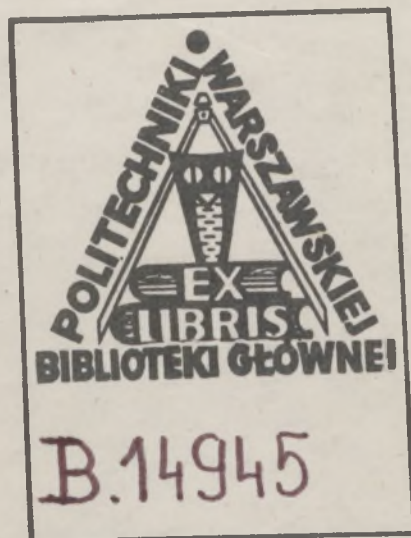




350301

P O L I T E C H N I K A W A R S Z A W S K A

WYDZIAŁ INŻYNIERII SANITARNEJ I WODNEJ

INSTYTUT OGRZEWNICTWA I WENTYLACJI

Mgr inż. Witold J. Chmielnicki

METODYKA OKREŚLANIA STRAT PRZESYŁU CIEPŁA

Praca doktorska

Promotor: Prof. dr hab. inż. Leon Kołodziejczyk

Warszawa 1975

Panu Prof.dr hab.inż. Leonowi Kołodziejczykowi
składam serdeczne podziękowanie za pomoc
okazaną przy wykonywaniu pracy.

Spis treści

1. Wstęp

1.1. Rodzaje dotychczasowych metod określania strat przesyłu ciepła

1.2. Cel i zakres pracy

2. Analiza zmiany temperatur cieczy i izolacji rurociągu sieci ciepłej w niustalonych warunkach pracy

2.1. Pole temperatury w strumieniu przepływającej cieczy

2.1.1. Wnioski

2.2. Pole temperatury w ścianie izolacji przewodu

2.2.1. Zmiana temperatury w ścianie izolacji przewodu przy wymuszeniach harmonicznych

3. Metodyka określania strat przesyłu ciepła

3.1. Wykresy zmian temperatur w danym punkcie a średnia temperatura cieczy

3.2. Stabilizacja cieplna powierzchni izotermicznych

3.3. Czas przepływu cieczy przez odcinek

3.3.1. Określenie czasu przepływu wody na odcinku pomiarowym

3.4. Średnia różnica temperatur

3.4.1. Określenie średniego spadku temperatury wody na odcinku pomiarowym

3.5. Porównanie strat ciepła określonych w różnych warunkach pracy sieci ciepłej

3.5.1. Sieci ciepłe ułożone systemem bezkanałowym

3.5.2. Sieci ciepłe ułożone w oddzielnych kanałach nieprzechodnich

3.5.3. Sieci cieplne ułożone w kanałach nieprzechodnich

3.5.4. Sieci cieplne ułożone w pomieszczeniach i na odkrytych przestrzeniach

3.5.5. Wnioski

4. Ocena dokładności pomiaru

4.1. Wariancja całkowita pomiaru

4.2. Błąd określenia średniej różnicy temperatury na odcinku pomiarowym dla $t / \tau / \cong \text{const.}$

4.3. Analiza błędów pomiarów jednostkowych

4.3.1. Błąd pomiaru temperatury

4.3.2. Dokładność określenia średniego spadku temperatury wody na odcinku pomiarowym

4.3.3. Wnioski

4.4. Dokładność określenia średniej temperatury wody w przekroju pomiarowym przy $t / \tau / \neq \text{const.}$

4.5. Dokładność określenia średniej różnicy temperatur na odcinku pomiarowym dla $t / \tau / \neq \text{const.}$

4.5.1. Wnioski

4.6. Dokładność określenia czasu przepływu cieczy przez odcinek pomiarowy

4.7. Dokładność pomiaru strat ciepła

4.7.1. Dokładność pomiaru przy $t / \tau / \cong \text{const.}$

4.7.2. Dokładność pomiaru przy $t / \tau / \neq \text{const.}$

4.8. Wnioski

5. Pomiary strat ciepła

5.1. Metoda wykonywania badań

5.2. Metoda wykonywania pomiarów

5.2.1. Pomiar temperatury

5.2.2. Pomiar natężenia przepływu

5.2.3. Pomiar ciśnienia

5.3. Opracowanie pomiarów

5.3.1. Określenie spadku temperatury cieczy na
odcinku pomiarowym

5.3.2. Określenie natężenia przepływu

5.4. Określenie strat ciepła na badanych odcinkach sieci
cieplnej

5.5. Dokładność pomiaru

6. Wnioski końcowe

7. Wykaz piśmiennictwa

1. Wstęp

Szeroki rozwój centralnego zaopatrzenia w energię cieplną za pośrednictwem wody jako ozywnika grzejnego, związany jest z rozbudową sieci przewodów. Przesyłanie energii cieplnej pociąga za sobą straty ciepła do otoczenia. Straty te mogą się wahać w granicach od kilku do kilkunastu procent przesyłowej mocy cieplnej. Znajomość strat ciepła ma duże znaczenie dla prawidłowej eksploatacji sieci ciepłych, pozwala ona na poprawne określenie mocy cieplnej źródeł wytwarzających energię cieplną. W przypadku zbyt dużych strat, może się okazać że, z ekonomicznego punktu widzenia, nie będzie opłacalne przesyłanie energii cieplnej przy założonych pierwotnie wielkościach strat ciepła. Sieci takie będą wymagały zmiany izolacji cieplnej.

1.1. Rodzaje dotychczasowych metod określania strat przesyłu ciepła

Omawiając dotychczasowe metody określania strat przesyłu ciepła wyróżnia się dwie podstawowe grupy:

1.1.1. Pierwszą grupę stanowią metody pomiarów bezpośrednich, polegające na określeniu spadku temperatury na badanym odcinku pomiarowym oraz na określeniu strumienia masy /natężenia przepływu/ cieczy za pomocą specjalnych przyrządów pomiarowych. Badania takie należy prowadzić przy odciętych węzłach ciepłych przy zabezpieczeniu przepływu czynnika grzejnego przez przewód zawierający w węźle cieplnym na końcu badanego odcinka sieci.

Badania przeprowadzone tymi metodami wymagają ustalonych warunków przepływu i temperatury; spadek temperatury powinien mieścić się w granicach 5-10 K. Otrzymanie tak dużych spadków temperatury związane jest ze znacznym zmniejszeniem natężenia przepływu wody w sieci cieplnej, odbiegającym od normalnych warunków eksploatacyjnych. Pomiar natężenia przepływu wody określa się za pomocą przepływomierzy zwężkowych. Metody te opisane są w pracach Sokołowa [75], "Eksploatacja ciepłowych sietiej" pod red. Sokołowa [80].

Straty ciepła określone tymi metodami są na ogół inne aniżeli rzeczywiste straty występujące podczas normalnej /nieustalonej/ pracy sieci odbiegającej w zasadniczy sposób od warunków ustalonych.

Ogólnie można stwierdzić, że metody pomiaru strat ciepła w warunkach ustalonych sprowadzają się do pomiaru różnicy temperatur na końcu i na początku przewodu oraz na określeniu natężenia przepływu wody w sieci cieplnej.

Zasadniczą wadą proponowanej wyżej metody jest brak modelu teoretycznego uzasadniającego poprawność przyjętych założeń upraszczających takich jak: kilkakrotna zmiana natężenia przepływu cieczy w czasie badań w stosunku do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych, kilkunastokrotne zwiększenie spadku temperatury na badanym odcinku daleko odbiegające od warunków rzeczywistych oraz nie uwzględnienie wpływu dodatkowych zmian temperatury cieczy wywołanych działaniem akumulacji ciepła w izolacji przewodów. Przydatność opisanej grupy metod zmniejsza fakt, że wymagają one odcinków pomiarowych o znacznej długości.

1.1.2. Drugą grupę stanowią metody pomiarów pośrednich. Jedną z nich polega na pomiarze strumienia ciepłego przez warstwę izolacji rurociągu. Zasada tej metody została po raz pierwszy podana przez C. Christiansena. Obecnie najbardziej rozpowszechniony układ pomiarowy pochodzi od E. Schmidta.

Metoda przegrody pomocniczej została rozwinięta i przystosowana do specjalnych badań przez W.L. Lustiga i J.S. Cammerera [2]. Pomiar polega na umieszczeniu pomocniczej warstwy na drodze strumienia ciepłego, którego natężenie ma być zmierzone. Gęstość strumienia ciepłego można obliczyć jeśli jest znana grubość i współczynnik przewodzenia ciepła pomocniczej przegrody oraz jeśli zmierzono różnicę temperatur na obu jej powierzchniach.

"Pas Schmidta" wykonany jest w postaci baterii termopar, która mocowana jest na przegrodzie pomocniczej tak, aby odpowiadające sobie spoiny leżały na obu ograniczających powierzchniach.

Zasady pomiaru podane są w VDI 2055 w kilkudziesięciu punktach. Poniżej przytoczono te punkty, które utrudniają zastosowanie tej metody do pomiarów strat ciepła sieci ciepłej.

a. Miejsce pomiaru nie może być położone zbyt blisko elementów rurociągu, intensywnie wymieniających ciepło z otoczeniem, jak np. nieizolowane zawory, połączenia kołnierzowe itp.

W sieciach ułożonych w kanałach nieprzechodnych pomiary mogą być dokonywane w komorach, gdzie na ogół występują elementy intensywnie wymieniające ciepło w związku z czym temperatura jest tam znacznie wyższa niż w kanale.

b. Pomiar należy prowadzić przy stałych temperaturach czynnika grzeijnego. Jeśli temperatura wody zmienia się okresowo, wówczas taki pomiar nie nadaje się do wykorzystania.

W sieciach cieplnych, gdzie prowadzona jest regulacja jakościowa, rzadko występuje przez dłuższy okres czasu stała temperatura wymagana do pomiarów.

Zasadniczą wadą tej metody w przypadku sieci cieplnych jest to, że odległość między punktami pomiarowymi jest znaczna, wynika ona z odległości między komorami gdzie takie pomiary można przeprowadzać. Wyniki pomiarów dotyczą w zasadzie miejsca pomiaru /ze względu na dużą niejednorodność izolacji wynikającą z niestarannego jej wykonania, co zostało stwierdzone w czasie prowadzenia badań/ a nie całego odcinka pomiarowego.

Metoda powyższa nie może ponadto mieć zastosowania do sieci ułożonych w izolacjach zasypowych.

Do grupy pomiarów pośrednich można również zaliczyć metodę pomiarów na analogach elektrycznych. Metoda ta ma wiele zalet takich jak:

- możliwość zastosowania modelu w miejsce badanego obiektu,
- badania modelowe są krótkotrwałe w przeciwieństwie do badań cieplnych. Czas trwania pomiaru przy badaniach w warunkach nieustalonych skraca się do ułamków sekundy.

Zasadniczą wadą metody jest to, że w modelu analogowym przyjmowane są wielkości projektowane a nie rzeczywiste, istniejące w układzie sieci cieplnej; te istotnie często odbiegają od warunków projektowych oraz zmieniają się w upływie czasu.

Jako najbardziej prawidłową metodę należałoby uznać metodę bezpośredniego pomiaru w rzeczywistości występujących nieustalonych warunkach pracy sieci cieplnej.

1.2. Cel i zakres pracy

Celem pracy było stworzenie rzetelnego teoretycznego modelu zjawisk zachodzących w nieustalonych warunkach pracy sieci cieplnej, pozwalającego na opracowanie metodyki określania strat przesyłu ciepła. Praca obejmuje swym zakresem następujące elementy:

- analityczne badania pola temperatury w strumieniu przepływającej cieczy w warunkach nieustalonych,
- eksperymentalne badania strat ciepła sieci w warunkach nieustalonych.

W pracy przeprowadzono analizę dokładności pomiaru umożliwiającą właściwe zaplanowanie pomiaru przy z góry założonym uchybie.

2. Analiza zmiany temperatur cieczy i izolacji rurociągu sieci cieplnej w nieustalonych warunkach pracy

Celem analizy jest ustalenie zmiany temperatur cieczy oraz izolacji cieplnej wywołanej nieustalonymi warunkami pracy pozwalającymi na określenie natężenia przepływu cieczy na podstawie zmian temperatury na początku i na końcu badanego odcinka pomiarowego.

2.1. Pole temperatury w strumieniu przepływającej cieczy

Modelem przyjętym do analizy jest cienkościenna rura otoczona izolacją cieplną. Dla opisanego wymiany ciepła zachodzącej pomiędzy cieczą płynącą w rurze a otoczeniem zostaną wyprowadzone cząstkowe równania różniczkowe pozwalające na określenie temperatury cieczy w dowolnej chwili czasowej, w dowolnej odległości od rozpatrywanego przekroju jeśli znane są warunki graniczne.

Ze względu na złożoność zagadnienia zostaną przyjęte pewne założenia upraszczające nie zmieniające istoty zjawiska, pozwalające jednak na przejrzystość i łatwość interpretacji fizycznej.

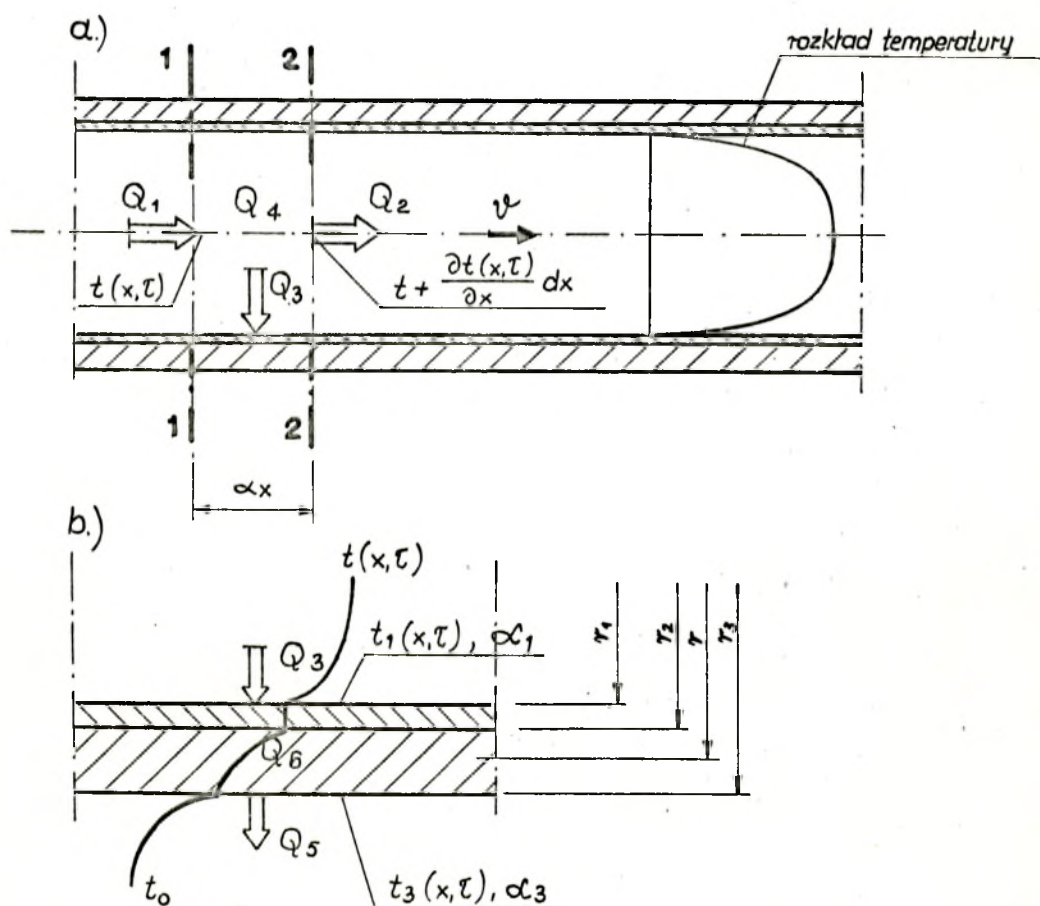
Zakłada się:

- gęstość materiału rury, materiału izolacyjnego, przepływającej cieczy oraz otoczenia są stałe,
- ciepła właściwe materiału rury, materiału izolacyjnego, przepływającej cieczy oraz otoczenia są stałe,
- charakter profilu temperatury jest niezmienny /rys.2.1 a/.

rozpatruje się wyłącznie zmiany temperatury cieczy /wody/ wzdłuż przewodu,

- pominięto przewodzenie ciepła w kierunku przepływu,
- współczynniki przejmowania ciepła są określone funkcjami temperatury i prędkości,
- temperatura otoczenia przewodu ma stałą wartość,
- energie: kinetyczną i potencjalną można pominąć w porównaniu z energią cieplną.

Uwzględniając powyższe założenia wyprowadzono cząstkowe równania różniczkowe opisujące wymianę ciepła w przyjętym modelu.



Rys.2.1. Schemat przyjętego modelu

a/ przewód, b/ przegroda izolacyjna

Wprowadza się następujące oznaczenia:

x - odległość od początku przekroju, m,

τ - czas, s,

$t(x, \tau)$ - temperatura cieczy /wody/ w przewodzie jako
funkcja długości x oraz czasu τ , $^{\circ}\text{C}$,

$t_1(x, \tau)$ - wewnętrzna temperatura ścianki jako funkcja długości
 x oraz czasu τ , $^{\circ}\text{C}$,

$t_3(x, \tau)$ - zewnętrzna temperatura ścianki jako funkcja długości
 x oraz czasu τ , $^{\circ}\text{C}$,

t_0 - temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$,

ρ_0 - gęstość cieczy /wody/, kg/m^3 ,

ρ_i - gęstość materiału izolacji, kg/m^3 ,

ρ_r - gęstość materiału przewodu, kg/m^3 ,

c_0 - ciepło właściwe cieczy /wody/, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

c_i - ciepło właściwe materiału izolacji, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

c_r - ciepło właściwe materiału przewodu, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

λ_r - współczynnik przewodności cieplnej materiału przewodu,
 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

λ_i - współczynnik przewodności cieplnej materiału izolacji,
 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

α_1 - współczynnik przejmowania ciepła od cieczy /wody/ do
ścianki przewodu, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

α_3 - współczynnik przejmowania ciepła od zewnętrznej powierz-
chni izolacji do otoczenia, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,

r_1 - wewnętrzny promień przewodu, m,

r_2 - wewnętrzny promień izolacji, m,

r_3 - zewnętrzny promień izolacji, m,

r - dowolny promień izolacji $r \in \langle r_2, r_3 \rangle$, m,

v - prędkość przepływającej wody, m/s,

Q_1 - ciepło dopływające z wodą do przekroju 1-1, kJ,

Q_2 - ciepło odpływające z wodą z przekroju 2-2, kJ,

Q_3 - ciepło tracone przez ściankę przewodu, kJ,

Q_4 - ciepło akumulowane na odcinku dx , kJ,

Q_5 - ciepło tracone do otoczenia, kJ,

Q_6 - ciepło akumulowane w izolacji rury na odcinku dx , kJ.

Równanie różniczkowe opisujące wymianę ciepła w strumieniu przepływającej cieczy /wody/ zostanie wyprowadzone z ogólnego prawa zachowania energii /bilansu ciepła/.

Dla objętości cieczy zawartej w rurociągu na odcinku dx /rys.2.1.a/ z ogólnego prawa bilansowania wynika, że ciepło zgromadzone równe jest ciepłu dopływającemu pomniejszonemu o ciepło odpływające i ciepło tracone do otoczenia. Na podstawie oznaczeń przyjętych na rys.1a można ułożyć następujący bilans ciepła:

$$Q_4 = Q_1 - Q_2 - Q_3, \quad (2-1)$$

po przekształceniu

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0, \quad (2-2)$$

ciepło dopływające z wodą do przekroju 1-1

$$Q_1 = \pi r_1^2 v \rho c_o \int (x, \tau) d\tau, \quad (2-3)$$

ciepło odpływające z wodą z przekroju 2-2

$$Q_2 = \pi r_1^2 v \rho_c c_o \left(t(x, \tau) + \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} dx \right) d\tau, \quad (2-4)$$

ciepło tracone przez ściankę przewodu

$$Q_3 = k_1 \left(t(x, \tau) - t_o \right) dx d\tau, \quad (2-5)$$

gdzie:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\alpha_1 r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi\alpha_3 r_3}},$$

ciepło akumulowane na odcinku dx

$$Q_4 = \pi r_1^2 \rho_c c_o \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} dx d\tau, \quad (2-6)$$

po podstawieniu do (2-2) i po przekształceniach otrzymuje się równanie opisujące pole temperatury w strumieniu przepływającej wody

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + v \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} + \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_o} \left(t(x, \tau) - t_o \right) = 0. \quad (2-7)$$

Z powyższego równania poszukuje się rozwiązania na $t(x, \tau)$ dla następującego warunku brzegowego:

$$t(o, \tau) = f(\tau) \equiv t_p + t_m \cos(\omega \tau),$$

gdzie: t_p - dowolna temperatura panująca w przewodzie, $^{\circ}\text{C}$,

t_m - amplituda zmian temperatury wokół temperatury

t_p , $^{\circ}\text{C}$,

ω - częstotliwość zmian temperatury, $1/\text{s}$,

2 składowe?

$t(0, \tau)$ - temperatura w przekroju początkowym rozpatrywanego odcinka, $^{\circ}\text{C}$.

Wprowadzenie harmonicznego wymuszenia na początku rozpatrywanego odcinka pomiarowego zostanie w dalszej części wykorzystane do określenia natężenia przepływu wody bez konieczności użycia przepływomierzy.

Równanie (2-7) rozwiązano metodą charakterystyk [28]

$$\frac{d\tau}{1} = \frac{dx}{v} = - \frac{dt(x, \tau)}{\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} (t(x, \tau) - t_0)},$$

rozwiązując powyższy układ równań otrzymuje się:

$$v\tau = x + c_1,$$

$$\ln(t(x, \tau) - t_0) = - \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau + c_2',$$

po przekształceniu

$$c_1 = v\tau - x,$$

$$t(x, \tau) - t_0 = c_2' \exp\left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau\right),$$

oznaczając

$$c_2 = \exp c_2',$$

otrzymuje się

$$t(x, \tau) - t_0 = c_2 \exp\left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau\right),$$

zatem

$$c_2 = (t(x, \tau) - t_0) \exp \left(\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau \right)$$

Ogólna postać rozwiązania jest następująca

$$c_2 = \varphi(c_1) ,$$

gdzie: $\varphi(c_1)$ - dowolna funkcja różniczkowalna ciągle ze względu na c_1 , po podstawieniu

$$(t(x, \tau) - t_0) \exp \left(\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau \right) = \varphi(\nu \tau - x) ,$$

celem wyznaczenia funkcji φ , korzysta się z warunku brzegowego $f(\tau)$

$$t(0, \tau) = f(\tau) \equiv t_0 + \varphi(\nu \tau) \exp \left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau \right),$$

podstawiając

$$\nu \tau = z \rightarrow \tau = \frac{z}{\nu} ,$$

otrzymuje się

$$f\left(\frac{z}{\nu}\right) = t_0 + \varphi(z) \exp \left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c \nu} z \right) ,$$

zatem funkcja φ ma postać

$$\varphi(z) = \left(f\left(\frac{z}{\nu}\right) - t_0 \right) \exp \left(\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c \nu} z \right) ;$$

przyjmując w tym przypadku

$$z = \nu \tau - x$$



otrzymuje się:

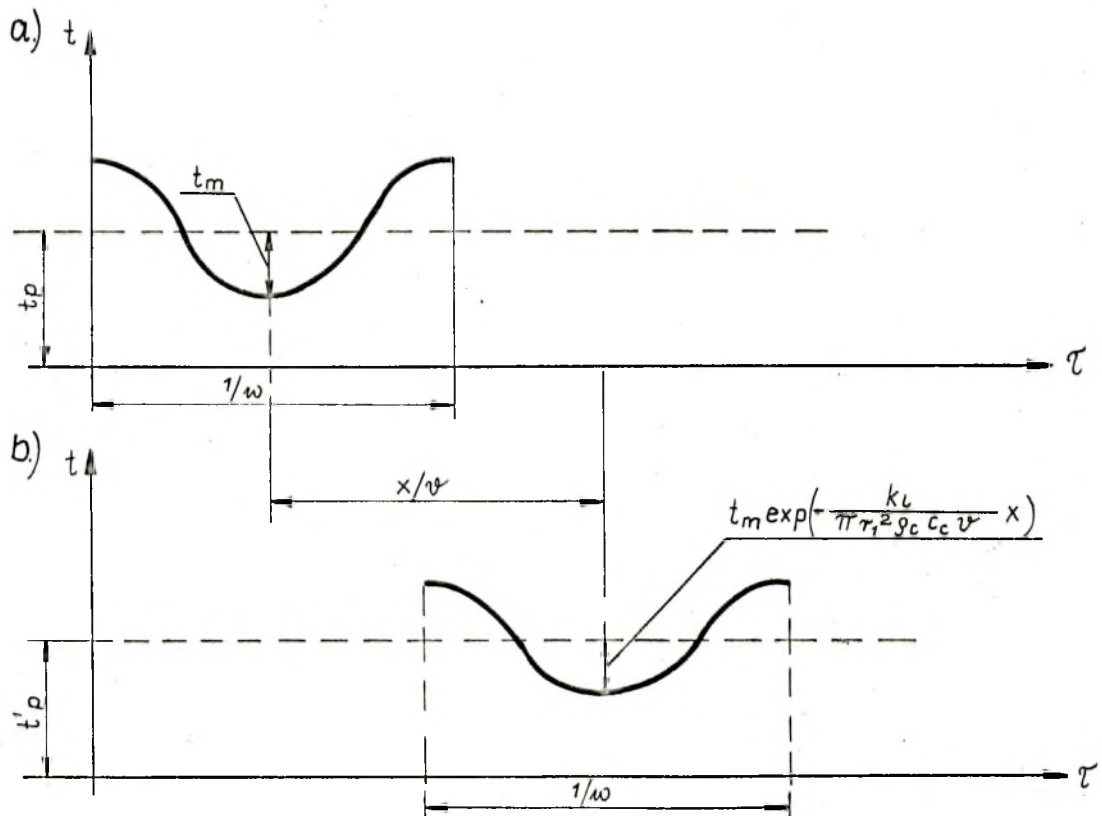
$$\left(t(x, \tau) - t_0 \right) \exp\left(\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \tau \right) = \left(f\left(\frac{v\tau - x}{v} \right) - t_0 \right) \exp\left(\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c v} (v\tau - x) \right),$$

stąd

$$t(x, \tau) = t_0 + \left(f\left(\tau - \frac{x}{v} \right) - t_0 \right) \exp\left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c v} x \right),$$

korzystając z warunku brzegowego otrzymuje się ostatecznie

$$t(x, \tau) = t_0 + \left[t_p - t_0 + t_m \cos\left(\omega\left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right) \right] \exp\left(- \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c v} x \right) \quad (2-8)$$



Rys.2.2. Rozkład temperatury na badanym odcinku pomiarowym
a/ przekrój początkowy, b/ przekrój końcowy

Otrzymana zależność pozwala na określenie temperatury cieczy w dowolnym przekroju przewodu w dowolnej chwili czasowej, jeśli znana jest temperatura w przekroju początkowym.

