delta u_2 T_2 \right) dt \Big|_{L_0}^{L_1} + \int_{L_0}^{L_1} \left( \delta u_1 \dot{u}_1 + \delta u_2 \dot{u}_2 \right) \mathbf{q} A_0 dS \Big|_{t_0}^{t_1} = 0, \quad (3.12)$$

gdzie  $H_1$  oznacza siłę brzegową, mającą kierunek osi  $X_1$ , natomiast  $T_2$  jest siłą brzegową o kierunku osi  $X_2$ .

Po podzieleniu czasoprzestrzeni  $\Omega(\bar{\Omega})$ ,  $\bar{\Omega} : \{L_0, 0 \leq t < \infty\}$  na skończoną liczbę elementów czasoprzestrzennych  $\Omega_e, e=1, 2, \dots, E$ , pola przemieszczeń  $u_1, u_2$  prędkości przemieszczeń  $\dot{u}_1, \dot{u}_2$  oraz wariacje przemieszczeń i wariacje prędkości przemieszczeń wyrażamy przemieszczeniami węzłowymi,

$$\begin{aligned} u_i^e(s, t) &= \Phi_{i\alpha}^e(s, t) r_\alpha, & \delta u_i^e(s, t) &= \Phi_{i\alpha}^e(s, t) \delta r_\alpha, \\ \dot{u}_i^e(s, t) &= \dot{\Phi}_{i\alpha}^e(s, t) r_\alpha, & \delta \dot{u}_i^e(s, t) &= \dot{\Phi}_{i\alpha}^e(s, t) \delta r_\alpha, \\ (s, t) &\in \Omega_e : \left\{ L^e \times (t_0^e \leq t \leq t_1^e), t_0^e \geq 0, t_1^e < \infty \right\}, \\ i &= 1, 2, \quad \alpha = 1, 2, \dots, A, \quad e = 1, 2, \dots, E, \end{aligned} \quad (3.13)$$

gdzie  $\Phi$  jest macierzą kształtu zawierającą funkcje czasoprzestrzenne ograniczonej rozległości do obszaru  $\Omega_e$ .

Od przemieszczeń węzlowych uzależniamy też odkształcenia (3.4)

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(s, t) &= B_\alpha^e r_\alpha, \\ B_\alpha^e &= \frac{1}{2} \left( \Phi_{1\alpha, S}^e \Phi_{1\beta, S}^e + \Phi_{2\alpha, S}^e \Phi_{2\beta, S}^e \right) r_\beta + \Phi_{1\alpha, S}^e \sin \alpha_0^e + \Phi_{2\alpha, S}^e \cos \alpha_0^e, \end{aligned} \quad (3.14)$$

prędkości odkształceń

$$\begin{aligned} \dot{\mathcal{E}}(s, t) &= \dot{B}_\alpha^e r_\alpha, \\ \dot{B}_\alpha^e &= \frac{1}{2} \left( \dot{\Phi}_{1\alpha, S}^e \Phi_{1\beta, S}^e + \Phi_{1\alpha, S}^e \dot{\Phi}_{1\beta, S}^e + \dot{\Phi}_{2\alpha, S}^e \Phi_{2\beta, S}^e + \Phi_{2\alpha, S}^e \dot{\Phi}_{2\beta, S}^e \right) r_\beta + \dot{\Phi}_{1\alpha, S}^e \sin \alpha_0^e + \dot{\Phi}_{2\alpha, S}^e \cos \alpha_0^e \end{aligned} \quad (3.15)$$

oraz siłę podłużną (3.10)

$$\begin{aligned} N^e(s,t) &= D_\alpha^e r_\alpha + \tilde{N}^e(t_{(0)}^e), \\ N^{*e}(s,t) &= N^e(s,t) f^e, \\ D_\alpha^e &= \beta_1^e B_\alpha^e + (\beta_2^e + \beta_3^e e^{\beta_4 t}) \dot{B}_\alpha^e, \\ \tilde{N}^e &= \beta_5^e e^{\beta_4 t} N(t_{(0)}^e), \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$f^e = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} (\dot{\Phi}_{1\alpha,s}^e \dot{\Phi}_{1\beta,s}^e + \dot{\Phi}_{2\alpha,s}^e \dot{\Phi}_{2\beta,s}^e) r_\alpha r_\beta + (\dot{\Phi}_{1\alpha,s}^e \sin \alpha_o^e + \dot{\Phi}_{2\alpha,s}^e \cos \alpha_o^e) r_\alpha}.$$

Podstawą do wariacyjnego sformułowania równań ruchu MECZ jest zasada czteropracy wirtualnej (3.12), do której wprowadzamy związki aproksymacyjne (3.13) ÷ (3.16), uzyskując układ równań algebraicznych

$$\sum_{e=1}^E \mathcal{A}_\alpha^e = \sum_{e=1}^E [K_{\alpha\beta}^e(\underline{r}) r_\beta - R_\alpha^e(\underline{r})] = 0, \quad (3.17)$$

gdzie:  $\alpha, \beta, \gamma = 1, 2, \dots, A$ ,

$$\begin{aligned} K_{\alpha\beta}^e &= \iint_{\Omega_e} \left[ \dot{\Phi}_{1\alpha,s}^e D_\beta^e (\sin \alpha_o^e + \dot{\Phi}_{1\gamma,s}^e r_\gamma) f^e + \dot{\Phi}_{2\alpha,s}^e D_\beta^e (\cos \alpha_o^e + \right. \\ &\quad \left. + \dot{\Phi}_{2\gamma,s}^e r_\gamma) f^e - \varrho^e A_o^e (\dot{\Phi}_{1\alpha}^e \dot{\Phi}_{1\beta}^e + \dot{\Phi}_{2\alpha}^e \dot{\Phi}_{2\beta}^e) \right] d\Omega \end{aligned} \quad (3.18)$$