Można udowodnić słuszność otrzymanej zależności przeprowadzając interpretację fizyczną.

Przyjmując np., że woda przepływa z nieskończenie dużą prędkością $v \rightarrow \infty$, wówczas nie powinno nastąpić oziębienie, oznaczając

$$\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} = h ,$$

$$\exp \left(- \frac{h}{v} x \right) = 1 ,$$

wobec tego otrzymuje się

$$t(x, \tau) = t_0 + t_m \cos(\omega \tau) ,$$

a więc temperatura równa jest początkowej, wobec czego oziębienie nie nastąpiło.

Jeśli izolacja cieplna przewodu byłaby doskonała, której przewodzenie ciepła byłoby równe zeru, to wtedy

$$h = \frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_c} \rightarrow 0 ,$$

wobec czego ponownie

$$\exp \left(- \frac{h}{v} x \right) = 1 ,$$

a więc otrzymuje się temperaturę równą początkowej i ochłodzenie nie nastąpi.

Bardzo ważny jest również przypadek $x = 0$, kiedy oczywiście również nie powinno wystąpić ochłodzenie, wtedy

$$\exp\left(-\frac{h}{\gamma} x\right) = 1, \bullet$$

a temperatura

$$t(x, \tau) = t_p + t_m \cos(\omega \tau)$$

Otrzymana zależność (2-8) pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

2.1.1. Wnioski

1. Dowolne wymuszenia temperatury w początkowym przekroju odcinka rurociągu są przenoszone na dowolną odległość z zachowaniem tej samej częstotliwości, natomiast amplituda wahań temperatury ulega zmniejszeniu na skutek strat ciepłych przewodów oraz odległości od początkowego przekroju.
2. Jak wynika z zależności (2-8) oraz rys.2.2 zakłócenie harmoniczne wprowadzone na początku odcinka pojawi się w przekroju końcowym po czasie równym x/γ , a więc po czasie potrzebnym na przepływ cieczy ze średnią prędkością γ .
3. Czas przepływu cieczy na badanym odcinku równy jest czasowi przepływu fali temperatury, a więc do określania prędkości przepływu cieczy wystarczy znać czas przepływu fali temperatury oraz długość badanego odcinka.

2.2. Pole temperatury w ścianie izolacji przewodu

Korzystając z założeń przyjętych w punkcie 2.1 wyprowadzono równania różniczkowe opisujące wymianę ciepła w strumieniu

przepływającej cieczy oraz w ścianie izolacji cieplnej przewodu. Podobnie jak w p.2.1 równania wprowadzono z ogólnego prawa zachowania energii /bilansu ciepła/.

Ciepło tracone przez ścianę (rys.2.1 b)

$$Q_3 = 2\pi r_1 \alpha_1 (t(x, \tau) - t_1(x, \tau)) dx d\tau. \quad (2-9)$$

Podstawiając zależności (2-3), (2-4), (2-6) i (2-9) do równania (2-2) otrzymuje się po przekształceniach

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + v \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} + \frac{2\alpha_1}{r_1 \rho c} (t(x, \tau) - t_1(x, \tau)) = 0 \quad (2-10)$$

Podobnie zostanie wyprowadzone równanie opisujące wymianę ciepła w ścianie izolacji przewodu. Przy wyprowadzaniu tego równania pominięto opór cieplny ścianki rury zakładając za Campbellem [3], że temperatura ścianki przewodu w całym swym przekroju poprzecznym ma w każdej chwili czasowej wartość stałą. Takie założenie nie wpłynie na poprawność rozwiązania, jednak w znacznym stopniu uprości wynik końcowy oraz ułatwi interpretację fizyczną.

Rozpatrując ściankę przewodu (rys.2.1 b) można napisać następujący bilans cieplny

$$Q_6 = Q_3 - Q_5, \quad (2-11)$$

po przekształceniu

$$Q_6 - Q_3 + Q_5 = 0, \quad (2-12)$$

ciepło dopływające do powierzchni wewnętrznej przewodu Q_3 określone jest zależnością (2-9),

ciepło przekazane do otoczenia

$$Q_5 = 2\pi r_3 \alpha_3 (t_3(x, \tau) - t_o) dx d\tau, \quad (2-13)$$

ciepło akumulowane w ściance przewodu i izolacji

$$Q_6 = \pi \left((r_2^2 - r_1^2) \rho_r c_r \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + (r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i \frac{\partial t_{sr}(x, \tau)}{\partial \tau} \right) dx d\tau, \quad (2-14)$$

gdzie: $t_{sr}(x, \tau)$ - średnia temperatura izolacji, °C,

po podstawieniu do (2-12) i po przekształceniach otrzymuje się równanie opisujące pole temperatury w ściance izolacji przewodu

$$\frac{\partial t_{sr}(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{(r_2^2 - r_1^2) \rho_r c_r}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{2\alpha_3 r_3}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} (t_3(x, \tau) - t_o) - \frac{2\alpha_1 r_1}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} (t(x, \tau) - t_1(x, \tau)) = 0. \quad (2-15)$$

Ilość ciepła przewodzonego w warunkach ustalonych przez ściankę przewodu określają następujące zależności

$$Q_1 = \frac{t(x, \tau) - t_o}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi r_3 \alpha_3}},$$

lub

$$Q_1 = \frac{t_1(x, \tau) - t_3(x, \tau)}{\frac{1}{2\pi \lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2}},$$

porównując powyższe zależności otrzymuje się po przekształce-
niu:

$$t_3(x, \tau) = t_1(x, \tau) - \frac{\frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2}}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi r_3 \alpha_3}} \left(t(x, \tau) - t_0 \right),$$

oznaczając

$$\frac{\frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2}}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi r_3 \alpha_3}} = a,$$

otrzymuje się

$$t_3(x, \tau) = t_1(x, \tau) - a \left(t(x, \tau) - t_0 \right) \quad (2-16)$$

Rozkład temperatury w warunkach ustalonych w cylindrycznej
przegrodzie wynika z następującej zależności [39] (rys. 2.1b)

$$\frac{t_1(x, \tau) - t_i(r, x, \tau)}{t_1(x, \tau) - t_3(x, \tau)} = \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2-17)$$

gdzie: $t_i(r, x, \tau)$ - temperatura izolacji $t_i(r, x, \tau) \in \langle t_1(x, \tau), t_3(x, \tau) \rangle$, stąd równanie rozkładu temperatury w ścianie cylindrycznej ma następującą postać:

$$t_i(r, x, \tau) = t_1(x, \tau) - \left(t_1(x, \tau) - t_3(x, \tau) \right) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2-18)$$

podstawiając (2-16) do (2-19) otrzymuje się po przekształceniach

$$t_i(r, x, \tau) = t_1(x, \tau) - a(t(x, \tau) - t_0) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad (2-19)$$

Średnią temperaturę izolacji w obszarze $r \in \langle r_2, r_3 \rangle$ określono jako średnią całkową

$$t_{sr}(x, \tau) = \frac{1}{r_3 - r_2} \int_{r_2}^{r_3} t_i(r, x, \tau) dr ,$$

podstawiając otrzymuje się:

$$t_{sr}(x, \tau) = t_1(x, \tau) - a(t(x, \tau) - t_0) \frac{1}{r_3 - r_2} \int_{r_2}^{r_3} \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}} dr ,$$

obliczając otrzymuje się:

$$t_{sr}(x, \tau) = t_1(x, \tau) + a \left(\frac{1}{1 - \frac{r_2}{r_3}} + \frac{1}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \right) (t(x, \tau) - t_0) ,$$

oznaczając

$$a \left(\frac{1}{1 - \frac{r_2}{r_3}} + \frac{1}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \right) = b_1 ,$$

otrzymuje się ostatecznie

$$t_{sr}(x, \tau) = t_1(x, \tau) + b_1 t(x, \tau) - b_1 t_0 , \quad (2-20)$$

podstawiając (2-16) i (2-20) do równania (2-15) po przekształceniach otrzymuje się:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + \left(b_1 + \frac{(r_2^2 - r_1^2) \rho_r c_r}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} \right) \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{2(\alpha_3 r_3 + \alpha_1 r_1)}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} t_1(x, \tau) - \frac{2(\alpha_3 r_3 a + \alpha_1 r_1)}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} t(x, \tau) - (1-a) \frac{2\alpha_3 r_3}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} t_0 = 0, \quad (2-21)$$

wprowadzając następujące oznaczenia:

$$b_1 + \frac{(r_2^2 - r_1^2) \rho_r c_r}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} = b,$$

$$\frac{2(\alpha_3 r_3 + \alpha_1 r_1)}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} = H_2,$$

$$\frac{2(\alpha_3 r_3 a + \alpha_1 r_1)}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} = H_3,$$

$$(1-a) \frac{2\alpha_3 r_3}{(r_3^2 - r_2^2) \rho_i c_i} = H_4$$

oraz ponadto wielkość występującą w równaniu (2-10)

$$\frac{2\alpha_1}{r_1 \rho_i c_c} = H_1,$$

wyjściowy układ równań przejmie postać:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + v \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} = H_1 \left(t(x, \tau) - t_1(x, \tau) \right) = 0, \quad (2-22)$$

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + b \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + H_2 t_1(x, \tau) - H_3 t(x, \tau) - H_4 t_0 = 0. \quad (2-23)$$

Z powyższego układu równań poszukuje się rozwiązania na $t(x, \tau)$ oraz $t_1(x, \tau)$ przy następujących warunkach granicznych:

warunek brzegowy:

$$t(0, \tau) = f(\tau) \equiv t_p + t_m \cos \omega \tau,$$

oznaczenia jak w punkcie 2.1,

warunki początkowe:

$$t(x, 0) = t_p + t_m = t_{p0},$$

$$t_1(x, 0) = t_{10}.$$

Dla ścianki cylindrycznej zachodzi następująca zależność w warunkach ustalonych

$$\frac{t_{p0} - t_0}{\frac{1}{2\pi r_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{2\pi r_3 \alpha_3}} = 2\pi r_1 \alpha_1 (t_{p0} - t_{10}),$$

Z powyższego wyznacza się wielkości t_{10} przyjętą w warunku początkowym jako daną

$$t_{10} = t_{p0} - \frac{t_{p0} - t_0}{1 + \frac{r_1 \alpha_1}{\lambda_r} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1 \alpha_1}{\lambda_i} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{r_1 \alpha_1}{r_3 \alpha_3}}. \quad (2-24)$$

W celu rozwiązania układu równań dokonano przesunięcia układu współrzędnych

$$t'(x, \tau) = t(x, \tau) - t_{p_0}, \quad (2-25)$$

$$t'_1(x, \tau) = t_1(x, \tau) - t_{10}, \quad (2-26)$$

podstawiając przyjęte zależności do warunków granicznych otrzymuje się:

$$t'(x, 0) = t(x, 0) - t_{p_0} = 0 \quad (2-27)$$

$$t'_1(x, 0) = t_1(x, 0) - t_{10} = 0$$

$$t'(0, \tau) = t(0, \tau) - t_{p_0} = t_m \cos \omega \tau - t_m, \quad (2-28)$$

uwzględniając powyższe układ równań przyjmie postać

$$\frac{\partial t'(x, \tau)}{\partial \tau} + \gamma \frac{\partial t'(x, \tau)}{\partial x} = H_1 (t'(x, \tau) - t'_1(x, \tau)) + H_1 (t_{p_0} - t_{10}) = 0, \quad (2-29)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial t'_1(x, \tau)}{\partial \tau} + b \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} + H_2 t'_1(x, \tau) - H_3 t'(x, \tau) + H_2 t_{10} - H_3 t_{p_0} - \\ - H_4 t_0 = 0. \end{aligned} \quad (2-30)$$

Po dokonaniu transformacji Laplace'a i po przekształceniach otrzymuje się układ równań różniczkowych zwyczajnych

$$t'(x, s)(s + H_1) + \gamma \frac{dt'(x, s)}{dx} + \frac{1}{s} H_1 (t_{p_0} - t_{10}) = H_1 t'_1(x, s), \quad (2-31)$$

$$\begin{aligned} t'(x, s)(b s - H_3) + \frac{1}{s} (H_2 t_{10} - H_3 t_{p_0} - H_4 t_0) = - t'_1(x, s) \\ (s + H_2), \end{aligned} \quad (2-32)$$

wprowadzając oznaczenia

$$H_1 (t_{po} - t_{10}) = K_1 ,$$

$$H_2 (t_{10} - H_3 t_{po} - H_4 t_o) = K_2$$

i podstawiając do (2-31) i (2-32) otrzymuje się:

$$t'(x,s) (s + H_1) + \psi \frac{dt'(x,s)}{dx} + \frac{1}{s} K_1 = H_1 t'_1(x,s) , \quad (2-33)$$

$$t'(x,s) (bs - H_3) + \frac{1}{s} K_2 = - t'_1(x,s) (s + H_2) \quad (2-34)$$

wyznaczając z powyższego układu równań $t'_1(x,s)$ i przyrównując je do siebie, otrzymuje się po przekształceniach:

$$\psi \frac{dt'(x,s)}{dx} + \left(\frac{H_1 (bs - H_3)}{s + H_2} + s + H_1 \right) t'(x,s) = - \frac{K_1}{s} - \frac{H_1 K_2}{s(s + H_2)} , \quad (2-35)$$

a wprowadzając następujące oznaczenia:

$$\frac{H_1 (bs - H_3)}{s + H_2} + s + H_1 = \varphi(s) , \quad (2-36)$$

$$- \frac{K_1}{s} - \frac{H_1 K_2}{s(s + H_2)} = \psi(s) \quad (2-37)$$

otrzymuje się następujące równanie różniczkowe:

$$\psi \frac{dt'(x,s)}{dx} + \varphi(s) t'(x,s) = \psi(s) , \quad (2-38)$$

rozwiązując to równanie otrzymuje się:

$$\psi \frac{dt'(x,s)}{dx} + \varphi(s) t'(x,s) = 0 ,$$

po przekształceniu

$$\frac{dt'(x,s)}{t'(x,s)} = - \frac{\varphi(s)}{\gamma} dx ,$$

po scałkowaniu

$$\frac{t'(x,s)}{c} = \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) ,$$

$$t'(x,s) = c \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) ,$$

$$t'(x,s) = c(x) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) ,$$

po zróżniczkowaniu względem x

$$\frac{dt'(x,s)}{dx} = c'(x) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) + c(x) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) \left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma}\right)$$

po przekształceniu

$$\gamma c'(x) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) - \gamma c(x) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) \frac{\varphi(s)}{\gamma} + c(x) \varphi(s) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) = \psi(s) ,$$

$$c'(x) = \frac{\psi(s)}{\gamma} \exp\left(\frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) ,$$

po scałkowaniu

$$c(x) = \frac{\psi(s)}{\gamma} \exp\left(\frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) \left(\frac{\gamma}{\varphi(s)}\right) + c_1 ,$$

$$c(x) = \frac{\psi(s)}{\varphi(s)} \exp\left(\frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) + c_1 ,$$

podstawiając do wyrażenia na $t'(x,s)$ otrzymuje się:

$$t'(x,s) = \left(\frac{\psi(s)}{\varphi(s)} \exp\left(\frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) + c_1\right) \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) ,$$

a po przekształceniu

$$t'(x,s) = \frac{\psi(s)}{\varphi(s)} + c_1 \exp\left(- \frac{\varphi(s)}{\gamma} x\right) , \quad (2-39)$$

korzystając z transformaty warunku brzegowego (2-28)

$$t(0, s) = -\frac{t_m}{s} + \frac{t_m s}{s^2 + \omega^2},$$

po wyznaczeniu stałej całkowania i po przekształceniach otrzymuje się:

$$t'(x, s) = \frac{\psi(s)}{\gamma(s)} \left(1 - \exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right) \right) + \left(-\frac{t_m}{s} + \frac{t_m s}{s^2 + \omega^2} \right) \exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right), \quad (2-40)$$

poszukiwane rozwiązanie określające temperaturę cieczy w dowolnej odległości od przekroju początkowego i w dowolnej chwili czasowej, przy zakłóceniu harmonicznym znajduje się dokonując odwrotnego przekształcenia Laplace'a

$$t'(x, \tau) = L^{-1} \left[\frac{\psi(s)}{\gamma(s)} \left(1 - \exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right) \right) \right] + L^{-1} \left[\left(-\frac{t_m}{s} + \frac{t_m s}{s^2 + \omega^2} \right) \exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right) \right], \quad (2-41)$$

rozwijając funkcję $\exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right)$ w szereg potęgowy

$$\exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right)^n}{n!}$$

i przyjmując z dokładnością wystarczającą dla celów inżynierskich dwa pierwsze wyrazy rozwinięcia, otrzymuje się po przekształceniach

$$L^{-1} \left[\frac{\psi(s)}{\gamma(s)} \left(1 - \exp\left(-\frac{\gamma(s)}{\nu} x\right) \right) \right] = \frac{x}{\nu} L^{-1} [\psi(s)],$$

podstawiając za $\psi(s)$ (2-37) i dokonując odwrotnego przekształcenia Laplace'a otrzymuje się:

$$\frac{x}{\nu} L^{-1} [\psi(s)] = \frac{x}{\nu} \left(-K_1 - H_1 K_2 \left[1 - \exp(-H_2 \tau) \right] \right)$$

wyrażenie $\varphi(s)$ (2-36) można przekształcić do postaci

$$\varphi(s) = H_1(b-1) + s - \frac{H_1(H_3 + H_2b)}{s + H_2},$$

podstawiając do drugiego składnika wyrażenia na $t'(x,s)$ (2-40), po przekształceniach otrzymuje się:

$$L^{-1} \left[\left(-\frac{t_m}{s} + \frac{t_m s}{s^2 + \omega^2} \right) \exp \left(-\frac{\varphi(s)}{v} x \right) \right] = \left(-\frac{t_m}{s} + \frac{t_m s}{s^2 + \omega^2} \right) \exp \left(-H_1(b-1) \frac{x}{v} \right) \exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \exp \frac{H_1(H_3 + H_2b)}{s + H_2} \frac{x}{v},$$

biorąc dwa pierwsze wyrazy rozwinięcia funkcji $\exp \frac{H_1(H_3 + H_2b)}{s + H_2}$

$\frac{x}{v}$ w szereg potęgowy, otrzymuje się po wszystkich przekształceniach

$$\begin{aligned} = L^{-1} & \left[\exp \left[-H_1(b-1) \frac{x}{v} \right] \left\{ -\exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \frac{t_m}{s} - \frac{x}{v} t_m H_1(H_3 + H_2b) \right. \right. \\ & \exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \frac{1}{s(s + H_2)} + t_m \exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \frac{s}{s^2 + \omega^2} + \frac{x}{v} t_m H_1 \\ & (H_3 + H_2b) \left[\exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \frac{s}{s^2 + \omega^2} \frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} + \exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \right. \\ & \left. \left. \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \frac{\omega}{H_2^2 + \omega^2} - \frac{H_2^2 + \omega^2}{s + H_2} \exp \left(-s \frac{x}{v} \right) \right] \right\} \right] = \quad (2-42) \end{aligned}$$

a po dokonaniu odwrotnego przekształcenia Laplace'a:

$$\begin{aligned} = \exp \left[-H_1(b-1) \frac{x}{v} \right] & \left\{ -t_m \mathbb{1} \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \frac{x}{v} t_m H_1(H_3 + H_2b) \right. \\ & \left[\mathbb{1} - \exp \left(-H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right) \right] + t_m \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \frac{x}{v} t_m H_1 \\ & (H_3 + H_2b) \left[\frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \right. \end{aligned}$$

$$+ \frac{\omega}{H_2^2 + \omega^2} \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \exp \left(- H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right) \Bigg\} . \quad (2-43)$$

Temperaturę cieczy w dowolnym punkcie przewodu w dowolnej chwili czasowej można więc wyrazić za pomocą zależności:

$$\begin{aligned} t' \left(x, \tau \right) = & \frac{x}{v} \left[- K_1 - H_1 K_2 \left(1 - \exp \left(- H_2 \tau \right) \right) \right] + \\ & + \exp \left[- H_1 \left(b-1 \right) \frac{x}{v} \right] \left\{ - t_m \mathbb{I} \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \frac{x}{v} t_m H_1 \left(H_3 + H_2 b \right) \right. \\ & \left. \left(1 - \exp \left[- H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right] \right) + t_m \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \frac{x}{v} t_m H_1 \left(H_3 + H_2 b \right) \right. \\ & \left. \left(\frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \frac{\omega}{H_2^2 + \omega^2} \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \right. \right. \\ & \left. \left. \exp \left[- H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right] \right\} . \quad (2-44) \end{aligned}$$

Powracając do pierwotnego układu współrzędnych (2-25) otrzymuje się ostateczną postać rozwiązania

$$\begin{aligned} t \left(x, \tau \right) = & t_{po} + \frac{x}{v} + \left[H_1 \left(t_{po} - t_{10} \right) - H_1 \left(H_2 t_{wo} - H_3 t_{po} - H_4 t_o \right) \right. \\ & \left. \left(1 - \exp \left(H_2 \tau \right) \right) \right] + \exp \left[- H_1 \left(b-1 \right) \frac{x}{v} \right] \left\{ - b_m \mathbb{I} \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \frac{x}{v} b_m H_1 \right. \\ & \left. \left(H_3 + H_2 b \right) \left(1 - \exp \left[- H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right] \right) + \left[\left(t_m + \frac{x}{v} t_m H_1 \left(H_3 + H_2 b \right) \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \frac{x}{v} t_m H_1 \left(H_3 + H_2 b \right) \left(\frac{\omega}{H_2^2 + \omega^2} \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{H_2}{H_2^2 + \omega^2} \exp \left[- H_2 \left(\tau - \frac{x}{v} \right) \right] \right\} . \quad (2-45) \end{aligned}$$

a wprowadzając oznaczenia:

$$A(x) = \frac{x}{v} \left[-H_1(t_{po} - t_{10}) - H_1(H_2 t_{10} - H_3 t_{po} - H_4 t_0) - \right. \\ \left. - \frac{x}{v} t_m H_1 (H_3 + H_2 b) \right] \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} \right],$$

$$B(x) = t_m \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} \right],$$

$$C(x) = \frac{x}{v} + \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} + H_2 \frac{x}{v} \right] - \frac{x}{v} \frac{t_m H_1 H_2}{H_2^2 + \omega^2} (H_3 + H_2 b) \\ \exp \left(H_2 \frac{x}{v} \right),$$

$$D(x) = t_m \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} \right] + \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} \right] \frac{x}{v} \frac{H_2 t_m H_1}{H_2^2 + \omega^2} \\ (H_3 + H_2 b),$$

$$E(x) = \frac{x}{v} \frac{\omega t_m H_1}{H_2^2 + \omega^2} (H_3 + H_2 b) \exp \left[-H_1 (b-1) \frac{x}{v} \right],$$

otrzymuje się po przekształceniach:

$$t(x, \tau) = t_{po} + A(x) + B(x) \mathbb{I} \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + C(x) \exp \left(-H_2 \tau \right) + \\ + D(x) \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + E(x) \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right). \quad (2-46)$$

Sprawdzenie poprawności rozwiązania dokonuje się przez sprawdzenie warunków granicznych:

- sprawdzenie warunku brzegowego

$$t(0, \tau) = t_{po} + t_m \cos \omega \tau - t_m = t_p + t_m \cos \omega \tau$$

co jest zgodne z przyjętym założeniem,

- sprawdzenie warunku początkowego

$$t(0, 0) = t_{po} = t_p + t_m$$

wynik ten jest również zgodny z przyjętym założeniem.

Poprawność rozwiązania można również stwierdzić przeprowadzając interpretację fizyczną. Jeśli założyć np., że woda będzie płynęła z prędkością nieskończenie dużą $v \rightarrow \infty$, wówczas

$$t(x, \tau) = t_{po} = t_p + t_m = t(0, 0) ,$$

a więc temperatura cieczy równa jest temperaturze w chwili początkowej wobec czego nie nastąpi ochłodzenie cieczy..

Otrzymana zależność (2-46) na określenie temperatury cieczy w dowolnym przekroju przewodu w dowolnej chwili czasowej jest równoważne zależności (2-8), różnica w wynikach końcowych wynika z różnych warunków wyjściowych przyjętych do rozwiązania oraz z pewnych uproszczeń jakie przyjęto w rozwiązaniu (2-46), jednak wyniki jakie otrzymano po podstawieniu konkretnych wartości są identyczne.

Wnioski jakie można wysnuć z otrzymanego rozwiązania (2-46) są identyczne jak w przypadku punktu 2.1.

2.2.1. Zmiana temperatury w ścianie izolacji przewodu przy wymuszeniach harmonicznym

Korzystając z równań (2-34) oraz (2-40) po przekształceniach otrzymuje się:

$$t'_1(x, s) = -b t'(x, s) + \frac{H_3 + b H_2}{s + H_2} t'(x, s) - \frac{K_2}{s(s + H_2)} ,$$

$$t'_1(x, \tau) = b t'(x, \tau) - K_2 [1 - \exp(-H_2 \tau)] + (H_3 + b H_2) L^{-1}$$

$$\left[t'(x, s) \frac{1}{s + H_2} \right] ,$$

ponieważ

$$L^{-1} [t'(x, s)] = t'(x, \tau) \quad ; \quad L^{-1} \left[\frac{1}{s + H_2} \right] = \exp(-H_2 \tau),$$

korzystając z twierdzenia Borala o splocie otrzymuje się:

$$L^{-1} \left[t'(x, s) \frac{1}{s + H_2} \right] = \int_0^\tau t'(x, u) \exp[-H_2(\tau - u)] du,$$

po scałkowaniu oraz po podstawieniu za $t'(x, \tau)$ otrzymuje się:

$$L^{-1} \left[t'(x, s) \frac{1}{s + H_2} \right] = K(x) + L(x) \exp(-H_2 \tau) + M(x) \cos \omega$$

$$\left(\tau - \frac{x}{v} \right) - M(x) \exp(-H_2 \tau) \cos \omega \frac{x}{v} + N(x) \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + N(x) \exp(-H_2 \tau) \sin \omega \frac{x}{v},$$

$$\text{gdzie: } K(x) = \frac{A(x) + B(x)}{H_2},$$

$$L(x) = C(x) \tau - A(x) - B(x),$$

$$M(x) = \frac{D(x) H_2 - E(x) \omega}{H_2^2 + \omega^2},$$

$$N(x) = \frac{D(x) \omega + E(x) H_2}{H_2^2 + \omega^2},$$

temperaturę ścianki izolacji określa zależność

$$t'_1(x, \tau) = -b t'(x, \tau) - K_2 [1 - \exp(-H_2 \tau)] + (H_3 + b H_2) \quad (2-47)$$

$$\left[K(x) + L(x) \exp(-H_2 \tau) + M(x) \cos \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) - M(x) \exp(-H_2 \tau) \cos \omega \frac{x}{v} + N(x) \sin \omega \left(\tau - \frac{x}{v} \right) + \exp(-H_2 \tau) N(x) \sin \omega \frac{x}{v} \right],$$

korzystając z zależności (2-25) i (2-25)

$$t'(x, \tau) = t(x, \tau) - t_{po} ,$$

$$t_1(x, \tau) = t'_1(x, \tau) + t_{10} ,$$

oraz podstawiając do (2-47) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} t_1(x, \tau) = t_{10} - b [t(x, \tau) - t_{po}] - K_2 [1 - \exp(-H_2 \tau)] + \\ + (H_3 + b H_2) [K(x) + L(x) \exp(-H_2 \tau) + M(x) \cos \omega(\tau - \frac{x}{v}) - \\ - M(x) \exp(-H_2 \tau) \cos \omega \frac{x}{v} + N(x) \sin \omega(\tau - \frac{x}{v}) + \exp(-H_2 \tau) \\ N(x) \sin \omega \frac{x}{v}] . \end{aligned} \quad (2-48)$$

Temperaturę izolacji przewodu otrzymuje się podstawiając (2-18) do (2-19)

$$\begin{aligned} t_1(r, x, \tau) = t_{10} - b [t(x, \tau) - t_{po}] - K_2 [1 - \exp(-H_2 \tau)] + \\ + (H_3 + b H_2) [K(x) + L(x) \exp(-H_2 \tau) + M(x) \cos \omega(\tau - \frac{x}{v}) - \\ - M(x) \exp(-H_2 \tau) \cos \omega \frac{x}{v} + N(x) \sin \omega(\tau - \frac{x}{v}) + \\ + \exp(-H_2 \tau) N(x) \sin \omega \frac{x}{v}] - a [t_{po} + A(x) + B(x) \exp(-\frac{x}{v}) + \\ + C(x) \exp(-H_2 \tau) + D(x) \cos \omega(\tau - \frac{x}{v}) + E(x) \sin \omega(\tau - \frac{x}{v}) - t_0] \\ \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_3}{r_2}} . \end{aligned} \quad (2-49)$$

Jest to zależność pozwalająca na określenie temperatury izolacji

w dowolnej odległości od rozpatrywanego przekroju rurociągu. W założeniach przyjętych do rozwiązania układu równań opisujących pole temperatury w strumieniu przepływającej cieczy oraz w ścianie izolacji założono, że temperatura otoczenia t_0 ma wartość stałą. Dla spełnienia tego warunku amplituda zmian temperatury na zewnętrznej powierzchni izolacji powinna być możliwie mała.

Korzystając z równania (2-49) w celu spełnienia wyżej wymienionego warunku powinna zachodzić zależność

$$a t_m \exp \left[- H_1 (b-1) \frac{x}{\nu} \right] + a \exp \left[- H_1 (b-1) \frac{x}{\nu} \right] \frac{x}{\nu} \frac{H_2 t_m H_1}{H_2^2 + \omega^2}$$

$$(H_3 + H_2 b) \leq \delta$$

gdzie: δ - założona amplituda na zewnętrznej powierzchni izolacji,

$$t_m \leq \frac{\delta}{a \exp \left[- H_1 (b-1) \frac{x}{\nu} \right] + a \exp \left[- H_1 (b-1) \frac{x}{\nu} \right] \frac{x}{\nu} \frac{H_2 H_1}{H_2^2 + \omega^2} (H_3 + H_2 b)}$$

(2-50)

3. Metodyka określania strat przesyłu ciepła

Jednostkowe straty ciepła na badanym odcinku rurociągu określa następujący wzór:

$$q_1 = 10^3 \frac{\pi}{4} d^2 \varrho_c c_c \frac{\Delta t_{sr}}{\tau_0} \quad \text{W/m}, \quad (3-1)$$

gdzie: d - wewnętrzna średnica przewodu, m,

ϱ_c - gęstość wody, kg/m^3 ,

c_c - ciepło właściwe wody, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$,

Δt_{sr} - średni spadek temperatury wody na odcinku rurociągu wywołany stratami ciepła do otoczenia, K,

τ_0 - czas przepływu wody przez badany odcinek, s.

Podstawowymi wielkościami, które w zasadniczy sposób wpływają na dokładność określenia jednostkowych strat są; średni spadek temperatury wody na badanym odcinku oraz czas przepływu wody.

Przed przystąpieniem do opracowania metod określania τ_0 i Δt_{sr} celowym jest ustalenie związku między wykresami zmian średnich temperatur przy przepływie cieczy, które były omówione w punkcie 2 i wykresami zbudowanymi na podstawie odczytów temperatur w danym punkcie poprzecznego przekroju strumienia.

3.1. Wykresy zmian temperatur w danym punkcie a średnia temperatura cieczy

Do tej pory obiektem badań były krzywe charakteryzujące średnie temperatury w danym przekroju poprzecznym strumienia wody. W proponowanej metodyce natomiast dopuszcza się wykorzystanie wykresów zmian temperatur zbudowanych na podstawie pomiarów

dokonanych w poszczególnych podobnych punktach początkowego i końcowego przekroju poprzecznego rurociągu /np. w punktach położonych na osi rurociągu/.

Aby przy opracowywaniu badań cieplnych mieć możliwość wykorzystania rezultatów badań przedstawionych w pierwszej części opracowania, koniecznym jest ustalenie związków między własnościami zmian średnich temperatur oraz temperatur zmierzonych w jednym punkcie poprzecznego przekroju.

Po zakończeniu stabilizacji cieplnej izotermiczne powierzchnie, podobne kształtem do powierzchni prędkości, przybierają ustalony kształt i przepływają ze średnią prędkością. Stąd wynika wniosek, że podobne elementy wykresów średnich temperatur, w ustabilizowanym odcinku powinny odpowiadać sobie kształtem. Oczywiście nie tylko środki ciężkości poszczególnych elementów wykresów, ale w same elementy powinny poruszać się ze średnią prędkością. W takim razie prędkości przemieszczania elementów wykresów średnich temperatur i elementów pól temperatur w ustabilizowanym odcinku są sobie równe.

W związku z powyższym dochodzi się do ważnego wniosku, że prędkość przemieszczania poszczególnych elementów wykresów temperatur w danym punkcie i wykresów średnich temperatur znajdujących się w strefie stabilizacji cieplnej są sobie równe.

Ustalone wyżej równości prędkości przemieszczania wykresów elementów średnich temperatur i wykresów temperatur w punktach, odnoszące się do ustabilizowanego odcinka pozwalają na określenie prędkości przemieszczania średnich elementów wykresów według wykresów prędkości elementów w punkcie.

3.2. Stabilizacja cieplna powierzchni izotermicznych

Na początku przewodu można wyróżnić odcinek stabilizacji cieplnej i odcinek stabilizacji hydraulicznej. Zarówno przy przepływie laminarnym jak i burzliwym na początku odcinka /licząc od przekroju wlotowego/ profil prędkości jak i temperatury w przekroju osiowym ma kształt prostokąta.

Przy przepływie laminarnym płaski profil pod wpływem sił tarcia zaczyna się wydłużać i na niewielkiej odległości od przekroju początkowego przejmuje i w dalszej części zachowuje kształt paraboli.

Przy przepływie burzliwym płaski profil pod wpływem sił tarcia przekształca się; przejmując przy ścianie kształt paraboli, a w osi strumienia kształt płaski.

Długość odcinka początkowego przy przepływie laminarnym określa zależność [25]

$$L = 0,03 d R_e \quad m, \quad (3-2)$$

gdzie: d - średnica przewodu, m ,

R_e - liczba Reynoldsa.

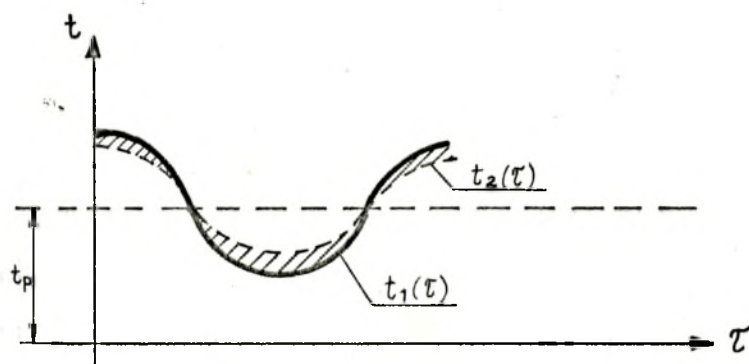
Długość początkowego odcinka przy przepływie burzliwym została ustalona przez badania Ałasliewa [39] i wynosi:

$$L \cong 25 \div 40 d \quad (3-3)$$

Jeśli fizyczne własności cieczy na odcinku ustabilizowanym nie ulegają zmianie to zarówno profil prędkości jak i temperatury zachowuje swój kształt.

3.3. Czas przepływu cieczy przez odcinek

Jak to zostało udowodnione w punkcie 2, czas przepływu cieczy przez odcinek równy jest czasowi przepływu fali cieplnej. W celu wyznaczenia średniego czasu przepływu cieczy rozpatruje się odpowiednie elementy wykresów rozkładu temperatur uzyskanych w przekrojach początkowym i końcowym badanego odcinka rys.2.2. Nakładając te wykresy na siebie poszukuje się minimum różnicy pól zawartych między nimi /rys.3.1/.



Rys.3.1. Rozkład temperatury wody na badanym odcinku.

$t_1(\tau)$ - zmiana temperatury na odcinku początkowym,

$t_2(\tau)$ - zmiana temperatury na odcinku końcowym.

Wielkość przesunięcia, dla którego różnica pól co do wartości bezwzględnej osiągnie wartość minimalną będzie czasem przepływu cieczy przez odcinek. Czas ten można wyznaczyć dwójako; jeśli czas (τ) jest dostatecznie duży wtedy można go wyznaczyć graficznie nakładając wykresy na siebie, popełniony błąd względny zależy wtedy od τ , lub numerycznie wg programu podanego w p. 3.3.1.

Oznaczając krzywe zmiany temperatury na odcinku początkowym i końcowym odpowiednio przez $t_1(\tau)$ i $t_2(\tau)$ poszukuje się wartości τ_0 , dla której całka

$$I(\tau_0) = \int_a^b |t_1(\tau) - t_2(\tau + \tau_0)| d\tau \quad (3-4)$$

przyjmuje wartość minimalną.

Wartość τ_0 wyznaczono metodą iteracji. Przyjmuje się początkowo przesunięcie równe τ_1 i oblicza się $I(\tau_1 - \delta)$, $I(\tau_1)$ i $I(\tau_1 + \delta)$ /gdzie: δ - dowolna wielkość). Jeżeli $I(\tau_1 - \delta) \gg I(\tau_1) \wedge I(\tau_1 + \delta) \gg I(\tau_1)$ to w przedziale $\langle \tau_1 - \delta, \tau_1 + \delta \rangle$ poszukuje się wartości najmniejszej obliczając wartość funkcji $I(\tau)$ w punktach przedziału $\langle \tau_1 - \delta, \tau_1 + \delta \rangle$ odległych o wartość $\delta\tau$ /gdzie: $\delta\tau$ - założona dokładność określenia τ).

Natomiast jeśli $I(\tau_1 - \delta) \wedge I(\tau_1) \vee I(\tau_1 + \delta) \wedge I(\tau_1)$ to $\tau_2 = \tau_1 - \delta \vee \tau_2 = \tau_1 + \delta$, wtedy dla τ_2 postępuje się tak samo jak dla τ_1 itd.

3.3.1. Okreslenie czasu przeplywu wody na odcinku
poniarowym

```
begin
  real a, b, p, q, p1, q1, r, r1, del, k, eps, d, s, S1, S2, h,
    t,
    min, RR, l;
  integer i, j, n, m;

  procedure wykrr(N,a,b,F,X);
  value N,a,b;
  integer N;
  real a,b;
  array F;
  integer array X;
  begin
    integer i,j,k,P,s,z;
    real h,H,max,min,T,y;
    integer array FF[1:N];
    max:=min:=F[1];
    for i:=2 step 1 until N do
      if max lt F[i] then max:=F[i]
      else if min gt F[i] then min:=F[i];
    T:=max-min;
    P:=.6*N*T/(b-a);
    for i:=1 step 1 until N do
      begin
        FF[i]:=(P-1)*(F[i]-min)/T+1;
        if FF[i] lt 1 then FF[i]:=1 else
          if FF[i] ge P then FF[i]:=P
        end;
      H:=T/(P-1);
      y:=max;

      print(' ?.....TAU.....T?');
      for i:=P step -1 until 1 do
        begin
          s:=P-i+1;
          if s < N then
            begin
              z:=X[s] + 60;
              format(' ?.....111/01.....1111.11');
              print(z,X[s]-z*60,F[s]);
              space(13)
            end
          else space(38);
          format(' -111.11....');
          if i=1 then
            print(min)
          else print(y);
```

```

y:=y-H;
k:=0;
for j:=1 step 1 until N do
  if FF[j]=1 then
    begin
      space(j-k-1);      print('+');      k:=j;
    end;
  end;
end;

format('#####111/01#####1111.11');
if P < N then
  for j:=P+1 step 1 until N do
    begin
      z:=X[j] + 60;
      print(z,X[j]-z*60,P[j])
    end
  end wykr;

read(n,k,i,j);
a:=i*60+j;
read(i,j);
b:=i*60+j;
m:=b-a;
m:=if m + 2*2=m then m else m+1;
eps:=.01;  del:=.25;
begin
  array Y1,Y2[1:n];
  integer array X1,X2[1:n];
  real procedure F(x);
  value x;
  real x;
  begin
    integer i,k;
    i:=1;      k:=0;
    for k:=k+1 while X1[k] < x do
      i:=i+1;
      p1:=(Y1[i]-Y1[i-1]);
      q1:=(Y1[i+1]-Y1[i]);
      r1:=(q1-p1)*.5;
      r1:=x-X1[i-1];
      F:=Y1[i-1]+p1*r1+q1*r1*(x-X1[i]);
    end F;

  real procedure f(x);
  value x;
  real x;
  begin
    integer i, k;
    i:=1;      k:=0;
    for k:=k+1 while X2[k] < x do
      i:=i+1;
      p1:=(Y2[i]-Y2[i-1]);
      q1:=(Y2[i+1]-Y2[i]);
      r1:=(q1-p1)*.5;
      r1:=x-X2[i-1];
      f:=Y2[i-1]+p1*r1+q1*r1*(x-X2[i])
    end
  end
end

```

```

end f; ...
real procedure H(x,k);
value x,k;
real x,k;
H:=abs(F(x)-f(x+k)+t);
real procedure R(k);
value k;
real k;
begin
  h:=(b-a)/m;
  S1:=S2:=.0;
  for j:=1 step 2 until m-1 do
    S1:=S1+H(a+j*h,k);
  for j:=2 step 2 until m-2 do
    S2:=S2+H(a+j*h,k);
  R:=(H(a,k)+H(b,k)+4.0*S1+2.0*S2)*h/3.0
end R;

real procedure RF(M);
real procedure M;
begin
  h:=(b-a)/m;
  S1:=S2:=.0;
  for j:=1 step 2 until m-1 do
    S1:=S1+M(a+j*h);
  for j:=2 step 2 until m-2 do
    S2:=S2+M(a+j*h);
  RF:=(M(a)+M(b)+4.0*S1+2.0*S2)*h/3.0
end RF;

read(i,j);
j:=i*60+j-1;
for i:=1 step 1 until n do
begin
  X1[i]:=j+i;
  read(Y1[i])
end;
read(i,j);
j:=i*60+j-1;
for i:=1 step 1 until n do
begin
  X2[i]:=i+i;
  read(Y2[i])
end;
print('???.....P-R-Z-B-K-R-O-J-L-P-O-C-Z-A-T-K-O-W-Y?');
wykr(n,.0,3.0,Y1,X1);
line(3);
print('.....P-R-Z-B-K-R-O-J-L-K-O-N-C-O-W-Y?');
wykr(n,.0,3.0,Y2,X2);
line(3);
print('.....W-Y-D-R-U-K-K-O-N-T-R-O-I-N-Y?');

```

```

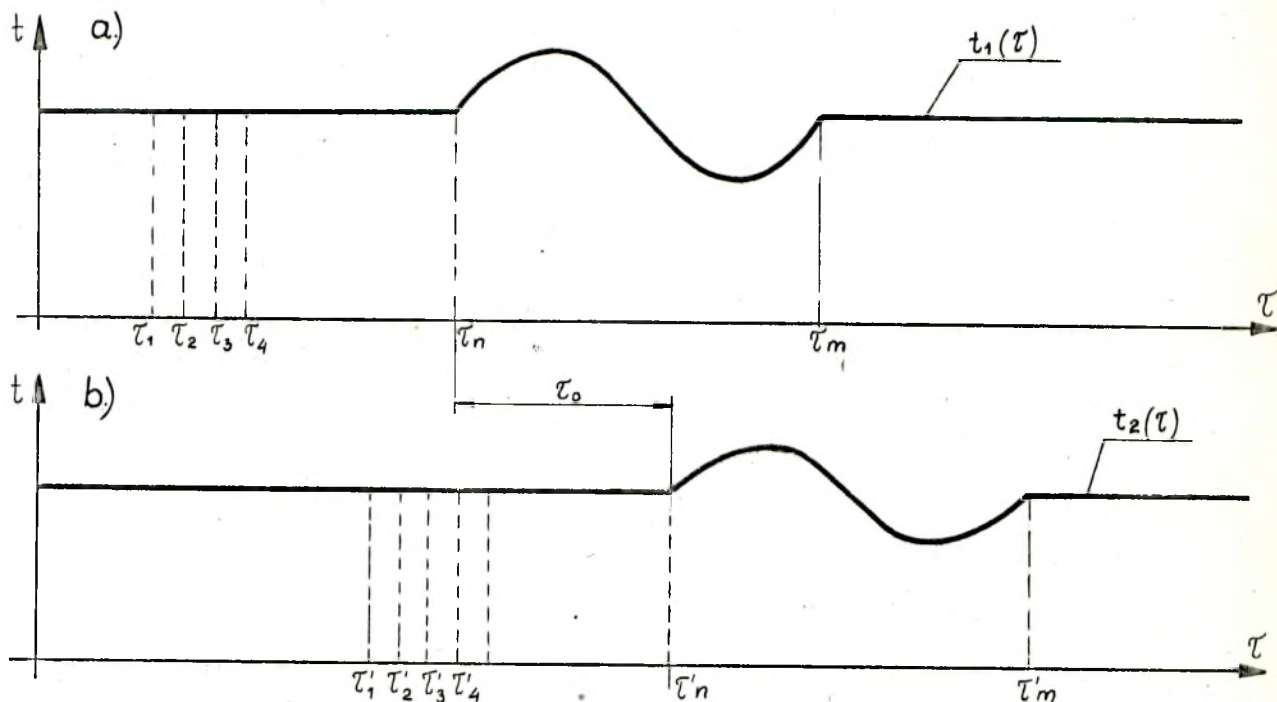
format('----111.11--1111.11--');
t:=F(a)-f(a+k);
for i:=1 step 1 until 10 do
begin
  line(1); d:=k-3+.6*(i-1);
  print(d,R(d),d+.2,R(d+.2),d+.4,R(d+.4));
end;
E:
q:=R(k);          p:=R(k+del);      r:=R(k-del);
  if q > r ^ q > p then
  begin
    print('???NIE MA MINIMUM???');
    goto EE
  end;
  if q > p v q > r then
  begin
    k:= if q > p then
      k+del else k-del;
    goto E
  end;

  if del > 10.0*eps then
  begin
    del:=.5*del;
    goto E
  end;
d:=1:=k-del;
s:=k+del;
min:=r;
for k:=1 step eps until s do
begin
  RR:=R(k);
  if min < RR then
    goto FF;
  min:=RR;
  d:=k;
FF: end;
format('???-----PRZESUNIECIE=-111.111
      ??-----POLE=-----1111.1111???');
print(d,min);
format('--1111.1111');
p:=RF(F);
a:=a+k;      b:=b+k;      q:=RF(f);
print('??-----POLN-W-PRZEKROJU-POCZATKOWYM-F1= ',p);
print('??-----POLN-W-PRZEKROJU-KONCOWYM-F2= ',q);
print('??-----ROZNICA-POLN-F1-F2= ',p-q);
print('??-----SREDNIA-ROZNICA-TEMPERATUR= ',
      (p-q)/(b-a));
line(5);
EE: end;
end?

```

3.4. Średnia różnica temperatur

Średnią różnicę temperatur określa się rozpatrując odpowiadające sobie elementy wykresów rozkładu temperatury na badanym odcinku pomiarowym.



Rys.3.2. Rozkład temperatury cieczy na odcinku pomiarowym

a/ przekrój początkowy, b/ przekrój końcowy,

τ_0 - czas przepływu cieczy przez odcinek.

Średnią temperaturę w przekroju początkowym określa się z zależności:

w przedziale $\langle \tau_1, \tau_n \rangle$ dla warunków ustalonych

$$t_{1sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_n} t_1(\tau) d\tau}{\tau_n - \tau_1}, \quad (3-5)$$

w przedziale $\langle \tau_n, \tau_m \rangle$ dla warunków nieustalonych

$$t_{1\text{śr}} = \frac{\int_{\tau_n}^{\tau_m} t_1(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_n} \quad (3-6)$$

Podobnie określa się średnie temperatury w przekroju końcowym. Średnią różnicę temperatur określa się z zależności

$$\Delta t_{\text{śr}} = t_{1\text{śr}} - t_{2\text{śr}}. \quad (3-7)$$

Do określenia średniej różnicy temperatur na odcinku pomiarowym opracowany został program numeryczny. W punkcie 3.3.1 podano program, który umożliwia określenie średniej różnicy temperatur w warunkach nieustalonych (przedział $\langle \tau_n, \tau_m \rangle$ rys.3.2), natomiast w punkcie 3.4.1 program numeryczny do określenia średniej różnicy temperatur w warunkach ustalonych. W warunkach ustalonych można średnią różnicę temperatur obliczyć bez korzystania z metod numerycznych. Różnice temperatur odpowiednich elementów cieczy /element cieczy w przekroju początkowym o temperaturze $t_1(\tau_1)$ znajdzie się w przekroju końcowym po czasie równym τ_0 i będzie miał temperaturę $t_2(\tau'_1)$ /dla poszczególnych pomiarów określają zależności:

$$\Delta t_1 = t_1(\tau_1) - t_2(\tau'_1),$$

$$\Delta t_2 = t_1(\tau_2) - t_2(\tau'_2),$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$\Delta t_n = t_1(\tau_n) - t_2(\tau'_n),$$

średnią różnicę temperatur w tym przypadku określa zależność

$$\Delta t_{\text{sr}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n}{n}, \quad (3-8)$$

gdzie: n - ilość pomiarów w danym przekroju.