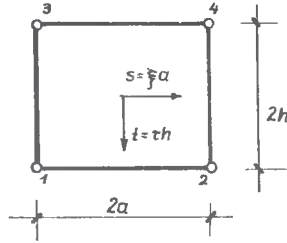
jest macierzą sztywności elementu czasoprzestrzennego, natomiast oznacza

$$\begin{aligned} R_\alpha^e &= \iint_{\Omega_e} \left\{ \dot{\Phi}_{1\alpha}^e q_1^e + \dot{\Phi}_{2\alpha}^e q_{2\alpha}^e - \left[ \dot{\Phi}_{1\alpha,s}^e (\sin \alpha_o^e + \dot{\Phi}_{1\gamma,s}^e r_\gamma) + \dot{\Phi}_{2\alpha,s}^e (\cos \alpha_o^e + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \dot{\Phi}_{2\gamma,s}^e r_\gamma) \right] \tilde{N}^e(t_{(0)}^e) f^e \right\} d\Omega + \int_{t_{(0)}^e}^{t_{(1)}^e} \left[ \dot{\Phi}_{1\alpha}^e H_1 + \dot{\Phi}_{2\alpha}^e T \right] \Big|_{L_{(0)}^e}^{L_{(1)}^e} dt + \\ &\quad - \int_{L_{(0)}^e}^{L_{(1)}^e} \left[ \dot{\Phi}_{1\alpha}^e \dot{u}_1^e + \dot{\Phi}_{2\alpha}^e \dot{u}_2^e \right] \Big|_{t_{(0)}^e}^{t_{(1)}^e} dS \end{aligned} \quad (3.19)$$

impulsy węzłowe.

Uzyskujemy w efekcie "A" nieliniowych równań algebraicznych, które należy rozwiązać ze względu na przemieszczenia węzłowe  $\underline{r}$ , przy zachowaniu warunków brzegowych i początkowych.

Do dalszych rozważań przyjęto elementy czasoprzestrzenne o kształcie prostokątnym /rys.3.4/.



Rys.3.4. Element czasoprzestrzenny cięgna

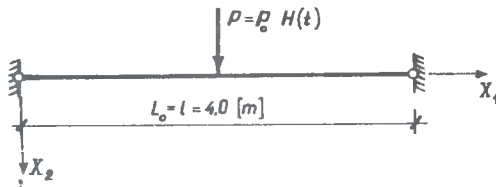
Wyrazami macierzy kształtu są funkcje liniowe:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{d}}_{i\alpha}(\xi, \tau) &= \frac{1}{4} \left( 1 + \xi_{\alpha} \xi \right) \left( 1 + \tau_{\alpha} \tau \right), \\ \xi_{\alpha} &= \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha=2,4, \\ -1 & \text{dla } \alpha=1,3, \end{cases} & \tau_{\alpha} &= \begin{cases} 1 & \text{dla } \alpha=1,2, \\ -1 & \text{dla } \alpha=3,4, \end{cases} \\ -1 < \xi &\leq 1, & -1 < \tau &\leq 1. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Cięgna wiotkie nie przynoszą sił ściskających, zatem w każdym kroku rekurencyjnym, przy rozwiązaniu iteracyjnym równań ruchu, należy uwzględnić to ograniczenie. Można to osiągnąć przez redukowanie do zera sztywności podłużnej, w elementach skończonych, w których zachodzi ściskanie. Redukcja sztywności podłużnej nie oznacza jednak zerowania się analizowanych współczynników sztywności czasoprzestrzennej, z uwagi na występowanie sił bezwładności.

#### PRZYKŁAD 1

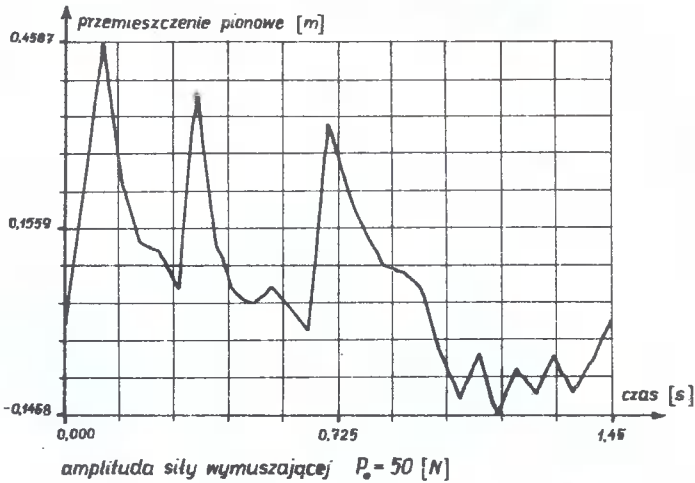
Analizujemy cięgno wiotkie obciążone w środku rozpiętości siłą Heaviside'a /rys.3.5/. Cięgno to może doznawać dowolnie dużych przemieszczeń.