3.4.1. Okreslenie sredniego spadku temperatury wody
na odcinku pomiarowym

```
begin
  integer n,i,j,tau1,tau2,k,l,p,q;
  real r,t;

  real procedure Sim(X,m);
  value m;      integer m;
  array X;
  begin
    real S1,S2;
    integer i;
    S1:=S2:=.0;
    for i:=1 step 2 until m-1 do
      S1:=S1+X[i];
    for i:=2 step 2 until m-2 do
      S2:=S2+X[i];
    Sim:=(X[0]+X[m]+4×S1+2×S2)/3
  end;
  read(n);
  if n ÷ 2×2=n then
    begin
      print('??MUSI BYC NIEPARZYSTA LICZBA POMIAROW??');
      goto E
    end;

  read(i,j);
  tau1:=i×60+j;
  begin
    array T1,T2[0:n-1];
    read(T1,i,j,T2);
    tau2:=i×60+j;
    print('???PRZEKROJ POCZATKOWY');
    print('PRZEKROJ KONCOWY??');
    print('TAU');
    format('111/01111.11');
    k:=tau1;    l:=tau2;
    for i:=0 step 1 until n-1 do
      begin
        line(1);
        p:=k ÷ 60;    q:=l ÷ 60;
        space(21);
        print(p,k-p×60,T1[i]);
        space(10);
        print(q,l-q×60,T2[i]);
        k:=k+1;
        l:=l+1;
      end;

    line(10);
    format('11111.1111');
    r:=Sim(T1,n-1);    t:=Sim(T2,n-1);
    print('SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM',r/(n-1));
    print('SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM',t/(n-1));
    print('SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR',(r-t)/(n-1));
    line(5);
  end;
E: end?
```

3.5. Porównanie strat ciepła określonych w różnych warunkach pracy sieci cieplnej

Jednostkowe straty ciepła sieci cieplnej są wprost proporcjonalne do różnicy temperatur pomiędzy średnią temperaturą cieczy w przewodzie a temperaturą otoczenia a odwrotnie proporcjonalne do całkowitego oporu cieplnego izolacji cieplnej

$$q_1 = \frac{t_w - t_o}{R} \quad \text{W/m} , \quad (3-9)$$

gdzie: t_w - średnia temperatura cieczy w przewodzie, $^{\circ}\text{C}$,

t_o - temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$,

R - całkowity opór cieplny izolacji, $(\text{m.K})/\text{W}$.

Zmiana warunków pracy sieci cieplnej /zmiana temperatury cieczy w przewodzie/ powoduje zmianę strat ciepła. Aby móc porównać straty ciepła określone dla tego samego odcinka w różnych warunkach pracy należy wyprowadzić zależności umożliwiające przeliczanie wyników pomiaru na określone warunki umowne zwane warunkami odniesienia. Jednostkowe normatywne straty ciepła odnoszone są na ogół do średniorocznych warunków pracy sieci /średniorocznej temperatury zasilania i średniorocznej temperaturze powrotu, przyjętych z wykresu regulacyjnego danej sieci dla średniorocznej temperatury powietrza zewnętrznego/.

Zależności umożliwiające przeliczenie zmierzonych strat ciepła na warunki dowolne będą zależały od sposobu ułożenia sieci cieplnej.

3.5.1. Sieci cieplne ułożone systemem bezkanałowym

Straty cieplne przewodów ułożonych systemem bezkanałowym określają następujące zależności:

- dla przewodu zasilającego

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{L1}} = R_{1z}, \quad (3-10)$$

gdzie: t_{w1} - temperatura wody w przewodzie zasilającym, °C,

t_{gr} - temperatura gruntu w osi ułożenia przewodu, °C,

q_{L1} - jednostkowe straty ciepła przewodu zasilającego, W/m

R_{1z} - opór cieplny izolacji przewodu zasilającego, (m·K)/W

Opór cieplny izolacji przewodu zasilającego określa zależność:

$$R_{1z} = \frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_{iz1}}}{2 \pi \lambda_{gr}} + \frac{q_{12}}{q_{L1}} \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2 \pi \lambda_{gr}}, \quad (3-11)$$

gdzie: d_z - zewnętrzna średnica przewodu, m,

d_{iz1} - zewnętrzna średnica izolacji, m,

h - głębokość ułożenia przewodów liczona do osi, m,

k - odległość między osiami przewodów, m,

λ_{iz} - współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacji, W/(m·K),

λ_{gr} - współczynnik przewodzenia ciepła gruntu, W/(m·K),

q_{Lz} - jednostkowe straty ciepła, W/m,

oznaczając:

$$\frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{4 h}{d_{iz1}}}{2 \pi \lambda_{gr}} = R_{11} , \quad (3-11a)$$

$$\frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2 h}{k}\right)^2}}{2 \pi \lambda_{gr}} = R_{1,2}$$

to wyrażenie $R_{1,2}$ oznacza dodatkowy opór cieplny uwzględniający wpływ drugiego przewodu.

Uwzględniając powyższe oznaczenia otrzymuje się ostateczną postać zależności dla określenia strat ciepłych przewodu zasilającego

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} = R_{11} + \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2} . \quad (3-12)$$

• dla przewodu powrotnego

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} = R_{1p} , \quad (3-13)$$

gdzie: t_{w2} - temperatura wody w przewodzie powrotnym, °C,

R_{1p} - opór cieplny izolacji przewodu powrotnego, (m.K)/W.

Opór cieplny izolacji przewodu powrotnego określa zależność:

$$R_{1p} = \frac{\ln \frac{d_{iz2}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{4 h}{d_{iz2}}}{2 \pi \lambda_{gr}} + \frac{q_{11}}{q_{12}} \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2 h}{k}\right)^2}}{2 \pi \lambda_{gr}} , \quad (3-14)$$

gdzie: d_{iz2} - zewnętrzna średnica izolacji, m,

oznaczając:

$$\frac{\ln \frac{d_{iz2}}{d_z}}{2\pi\lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_{iz2}}}{2\pi\lambda_{gr}} = R_{12}, \quad (3-14a)$$

otrzymuje się:

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} = R_{12} + \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1,2}. \quad (3-15)$$

Jeżeli jednostkowe straty ciepła zostały doświadczalnie określone w warunkach t_{w1} , t_{w2} , t_{gr} , to dla przeliczenia ich na warunki umowne t_{w1}^n , t_{w2}^n , t_{gr}^n wychodzi się z następującego układu równań:

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} = R_{11} + \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2}, \quad (3-16)$$

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} = R_{12} + \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1,2}, \quad (3-17)$$

$$\frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{q_{11}^n} = R_{11} + \frac{q_{12}^n}{q_{11}^n} R_{1,2} \quad (3-18)$$

$$\frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{q_{12}^n} = R_{12} + \frac{q_{11}^n}{q_{12}^n} R_{1,2} \quad (3-19)$$

gdzie: q_{11}^n - umowne straty ciepła przewodu zasilającego, W/m,
 q_{12}^n - normatywne straty ciepła przewodu powrotnego, W/m.

W powyższym układzie równań założono, że opory cieplne izolacji R_{11} , R_{12} nie ulegają zmianie. Wielkościami zależnymi od temperatury w wyrażeniach (3-11a) i (3-14a) są λ_{iz} i λ_{gr} .

Współczynnik przewodzenia ciepła materiałów izolacyjnych pracujących w niewielkich temperaturach zmienia się niewiele wraz ze zmianą temperatury. Współczynnik przewodzenia ciepła gruntu jest natomiast niezależny od temperatury t_w cieczy w przewodzie. W takim razie przy obliczaniu strat ciepła można założyć, że wielkości λ_{iz} , λ_{gr} są stałe na całej długości przewodu.

Wyznaczając z równań (3-16) i (3-18) wielkości R_{11} oraz z równań (3-17) i (3-19) wielkości R_{12} i porównując je otrzymuje się następujący układ równań:

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} - \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2} = \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{q_{11}^n} - \frac{q_{12}^n}{q_{11}^n} R_{1,2}, \quad (3-20)$$

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} - \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1,2} = \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{q_{12}^n} - \frac{q_{11}^n}{q_{12}^n} R_{1,2}, \quad (3-21)$$

a po przekształceniach otrzymuje się:

$$(q_{11} q_{12}^n - q_{12} q_{11}^n) R_{1,2} = (t_{w1}^n - t_{gr}^n) q_{11} - (t_{w1} - t_{gr}) q_{11}^n, \quad (3-22)$$

$$(q_{12} q_{11}^n - q_{11} q_{12}^n) R_{1,2} = (t_{w2}^n - t_{gr}^n) q_{12} - (t_{w2} - t_{gr}) q_{12}^n, \quad (3-23)$$

Po podzieleniu stronami powyższego układu równań oraz po dalszych przekształceniach otrzymuje się zależność:

$$(t_{w1} - t_{gr}) q_{11}^n + (t_{w2} - t_{gr}) q_{12}^n = (t_{w1}^n - t_{gr}^n) q_{11} + (t_{w2}^n - t_{gr}^n) q_{12}. \quad (3-24)$$

Ta bardzo ważna zależność pozwala na sprawdzenie poprawności badań dokonanych na tym samym odcinku pomiarowym w różnych warunkach /temperaturach/ pracy sieci. Zależność ta ma tą zależność, że nie występują w niej żadne wielkości charakteryzujące własności izolacji oraz gruntu, zawsze trudne do dokładnego ustalenia. Jedynymi wielkościami zmiennymi są temperatury czynnika grzejjego oraz gruntu, które można w łatwy sposób określić.

Dla znalezienia zależności umożliwiających przeliczenie zmierzonych strat ciepła q_{11} , q_{12} na warunki umowne /lub dowolne inne/ q_{11}^n , q_{12}^n korzysta się z układu równań (3-16) do (3-19), który po przekształceniu przyjmuje postać:

$$R_{11} = \frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} - \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2} , \quad (3-25)$$

$$R_{12} = \frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} - \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1,2} , \quad (3-26)$$

$$t_{w1}^n - t_{gr}^n = q_{11}^n R_{11} + q_{1,2}^n , \quad (3-27)$$

$$t_{w2}^n - t_{gr}^n = q_{12}^n R_{12} + q_{11}^n R_{1,2} , \quad (3-28)$$

po wyznaczeniu wielkości q_{12}^n z równań (3-27) i (3-28) oraz ich porównaniu otrzymuje się:

$$\frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n - q_{11}^n R_{11}}{R_{1,2}} = \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n - q_{11}^n R_{1,2}}{R_{12}} , \quad (3-29)$$

a po podstawieniu do powyższego równania wielkości R_{11} oraz R_{12} i po przekształceniach otrzymuje się wyrażenie pozwalające

jące na obliczenie jednostkowych strat ciepła w dowolnych warunkach pracy sieci cieplnej, jeśli znane są straty ciepła w warunkach t_{w1} , t_{w2} , t_{gr}

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{(t_{w1}^n - t_{gr}^n)(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11}(t_{w1}^n - t_{gr}^n) + q_{12}]}{(t_{w1} - t_{gr})(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11}(t_{w1} - t_{gr}) + q_{12}]} \cdot \frac{(t_{w2}^n - t_{gr}^n)] R_{1,2}}{(t_{w2} - t_{gr})] R_{1,2}} \quad (3-30)$$

Po podzieleniu licznika i mianownika przez $t_{w2} - t_{gr}$ otrzymuje się inną postać wyrażenia (3-30)

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n - [q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w2} - t_{gr}} + q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w2} - t_{gr}}] R_{1,2}}{t_{w1} - t_{gr} - [q_{11} \frac{t_{w1} - t_{gr}}{t_{w2} - t_{gr}} + q_{12}] R_{1,2}} \quad (3-31)$$

Analogicznie wyznaczono q_{12}^n

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{(t_{w2}^n - t_{gr}^n)(t_{w1} - t_{gr}) - [q_{11}(t_{w1}^n - t_{gr}^n) + q_{12}]}{(t_{w1} - t_{gr})(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11}(t_{w1} - t_{gr}) + (t_{w2}^n - t_{gr}^n)] R_{1,2}} + q_{12} (t_{w2} - t_{gr})] R_{1,2} \quad (3-32)$$

zaś inną postać powyższego wyrażenia

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{(t_{w2}^n - t_{gr}^n) - [q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w1} - t_{gr}} + q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w1} - t_{gr}}] R_{1,2}}{(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11} + q_{12} \frac{t_{w2} - t_{gr}}{t_{w1} - t_{gr}}] R_{1,2}} \quad (3-33)$$

W wyrażeniach (3-30), (3-32) jedyną wielkością, którą trzeba wyznaczyć dodatkowo jest $R_{1,2}$ zależne od współczynnika przewodzenia ciepła gruntu, głębokości posadowienia sieci, oraz odległości między osiami przewodów.

Jak wykazały obliczenia sprawdzające określenie $R_{1,2}$ z błędem wynoszącym nawet 50 % co w praktyce nie będzie mieć miejsca powoduje niedokładności w określeniu q_{11}^n i q_{12}^n tylko o ok. 5 %.

Jeśli warunki pomiaru zbliżone są do warunków odniesienia to wzory (3-31) i (3-33) z wystarczającą dokładnością można uprościć do postaci:

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w1} - t_{gr}}, \quad (3-34)$$

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w2} - t_{gr}}. \quad (3-35)$$

3.5.2. Sieci cieplne ułożone w oddzielnych kanałach nieprzechodnych

Opór cieplny izolacji przewodu zasilającego określa następująca zależność

$$R_{1z} = \frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2\pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{d_k}{d_{iz1}}}{2\pi \lambda_k} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_k} + \frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_k}}{2\pi \lambda_{gr}} + \frac{q_{12}}{q_{11}} \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{k}\right)^2}}{2\pi \lambda_{gr}}, \quad (3-36)$$

gdzie: α_2 - współczynnik przejmowania ciepła od zewnętrznej powierzchni izolacji do otoczenia, $W/(m^2 \cdot K)$,

d_k - zewnętrzna średnica izolacji, m,

λ_k - współczynnik przewodzenia ciepła ochronnej warstwy izolacji, $W/(m \cdot K)$,

d_{zk} - średnica zastępcza kanału, m

oznaczając:

$$\frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} = R_{11}^{iz} ,$$

$$\frac{\ln \frac{d_k}{d_{iz1}}}{2 \pi \lambda_k} = R_{11}^o ,$$

$$\frac{1}{\alpha_2 \pi d_k} = R_{11}^2 ,$$

$$\frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} = R_{11}^k ,$$

$$\frac{\ln \frac{4 h}{d_{zk}}}{2 \pi \lambda_{gr}} = R_{11}^{gr}$$

otrzymuje się:

$$R_{1z} = R_{11}^{iz} + R_{11}^o + R_{11}^2 + R_{11}^k + R_{11}^{gr} + \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2} ,$$

ostatecznie opór cieplny izolacji przewodu zasilającego

$$R_{1z} = R_{11} + \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1,2} \quad (3-37)$$

Opór cieplny izolacji przewodu powrotnego określa zależność:

$$R_{1p} = \frac{\ln \frac{d_{1z2}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{d_k}{d_{iz1}}}{2 \pi \lambda_k} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_k} + \frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} +$$

$$\frac{\ln \frac{4 h}{d_{zk}}}{2 \pi \lambda_{gr}} + \frac{q_{11}}{q_{12}} \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2 h}{k} \right)^2}}{2 \pi \lambda_{gr}} \quad (3-38)$$

Przyjmując podobne oznaczenia jak w przypadku przewodu zasilającego otrzymuje się ostatecznie:

$$R_{1p} = R_{12} + \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1,2} \quad (3-39)$$

Jak wynika z powyższych zależności opory cieplne izolacji przewodów zasilającego i powrotnego ułożonych w oddzielnych kanałach nieprzechodnych są określone podobnie jak w przypadku sieci ułożonych systemem bezkanałowym.

Wobec tego do obliczeń będą miały zastosowanie wszystkie zależności wyprowadzone w p.3.5.1.

3.5.3. Sieci cieplne ułożone w kanałach nieprzechodnich

Opór cieplny izolacji przewodu zasilającego określa zależność:

$$R_{1z} = \frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{d_k}{d_{iz1}}}{2 \pi \lambda_k} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_k} + \left(\frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_{zk}}}{2 \pi \lambda_{gr}} \right) \left(1 + \frac{q_{12}}{q_{11}} \right), \quad (3-40)$$

korzystając z oznaczeń wprowadzonych w p.3.5.2 oraz oznaczając ponadto:

$$\frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_{zk}}}{2 \pi \lambda_{gr}} = R_{1k},$$

otrzymuje się:

$$R_{1z} = R_{11}^{iz} + R_{11}^o + R_{11}^2 + R_{1k} + R_{1k} \frac{q_{12}}{q_{11}},$$

wprowadzając ponadto dodatkowe oznaczenie:

$$R_{11}^{12} + R_{11}^o + R_{11}^2 = R_{11},$$

opór cieplny izolacji przewodu zasilającego określa ostatecznie zależność:

$$R_{1z} = R_{11} + R_{1k} + R_{1k} \frac{q_{12}}{q_{11}}. \quad (3-41)$$

Podobnie określa się opór cieplny przewodu powrotnego

$$R_{1p} = \frac{\ln \frac{d_{iz2}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{\ln \frac{d_k}{d_{iz2}}}{2 \pi \lambda_k} + \frac{1}{\alpha_2 \pi d_k} +$$

$$+ \left(\frac{1}{\alpha_k \pi d_{zk}} + \frac{\ln \frac{4h}{d_{zk}}}{2 \pi \lambda_{gr}} \right) \left(1 + \frac{q_{11}}{q_{12}} \right), \quad (3-42)$$

wprowadzając podobne oznaczenia jw. otrzymuje się:

$$R_{1p} = R_{12} + R_{1k} + R_{1k} \frac{q_{11}}{q_{12}}. \quad (3-43)$$

Straty ciepłne przewodów ułożonych w kanałach nieprzechoodnich określają zależności

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} = R_{11} + R_{1k} + \frac{q_{12}}{q_{11}} R_{1k}, \quad (3-44)$$

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} = R_{12} + R_{1k} + \frac{q_{11}}{q_{12}} R_{1k}. \quad (3-45)$$

Przyjmując podobne założenia jak w p.3.5.1 można określić straty ciepłne przewodów sieci przy temperaturach t_{w1}^n , t_{w2}^n , t_{gr}^n za pomocą następujących wzorów:

$$\frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{q_{11}^n} = R_{11} + R_{1k} + \frac{q_{12}^n}{q_{11}^n} R_{1k}, \quad (3-46)$$

$$\frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{q_{12}^n} = R_{12} + R_{1k} + \frac{q_{11}^n}{q_{12}^n} R_{1k}. \quad (3-47)$$

Wyznaczając z równań (3-44) i (3-46) wielkości R_{11} oraz z równań (3-45) i (3-47) wielkość R_{12} i porównując je otrzymuje się następujący układ równań:

$$\frac{t_{w1} - t_{gr}}{q_{11}} - R_{1k} \left(1 + \frac{q_{12}}{q_{11}} \right) = \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{q_{11}^n} - R_{1k} \left(1 + \frac{q_{12}^n}{q_{11}^n} \right), \quad (3-48)$$

$$\frac{t_{w2} - t_{gr}}{q_{12}} - R_{1k} \left(1 + \frac{q_{11}}{q_{12}} \right) = \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{q_{12}^n} - R_{1k} \left(1 + \frac{q_{11}^n}{q_{12}^n} \right). \quad (3-49)$$

Po wyznaczeniu z powyższego układu równań wielkości R_{1k} otrzymuje się:

$$(q_{11} q_{12}^n - q_{12} q_{11}^n) R_{1k} = (t_{w1}^n - t_{gr}^n) q_{11} - (t_{w1} - t_{gr}) q_{11}^n, \quad (3-50)$$

$$(q_{12} q_{11}^n - q_{11} q_{12}^n) R_{1k} = (t_{w2}^n - t_{gr}^n) q_{12} - (t_{w2} - t_{gr}) q_{12}^n, \quad (3-51)$$

dzieląc te równania stronami otrzymuje się po przekształceniach:

$$(t_{w1} - t_{gr}) q_{11}^n + (t_{w2} - t_{gr}) q_{12}^n = (t_{w1}^n - t_{gr}^n) q_{11} + (t_{w2}^n - t_{gr}^n) q_{12}. \quad (3-52)$$

Pomimo różnych równań wyjściowych otrzymano identyczną zależność jak w przypadku sieci cieplnych ułożonych systemem

bezkanałowym, umożliwiające sprawdzenie poprawności badań dokonanych na tym samym odcinku pomiarowym w różnych warunkach temperaturowych.

Dla znalezienia zależności umożliwiających przeliczenie zmierzonych strat ciepła q_{11} , q_{12} na warunki umowne /lub dowolno inne/ q_{11}^n , q_{12}^n korzysta się z układu równań (3-44) do (3-47) opisujących straty ciepła rurociągów.

Po wyznaczeniu z równań (3-46) i (3-47) q_{12}^n oraz ich porównaniu otrzymuje się:

$$\frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n - q_{11}^n (R_{11} + R_{1k})}{R_{1k}} = \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n - R_{1k} q_{11}^n}{R_{12} + R_{1k}}$$

a po przekształceniach:

$$q_{11}^n = \frac{R_{12} (t_{w1}^n - t_{gr}^n) + R_{1k} (t_{w1}^n - t_{w2}^n)}{(R_{11} + R_{1k}) (R_{12} + R_{1k}) - R_{1k}^2}$$

podstawiając wielkości R_{11} i R_{12} wyznaczone z równań (3-44) i (3-45) po dokonaniu kolejnych przekształceń otrzymuje się:

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{(t_{w1}^n - t_{gr}^n)(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11} (t_{w1}^n - t_{gr}^n) + q_{12} (t_{w2}^n - t_{gr}^n)] R_{1k}}{(t_{w1} - t_{gr})(t_{w2} - t_{gr}) - [q_{11} (t_{w1} - t_{gr}) + q_{12} (t_{w2} - t_{gr})] R_{1k}}, \quad (3-53)$$

po podzieleniu licznika i mianownika przez $t_{w2} - t_{gr}$ otrzymuje się ostatecznie

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{(t_{w1}^n - t_{gr}^n) - \left[q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w2}^n - t_{gr}^n} + q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w2}^n - t_{gr}^n} \right] R_{lk}}{(t_{w1}^n - t_{gr}^n) - \left[q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w2}^n - t_{gr}^n} + q_{12} \right] R_{lk}} \quad (3-54)$$

Analogicznie wyznaczono q_{12}^n w postaci:

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{(t_{w1}^n - t_{gr}^n)(t_{w2}^n - t_{gr}^n) - [q_{11}(t_{w1}^n - t_{gr}^n) + q_{12}]}{(t_{w1}^n - t_{gr}^n)(t_{w2}^n - t_{gr}^n) - [q_{11}(t_{w1}^n - t_{gr}^n) + q_{12}]} \frac{(t_{w2}^n - t_{gr}^n) R_{lk}}{(t_{w2}^n - t_{gr}^n) R_{lk}}, \quad (3-55)$$

lub po przekształceniu

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{(t_{w2}^n - t_{gr}^n) - \left[q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_{gr}^n}{t_{w1}^n - t_{gr}^n} + q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w1}^n - t_{gr}^n} \right] R_{lk}}{(t_{w2}^n - t_{gr}^n) - \left[q_{11} + q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_{gr}^n}{t_{w1}^n - t_{gr}^n} \right] R_{lk}} \quad (3-56)$$

We wzorach powyższych jedyną wielkością, którą należy wyznaczyć analitycznie jest łączny opór cieplny kanału i otaczającego gruntu R_{lk} , zależny od współczynnika przejmowania ciepła od powietrza w kanale do jego wewnętrznej powierzchni, zastępczej średnicy kanału, głębokości posadowienia przewodów sieci cieplnej oraz współczynnika przewodzenia ciepła gruntu. Wszystkie te wielkości dają się określić dla konkretnych sieci cieplnych z dużą dokładnością. Jak łatwo sprawdzić nawet duże niedokładności w obliczeniu R_{lk} nie powodując istotnych błędów w określeniu q_{11}^n i q_{12}^n . W przypadku, kiedy

warunki temperaturowe w czasie pomiarów są zbliżone do warunków odniesienia umownych, wówczas wzory te upraszczają się do postaci (3-34) i (3-35).

3.5.4. Sieci cieplne ułożone w pomieszczeniach i na odkrytych przestrzeniach

Opór cieplny izolacji przewodu zasilającego określa zależność

$$R_{1z} = \frac{1}{\pi \alpha_{11} d_w} + \frac{\ln \frac{d_{iz1}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{1}{\pi \alpha_2 d_{iz}}, \quad (3-57)$$

gdzie: d_w - wewnętrzna średnica rurociągu, m,

α_{11} - współczynnik przejmowania ciepła od przepływającej wody w przewodzie zasilającym do ścianki rury, $W/(m^2 \cdot K)$.