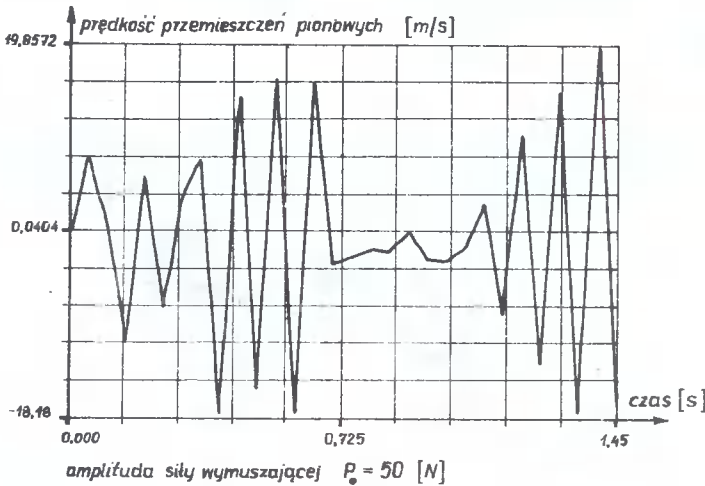
$$\begin{aligned} \rho &= 7500 \text{ [kg/m}^3\text{]} & E &= 2 \cdot 10^{11} \text{ [N/m}^2\text{]} \\ A &= 1,9634954 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]} \\ \text{krok czasowy} &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ [s]} & \text{liczba ES} &= 4 \end{aligned}$$

Rys.3.5. Cięgno obciążone siłą Heaviside'a

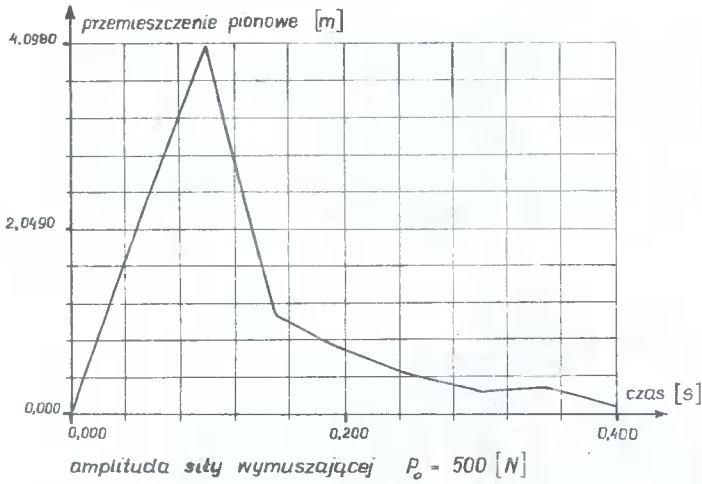
Na rysunkach 3.6 ÷ 3.9 pokazano wykresy przemieszczeń i prędkości przemieszczeń dla różnych wartości amplitudy siły wymuszającej. Charakterystycznym elementem są zaburzenia wynikające z braku sztywności podłużnej elementów ściskanych. Zaburzenia takie prowadzą do wytłumienia drgań, zwłaszcza w przypadku analizy materiałów sprężystych. Występowanie ściskania przyczynia się jednak do szybkiego przyrostu przemieszczeń. Eliminację ściskania w analizowanym przykładzie można osiągnąć wprowadzając wstępny naciąg.



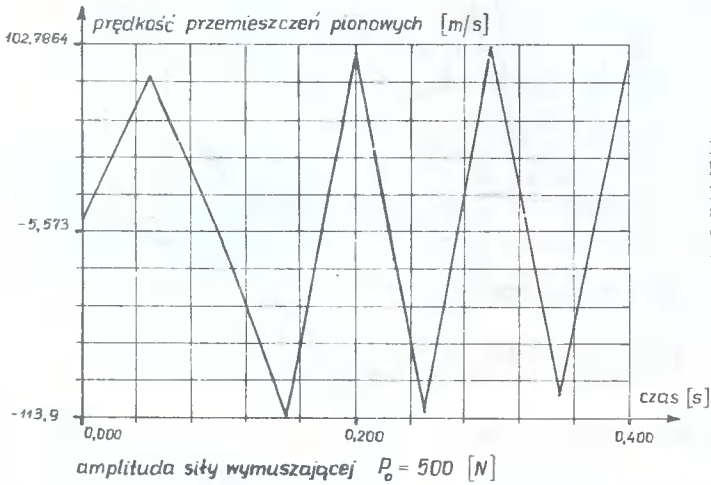
Rys.3.6. Wykres przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu



Rys.3.7. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu



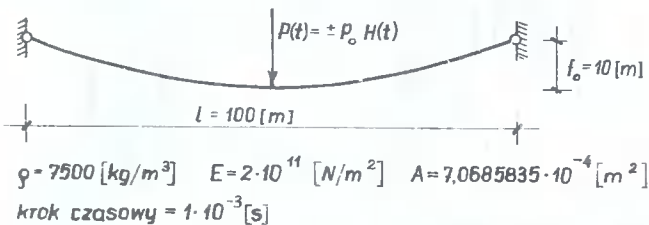
Rys.3.8. Wykres przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu



Rys.3.9. Wykres prędkości przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu

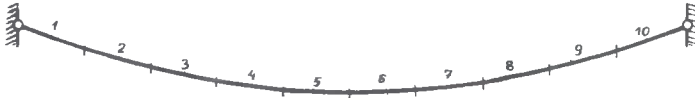
#### PRZYKŁAD 2

Analizujemy cięgno wiotkie, doznające dowolnie dużych przemieszczeń, ociążone w środku rozpiętości siłą Heaviside'a /rys.3.10/. Cięgno to w stanie nieobciążonym ma strzałkę zwisu równą 10 [m].



Rys.3.10. Cięgno obciążone siłą Heaviside'a

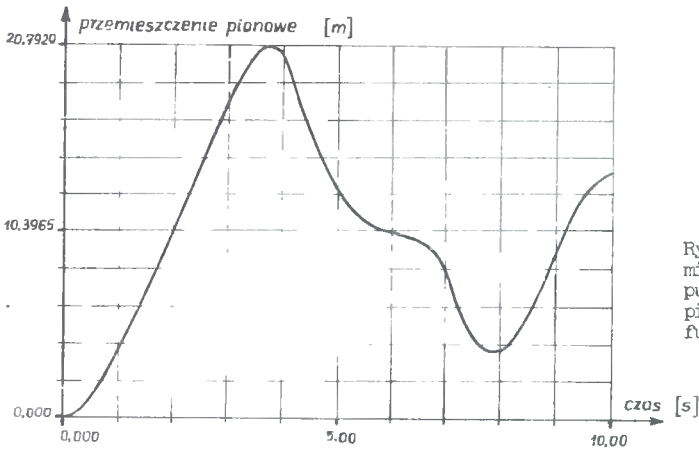
Na rysunku 3.11 pokazano podział cięgna na elementy skończone, natomiast na rysunkach 3.12 ÷ 3.29 przedstawiono wykresy przemieszczeń i prędkości przemieszczeń dla różnych wartości amplitudy siły wymuszającej.



liczba przestrzennych elementów skończonych = 10

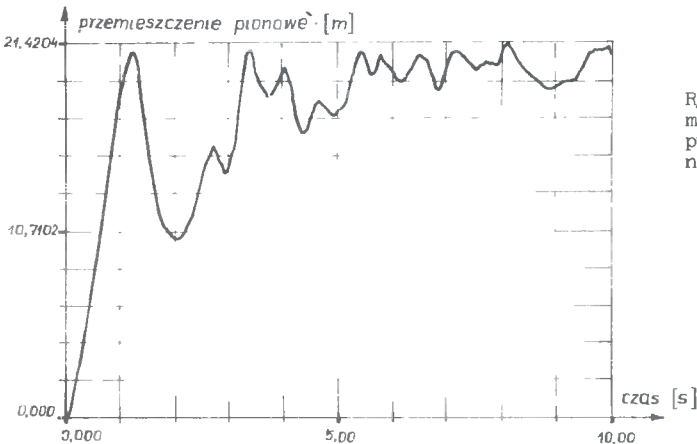
liczba węzłów = 11

Rys.3.11. Podział cięgna na elementy skończone



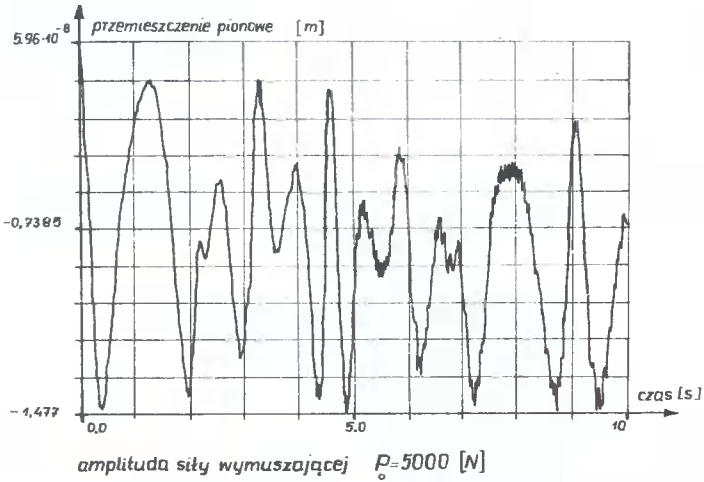
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = -500$  [N]

Rys.3.12. Wykres przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu

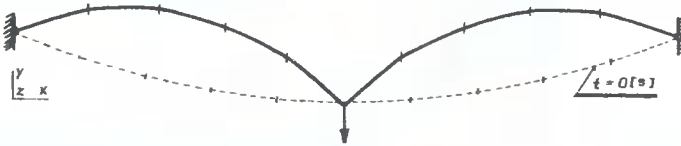


amplituda siły wymuszającej  $P_0 = -5000$  [N]