Natomiast opór cieplny izolacji przewodu powrotnego

$$R_{1p} = \frac{1}{\pi \alpha_{12} d_w} + \frac{\ln \frac{d_{iz2}}{d_z}}{2 \pi \lambda_{iz}} + \frac{1}{\pi \alpha_2 d_{iz}}, \quad (3-58)$$

gdzie: α_{12} - współczynnik przejmowania ciepła od przepływającej wody w przewodzie powrotnym do ścianki rury, $W/(m^2 \cdot K)$.

Wyjściowy układ równań określających straty ciepła w warunkach t_{w1} , t_{w2} , t_o /temperatura otoczenia/ oraz w warunkach t_{w1}^n , t_{w2}^n , t_o^n jest następujący

$$\frac{t_{w1} - t_o}{q_{11}} = R_{1z} \quad (3-59)$$

$$\frac{t_{w2} - t_o}{q_{12}} = R_{1p} \quad (3-60)$$

$$\frac{t_{w1}^n - t_o^n}{q_{11}^n} = R_{1z} \quad (3-61)$$

$$\frac{t_{w2}^n - t_o^n}{q_{12}^n} = R_{1p} \quad (3-62)$$

Po prostych przekształceniach otrzymuje się zależności pozwalające na określenie straty ciepła w dowolnych warunkach, jeśli pomiarów dokonano dla warunków t_{w1} , t_{w2} , t_o ,

$$q_{11}^n = q_{11} \frac{t_{w1}^n - t_o^n}{t_{w1} - t_o}, \quad (3-63)$$

$$q_{12}^n = q_{12} \frac{t_{w2}^n - t_o^n}{t_{w2} - t_o}. \quad (3-64)$$

3.5.5. Wnioski

1. Zależności wyprowadzone wyżej pozwalają na określenie strat ciepła w dowolnych warunkach temperaturowych jeśli znane są straty w warunkach t_{w1} , t_{w2} , t_{gr} lub t_o .

2. Dla uproszczenia obliczeń lepiej dokonywać pomiarów strat ciepła w warunkach temperaturowych zbliżonych do umownych warunków pracy sieci cieplnej odpowiadających średniorocznej temperaturze zasilenia i średniorocznej temperaturze powrotu.

4. Ocena dokładności pomiaru

Integralną częścią pracy jest rachunek błędów. Ma on tutaj szczególne znaczenie, gdyż błędy popełnione mogą mieć ten sam rząd wielkości co wyniki pomiarów.

W związku z powyższym analiza błędu musi spełniać dwa zadania:

- określenie rzeczywistego przedziału ufności danej serii pomiarowej,
- planowanie liczby niezbędnych pomiarów w danym przedziale oraz czasu trwania serii pomiarowej.

Jako równanie wyjściowe w analizie błędów przyjęto następującą zależność określającą stratę ciepła na odcinku sieci:

$$Q = 10^3 \frac{\pi}{4} d^2 \varrho_c c_l \frac{\Delta t_{sr}}{\tau_o} \text{ W}, \quad (4-1)$$

gdzie: d - wewnętrzna średnica przewodu, m,

ϱ_c - gęstość wody (dla $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$), kg/m^3 ,

c_o - ciepło właściwe wody (dla $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$), $\text{kJ/(K} \cdot \text{kg)}$,

l - długość badanego odcinka sieci, m,

$\bar{t}_1$ - średnia temperatura wody w początkowym przekroju poprzecznym odcinka pomiarowego, $^{\circ}\text{C}$,

$\bar{t}_2$ - średnia temperatura wody w końcowym przekroju poprzecznym odcinka pomiarowego, $^{\circ}\text{C}$,

$\Delta t_{sr} = \bar{t}_1 - \bar{t}_2$ - średnia różnica temperatur wody na badanym odcinku, K,

τ_o - czas przepływu wody przez badany odcinek, s.

4.1. Wariancja całkowita pomiaru

Najlepszą miarą określenia dokładności pomiaru złożonego jakim jest strata ciepła na odcinku pomiarowym jest wariancja całkowita [41], którą określa zależność:

$$\zeta^2(Q) = \zeta^2(1) \frac{\partial Q}{\partial l} + \zeta^2(\Delta t_{sr}) \frac{\partial Q}{\partial \Delta t_{sr}} + \zeta^2(\tau_o) \frac{\partial Q}{\partial \tau_o} \quad (4-2)$$

W rozważaniach dotyczących oceny dokładności pomiaru pominięto błąd stałej we wzorze (4-1), którą można przyjąć z taką dokładnością, aby błąd względny mógł być w dalszym rachunku zaniewany; zaniebane również błędy określenia wielkości d , ρ_c , c_c jako pomijalne w stosunku do błędów pomiaru Δt_{sr} oraz τ_o .

Po uwzględnieniu zależności (4-1) i niezbędnych przekształceniach otrzymuje się wariancję całkowitą pomiaru złożonego

$$\zeta^2(Q) = Q^2 \left(\frac{\zeta_1}{l_{sr}} \right)^2 + Q^2 \left(\frac{\zeta \Delta t_{sr}}{\Delta t_{sr}} \right)^2 + Q^2 \left(\frac{\zeta \tau_o}{\tau_{o\,sr}} \right)^2, \quad (4-3)$$

gdzie: l_{sr} - średnia długości odcinka pomiarowego, m,

Δt_{sr} - średnia różnica temperatur wody na badanym odcinku, K,

$\tau_{o\,sr}$ - średni czas przepływu wody przez badany odcinek, s.

Względne odchylenie standardowe określa zależność:

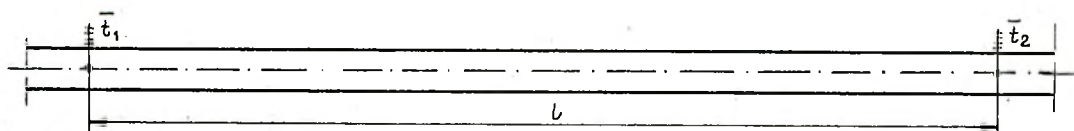
$$\frac{\zeta(Q)}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\zeta(1)}{1} \right)^2 + \left(\frac{\zeta(\Delta t_{sr})}{\Delta t_{sr}} \right)^2 + \left(\frac{\zeta \tau_o}{\tau_{o\,sr}} \right)^2}. \quad (4-4)$$

Jako ostateczną miarę określenia dokładności pomiaru straty ciepła na badanym odcinku sieci przyjęto względne odchylenie standardowe.

4.2. Błąd określenia średniej różnicy temperatury na odcinku pomiarowym dla $t(\tau) \cong \text{const}$.

Średnią różnicę temperatury na odcinku pomiarowym określa się jako różnicę średnich temperatur wody w przekroju początkowym i końcowym odcinka pomiarowego

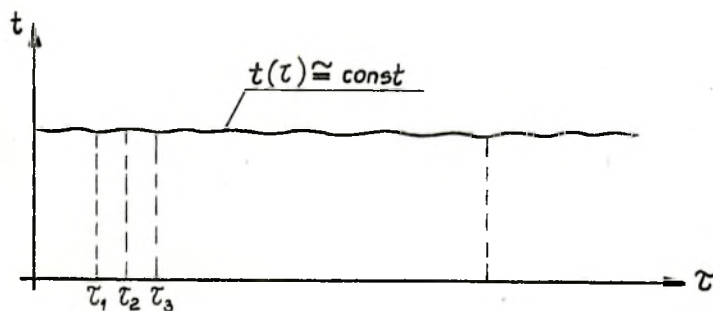
$$\Delta t_{\text{sr}} = \bar{t}_1 - \bar{t}_2 \quad (4-5)$$



Rys.4.1. Schemat odcinka pomiarowego

l - odległość między punktami pomiarowymi

Średnie temperatury w poszczególnych przekrojach pomiarowych określono numerycznie dzieląc pole zawarte pod krzywą $t(\tau)$ (rys.4.2) przez długość rozpatrywanego przedziału czasowego.



Rys.4.2. Rozkład zmian temperatury wody w przekroju pomiarowym

Srednią temperatury wody w przekroju pomiarowym określa zależność

$$\bar{t} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} t(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_1}, \quad (4-6)$$

zgodnie ze wzorem Simpsona [41]

$$\int_{\tau_0}^{\tau_n} t(\tau) d\tau = \frac{1}{3} h \left[t(\tau_1) + t(\tau_m) + 2 \left(t(\tau_3) + t(\tau_5) + \dots + t(\tau_{m-2}) \right) + 4 \left(t(\tau_2) + t(\tau_4) + \dots + t(\tau_{m-1}) \right) \right] \pm |\Delta|, \quad (4-7)$$

gdzie: m - nieparzysta liczba naturalna, określająca liczbę podprzedziałów o równej długości, na które został podzielony przedział $\langle \tau_1, \tau_m \rangle$,

$$h = \frac{\tau_m - \tau_1}{m},$$

Δ - błąd metody Simpsona,

$$\Delta \leq \frac{(\tau_m - \tau_1)^5 M}{180 m^4} = \frac{\tau_m - \tau_1}{180} h^4 M,$$

gdzie: $M = \max / t^{(4)}_i(\tau) /$ - maksymalna wartość czwartej pochodnej całkowalnej funkcji /względem czasu/ w przedziale $\tau \in \langle \tau_1, \tau_m \rangle$.

Dla funkcji zadanej w postaci tablicy /otrzymanej z pomiarów/ trudno jest oszacować wielkość wyrażenia $h^4 M$, wobec czego można go zastąpić z nadmiarem przez maksymalną wartość czwartej potęgi różnicy tablicowej $(\Delta t)^4$. Jeżeli znany jest stopień wielomianu funkcji podlegającej mierzeniu, wówczas dobiera się odpo-

wiedni wzór całkowania liczbowego pozwalający uniknąć szacowania błędu wyznaczenia całki.

Srednią różnicę temperatur wody na odcinku pomiarowym określa następująca zależność:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} t_1(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_1} - \frac{\int_{\tau'_1}^{\tau'_m} t_2(\tau) d\tau}{\tau'_m - \tau'_1},$$

gdzie: $\tau_m - \tau_1$ - długość przedziału czasu pomiaru w przekroju początkowym odcinka,

$\tau'_m - \tau'_1$ - długość przedziału czasu pomiaru w przekroju końcowym odcinka,

$t_1(\tau)$ - zmiana temperatury wody w przekroju początkowym odcinka,

$t_2(\tau)$ - zmiana temperatury wody w przekroju końcowym odcinka.

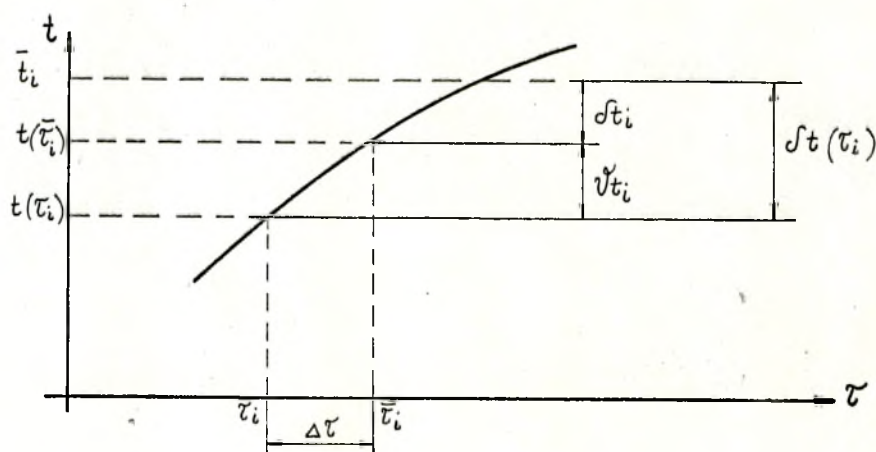
Jeśli długość przedziału czasu pomiaru $\tau \in \langle \tau_1, \tau_m \rangle$ w przekroju początkowym odcinka jest równa długość przedziału czasu pomiaru $\tau \in \langle \tau'_1, \tau'_m \rangle$ w przekroju końcowym odcinka, wówczas średnią różnicę temperatury wody na odcinku pomiarowym określa zależność

$$\Delta t_{sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} (t_1(\tau) - t_2(\tau)) d\tau}{\tau_m - \tau_1} \quad . \quad (4-7)$$

4.3. Analiza błędów pomiarów jednostkowych

Pojedynczy pomiar wielkości temperatury $t(\tau_i)$ obarczony jest następującymi błędami:

- błędem wynikającym z dokładności przyrządu pomiarowego δt_i ,
- błędem γt_i powstałym na skutek odczytu temperatury $t(\tau_i)$ w czasie $\bar{\tau}_i$ a nie w czasie τ_i /błąd wynikający z winy obserwatora rys.4.3./



Rys.4.3. Wpływ dokładności pomiaru na rzeczywistą wartość temperatury

$t(\tau_i)$ - rzeczywista temperatura w chwili τ_i ,

$t(\bar{\tau}_i)$ - temperatura w chwili $\bar{\tau}_i$,

$\bar{t}_i$ - temperatura przyjęta do obliczeń,

$\Delta \tau = \bar{\tau}_i - \tau_i$ - maksymalny błąd popełniony przy pomiarze czasu τ .

Błąd całkowity określa następująca zależność:

$$\delta t(\tau_i) = \delta t_i + \check{t}_i. \quad (4-8)$$

Maksymalną wartość błędu $\delta t(\tau_i)$ można oszacować za pomocą zależności:

$$\delta t(\tau_i) = \max_i |\delta t_i + \check{t}_i| \leq \max_i |\delta t_i| + \max_i |\check{t}_i|, \quad (4-9)$$

oznaczając:

$$\max_i |\delta t_i| = \delta t,$$

$$\max_i |\check{t}_i| = \max_i |t(\bar{\tau}_i) - t(\tau_i)| = \check{t}$$

i podstawiając do równania (4-9) otrzymuje się:

$$\delta t(\tau) = \delta t + \check{t}. \quad (4-10)$$

Korzystając z rys.4.3 można napisać:

$$\delta t(\tau_i) = \bar{t}_i - t(\tau_i),$$

stąd

$$t(\tau_i) = \bar{t}_i - \delta t(\tau_i). \quad (4-11)$$

Podstawiając zależność (4-11) do wzoru (4-7) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \int_{\tau_1}^{\tau_m} t(\tau) d\tau &= \frac{1}{3} h \left[\bar{t}(\tau_1) - \delta t(\tau_1) + \bar{t}(\tau_m) - \delta t(\tau_m) + \right. \\ &+ 4 \left(\bar{t}(\tau_2) - \delta t(\tau_2) + \dots + \bar{t}(\tau_{m-1}) - \delta t(\tau_{m-1}) \right) + \\ &+ 2 \left(\bar{t}(\tau_3) - \delta t(\tau_3) + \dots + \bar{t}(\tau_{m-2}) - \delta t(\tau_{m-2}) \right) \left. \right], \end{aligned}$$

po przekształceniu otrzymuje się ostatecznie:

dla początkowego przekroju odcinka pomiarowego

$$\int_{\tau_1}^{\tau_m} t_1(\tau) d\tau = \frac{1}{3} h \left[\bar{t}(\tau_1) + \bar{t}(\tau_m) + 4 \left(\bar{t}(\tau_2) + \dots + \bar{t}(\tau_{m-1}) \right) + \right. \\ \left. + 2 \left(\bar{t}(\tau_3) + \dots + \bar{t}(\tau_{m-2}) \right) \right] \pm |\Delta_c| \quad (4-12)$$

dla końcowego przekroju odcinka pomiarowego

$$\int_{\tau'_1}^{\tau'_m} t_2(\tau) d\tau = \frac{1}{3} h \left[\bar{t}(\tau'_1) + \bar{t}(\tau'_m) + 4 \left(\bar{t}(\tau'_2) + \dots + \bar{t}(\tau'_{m-1}) \right) + \right. \\ \left. + 2 \left(\bar{t}(\tau'_3) + \dots + \bar{t}(\tau'_{m-2}) \right) \right] \pm |\Delta'_c|, \quad (4-13)$$

gdzie: błędy metody Simpsona wynoszą odpowiednio

$$\Delta_c = - \frac{h}{3} \left[\delta t(\tau_1) + \delta t(\tau_m) + 4 \left(\delta t(\tau_2) + \dots + \delta t(\tau_{m-1}) \right) + \right. \\ \left. + 2 \left(\delta t(\tau_3) + \dots + \delta t(\tau_{m-2}) \right) \right] \pm |\Delta|,$$

$$\Delta'_c = - \frac{h}{3} \left[\delta t(\tau'_1) + \delta t(\tau'_m) + 4 \left(\delta t(\tau'_2) + \dots + \delta t(\tau'_{m-1}) \right) + \right. \\ \left. + 2 \left(\delta t(\tau'_3) + \dots + \delta t(\tau'_{m-2}) \right) \right] \pm |\Delta'|;$$

przyjmując, że:

$$|\delta t(\tau_i)| \leq \delta t(\tau),$$

znajduje się:

$$|\Delta_c| \leq \frac{1}{3} h(3m+1) \delta t(\tau) \pm |\Delta|,$$

$$|\Delta'_c| \leq \frac{1}{3} h(3m+1) \delta t(\tau') \pm |\Delta'|,$$

dla $m \geq 1$, $m+1 \approx m$,

wobec czego otrzymuje się po przekształceniach:

$$|\Delta_c| \leq (\tau_m - \tau_1) \delta t(\tau) \pm |\Delta|,$$

$$|\Delta'_c| \leq (\tau'_m - \tau') \delta t(\tau') \pm |\Delta'|.$$

Wobec przyjęcia takich samych przedziałów czasu pomiaru w przekroju początkowym i końcowym oraz zastosowania takich samych przyrządów, takiej samej metody pomiarowej oraz takiego samego rachunku błędów można przyjąć:

$$|\Delta| = |\Delta'|,$$

ostatecznie otrzymuje się:

$$|\Delta_c| = |\Delta'_c| \leq (\tau_m - \tau_1) \delta t(\tau) \pm |\Delta|,$$

podstawiając za $|\Delta|$, po przekształceniach otrzymuje się:

$$|\Delta_c| \leq (\tau_m - \tau_1) \frac{180(\delta t + \check{\nu}_t) + h^4_M}{180}. \quad (4-14)$$

Wyrażenie $\check{\nu}_t$ wchodzące do powyższego wzoru można oszacować zależnością:

$$\check{\nu}_t = \max_{i \in \langle 1, m \rangle} |t(\bar{\tau}_i) - t(\tau_i)|,$$

jeżeli funkcja $t(\tau)$ spełnia warunek Lipschitza ze stałą L [76], wówczas:

$$|t(\bar{\tau}_i) - t(\tau_i)| \leq L |\bar{\tau} - \tau|,$$

oznaczają

$$\Delta\tau = \max_{i \in \langle 1, m \rangle} |\bar{\tau}_i - \tau_i|,$$

otrzymuje się:

$$\int t = L \cdot \Delta\tau$$

Dla temperatury zmieniającej się wg zależności $t(\tau) \approx \text{const.}$, stała L dąży do zera, dla temperatury zmieniającej się liniowo, stała ta równa jest współczynnikowi pochylenia prostej.

Ostatecznie błąd określenia pola pod krzywą rozkładu temperatury /błąd metody Simpsona rys.4.2/określa zależność:

$$|\Delta c| \leq (\tau_m - \tau_1) \frac{180(\int t + L \cdot \Delta\tau) + h^4_M}{180} . \quad (4-15)$$

Średnią rzeczywistą różnicę temperatur, korzystając ze wzoru (4-7) określa zależność /zakładając przy tym, że błędy się dodają/:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} (t_1(\tau) - t_2(\tau)) d\tau}{\tau_m - \tau_1} \pm 2 \left| \int t + L \Delta\tau + \frac{h^4_M}{180} \right| \quad (4-16)$$

We wzorze (4-15) $\int t$ oznacza błąd popełniony przy pomiarze temperatury. Ponieważ w obliczeniach strat ciepła występuje różnica temperatur w dwóch przekrojach pomiarowych, poniżej

zostanie oszacowany błąd pomiaru różnicy temperatur $\delta \Delta t$.
Dokładność określenia różnicy temperatury na badanym odcinku pomiarowym zależy od:

- klasy dokładności użytego przyrządu pomiarowego,
- oraz liczby wykonanych pomiarów.

4.3.1. Błąd pomiaru temperatury

Dokładność pomiaru temperatury w danym przekroju rośnie wraz ze wzrostem liczby pomiarów. Minimalną liczbą pomiarów, która zapewni wymaganą dokładność można określić posługując się metodami statystyki matematycznej.

Jeżeli różnice temperatur wody w krańcowych przekrojach odcinka pomiarowego w odpowiadających sobie chwilach czasowych wynoszące:

$$\Delta t_1 = t(\tau_1) - t(\tau'_1) ,$$

$$\Delta t_2 = t(\tau_2) - t(\tau'_2) ,$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$\Delta t_m = t(\tau_m) - t(\tau'_m) ,$$

potraktuje się jako ciąg wartości $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_m$, wówczas można je rozpatrywać jako zbiór m niezależnych zmiennych losowych.

Należy zauważyć, że jest to przypadek, dla którego odchylenie standardowe nie jest z góry znane. Jedynymi wielkościami znanymi są w tym przypadku średnia wielkość Δt_{sr} z liczby

m pomiarów i wartość empirycznego odchylenia standardowego s.

Taki rozkład zmiennych jest rozkładem t Studenta.

Przedział ufności tego rozkładu określa zależność [8] :

$$\Delta t_{sr} - t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{m}} < \checkmark < \Delta t_{sr} + t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{m}} \quad (4-17)$$

gdzie: $\checkmark$ - wartość oczekiwana,

s - odchylenie standardowe,

t_{α} - parametr rozkładu t Studenta zależny od przyjętego poziomu ufności,

m - liczba pomiarów,

nierówność (4-17) można zastąpić równoważną nierównością:

$$|\Delta t_{sr} - \checkmark| < t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{m}} \quad , \quad (4-18)$$

odchylenie standardowe s określa zależność:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta t_i - \Delta t_{sr})^2}{m-1}} \quad ,$$

podstawiając je do wzoru (4-18) otrzymuje się:

$$|\Delta t_{sr} - \checkmark| < t_{\alpha} \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta t_i - \Delta t_{sr})^2}{m(m-1)}} \quad ,$$

przyjmując z zapasem

$$\Delta t_i - \Delta t_{sr} = \delta \Delta t_{zm} \quad ,$$

gdzie: $\delta \Delta t_{zm}$ - dokładność jednostkowego pomiaru różnicy temperatur; oznaczając ponadto:

$$\frac{\sum_{i=1}^m (\delta \Delta t_i)^2}{m} = (\delta \Delta t_{zm})^2$$

oraz : $\Delta t_{sr} - \bar{\nu} = \delta \Delta t$,

gdzie: $\delta \Delta t$ - żądana dokładność określenia średniego spadku temperatury wody na odcinku pomiarowym,

otrzymuje się:

$$|\delta \Delta t| < t_{\alpha} \frac{\delta \Delta t_{zm}}{\sqrt{m-1}} , \quad (4-19)$$

po przekształceniu otrzymuje się niezbędną liczbę pomiarów zapewniających uzyskanie wyników pomiarów mieszczących się w wymaganym przedziale ufności

$$m \geq 1 + t_{\alpha}^2 \left(\frac{\delta \Delta t_{zm}}{\delta \Delta t} \right)^2 ,$$

parametr t_{α} należy określić z tablic rozkładu t Studenta [8] dla wymaganego poziomu ufności α oraz $(m-1)$ stopni swobody.

4.3.2. Dokładność określenia średniego spadku temperatury wody na odcinku pomiarowym

Średnią różnicę temperatur wody na badanym odcinku pomiarowym z uwzględnieniem błędów wynikających z zastosowanej metody obliczeniowej oraz błędów pomiarowych określa zależność (4-16) która po przekształceniu przyjmuje postać:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} t_1(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_1} - \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} t_2(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_1} \pm 2 \frac{|\Delta_c|}{\tau_m - \tau_1} ,$$

uwzględniając oznaczenia przyjęte we wzorze (3-5) oraz podstawiając za $|\Delta_0|$ otrzymuje się zależność:

$$\Delta t_{\text{śr}} = t_{1\text{śr}} - t_{2\text{śr}} \pm 2 \left| \int t + L \Delta \tau + \frac{h_M^4}{180} \right|,$$

gdzie: $t_{1\text{śr}}$ - średnia temperatura w początkowym przekroju odcinka pomiarowego;

$t_{2\text{śr}}$ - średnia temperatura w końcowym przekroju odcinka pomiarowego,

zakładając, że:

$$\int \Delta t \leq 2 \int t ,$$

otrzymuje się ostatecznie:

$$\Delta t_{\text{śr}} = t_{1\text{śr}} - t_{2\text{śr}} \pm 2 \left| \frac{1}{2} \int \Delta t + L \Delta \tau + \frac{h_M^4}{180} \right|. \quad (4-20)$$

4.3.3. Wnioski

1. Błąd określenia różnicy temperatur wody na odcinku pomiarowym zależy od:

- klasy dokładności przyrządu pomiarowego,
- dokładności odczytu czasu,
- dokładności określenia pola pod krzywą rozkładu temperatury $t(\tau)$.