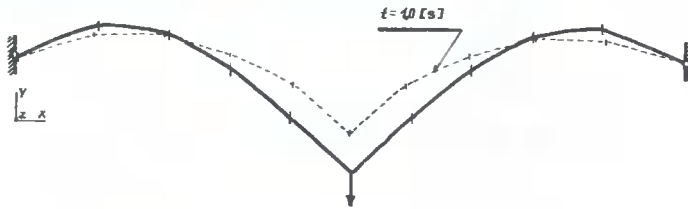
Rys.3.13. Wykres przemieszczeń pionowych punktu środkowego cięgna w funkcji czasu



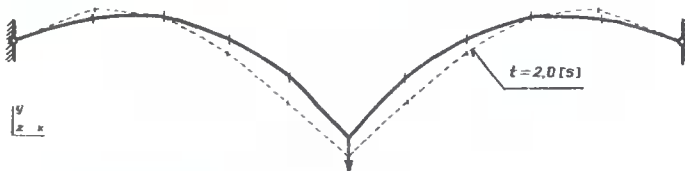
Rys.3.14. Wykres przemieszczeń pionowych punktu środkowego ciężna w funkcji czasu



Rys.3.15. Odkształcona postać ciężna w chwili  $t=1,0$  [s]

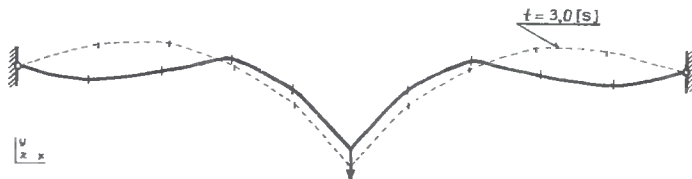


Rys.3.16. Odkształcona postać ciężna w chwili  $t=2,0$  [s]



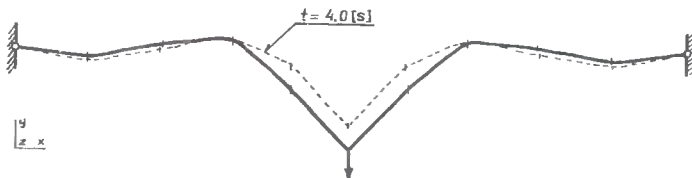
Rys.3.17. Odkształcona postać ciężna w chwili  $t=3,0$  [s]





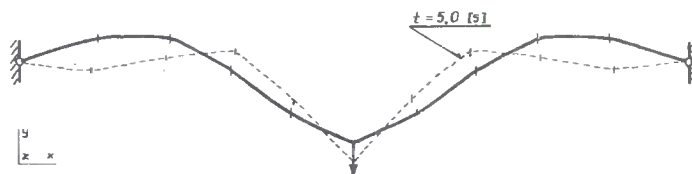
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

Rys.3.18.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t = 4,0 [s]$



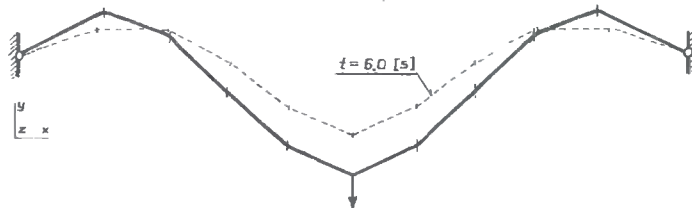
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

Rys.3.19.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t = 5,0 [s]$



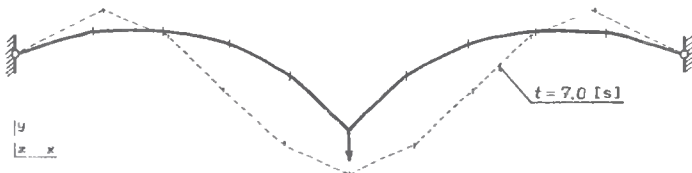
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

Rys.3.20.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t = 6,0 [s]$



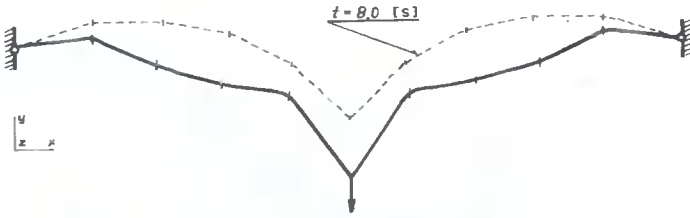
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

Rys.3.21.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t = 7,0 [s]$



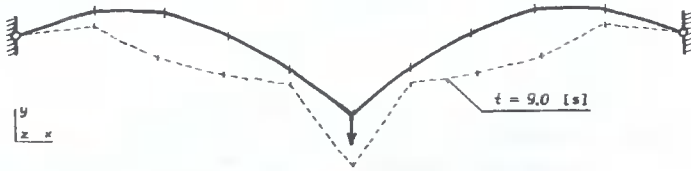
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