2. Dla uzyskania wzrostu dokładności wyników pomiaru $\Delta t_{\text{śr}}$ należy:

- zwiększyć liczbę pomiarów m w celu uzyskaniażądanego poziomu ufności,

- zwiększyć dokładność pomiaru czasu, lub dążyć do minimalizacji wyrażenia $L \Delta \tau$, co zostaje osiągnięte w przypadku kiedy $t(\tau) = \text{const}$,
- zwiększyć dokładność wyznaczenia pola pod krzywą $t(\tau)$, co prowadzi do zwiększenia liczby pomiarów w danym przedziale.

4.4. Dokładność określenia średniej temperatury wody w przekroju pomiarowym przy $t(\tau) \neq \text{const}$.

Niechaj temperatura w początkowym przekroju odcinka pomiarowego zmienia się wg zależności:

$$t_1(\tau) = t(0, \tau) = t_p + t_m \cos[\omega(\tau - \tau_1)], \quad (4-21)$$

to zgodnie z rozważaniami przeprowadzonymi w rozdziale 2, temperatura w końcowym przekroju odcinka pomiarowego określona jest zależnością (2-8), która po przekształceniach przyjmuje postać

$$t_2(\tau) = t(x, \tau) = t'_p + t'_m \cos \omega(\tau - \tau'_1), \quad (4-22)$$

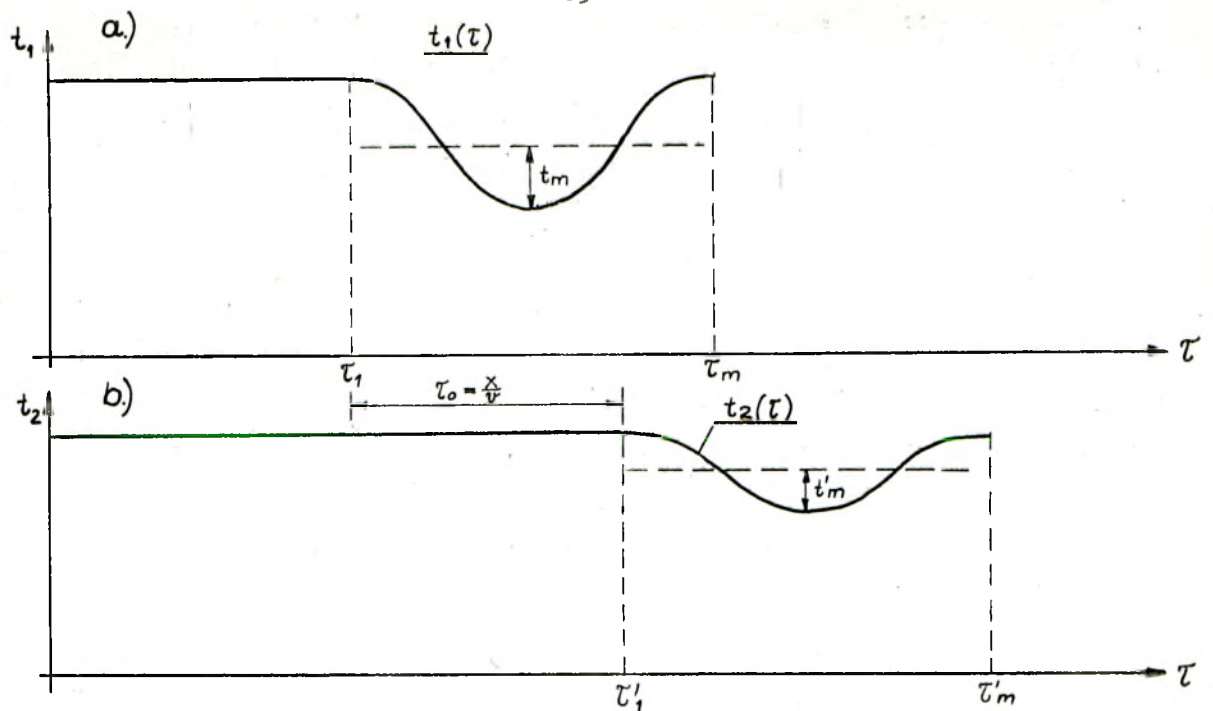
gdzie:

$$t'_p = t_o + \left[\exp\left(-\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_v} x\right) \right] (t_p - t_o),$$

$$t'_m = t_m \exp\left(-\frac{k_1}{\pi r_1^2 \rho_c c_v} x\right),$$

$$\tau'_1 = \tau_1 + \frac{x}{v},$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau_m - \tau_1} = \frac{2\pi}{\tau'_m - \tau'_1}$$



Rys.4.4. Rozkład temperatury w przekroju badanego odcinka
a - przekrój początkowy, b - przekrój końcowy.

Korzystając ze wzorów (4-12) i (4-13) można określić średnią temperaturę wody w dowolnym przekroju odcinka pomiarowego

$$t_{sr} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_m} t(\tau) d\tau}{\tau_m - \tau_1} \pm \frac{|\Delta c|}{\tau_m - \tau_1},$$

wielkość błędu określenia temperatury zgodnie ze wzorem (4-14) wynosi:

$$|\Delta c| \leq (\tau_m - \tau_1) \frac{180 \int t(\tau) + h^4 M}{180},$$

wyznaczając wielkość M określoną wzorem:

$$M = \max_{\tau \in \langle \tau_1, \tau_m \rangle} |t^4(\tau)|,$$

i znajdując czwartą pochodną wprowadzonej wyżej funkcji harmonicznej $t(\tau) = t_p + t_m \cos[\omega(\tau - \tau_1)]$ otrzymuje się:

$$t^4(\tau) = t_m^4 \omega^4 \cos^4[\omega(\tau - \tau_1)],$$

$$M = t_m^4 \omega^4,$$

zakładając podobnie jak w p.4.3 że:

$$\sqrt{\tau} \leq L \Delta \tau$$

oraz obliczając

$$|t(\bar{\tau}) - t(\tau)| = |t_p + t_m \cos(\omega \bar{\tau} - \omega \tau_1) - t_p - t_m \cos(\omega \tau - \omega \tau_1)|,$$

otrzymuje się po przekształceniach:

$$|t(\bar{\tau}) - t(\tau)| \leq 2 t_m \left| \sin \frac{\omega(\bar{\tau} - \tau)}{2} \right| \leq t_m \omega |\bar{\tau} - \tau|,$$

zatem

$$L = t_m \omega$$

oraz:

$$\delta t(\tau) \leq \delta t + t_m \omega \Delta \tau$$

Błąd popełniony przy określeniu średniej temperatury w dowolnym przekroju wynosi więc:

$$|\Delta_0| \leq (\tau_m - \tau_1) \frac{180 (\delta t + t_m \omega \Delta \tau) + h^4 t_m \omega^4}{180} \quad (4-23)$$

4.5. Dokładność określenia średniej różnicy temperatur na odcinku pomiarowym dla $t(\tau) \neq \text{const.}$

Średnią różnicę temperatur na odcinku pomiarowym określa zależność:

$$\Delta t_{\text{śr}} = t_{1\text{śr}} - t_{2\text{śr}} \pm 2 |\Delta_0|,$$

uwzględniając zależność (4-23) otrzymuje się:

$$\Delta t_{sr} = t_{1sr} - t_{2sr} \pm 2 \int t(\tau) + \frac{h^4 t_m \omega^4}{180} /,$$

przyjmując podobnie jak w p. 4.3.2 że:

$$\int \Delta t \leq 2 \int t$$

oraz dokonując niezbędnych przekształceń otrzymuje się:

$$\Delta t_{sr} = t_{1sr} - t_{2sr} \pm 2 \left/ \frac{1}{2} \int \Delta t + t_m \omega \Delta \tau + \frac{h^4 t_m \omega^4}{180} \right/ . \quad (4-24)$$

Zapisując wzór na częstotliwość w postaci:

$$\omega = \frac{2 \pi}{\tau_m - \tau_1} = \frac{2 \pi}{m} ,$$

gdzie: $m = \tau_m - \tau_1$,

otrzymuje się wyrażenie na błąd popełniony przy określeniu średniego spadku temperatury wody w postaci następującej zależności:

$$|\Delta e| \leq \int \Delta t + \frac{4 \pi t_m \Delta \tau}{m} + \frac{8 \pi^4 h^4 t_m}{45 m^4} \quad (4-25)$$

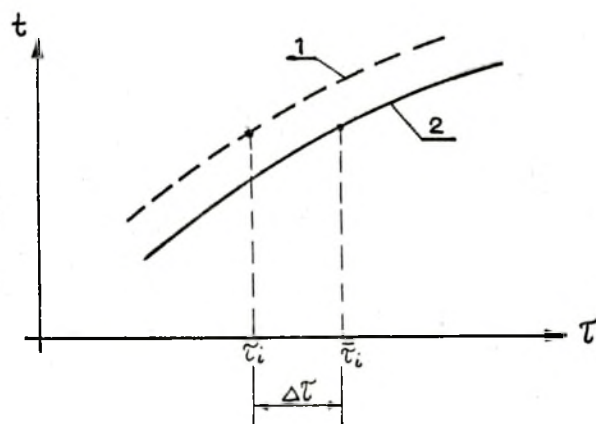
4.5.1. Wnioski

1. Pierwszy składnik wyrażenia (4-25) zdąża do zera dla m dążącego do ∞ .
2. Drugi i trzeci składnik wyrażenia (4-25) maleje również ze wzrostem wielkości m .
3. Ogólnie można stwierdzić, że zwiększając liczbę pomiarów na danym odcinku, można osiągnąć dowolną dokładność przy określeniu średniej różnicy temperatury wody Δt .

4.6. Dokładność określenia czasu przepływu cieczy przez odcinek pomiarowy

Zależności pozwalające określić czas przepływu cieczy przez badany odcinek zostały podane w p.3.3.

Błąd w określeniu τ_0 zależy od błędów obliczeń różnicy pól pod wykresami $t_1(\tau)$ i $t_2(\tau)$ (rys.3.) oraz od błędów odczytu temperatury dokonywanego w chwili czasowej $\bar{\tau}_1$, a nie w chwili τ_1 (rys.4.5.) przyjętej do obliczeń.



Rys.4.5. Przesunięcie wykresu spowodowane błędem pomiaru czasu
1 - wykres teoretyczny, 2 - wykres przyjęty do obliczeń

Ten drugi błąd powoduje przesunięcie wykresu o wielkość $\Delta \tau$.
Tak więc błąd określenia czasu przepływu cieczy przez odcinek będzie wynosił $\Delta \tau$.

4.7. Dokładność pomiaru strat ciepła

4.7.1. Dokładność pomiaru przy $t(\tau) \approx \text{const.}$

Względne odchylenie standardowe jako miara dokładności pomiaru strat ciepła na odcinku pomiarowym zgodnie ze wzorem (4-4) określone jest zależnością:

$$\frac{\sigma(q)}{q} = \sqrt{\left(\frac{\sigma(1)}{1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta t_{sr})}{\Delta t_{sr}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\tau_0)}{\tau_0 \cdot sr}\right)^2},$$

gdzie: $\sigma(1)$ - odchylenie standardowe określenia długości badanego odcinka; zależy od ilości dokonanych pomiarów oraz od klasy zastosowanego przyrządu pomiarowego,

$$\sigma(\tau_0) = \Delta \tau,$$

$$\sigma(\Delta t_{sr}) = \int \Delta t + 2 L \Delta \tau + \frac{h^4_M}{90},$$

podstawiając te wielkości do wzoru na względne odchylenie standardowe otrzymuje się ostatecznie:

$$\frac{\sigma(q)}{q} = \sqrt{\left(\frac{\sigma(1)}{1}\right)^2 + \left(\frac{\int \Delta t + 2 L \Delta \tau + \frac{h^4_M}{90}}{\Delta t_{sr}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau}{\tau_0 \cdot sr}\right)^2}. \quad (4-26)$$

4.7.2. Dokładność pomiaru przy $t(\tau) \neq \text{const.}$

Podobnie jak wyżej względne odchylenie standardowe określa wzor (4-4) .

W tym przypadku zmianie ulegnie tylko wariancja $\sigma(\Delta t_{sr})$, która wyniesie:

$$\zeta(\Delta t_{sr}) = \zeta_{\Delta t} + \frac{4\pi t_m \Delta \tau}{m} + \frac{8\pi^4 h^4 t_m}{45 m^4},$$

otrzymuje się ostatecznie:

$$\frac{\zeta(Q)}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\zeta(1)}{1}\right)^2 + \left(\frac{\zeta_{\Delta t} + \frac{4\pi t_m \Delta \tau}{m} + \frac{8\pi^4 h^4 t_m}{45 m^4}}{\Delta t_{sr}}\right)^2} + \left(\frac{\Delta \tau}{\tau_{0sr}}\right)^2 \cdot (4-27)$$

4.8. Wnioski

Warunkiem uzyskania dużej dokładności pomiaru jest:

- badanie przy możliwie dużych spadkach temperatur,
- wydłużenie czasu trwania pomiaru,
- oraz stosowanie termometrów o dużej dokładności.

Przy planowaniu pomiaru można określić niezbędną liczbę odczytów temperatury w przekrojach pomiarowych przy założonym uchybie wyniku pomiarowego, w oparciu o wyniki analizy statycznej przytoczonej wyżej.

5. Pomiary strat ciepła

5.1. Metoda wykonywania badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie spadku temperatury oraz natężenia przepływu wody na odcinku pomiarowym. Spadek temperatury wody określa się jako różnicę średnich temperatur takich samych elementów strugi pomiędzy przekrojami pomiarowymi.

Natężenie przepływu wody można określić za pomocą przyrządów pomiarowych jeżeli takie są zainstalowane na badanym odcinku pomiarowym lub obliczyć w przypadku niestabilnych temperatur zmieniających się harmonicznie korzystając z rozkładu temperatur, rozpatrując odpowiadające sobie elementy strugi cieczy. Przy wyborze czasu trwania badań, dla uniknięcia niedokładności przy określeniu natężenia przepływu, należy unikać okresów czasu, w których przewidziane jest zmienne natężenie przepływu wody, spowodowane zmiennym zapotrzebowaniem ciepła na cele ciepłej wody użytkowej. Należy więc unikać godzin rannych i wieczorowych, kiedy występują okresy szczytowych rozbiorów ciepłej wody. Najlepszą porą dla badań są godziny przedpołudniowe lub nocne, kiedy natężenie przepływu wody w sieci jest prawie stałe.

W czasie przeprowadzenia badań otrzymuje się szereg odczytów temperatury na początku i na końcu badanego odcinka rurociągu, jak również temperatury powietrza w kanale trasy przewodów i temperatury powietrza zewnętrznego.

Poza tym mierzy się również ciśnienie na początku i na końcu badanego odcinka. W przypadku kiedy na badanym odcinku zainstalowany jest przepływomierz określa się również natężenie przepływu wody.

Aby straty ciepła określone drogą pomiaru były zbliżone do strat rzeczywistych należy dla przeprowadzenia badań wybierać takie dni, które poprzedza okres stałych /jednego lub dwu dni/ temperatur powietrza zewnętrznego, bliskich temperaturze powietrza w dniu prowadzenia badań.

Spełnienie tego warunku umożliwia ustalenie się warunków termicznych na badanym odcinku sieci cieplnej.

Termometry instalowane na odcinku pomiarowym powinny być przed pomiarami wzorcowane. Należy je umieszczać w specjalnych tulejach napełnionych olejem, zwracając uwagę na to aby były tam zanurzone na jednakowych głębokościach /w celu wyeliminowania konieczności uwzględnienia poprawki na wystający słupek rtęci /.

Własności dynamiczne wszystkich użytych termometrów na danym odcinku pomiarowym powinny być podobne /stała czasowa termometrów powinny być możliwie takie same /, zwiększy to dokładność prowadzonych badań.

Tuleje pomiarowe muszą być jednakowe /o tej samej grubości ścianek i tej samej średnicy i długości/.

Przy wyborze punktów pomiaru temperatury należy przestrzegać zasady aby znajdowały się one z dala od miejsc mieszania się strumieni /łączenie strumieni, ostre odgałęzienia, zawory, odpowietrzniki itp./. Odległość ta w kierunku przepływu wody

powinna wynosić nie mniej niż 50 wielkości średnic rurociągu.

Odczyty temperatur należy rozpoczynać w miarę możliwości w okresie małych zmian temperatur, kiedy różnice między ostatecznymi pomiarami były możliwie małe.

Badania strat ciepła warszawskiej sieci ciepłej były przeprowadzone na kilku odcinkach pomiarowych. Do badań wybrano odcinki sieci o średnicach d_n 900 mm /jedna z największych średnic stosowanych w sieci/ i d_n 100 mm /jedna z najmniejszych średnic stosowanych w sieci/. Wybranie skrajnych średnic przewodów dostarczających energię ciepłą miało na celu sprawdzenie słuszności proponowanej metody dla skrajnych warunków pomiarowych.

Badania przeprowadzono w sposób następujący: na pierwszym odcinku pomiarowym będącym częścią jednej z gałęzi wyjściowych z Elektrociepłowni Żerań, pomiary przeprowadzono dwukrotnie. Pomiar pierwszy przy ustalonych warunkach temperaturowych a po raz drugi w warunkach zmiennych temperatur na wypływie z Elektrociepłowni. Badania te miały na celu porównanie otrzymanych wyników z obu pomiarów. Odcinek drugi stanowił przedłużenie odcinka pierwszego na przewodzie magistralnym. Trzeci odcinek składał się z pierwszego i drugiego odcinka; pomiary dokonano na tym odcinku miały na celu porównanie otrzymanych wyników z pomiarami wykonanymi oddzielnie na odcinkach pierwszym i drugim.

Natężenie przepływu wody we wszystkich trzech przypadkach było określone dwoma metodami; metoda pierwsza polegała na pomiarze natężenia przepływu za pomocą kryzy pomiarowej, metoda

druga polegała na określeniu natężenia przepływu ze zmiennego rozkładu temperatury na badanych odcinkach.

Na odgałęzieniu natężenie przepływu wody obliczone było z rozkładu temperatury po zweryfikowaniu tej metody wyżej opisanym sposobem.

5.2. Metoda wykonywania pomiarów

5.2.1. Pomiar temperatury

Temperatura w poszczególnych punktach pomiarowych była mierzona za pomocą termometrów laboratoryjnych z działką elementarną 0,1 K. W celu zwiększenia dokładności odczytów, pomiarów dokonywano przy użyciu szkła powiększającego. Przed pomiarami wszystkie termometry zostały poddane wzorcowaniu. Ponieważ do obliczeń należy brać różnicę pomiędzy temperaturami w przekroju początkowym i końcowym odcinka, wzorcowanie termometrów przeprowadzono parami ustalając odchyłkę ich wskazań. W czasie pomiarów zwracano uwagę aby spadek temperatury na badanym odcinku był określony tymi termometrami, które były razem wzorcowane. Ponieważ w czasie pomiarów zachodziły zmiany temperatur, to na wartość temperatury w danej chwili czasowej wskazywanej przez termometr mają wpływ jego własności dynamiczne, które są zależne od wielkości ich stałych czasowych. Przy pomiarze temperatur na odcinku za pomocą termometrów o różnych własnościach dynamicznych, rzeczywiste różnice temperatur występujące na odcinku pomiarowym będą na ogół inne od zmierzonych. Dlatego przy dobieraniu termometrów na danym odcinku pomiarowym zwracano uwagę aby miały one jednakowe własności dynamiczne.

Niedokładność pomiaru spowodowana tym, że słupek rtęci znajduje się w innej temperaturze niż czujnik może być pominięta ponieważ do obliczeń strat ciepła bierze się różnice pomiędzy pomiarami na odcinku przy jednakowym zanurzeniu termometrów.

5.2.2. Pomiar natężenia przepływu

Natężenie przepływu wody określano za pomocą kryzy pomiarowej ISA oraz na podstawie rozkładu temperatury.

Przy określaniu natężenia przepływu wody z rozkładu temperatur, dokładność wyników obliczeń zależy od właściwego określenia odległości pomiędzy odpowiadającymi sobie elementami wykresów na odcinku w przekrojach początkowym i końcowym.

Z powyższego widać, że musi istnieć ścisła korelacja w czasie pomiędzy pomiarami dokonywanymi w przekrojach - początkowym i końcowym - badanego odcinka. Pomiary rozkładu temperatur w tych przekrojach były dokonywane w tych samych chwilach czasowych. Czas odmierzany był za pomocą sekundomierza. Dokładność wskazań sekundomierzy była sprawdzana przed pomiarami drogą porównania ich wskazań w czasie wielogodzinnej pracy. Ponieważ nie we wszystkich przypadkach była możliwa łączność pomiędzy punktami pomiarowymi uruchamianie czasomierzy odbywało się przed pomiarami.

5.2.3. Pomiar ciśnienia

Ciśnienie było mierzone na odcinku pomiarowym za pomocą manometrów sprężynowych z rurką Bourdona klasy 0,4. Różnica spadku temperatury wywołana stratami ciśnienia na badanym odcinku zos-

tała pominięta ze względu na stosunkowo niewielką stratę ciśnienia (opory przepływu).

5.3. Opracowanie pomiarów

5.3.1. Określenie spadku temperatury cieczy na odcinku pomiarowym

Na podstawie otrzymanych odczytów temperatur w początkowym i końcowym przekroju odcinka pomiarowego rurociągu sporządza się wykresy przebiegu temperatur w czasie (wykr. 1,2,3,4,5,6). Na wykresach zaznacza się podobne odcinki (uwzględniając przesunięcie czasowe potrzebne na przepływ cieczy między przekrojami pomiarowymi) i korzystając z programu podanego w p. 3.4.1 oblicza się metodą numeryczną średnie temperatury w przekroju początkowym i końcowym.

W przypadku dużych spadków ciśnienia na odcinku pomiarowym przy określaniu średniego spadku temperatury fali na odcinku należy uwzględnić poprawkę na siłę tarcia, która powoduje wzrost średniej temperatury fali:

$$\Delta t_{\text{śr}} = \frac{10^{-3} \Delta p}{\rho_c c_c} \text{ K} , \quad (5-1)$$

gdzie: Δp - spadek ciśnienia na odcinku pomiarowym, Pa,

ρ_c - gęstość wody, kg/m^3 ,

c_c - ciepło właściwe wody, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

5.3.2. Określenie natężenia przepływu wody

Jak to opisano wyżej natężenie przepływu wody można określić dwoma sposobami:

- w przypadku zainstalowania przyrządów do pomiaru natężenia przepływu, drogą odczytywania wskazań tych przyrządów,
- przy braku takich przyrządów, drogą korzystania z rozkładu temperatury cieczy w czasie w przekrojach pomiarowych.

W tym ostatnim przypadku korzystając z wykresów przebiegu temperatury w czasie badań znajdują się podobne odcinki i korzystając z programu podanego w p. 3.3.1 określa się przesunięcie między nimi, które jest czasem przepływu wody na tym odcinku.

Mając określony czas przepływu przez odcinek pomiarowy określa się jej średnią prędkość w badanym odcinku rurociągu a następnie natężenie przepływu.

5.4. Określenie strat ciepła na badanych odcinkach sieci cieplnej

Zestawienie danych oraz wyniki obliczeń przedstawiono w poniższych tablicach. W tablicy 1 zestawiono dane dotyczące materiału rurociągu, materiału izolacji, cieczy, gruntu oraz wszystkie niezbędne wielkości potrzebne do określenia natężenia przepływu cieczy przy pomocy kryty ISA.

W tablicy od 2 do 16 przedstawiono wyniki obliczeń nucznych przesunięcia (τ_0) oraz średnich temperatur w przekrojach początkowym i końcowym odcinka pomiarowego dla pomiarów od I do V.

W tablicy 17 zestawiono wyniki obliczeń jednostkowych strat ciepła dla poszczególnych pomiarów. Wprowadzono tu dodatkowo następujące oznaczenia:

t_{wp} - temperatura wody na początku odcinka pomiarowego, $^{\circ}\text{C}$,

t_{wk} - temperatura wody na końcu odcinka pomiarowego, $^{\circ}\text{C}$,

$\dot{V}_{\text{sr}}$ - średnie natężenie przepływu wody w czasie badań określone przy pomocy kryzy ISA, m^3/h ,

$\dot{V}_u$ - natężenie przepływu wody uzupełniającej, m^3/h ,

$\dot{V}_{\tau_0}$ - natężenie przepływu wody określone na podstawie rozkładu temperatury, m^3/h ,

τ_0 - czas przepływu cieczy na odcinku pomiarowym przesunięcie określone z rozkładu temperatury, s,

τ_o - czas przepływu cieczy na odcinku pomiarowym określony na podstawie pomiaru natężenia przepływu przy pomocy kryzy ISA, s,

v - prędkość przepływu cieczy na odcinku pomiarowym określona na podstawie pomiaru natężenia przepływu przy pomocy kryzy ISA, m/s,

v_{τ_0} - prędkość przepływu cieczy określona na podstawie rozkładu temperatury, m/s.