Rys.3.22.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t = 8,0 [s]$



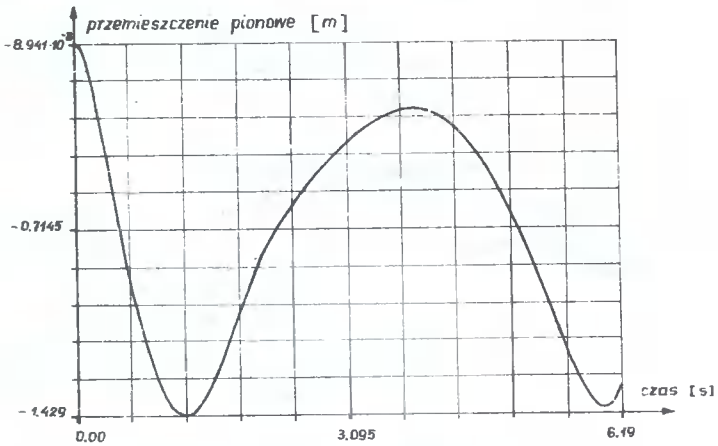
amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000$  [N]

Rys.3.23. Odształcona postać cięgna w chwili  $t = 9,0$  [s]



amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000$  [N]

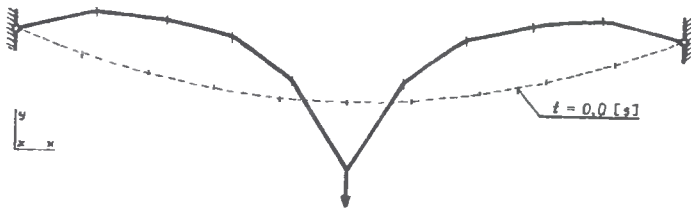
Rys.3.24. Odształcona postać cięgna w chwili  $t = 10$  [s]



amplituda siły wymuszającej  $P = 500$  [N]

model Kelvina - Voigta  $\lambda = 0,01$  [s]

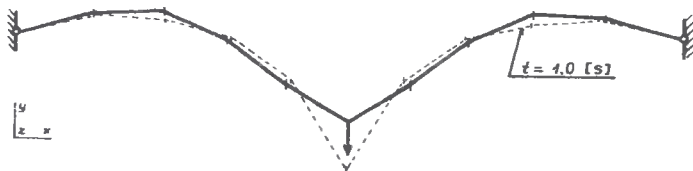
Rys.3.25. Wykres przemieszczeń pionowych punktu w środku rozpiętości cięgna w funkcji czasu



amplituda siły wymuszającej  $P=500 [N]$

model Kelvina-Voigta  $\lambda=1.0 [s]$

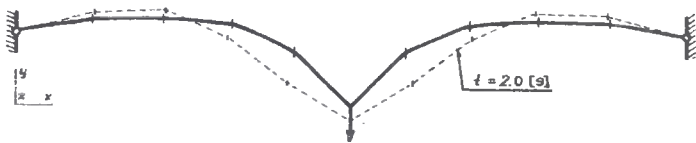
Rys.3.26.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t=1,0 [s]$



amplituda siły wymuszającej  $P=500 [N]$

model Kelvina-Voigta  $\lambda=0.01 [s]$

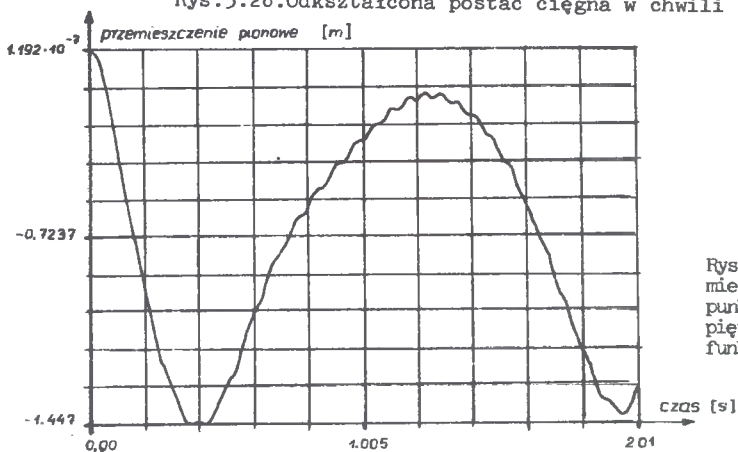
Rys.3.27.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t=2,0 [s]$



amplituda siły wymuszającej  $P=500 [N]$

model Kelvina-Voigta  $\lambda=0.01 [s]$

Rys.3.28.Odkształcona postać cięgna w chwili  $t=4,0 [s]$



Rys.3.29.Wykres prze -  
mieszczeń pionowych  
punktu w środku roz -  
piętości cięgna w  
funkcji czasu

amplituda siły wymuszającej  $P_0 = 5000 [N]$

model Kelvina-Voigta  $\lambda = 0.01 [s]$

## LITERATURA

- [1] Podhorecki A.: Metoda elementów czasoprzestrzennych w geometrycznie nieliniowej teorii lepkosprężystości. Prace Naukowe Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Rozprawy 45, ATR, Bydgoszcz 1991
- [2] Podhorecki A.: Różne postacie równań fizycznych ośrodków lepkosprężystych. Praca złożona do druku w Rozprawach Inżynierskich
- [3] Zienkiewicz O.C.: Metoda elementów skończonych. Arkady, Warszawa 1972

THE SPACE-TIME ELEMENT METHOD FOR SOLVING CERTAIN  
GEOMETRICALLY NONLINEAR PROBLEMS

Summary

This paper is a continuation of the dissertation [1] in which general equation of motion of continuous viscoelastic medium has been formed. To illustrate better the use of the space-time element method for solving various tasks of structural mechanics with geometrical nonlinearity some examples concerning vibration of viscoelastic disks and vibration of a cable have been presented.

Jadwiga Bizon-Górecka

## NIEKTÓRE ASPEKTY EKONOMICZNE PROCESÓW WYTWÓRCZYCH W BUDOWNICTWIE

W artykule przedstawiono problemy ekonomizacji działań w procesach twórczych w budownictwie. Szczególnie podkreślono konieczność uwzględnienia parametru czasu. Podano sposób jego uwzględnienia w formie wskaźników niezawodnościowych.

### 1. WPROWADZENIE

Dotychczasowy system gospodarczy wykształcił pewne nawyki w przygotowywaniu procesów budowlanych i sterowaniu ich przebiegiem. Obecne zmiany ekonomiczne w środowisku zewnętrznym związane z przechodzeniem do gospodarki rynkowej, wymagają dostosowania do niej procesów twórczych w przedsiębiorstwach, w tym również budowlanych.

Istotnym novum jest konieczność podporządkowania wszelkich działań w procesie twórczym twardym regułom gry ekonomicznej. Oznacza to integrację technologii, zarządzania czynnikami produkcji i organizacji przedsiębiorstwa w proces twórczy. Całość wytwarzania winna być widziana jako zintegrowany proces.

### 2. EKONOMIZACJA DZIAŁAŃ W PROCESACH BUDOWLANYCH

Kryterium sprawności i racjonalności postępowania ludzi i jednostek gospodarczych jest efektywność wykorzystania czynników produkcji.

W praktyce gospodarki nakazowej, w różnego typu analizach techniczno-ekonomicznych, korzystano głównie ze wskaźników o parametrach technicznych. Wskaźniki kosztowe, jako trudniejsze do określenia, wyznaczano niechętnie, zresztą nie zawsze były one przydatne. Dlatego też nie ma u nas wypracowanej metodyki projektowania procesów produkcyjnych z punktu widzenia ekonomizacji działań z rachunkiem kosztów. A takiego podejścia wymaga przechodzenie do gospodarki rynkowej. Istotną sprawą jest specyfikacja kosztów związanych z funkcjonowaniem procesu produkcyjnego.

W specyfikacji tej winny być ujęte, z jednej strony, wszystkie koszty poniesione na technologiczne przygotowanie procesu ( $K_t$ ), na zapewnienie przewidywanej organizacji pracy ( $K_o$ ) oraz związane z zasilaniem produkcji i jej zbytem ( $K_z$ ). Z drugiej strony ująć trzeba koszty strat produkcyjnych. Koszty te wynikają na przykład z czasu postoju maszyn, czy naprawiania u-

sterek. Czas nieprodukcyjny stanowi znaczny procent ogólnego czasu pracy, a kosztuje tyle samo, ile czas produkcji m.in. w płacach, oprocentowaniu kapitału, a nawet w surowcach.

Dominującą dotychczas w przedsiębiorstwach, również budowlanych, "ekonomiczności produkcji" w gospodarce rynkowej wypiera "ekonomia możliwości odpowiedzi na żądania rynkowe". Zgodnie z nią obniżka kosztów produkcji związana jest bardziej z zakresem możliwości produkcyjnych danego przedsiębiorstwa, niż ze skalą jego produkcji. Ma ona miejsce wówczas, kiedy taniej jest, przy użyciu danego wyposażenia produkcyjnego, realizować zróżnicowane zadania. Na przykład w jednej linii technologicznej wytwarzać zróżnicowaną gamę prefabrykatów budowlanych, zamiast wytwarzać tylko jeden rodzaj prefabrykatów lub szereg prefabrykatów, ale w odrębnych liniach produkcyjnych. Innym przykładem może być wykonawstwo konstrukcji monolitycznych za pomocą deskowań uniwersalnych.

Organizowanie uniwersalnych procesów budowlanych jest też zgodne z tendencjami w ewolucji organizacji pracy. Według francuskich badaczy [2] tendencje te skłaniają się do organizacji zhumanizowanej, tzw. posttaylorowskiej, w której grupa pracowników realizuje produkt lub jego część. W związku z tym następuje uelastycznienie organizacji, obserwuje się zjawisko mobilności pracowników, posiadających wielorakie kompetencje. Spłaszczeniu ulegają struktury hierarchiczne, a decydującą rolę odgrywa autodyscyplina i samokontrola. Głównym czynnikiem motywacji staje się odpowiedzialność osobista. W organizacji zhumanizowanej obserwuje się nawrót do wynagradzania za kwalifikacje /płace czasowe/.