Obliczenia przeprowadzono korzystając ze wzorów wyprowadzonych w pierwszej części pracy dotyczącej rozważań teoretycznych

Zestawienie danych

Tablica 1

Oznacze.	Jednostka	pomiar I		pomiar II		pomiar III		pomiar IV		pomiar V	
		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
λ_1	W/(m·K)	0,068		0,068		0,068		0,068		0,068	
c_1	kJ/(kg·K)	0,84		0,84		0,84		0,84		0,84	
ρ_1	kg/m ³	250		250		250		250		250	
δ_1	mm	100	50	100	50	100	50	100	50	50	30
c_c	kJ/(kg·K)	4,19		4,19		4,19		4,19		4,19	
ρ_c	kg/m ³	977,7	991,7	969,8	991,6	968,6	991,4	965,9	988,9	966,4	976,30
λ_{gr}	W/(m·K)	2,3		2,3		2,3		2,3		2,3	
d_n	mm	900		900		900		900		100	
d_t	mm	885,35		885,44		885,44		885,62			
l	m	1050,85	1068,69	1050,85	1068,69	1185,41	1187,62	2236,26	2256,31	134,80	135,25
α_k	W/(m ² ·K)	8		8		8		8			
d_{2k}	m						2,16		2,16		
h	m						2,00		2,00		1,00
k	m						2,10		2,10		0,25
d_{kt}	mm	669,08		669,08		669,08		669,08			
d_k	mm	669,62		669,75		669,82		669,82			
k_{tr}		1,0004		1,0005		1,0005		1,0007			
k_{tz}		1,0008		1,0010		1,0011		1,0011			
m		0,572		0,572		0,572		0,572			
k_1		1,0000		1,0000		1,0000		1,0000			
k_2		1,0038		1,0038		1,0038		1,0038			
k_3		1,0000		1,0000		1,0000		1,0000			
α_0		0,724		0,724		0,724		0,724			

tablica 2

pomiar I, przewód zasilający

PRZEKROJ POCZĄTKOWY		PRZEKROJ KOŃCOWY	
TAU	T	TAU	T
12/48	70.99	12/56	70.90
12/49	70.89	12/57	70.82
12/50	70.79	12/58	70.71
12/51	70.60	12/59	70.51
12/52	70.51	13/00	70.45
12/53	70.45	13/01	70.37
12/54	70.41	13/02	70.32
12/55	70.40	13/03	70.30
12/56	70.39	13/04	70.30
12/57	70.20	13/05	70.12
12/58	70.29	13/06	70.22
12/59	70.20	13/07	70.12
13/00	70.19	13/08	70.10
13/01	70.15	13/09	70.07
13/02	70.19	13/10	70.10
13/03	70.20	13/11	70.12
13/04	70.21	13/12	70.14
13/05	70.22	13/13	70.15
13/06	70.29	13/14	70.21
13/07	70.30	13/15	70.21
13/08	70.29	13/16	70.22
13/09	70.30	13/17	70.23
13/10	70.30	13/18	70.24
13/11	70.39	13/19	70.29
13/12	70.30	13/20	70.21
13/13	70.25	13/21	70.19
13/14	70.21	13/22	70.14
13/15	70.22	13/23	70.14
13/16	70.20	13/24	70.13
13/17	70.20	13/25	70.14
13/18	70.20	13/26	70.15
13/19	70.19	13/27	70.12
13/20	70.12	13/28	70.04
13/21	70.11	13/29	70.04
13/22	70.10	13/30	70.02
13/23	70.10	13/31	70.01
13/24	70.11	13/32	70.03
13/25	70.10	13/33	70.03
13/26	69.91	13/34	69.82
13/27	69.81	13/35	69.72
13/28	69.78	13/36	69.70
13/29	69.65	13/37	69.57
13/30	69.60	13/38	69.53
13/31	69.51	13/39	69.45
13/32	69.49	13/40	69.40
13/33	69.40	13/41	69.32
13/34	69.30	13/42	69.21
13/35	69.20	13/43	69.12
13/36	69.11	13/44	69.02
13/37	69.06	13/45	68.96
13/38	69.00	13/46	68.90
13/39	69.00	13/47	68.97
13/40	69.00	13/48	68.92

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZĄTKOWYM	70.0447
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KOŃCOWYM	69.9667
SREDNIA ROZNIKA TEMPERATUR	.0780

tablica 3

pomiar I, przewód powrotny

PRZEKROJ POCZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
12/40	41.90	12/48	41.85
12/41	41.86	12/49	41.81
12/42	41.86	12/50	41.80
12/43	41.84	12/51	41.78
12/44	41.80	12/52	41.75
12/45	41.76	12/53	41.71
12/46	41.76	12/54	41.70
12/47	41.75	12/55	41.69
12/48	41.75	12/56	41.69
12/49	41.74	12/57	41.69
12/50	41.70	12/58	41.66
12/51	41.68	12/59	41.62
12/52	41.67	13/00	41.61
12/53	41.64	13/01	41.59
12/54	41.61	13/02	41.56
12/55	41.61	13/03	41.55
12/56	41.56	13/04	41.50
12/57	41.54	13/05	41.49
12/58	41.52	13/06	41.47
12/59	41.48	13/07	41.42
13/00	41.47	13/08	41.41
13/01	41.45	13/09	41.40
13/02	41.44	13/10	41.39
13/03	41.40	13/11	41.35
13/04	41.37	13/12	41.31
13/05	41.32	13/13	41.28
13/06	41.31	13/14	41.26
13/07	41.30	13/15	41.25
13/08	41.28	13/16	41.22
13/09	41.28	13/17	41.22
13/10	41.26	13/18	41.21
13/11	41.23	13/19	41.17
13/12	41.20	13/20	41.15
13/13	41.15	13/21	41.10
13/14	41.13	13/22	41.08
13/15	41.09	13/23	41.04
13/16	41.07	13/24	41.01
13/17	41.07	13/25	41.01
13/18	41.05	13/26	41.00
13/19	41.05	13/27	41.00
13/20	41.06	13/28	41.00
13/21	41.06	13/29	41.00
13/22	41.05	13/30	41.00
13/23	41.05	13/31	41.00
13/24	41.06	13/32	41.00
13/25	41.06	13/33	41.00
13/26	41.05	13/34	40.99
13/27	41.04	13/35	40.99
13/28	41.04	13/36	40.99
13/29	41.04	13/37	40.98
13/30	41.02	13/38	40.96
13/31	41.01	13/39	40.96
13/32	41.02	13/40	40.97
13/33	41.00	13/41	40.95
13/34	41.01	13/42	40.96
13/35	41.02	13/43	40.96
13/36	41.04	13/44	40.98
13/37	41.05	13/45	41.00
13/38	41.04	13/46	40.99

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM	41.3307
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	41.2767
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	.0540

tablica 4

pomiar II, przewód zasilający

PRZEKROJ POCZĄTKOWY

TAU	T		
12/50	82.15	84.45	
12/51	81.78	84.21	
12/52	81.22	83.97	
12/53	81.60	83.73	++
12/54	82.02	83.49	
12/55	82.55	83.25	+ +
12/56	83.30	83.01	
12/57	83.66	82.77	
12/58	83.80	82.53	+ +
12/59	83.22	82.29	
13/00	82.44	82.05	+ +
13/01	81.60	81.81	
13/02	81.04	81.57	
13/03	80.85	81.33	
13/04	80.95	81.09	
13/05	81.45	80.85	++
13/06	82.05		
13/07	82.55		
13/08	82.95		
13/09	83.55		
13/10	84.20		
13/11	84.45		

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T		
12/58	82.05	84.45	
12/59	81.67	84.21	
13/00	81.23	83.97	
13/01	81.50	83.74	
13/02	81.91	83.50	
13/03	82.45	83.26	
13/04	83.21	83.02	
13/05	83.56	82.78	
13/06	83.70	82.55	
13/07	83.23	82.31	
13/08	82.33	82.07	
13/09	81.50	81.83	
13/10	79.93	81.60	
13/11	80.75	81.36	
13/12	80.86	81.12	
13/13	81.35	80.88	
13/14	81.94	80.64	
13/15	82.45	80.41	
13/16	82.85	80.17	
13/17	83.46	79.93	
13/18	84.09		
13/19	84.45		

WYDRUK KONTROLNY

5.00	16.79	5.20	15.37	5.40	15.04
5.60	14.56	5.80	13.88	6.00	13.02
6.20	11.56	6.40	10.60	6.60	9.59
6.80	8.47	7.00	7.25	7.20	5.77
7.40	5.15	7.60	4.44	7.80	3.73
8.00	3.67	8.20	3.47	8.40	3.50
8.60	4.31	8.80	5.28	9.00	6.27
9.20	7.60	9.40	8.92	9.60	10.11
9.80	11.17	10.00	12.11	10.20	12.73
10.40	13.31	10.60	13.86	10.80	14.75

PRZESUNIECIE= 8.320

POLE= 3.4287

tablica 5

pomiar II, przewód zasilający

PRZEKROJ POCZĄTKOWY		PRZEKROJ KOŃCOWY	
TAU	T	TAU	T
10/40	83.20	10/48	83.09
10/41	83.21	10/49	83.11
10/42	83.23	10/50	83.13
10/43	83.25	10/51	83.16
10/44	83.26	10/52	83.16
10/45	83.27	10/53	83.17
10/46	83.27	10/54	83.18
10/47	83.26	10/55	83.16
10/48	83.25	10/56	83.15
10/49	83.24	10/57	83.14
10/50	83.25	10/58	83.15
10/51	83.24	10/59	83.14
10/52	83.23	11/00	83.14
10/53	83.22	11/01	83.12
10/54	83.21	11/02	83.10
10/55	83.21	11/03	83.11
10/56	83.21	11/04	83.11
10/57	83.21	11/05	83.10
10/58	83.20	11/06	83.10
10/59	83.20	11/07	83.11
11/00	83.20	11/08	83.10
11/01	83.21	11/09	83.11
11/02	83.22	11/10	83.12
11/03	83.22	11/11	83.12
11/04	83.23	11/12	83.12
11/05	83.24	11/13	83.13
11/06	83.24	11/14	83.13
11/07	83.24	11/15	83.14
11/08	83.25	11/16	83.15
11/09	83.26	11/17	83.16
11/10	83.27	11/18	83.18
11/11	83.26	11/19	83.17
11/12	83.27	11/20	83.16
11/13	83.26	11/21	83.15
11/14	83.27	11/22	83.16
11/15	83.25	11/23	83.15
11/16	83.26	11/24	83.15
11/17	83.24	11/25	83.15
11/18	83.25	11/26	83.15
11/19	83.26	11/27	83.16
11/20	83.27	11/28	83.17
11/21	83.28	11/29	83.18
11/22	83.29	11/30	83.19
11/23	83.30	11/31	83.20
11/24	83.31	11/32	83.21
11/25	83.31	11/33	83.20
11/26	83.32	11/34	83.22
11/27	83.33	11/35	83.23
11/28	83.34	11/36	83.24
11/29	83.35	11/37	83.26
11/30	83.36	11/38	83.27
11/31	83.37	11/39	83.27
11/32	83.39	11/40	83.28
11/33	83.40	11/41	83.29
11/34	83.41	11/42	83.31

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZĄTKOWYM	83.2634
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KOŃCOWYM	83.1630
SREDNIA ROZNIKA TEMPERATUR	.1004

tablica 6

pomiar II, przewód powrotny

PRZEKROJ POCZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
10/55	41.46	11/03	41.41
10/56	41.53	11/04	41.47
10/57	41.55	11/05	41.47
10/58	41.53	11/06	41.46
10/59	41.52	11/07	41.45
11/00	41.49	11/08	41.42
11/01	41.46	11/09	41.40
11/02	41.43	11/10	41.37
11/03	41.40	11/11	41.35
11/04	41.37	11/12	41.33
11/05	41.35	11/13	41.31
11/06	41.33	11/14	41.28
11/07	41.33	11/15	41.28
11/08	41.35	11/16	41.29
11/09	41.33	11/17	41.27
11/10	41.32	11/18	41.26
11/11	41.31	11/19	41.24
11/12	41.27	11/20	41.20
11/13	41.25	11/21	41.18
11/14	41.25	11/22	41.17
11/15	41.24	11/23	41.16
11/16	41.22	11/24	41.15
11/17	41.21	11/25	41.14
11/18	41.20	11/26	41.13
11/19	41.18	11/27	41.12
11/20	41.17	11/28	41.11
11/21	41.16	11/29	41.10
11/22	41.15	11/30	41.10
11/23	41.15	11/31	41.10
11/24	41.15	11/32	41.10
11/25	41.14	11/33	41.09
11/26	41.13	11/34	41.09
11/27	41.13	11/35	41.09
11/28	41.14	11/36	41.08
11/29	41.13	11/37	41.08
11/30	41.13	11/38	41.09
11/31	41.15	11/39	41.12
11/32	41.18	11/40	41.14
11/33	41.20	11/41	41.15
11/34	41.22	11/42	41.15
11/35	41.22	11/43	41.15
11/36	41.21	11/44	41.16
11/37	41.22	11/45	41.17
11/38	41.24	11/46	41.17
11/39	41.23	11/47	41.1q
11/40	41.24	11/48	41.20
11/41	41.29	11/49	41.22
11/42	41.30	11/50	41.24
11/43	41.32	11/51	41.26

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM	41.2728
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	41.2149
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	.0578

tablica 7

pomiar III, przewód zasilający

PRZEKROJ POCZĄTKOWY

TAU	T	
11/28	86.22	86.73
11/29	86.39	86.56
11/30	86.44	86.39
11/31	86.12	86.22
11/32	85.53	86.05
11/33	84.79	85.88
11/34	84.44	85.71
11/35	84.43	85.54
11/36	84.53	85.37
11/37	84.81	85.19
11/38	84.96	85.02
11/39	85.05	84.85
11/40	85.12	84.68
11/41	85.21	84.51
11/42	85.24	84.34
11/43	85.31	84.17
11/44	85.32	84.00
11/45	85.41	83.83
11/46	85.93	
11/47	86.50	
11/48	86.67	
11/49	86.73	
11/50	86.73	
11/51	86.70	
11/52	86.42	
11/53	86.01	
11/54	85.24	
11/55	84.33	
11/56	83.83	
11/57	84.23	
11/58	85.04	



PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	
11/37	86.11	86.61
11/38	86.29	86.44
11/39	86.34	86.27
11/40	86.02	86.10
11/41	85.41	85.93
11/42	84.68	85.76
11/43	84.31	85.59
11/44	84.31	85.42
11/45	84.42	85.25
11/46	84.68	85.07
11/47	84.84	84.90
11/48	84.93	84.73
11/49	85.00	84.56
11/50	85.09	84.39
11/51	85.11	84.22
11/52	85.20	84.05
11/53	85.20	83.88
11/54	85.29	83.71
11/55	85.81	
11/56	86.38	
11/57	86.56	
11/58	86.61	
11/59	86.61	
12/00	86.58	
12/01	86.29	
12/02	85.90	
12/03	85.12	
12/04	84.21	
12/05	83.71	
12/06	84.11	
12/07	84.92	



WYDRUK KONTROLNY

6.00	15.88	6.20	15.08	6.40	14.30
6.60	13.49	6.80	12.66	7.00	11.80
7.20	10.87	7.40	10.10	7.60	9.36
7.80	8.58	8.00	7.76	8.20	6.79
8.40	5.99	8.60	5.30	8.80	5.21
9.00	5.26	9.20	5.37	9.40	5.52
9.60	5.95	9.80	6.46	10.00	6.99
10.20	7.56	10.40	8.15	10.60	8.87
10.80	9.57	11.00	10.22	11.20	10.91
11.40	11.69	11.60	12.53	11.80	13.33

PRZESUNIECIE= 8.707

POLE= 5.1941

tablica 8

pomiar III, przewód zasilający

PRZEKROJ POZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
9/39	85.21	9/48	85.08
9/40	85.20	9/49	85.07
9/41	85.21	9/50	85.09
9/42	85.22	9/51	85.10
9/43	85.22	9/52	85.11
9/44	85.22	9/53	85.11
9/45	85.23	9/54	85.11
9/46	85.24	9/55	85.12
9/47	85.24	9/56	85.13
9/48	85.23	9/57	85.12
9/49	85.23	9/58	85.11
9/50	85.23	9/59	85.11
9/51	85.22	10/00	85.10
9/52	85.21	10/01	85.08
9/53	85.21	10/02	85.08
9/54	85.21	10/03	85.08
9/55	85.20	10/04	85.09
9/56	85.20	10/05	85.08
9/57	85.20	10/06	85.08
9/58	85.20	10/07	85.08
9/59	85.20	10/08	85.09
10/00	85.18	10/09	85.06
10/01	85.18	10/10	85.07
10/02	85.15	10/11	85.03
10/03	85.15	10/12	85.03
10/04	85.14	10/13	85.02
10/05	85.12	10/14	84.99
10/06	85.12	10/15	84.99
10/07	85.12	10/16	84.99
10/08	85.09	10/17	84.96
10/09	85.08	10/18	84.96
10/10	85.06	10/19	84.94
10/11	85.05	10/20	84.93
10/12	85.00	10/21	84.88
10/13	85.00	10/22	84.88
10/14	84.93	10/23	84.82
10/15	84.90	10/24	84.79
10/16	84.90	10/25	84.79
10/17	84.88	10/26	84.75
10/18	84.86	10/27	84.73
10/19	84.85	10/28	84.72
10/20	84.85	10/29	84.73
10/21	84.84	10/30	84.72
10/22	84.84	10/31	84.72
10/23	84.83	10/32	84.72
10/24	84.83	10/33	84.72
10/25	84.82	10/34	84.69
10/26	84.81	10/35	84.69
10/27	84.80	10/36	84.68
10/28	84.81	10/37	84.69
10/29	84.82	10/38	84.60

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POZATKOWYM	85.0701
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	84.9492
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	.1209

tablica 9

pomiar III, przewód powrotny

PRZEKROJ POCZATKOWY		PRZEKROJ KONCOWY	
TAU	T	TAU	T
10/01	42.45	10/01	42.38
10/02	42.45	10/02	42.38
10/03	42.43	10/03	42.35
10/04	42.43	10/04	42.35
10/05	42.39	10/05	42.32
10/06	42.38	10/06	42.30
10/07	42.33	10/07	42.27
10/08	42.32	10/08	42.26
10/09	42.32	10/09	42.25
10/10	42.31	10/10	42.24
10/11	42.29	10/11	42.21
10/12	42.28	10/12	42.20
10/13	42.27	10/13	42.19
10/14	42.24	10/14	42.16
10/15	42.21	10/15	42.14
10/16	42.18	10/16	42.11
10/17	42.15	10/17	42.08
10/18	42.11	10/18	42.05
10/19	42.07	10/19	42.01
10/20	42.06	10/20	41.97
10/21	42.03	10/21	41.95
10/22	41.98	10/22	41.90
10/23	41.96	10/23	41.88
10/24	41.93	10/24	41.85
10/25	41.89	10/25	41.82
10/26	41.86	10/26	41.79
10/27	41.81	10/27	41.75
10/28	41.80	10/28	41.74
10/29	41.81	10/29	41.73
10/30	41.83	10/30	41.75
10/31	41.86	10/31	41.78
10/32	41.86	10/32	41.78
10/33	41.87	10/33	41.79
10/34	41.87	10/34	41.80
10/35	41.87	10/35	41.80
10/36	41.86	10/36	41.80
10/37	41.88	10/37	41.82
10/38	41.88	10/38	41.82
10/39	41.91	10/39	41.83
10/40	41.91	10/40	41.83
10/41	41.89	10/41	41.81
10/42	41.89	10/42	41.81
10/43	41.87	10/43	41.80
10/44	41.85	10/44	41.78
10/45	41.85	10/45	41.78
10/46	41.86	10/46	41.79
10/47	41.91	10/47	41.83
10/48	41.93	10/48	41.85
10/49	41.93	10/49	41.86
10/50	41.94	10/50	41.87
10/51	41.96	10/51	41.88

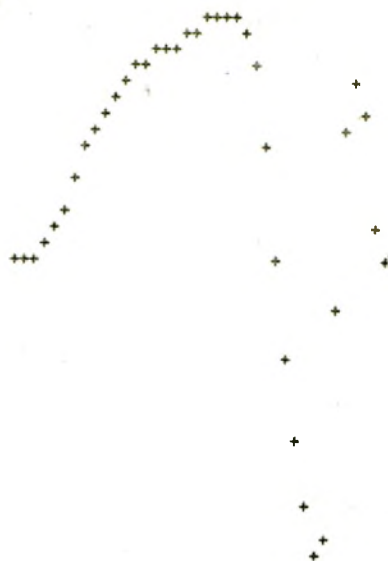
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM	42.0403
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	41.9672
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	.0731

tablica 10

pomiar IV, przewód zasilający

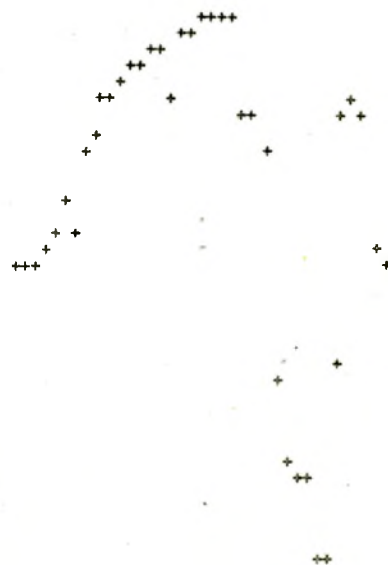
PRZEKROJ POZATKOWY

TAU	T	
10/26	89.20	91.14
10/27	89.19	91.01
10/28	89.20	90.87
10/29	89.24	90.74
10/30	89.35	90.61
10/31	89.52	90.47
10/32	89.81	90.34
10/33	90.01	90.20
10/34	90.21	90.07
10/35	90.35	89.94
10/36	90.50	89.80
10/37	90.61	89.67
10/38	90.71	89.54
10/39	90.77	89.40
10/40	90.82	89.27
10/41	90.86	89.14
10/42	90.92	89.00
10/43	91.01	88.87
10/44	91.06	88.73
10/45	91.11	88.60
10/46	91.13	88.47
10/47	91.14	88.33
10/48	91.13	88.20
10/49	91.06	88.07
10/50	90.75	87.93
10/51	90.04	87.80
10/52	89.16	87.67
10/53	88.34	87.53
10/54	87.66	87.40
10/55	87.12	87.26
10/56	86.73	87.13
10/57	86.82	87.00
10/58	88.73	86.86
10/59	90.16	86.73
11/00	90.61	
11/01	90.35	
11/02	89.42	
11/03	89.11	
11/04	89.14	



PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	
10/42	88.97	90.92
10/43	88.96	90.79
10/44	88.99	90.65
10/45	89.06	90.52
10/46	89.20	90.39
10/47	89.42	90.26
10/48	89.18	90.12
10/49	89.88	89.99
10/50	90.05	89.86
10/51	90.20	89.73
10/52	90.32	89.59
10/53	90.43	89.46
10/54	90.51	89.33
10/55	90.56	89.19
10/56	90.61	89.06
10/57	90.66	88.93
10/58	90.24	88.80
10/59	90.80	88.66
11/00	90.85	88.53
11/01	90.89	88.40
11/02	90.91	88.27
11/03	90.92	88.13
11/04	90.87	88.00
11/05	90.17	87.87
11/06	90.13	87.73
11/07	89.87	87.60
11/08	88.02	87.47
11/09	87.27	87.34
11/10	87.16	87.20
11/11	87.20	87.07
11/12	86.55	86.94
11/13	86.54	86.81
11/14	88.16	86.67
11/15	90.15	86.54
11/16	90.25	
11/17	90.15	
11/18	89.04	
11/19	88.91	
11/20	88.92	



WYDRUK KONTROLNY

13.00	21.65	13.20	21.03	13.40	20.29
13.60	19.45	13.80	18.49	14.00	17.43
14.20	16.55	14.40	16.02	14.60	15.61
14.80	15.18	15.00	14.76	15.20	13.56
15.40	13.11	15.60	13.15	15.80	13.16
16.00	13.08	16.20	12.53	16.40	13.30
16.60	14.41	16.80	15.42	17.00	16.34
17.20	17.31	17.40	19.02	17.60	20.64
17.80	22.18	18.00	23.66	18.20	25.21
18.40	26.57	18.60	28.04	18.80	29.41

PRZESUNIĘCIE= 16.247

POLE= 12.4144

tablica 11

pomiar IV, przewód zasilający

PRZEKROJ POCZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
9/30	89.44	9/46	89.21
9/31	89.43	9/47	89.20
9/32	89.43	9/48	89.20
9/33	89.42	9/49	89.19
9/34	89.43	9/50	89.21
9/35	89.41	9/51	89.18
9/36	89.41	9/52	89.18
9/37	89.40	9/53	89.17
9/38	89.40	9/54	89.17
9/39	89.38	9/55	89.16
9/40	89.38	9/56	89.15
9/41	89.37	9/57	89.14
9/42	89.36	9/58	89.13
9/43	89.35	9/59	89.14
9/44	89.35	10/00	89.13
9/45	89.34	10/01	89.11
9/46	89.35	10/02	89.12
9/47	89.35	10/03	89.12
9/48	89.36	10/04	89.13
9/49	89.37	10/05	89.15
9/50	89.37	10/06	89.14
9/51	89.38	10/07	89.15
9/52	89.39	10/08	89.16
9/53	89.40	10/09	89.17
9/54	89.40	10/10	89.18
9/55	89.40	10/11	89.17
9/56	89.41	10/12	89.18
9/57	89.40	10/13	89.17
9/58	89.40	10/14	89.17
9/59	89.41	10/15	89.18
10/00	89.41	10/16	89.17
10/01	89.41	10/17	89.17
10/02	89.43	10/18	89.20
10/03	89.40	10/19	89.17
10/04	89.40	10/20	89.18
10/05	89.37	10/21	89.14
10/06	89.33	10/22	89.10
10/07	89.30	10/23	89.07
10/08	89.25	10/24	89.03
10/09	89.24	10/25	89.02
10/10	89.23	10/26	89.00
10/11	89.20	10/27	88.97
10/12	89.20	10/28	88.97
10/13	89.19	10/29	88.96
10/14	89.19	10/30	88.97
10/15	89.19	10/31	88.96
10/16	89.19	10/32	88.96
10/17	89.19	10/33	88.96
10/18	89.19	10/34	88.96
10/19	89.19	10/35	89.00
10/20	89.19	10/36	89.00
10/21	89.22	10/37	89.00
10/22	89.23	10/38	89.05
10/23	89.23	10/39	89.01
10/24	89.28	10/40	88.97
10/25	89.24	10/41	88.97
10/26	89.20	10/42	88.97
10/27	89.19	10/43	88.97
10/28	89.20	10/44	88.98