Także w rachunku ekonomicznym uwzględnia się nie całość nakładów, a tylko tę ich część, która jest opłacona, np. nie nakłady pracy żywej, a tylko płace. Bowiem w gospodarce opartej na kapitale funkcjonuje odmienna od dotychczas u nas obowiązującej ekonomiczna interpretacja procesu produkcyjnego. Wynika to z odmienności celu produkcji, którym jest uzyskanie największego zysku w stosunku do zaangażowanego kapitału.

### 3. POMIARY CZASU W OCENIE "KORZYSTNOŚCI"

Aktualną tendencję w prowadzeniu kontroli /ang.controlling/ jest pomiar czasu, co wynika z faktu, że koszty czasu uważane są za stałe. Czynnikiem zmiennym jest czas niezbędny na dany proces produkcyjny i on winien być kontrolowany.

"Korzyścią" jest wszystko, co wpływa na redukcję czasu. Taka koncepcja zmienia definicję, "czym są koszty i korzyści. Na przykład prefabrykaty budowlane na składzie w wytwórni stanowią, przy takim podejściu, "koszty ukryte", gdyż wiążą one pieniądze i czas. Takie podejście wymusza działania technologiczno-organizacyjne zmierzające do przyspieszenia realizacji procesów budowlanych. (Na przykład prowadzenie robót betonowych w warunkach zimowych, mimo konieczności zwiększenia kosztów związanych z gorącym formowaniem, czy podgrzewaniem ułożonej mieszanki betonowej). Według

nowoczesnych koncepcji zarządzania przedsiębiorstwami kontrola, jako decydujący czynnik organizacji, obejmuje funkcje planowania, informacji, analizy i sterowania. Kontrola ma bowiem sens dopiero, jeśli w przypadku odchyłań ustalonych w toku analizy, powstają impulsy sterownicze.

Do analizy czasu służy m.in. teoria niezawodności. Szczególnie przydatną do tej analizy w procesach wytwórczych w budownictwie może być koncepcja ustalania parametrów niezawodnościowych, opracowana przez autorkę [1], w której podano też sposób określania wartości liczbowych tych parametrów. Wyznaczenie ich opiera się głównie na pomiarze strat czasu pracy. Poszczególne zabiegi zmierzające do podniesienia niezawodności funkcjonowania procesu budowlanego mają różne konsekwencje ekonomiczne. Stąd podstawowym wymogiem przy określaniu poziomu niezawodności jest lokalizacja przyczyn zakłóceń produkcyjnych. W wyżej wspomnianym sposobie określania niezawodności warunek ten jest spełniany poprzez wyznaczenie:

- niezawodności technologicznej, ukazującej wpływ jakości rozwiązań technologicznych /wraz z "instrumentalizacją" procesu /  $/N_t/$ ,
- niezawodności organizacyjnej, obrazującej wpływ niesprawności organizacyjnych  $/N_o/$ ,
- niezawodności zarządzania, odzwierciedlającej stopień zabezpieczenia zewnętrznych uwarunkowań produkcyjnych /zasilanie i zbyt produkcji/  $/N_z/$ .

Wyznaczanie niezawodności procesu winno być dostosowane do określenia jej w funkcji czasu, co również uwzględni wspomniana metoda. Może być ona też wykorzystywana przy wyborze sposobu produkcji. W poniższej tabelicy przedstawiono wyniki badań oceny niezawodności technologiczno-organizacyjnej  $/N_{to}/$  w różnych systemach produkcji.

Tablica

Wartości niezawodności technologiczno-organizacyjnej  $/N_{to}/$  w procesach produkcji prefabrykatów [1]

Sposób produkcji	Wartości $/N_{to}/$ w poszczególnych systemach realizacji		
	OWT-67	S.-Sz	Wk-70
W formach bateryjnych	0,661	0,676	0,579
Produkcja przenośnikowa	0,715	0,727	0,642
Produkcja stanowiskowa	0,730	0,734	0,689

Wynika z niej "korzystność" stosowania stanowiskowego sposobu produkcji z punktu widzenia minimalizacji strat produkcyjnych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Racjonalizacja działań w procesach wytwórczych w budownictwie winna być nakierowana na stosowanie szeregu zabiegów o charakterze synergicznym.

Mają one za zadanie rozwiązywanie konfliktów występujących w procesach wytwórczych, takich jak np.: między ludźmi i maszynami, między czasem i pieniędzmi, między standaryzacją /typizacją/ i elastycznością, czy między funkcjami i systemami.

Wynika to z faktu, że również w budownictwie procesy wytwórcze traktować trzeba jako procesy fizyczne, w toku których dodaje się wartość ekonomiczną do materiałów.

#### LITERATURA

- [1] Bizon-Górecka J.: Określenie niezawodności produkcji budowlanej. Wyd. Uczelniane ATR w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1988
- [2] Jacot J.H.; Lajoźnie G.: Modes d'organisation et technologie. Lyon 1988

#### SOME ECONOMIC ASPECTS OF PRODUCING PROCESSES IN BUILDING INDUSTRY

##### Summary

The paper describes the problems of actions undertaken because of economic aspects processes in building industry. The necessity of using the time as a parameter is particularly underlined. The procedure of application consideration of it in the form of reliability indexes is given.