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM

89.3244

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM

89.0967

SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR

.2276

tablica 12

pomiar IV, przewód powrotny

PRZEKROJ POZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
9/19	48.56	9/35	48.41
9/20	48.55	9/36	48.40
9/21	48.53	9/37	48.38
9/22	48.51	9/38	48.36
9/23	48.50	9/39	48.35
9/24	48.50	9/40	48.35
9/25	48.48	9/41	48.33
9/26	48.47	9/42	48.32
9/27	48.46	9/43	48.31
9/28	48.43	9/44	48.28
9/29	48.40	9/45	48.25
9/30	48.39	9/46	48.24
9/31	48.36	9/47	48.21
9/32	48.35	9/48	48.20
9/33	48.34	9/49	48.19
9/34	48.34	9/50	48.19
9/35	48.34	9/51	48.19
9/36	48.32	9/52	48.17
9/37	48.31	9/53	48.16
9/38	48.30	9/54	48.15
9/39	48.37	9/55	48.12
9/40	48.35	9/56	48.10
9/41	48.23	9/57	48.08
9/42	48.21	9/58	48.06
9/43	48.19	9/59	48.04
9/44	48.16	10/00	48.01
9/45	48.13	10/01	47.98
9/46	48.10	10/02	47.95
9/47	48.05	10/03	47.90
9/48	48.03	10/04	47.88
9/49	48.01	10/05	47.86
9/50	47.98	10/06	47.83
9/51	47.96	10/07	47.81
9/52	47.95	10/08	47.80
9/53	47.95	10/09	47.80
9/54	47.94	10/10	47.79
9/55	47.92	10/11	47.77
9/56	47.90	10/12	47.75
9/57	47.88	10/13	47.73
9/58	47.88	10/14	47.73
9/59	47.88	10/15	47.73
10/00	47.88	10/16	47.73
10/01	47.87	10/17	47.72
10/02	47.87	10/18	47.72
10/03	47.87	10/19	47.72
10/04	47.87	10/20	47.72
10/05	47.87	10/21	47.72
10/06	47.87	10/22	47.72
10/07	47.90	10/23	47.75
10/08	47.90	10/24	47.75
10/09	47.92	10/25	47.77
10/10	47.92	10/26	47.77
10/11	47.93	10/27	47.78
10/12	47.93	10/28	47.78
10/13	47.92	10/29	47.77
10/14	47.94	10/30	47.79
10/15	47.94	10/31	47.79
10/16	47.90	10/32	47.75
10/17	47.89	10/33	47.74
10/18	47.89	10/34	47.74
10/19	47.89	10/35	47.74
10/20	47.89	10/36	47.74
10/21	47.89	10/37	47.74
10/22	47.89	10/38	47.74
10/23	47.90	10/39	47.75

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POZATKOWYM 48.1066

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM 47.9534

SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR .1531

tablica 13

pomiar V , przewód zasilający

PRZEKROJ POEZATKOWY

TAU	T		
11/09	88.11	91.21	++
11/10	88.01	90.99	+
11/11	87.91	90.77	+
11/12	88.23	90.55	+
11/13	88.65	90.33	+
11/14	90.11	90.11	+
11/15	90.71	89.89	+
11/16	91.10	89.67	+
11/17	91.21	89.45	+
11/18	91.05	89.23	+
11/19	90.75	89.01	+
11/20	90.31	88.79	+
11/21	89.80	88.57	+
11/22	89.21	88.35	++
11/23	88.70	88.13	+
11/24	88.61	87.91	++
11/25	88.32		
11/26	88.30		
11/27	88.60		
11/28	88.85		
11/29	89.45		
11/30	89.82		
11/31	90.00		
11/32	90.01		

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T		
11/14	87.42	90.01	+++
11/15	87.32	89.79	
11/16	87.22	89.56	+
11/17	87.11	89.34	+
11/18	87.45	89.11	+
11/19	88.91	88.89	+
11/20	89.50	88.67	+
11/21	90.00	88.44	+
11/22	90.01	88.22	+
11/23	89.95	88.00	+
11/24	89.50	87.77	+
11/25	89.10	87.55	+
11/26	88.61	87.32	+++
11/27	88.01	87.10	+
11/28	87.50		
11/29	87.41		
11/30	87.10		
11/31	87.10		
11/32	87.39		
11/33	87.65		
11/34	88.21		
11/35	88.60		
11/36	88.81		
11/37	88.82		

WYDRUK KONTROLNY

2.00	32.49	2.20	32.69	2.40	32.86
2.60	32.97	2.80	33.05	3.00	33.08
3.20	32.85	3.40	32.69	3.60	32.58
3.80	32.54	4.00	32.56	4.20	32.76
4.40	32.96	4.60	33.16	4.80	33.37
5.00	33.58	5.20	33.77	5.40	33.98
5.60	34.20	5.80	34.44	6.00	34.69
6.20	35.01	6.40	35.32	6.60	35.62
6.80	35.91	7.00	36.19	7.20	36.42
7.40	36.66	7.60	36.90	7.80	37.14

PRZESUNIECIE= 3.840

POLE= 32.5394

tablica 14

pomiar V, przewód zasilający

PRZEKROJ POEZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
10/01	88.98	10/05	87.76
10/02	88.99	10/06	87.77
10/03	88.98	10/07	87.75
10/04	88.97	10/08	87.74
10/05	88.97	10/09	87.76
10/06	88.96	10/10	87.72
10/07	88.95	10/11	87.78
10/08	88.95	10/12	87.75
10/09	88.94	10/13	87.73
10/10	88.93	10/14	87.72
10/11	88.92	10/15	87.71
10/12	88.91	10/16	87.70
10/13	88.90	10/17	87.70
10/14	88.90	10/18	87.68
10/15	88.89	10/19	87.69
10/16	88.90	10/20	87.67
10/17	88.91	10/21	87.68
10/18	88.91	10/22	87.71
10/19	88.91	10/23	87.70
10/20	88.88	10/24	87.68
10/21	88.87	10/25	87.67
10/22	88.87	10/26	87.67
10/23	88.87	10/27	87.67
10/24	88.86	10/28	87.66
10/25	88.86	10/29	87.64
10/26	88.85	10/30	87.65
10/27	88.87	10/31	87.67
10/28	88.87	10/32	87.67
10/29	88.86	10/33	87.66
10/30	88.86	10/34	87.66
10/31	88.85	10/35	87.65
10/32	88.84	10/36	87.64
10/33	88.85	10/37	87.65
10/34	88.83	10/38	87.63
10/35	88.83	10/39	87.64
10/36	88.84	10/40	87.64
10/37	88.83	10/41	87.63
10/38	88.82	10/42	87.62
10/39	88.81	10/43	87.61
10/40	88.83	10/44	87.60
10/41	88.82	10/45	87.62
10/42	88.83	10/46	87.63
10/43	88.84	10/47	87.64
10/44	88.84	10/48	87.65
10/45	88.83	10/49	87.60
10/46	88.82	10/50	87.62
10/47	88.81	10/51	87.61
10/48	88.83	10/52	87.60
10/49	88.85	10/53	87.65
10/50	88.88	10/54	87.67
10/51	88.90	10/55	87.70
10/52	88.92	10/56	87.70
10/53	88.97	10/57	87.75

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POEZATKOWYM	88.8804
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	87.6726
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	1.2078

tablica 15

pomiar V, przewód powrotny

PRZĘKROJ PODZĄTKOWY

TAU	T	
11/01	72.53	72.60
11/02	72.51	72.49
11/03	72.52	72.39
11/04	72.48	72.28
11/05	72.22	72.18
11/06	71.40	72.07
11/07	71.00	71.96
11/08	70.72	71.86
11/09	70.58	71.75
11/10	70.51	71.64
11/11	70.40	71.54
11/12	70.38	71.43
11/13	70.31	71.33
11/14	70.26	71.22
11/15	70.21	71.11
11/16	70.20	71.01
11/17	70.18	70.90
11/18	70.12	70.79
11/19	70.08	70.69
11/20	70.08	70.58
11/21	70.05	70.48
11/22	70.21	70.37
11/23	70.49	70.26
11/24	70.78	70.16
11/25	71.03	70.05
11/26	71.30	
11/27	71.52	
11/28	71.70	
11/29	71.80	
11/30	71.45	
11/31	72.06	
11/32	72.11	
11/33	72.18	
11/34	72.40	
11/35	72.43	
11/36	72.53	
11/37	72.60	
11/38	72.48	
11/39	72.43	
11/40	72.42	
11/41	72.22	
11/42	71.78	
11/43	71.40	
11/44	72.20	
11/45	70.98	
11/46	71.00	
11/47	71.09	
11/48	71.18	
11/49	71.30	



PRZĘKROJ KOŃCOWY

TAU	T	
11/05	72.32	72.32
11/06	72.31	72.21
11/07	72.30	72.11
11/08	72.29	72.00
11/09	72.20	71.89
11/10	72.00	71.78
11/11	71.23	71.68
11/12	70.61	71.57
11/13	70.31	71.46
11/14	70.18	71.35
11/15	70.10	71.25
11/16	70.01	71.14
11/17	69.99	71.03
11/18	69.93	70.92
11/19	69.92	70.82
11/20	69.90	70.71
11/21	69.84	70.60
11/22	69.81	70.49
11/23	69.79	70.39
11/24	69.74	70.28
11/25	69.75	70.17
11/26	69.89	70.06
11/27	70.20	69.96
11/28	70.50	69.85
11/29	70.80	69.74
11/30	71.03	
11/31	71.30	
11/32	71.50	
11/33	71.65	
11/34	71.79	
11/35	71.89	
11/36	71.91	
11/37	71.98	
11/38	71.99	
11/39	71.99	
11/40	71.98	
11/41	72.00	
11/42	72.02	
11/43	72.10	
11/44	72.14	
11/45	72.09	
11/46	71.80	
11/47	71.40	
11/48	70.88	
11/49	70.51	
11/50	70.41	
11/51	70.55	
11/52	70.70	
11/53	70.88	



WYDRUK KONTROLNY

1.00	20.22	1.20	19.55	1.40	18.87
1.60	18.15	1.80	17.55	2.00	16.92
2.20	16.25	2.40	15.61	2.60	15.01
2.80	14.60	3.00	14.33	3.20	14.23
3.40	14.12	3.60	14.00	3.80	13.87
4.00	13.72	4.20	13.50	4.40	13.31
4.60	13.14	4.80	12.99	5.00	12.87
5.20	12.86	5.40	13.05	5.60	13.46
5.80	14.12	6.00	14.79	6.20	15.46
6.40	16.09	6.60	16.69	6.80	17.27

PRZESUNIĘCIE= 5.163

POLE= 12.8325

tablica 16

pomiar V, przewód powrotny

PRZEKROJ POCZATKOWY

PRZEKROJ KONCOWY

TAU	T	TAU	T
9/57	72.74	10/01	72.24
9/58	72.71	10/02	72.21
9/59	72.73	10/03	72.20
10/00	72.70	10/04	72.20
10/01	72.73	10/05	72.21
10/02	72.75	10/06	72.20
10/03	72.70	10/07	72.20
10/04	72.68	10/08	72.18
10/05	72.69	10/09	72.18
10/06	72.66	10/10	72.16
10/07	72.66	10/11	72.16
10/08	72.66	10/12	72.16
10/09	72.68	10/13	72.17
10/10	72.68	10/14	72.18
10/11	72.68	10/15	72.18
10/12	72.69	10/16	72.18
10/13	72.69	10/17	72.18
10/14	72.70	10/18	72.18
10/15	72.71	10/19	72.20
10/16	72.69	10/20	72.20
10/17	72.70	10/21	72.20
10/18	72.70	10/22	72.20
10/19	72.69	10/23	72.20
10/20	72.70	10/24	72.21
10/21	72.69	10/25	72.22
10/22	72.69	10/26	72.22
10/23	72.70	10/27	72.22
10/24	72.70	10/28	72.21
10/25	72.71	10/29	72.21
10/26	72.69	10/30	72.21
10/27	72.70	10/31	72.23
10/28	72.74	10/32	72.24
10/29	72.75	10/33	72.25
10/30	72.75	10/34	72.26
10/31	72.77	10/35	72.27
10/32	72.80	10/36	72.28
10/33	72.80	10/37	72.27
10/34	72.79	10/38	72.27
10/35	72.78	10/39	72.26
10/36	72.75	10/40	72.25
10/37	72.77	10/41	72.26
10/38	72.78	10/42	72.27
10/39	72.80	10/43	72.28
10/40	72.80	10/44	72.28
10/41	72.77	10/45	72.27
10/42	72.75	10/46	72.26
10/43	72.73	10/47	72.25
10/44	72.72	10/48	72.24
10/45	72.75	10/49	72.25
10/46	72.76	10/50	72.26
10/47	72.77	10/51	72.27

SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU POCZATKOWYM	72.7229
SREDNIA TEMPERATURA W PRZEKROJU KONCOWYM	72.2213
SREDNIA ROZNICA TEMPERATUR	.5016

Lp.	Oznaczenie	Jednost.	pomiar I		Pomiar II		pomiar III		pomiar IV		pomiar V	
			Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
1.	t_o^n	$^{\circ}\text{C}$	3,2		3,2		3,2		3,2		3,2	
2.	t_{gr}^n	$^{\circ}\text{C}$	5,0		5,0		5,0		5,0		5,0	
3.	t_o	$^{\circ}\text{C}$	2,5		2,5		2,5		2,5		2,5	
4.	t_{gr}^m	$^{\circ}\text{C}$	5,5		5,5		5,5		5,5		5,5	
5.	t_w^m	$^{\circ}\text{C}$	79,9	49,9	79,9	49,9	79,9	49,9	79,9	49,9	79,9	49,9
6.	t_{wp}	$^{\circ}\text{C}$	70,045	41,331	83,263	41,273	85,070	42,040	89,324	48,107	88,880	72,723
7.	t_{wk}	$^{\circ}\text{C}$	69,967	41,277	83,163	41,215	84,949	41,967	89,097	47,953	87,673	72,221
8.	$\dot{V}_{sr}$	m^3/h	5037,5	4914,6	4870,5	4736,2	4760,7	4588,6	5013,0	4893,8		
9.	$\dot{V}_u$	m^3/h		122,9		134,3		172,1		119,2		
10.	v	m/s	2,28	2,22	2,195	2,135	2,15	2,07	2,26	2,21		
11.	τ_o	s			499		523		975		230	309
12.	τ_c	s	461	480	479	500	550	578	988	1020		
13.	$\dot{V}_{\tau_o}$	m^3/s			2,11		2,26		2,29		0,585	0,438
14.	$\dot{V}_{\tau_c}$	m^3/s			4670		5010		5070		16,5	12,4
15.	$R_{1,2}$	$(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}$									0,098	0,098
16.	R_{lk}	$(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}$					0,022	0,022	0,022	0,022		
17.	q_{l1}	W/m	427		522		549		574		167	
18.	q_{l2}	W/m		288		496		323		383		52
19.	q_{l1}^n	W/m	495		503		517		514		151	
20.	q_{l2}^n	W/m		361		372		398		405		34,9

5.5. Dokładność pomiarów

Dokładność określenia natężenia przepływu wody na podstawie rozkładu temperatur w czasie poddana została doświadczalnej weryfikacji. Stwierdzono w pełni zadowalającą zgodność, co wykazują wyniki zestawione w tablicy 17. Największa odchyłka w odniesieniu do pomiaru dokonanego przy pomocy krysy ISA wystąpiła w pomiarze III i wyniosła 5,15 % (tablica 17 pozycja 11 i 12). Różnice w ilości przepływającej cieczy w przewodzie zasilającym i powrotnym w pomiarze V wynikają z faktu bezpośredniego poboru wody sieciowej dla celów ciepłej wody użytkowej.

Wyniki pomiarów strat ciepła na odcinku pierwszym (pomiar I i pomiar II przeprowadzony w różnych warunkach temperaturowych) sprawdzono korzystając z zależności (3-24) pozwalającej na porównanie pomiarów przeprowadzonych na tym samym odcinku pomiarowym, odchyłka między tymi pomiarami wyniosła 5,1 %.

Pomiar IV na odcinkach pierwszym i drugim łącznie porównano z pomiarami I i II uzyskując również zadowalającą zgodność (tablica 17 pozycja 19 i 20).

Dokładność pomiaru V dla przewodu powrotnego określono z zależności (4-26). Po podstawieniu danych otrzymanych w czasie pomiarów otrzymano błąd względny $\delta(q_{12})/q_{12} = 1,9 \%$.

Otrzymane wyniki pomiarów świadczą na korzyść zastosowanej metody.

6. Wnioski końcowe

1. Opracowana metodyka pozwala na określenie strat ciepła w czasie normalnej eksploatacyjnej pracy sieci ciepłej (w warunkach nieustalonych).

2. Jedynymi przyrządami niezbędnymi do określania strat ciepła są; termometr, czasomierz oraz taśma miernicza.

3. W oparciu o przeprowadzoną analizę błędów można zaplanować pomiar pozwalający na określenie straty ciepłej na odcinku pomiarowym z żadaną dokładnością.

4. Doświadczalna weryfikacja wyników określenia natężenia przepływu wody na podstawie rozkładu temperatury w czasie dała w pełni zadowalające wyniki.

5. Otrzymane wyniki pomiarów strat ciepła pozwalają na stwierdzenie przydatności proponowanej metody.

7. Wykaz piśmiennictwa

- [1] Ackoff R.L.: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. WNT, Warszawa 1969.
- [2] Cammerer J.S.: Izolacje ciepłochronne w przemyśle. Arkady, Warszawa 1967.
- [3] Campbell D.P.: Dynamika procesów. PWN, Warszawa 1962.
- [4] Wilson E.B.: Wstęp do badań naukowych. PWN, Warszawa 1964.
- [5] Szorin S.N.: Tiełłopieriedacza. Izd. Wysszaja Szkoła, Moskwa 1964.
- [6] Kochanowicz W.S.: Izmierienie raschoda wieszczestwa i tiepla pri pieriemiennych parametrach. Energiia, Moskwa 1970.
- [7] Swiesznikow A.A.: Podstawowe metody funkcji losowych. PWN, Warszawa 1965.
- [8] Smirnow N.W., Dunin Barkowski I.W.: Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWN, Warszawa 1966.
- [9] Kondrasziehin W.T.: Tieoria oszibok. Izd. Transport, Moskwa 1969.
- [10] Równania liniowe fizyki matematycznej. PWN, Warszawa 1970.
- [11] Tienkin A.G.: Obratnyje metody tiełłoprowodnosti. Energiia, Moskwa 1973.
- [12] Kamia F.M.: Impulsnaja tieoria tiełłoprowodnosti. Energiia, Moskwa 1972.
- [13] Chincee I.O.: Turbulentnost. GIFML, Moskwa 1963.
- [14] Łykov A.W., Koliesnikow P.M., Martymienko O.G.: Energiopierienos w kanałach. Izd. Nauka i tiechnika, Mińsk 1970.
- [15] Wagner K.W.: Rachunek operatorowy i przekształcenia Laplace'a. PWN, Warszawa 1960.

- [16] Osowski J.: Zarys rachunku operatorowego. WNT, Warszawa 1965.
- [17] Sprawozdanie po specjalnym raporcie. Tęplotowa izolacja. ILPS, Moskwa 1964.
- [18] Techniczne problemy termofikacji. GEI, Moskwa 1962.
- [19] Zielikson N.M., Szpierz M.G.: Tęplotowa izolacja turbopomp ciepłych sieci. GEI, Moskwa 1962.
- [20] Pogorzelski W.: Analiza matematyczna. PWN, Warszawa 1956.
- [21] Kamler W.: Ciepłownictwo. Sieci ciepłe. WNT, Warszawa 1973.
- [22] Ciepło i masoprzenieszenie. GEI, Moskwa 1963.
- [23] Heat Transfer Notes. McGraw-Hill Book Company, New York 1965.
- [24] Sokołow E.J., Gromow N.K., Sałomow A.P.: Eksploatacja ciepłych sieci. GEI, Moskwa 1955.
- [25] Judaiew B.N.: Tęplotoprowadzenie. Wyd. Wysszaja Szkoła, Moskwa 1973.
- [26] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. WNT, Warszawa 1968.
- [27] Wärme und Kälteschutz. VDI 2055 - Verlag GmbH, Düsseldorf, 1958.
- [28] Snedon T.: Równania różniczkowe cząstkowe. PWN, Warszawa 1962.
- [29] Rietschel/Raiss: Ogrzewanie i klimatyzacja. Arkady, Warszawa 1973.
- [30] Juzi H.: Rachunkowe ujęcie wpływu przegród na wymianę ciepła pomieszczeń przewietrzanych. Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftung 32 /1965/ 4/10.
- [31] Homonnay G., Hoffmann A.: Ferroviz távezetéseket közlő időszakos közlemények és eseten. Épületgépészet /1970/ 3/19.

- [32] Szimko N.G.: Koniecznoje intiegralnoje prieobrazowanie Chankiela dla połowo cilindra. Inż. Fiz. Żur., 10/1960.
- [33] Daniłowa I.N.: Razpriedielienie tiempieratury w nieograni-
czienom połom cilindrie pri tiepłooobmienie na granicach
so sriedami pieriemiennoi i postoiannoi tiempieratury.
Inż. Fiz. Żur., 12/1958.
- [34] Elistratowa M.W.: Ob odnom koniecznom intiegralnom prieobra-
zowani Chaniela. Inż. Fiz. Żur., 6/1960.
- [35] Trofimow E.P.: Zadacza o niestacjonarnom polie tiempieratur
nieograniczienowo połowo cilindra. Inż. Fiz. Żur., 10/1960.
- [36] Nikitin A.T.: Raspriedielenie tiempieratury w nieograniczie-
nom połom cilindrie pri tiepłooobmienie na granicach so srie-
dami pierimiennoi tiempieratura. Inż. Fiz. Żur., 8/1960.
- [37] Schwarz C.: Temperaturverteilung Wärmedurchgang und
Speicherfähigkeit bei einseitig periodisch beheizten Wänden.
Zeitsch. f. tech. Physik, 9/1925.
- [38] Weber A.P.: Centralne ogrzewania wodne. Arkady, Warszawa 1971.
- [39] Staniszewski B.: Wymiana ciepła podstawy teoretyczne. PWN,
Warszawa 1963.
- [40] Juszko P.P.: Funkcje Bessela i ich przyłożenia k zadaczom
ob ochłōzdieni cilindra. Izd. AN. BSSR, Minsk 1962.
- [41] Strzałkowski A., Sliżyński A.: Matematyczne metody opracowy-
wania wyników pomiarów. PWN, Warszawa 1973.
- [42] Turbulent flows and heat transfer. PUP, New Jersey 1959.
- [43] Lykow A.B.: Tieoria tiepłoprowodnosti. GITEL, Moskwa 1952.
- [44] Goliant M.M.: Rasciety i ispitania tiepłowoi izolacii. GNTI,
Leningrad 1961.

- [45] Carslaw H.S., Jaeger J.C.: Conduction of heat in solids
At, the Clar.Pr. Oxford 1961.
- [46] Vypocet normy tepelnych ztrat horkowodnich tepelnych siti
v rozvodu tepla. Energetika /1971/ 6/21.
- [47] Liewina T.A., Kozin W.E.: Uproszczennyi metody raschieta
otkrytykh sistem teplosnabzhenia s nieravnymi raschietynymi
raschodami vody v podajushchei i obratnoi magistrali.
Wodosnabzhenie i sanitarnaja tiechnika 12/1970.
- [48] O metodach gidrawliczeskikh ispitani vodiannykh tieplo-
vyykh sietey. Elektricheskie stancii 11/1971.
- [49] Kropp L.D., Podriozov W.W.: Metodika raschieta summarnoi
potieri tepla razvvetvliennymi tieplovymi sietiami. Prom.
energetika 8/1969.
- [50] Izpitvanie na toplinni izolacii v uslovijata na biozkanalno
polaganie. Izd. Tiechnika, Sofia 1968.
- [51] Garbac L.: Sugaras rendszeru osihalozatok optimalis nierot-
czese. Energia es Atomtechnika 4/1971.
- [52] Liptak A.: A tav futessel szolgaltatott ho merese. Energia
es atomtechnika /1969/ 2/22.
- [53] Liptak A.: Meressel es szabalyozassal kapcsolatos iranyelvek
tav futesnel. Energia es atomtechnika /1971/ 1/24.
- [54] Barcs V., Szabo G.: Az epulethataro szerkezeteken
kevesotul le trejo vo hoterkeles meghatarozasa az egyener-
teku homerzekletkulonseg modszevevel. Epulethepeszet /1970/
3/19.
- [55] Kulakov W.I.: Sposob opriedielenia roschoda para i potier
tepla s kondensatom proizvodstviennymi potrebitieliam.
Prom, energetika 4/1970.

- [56] Belka W.: Pomiary strat przesyłania pary. Gospo. pali i energią 11-12/1966.
- [57] Belka W.: Badania strat cieplnych i ciśnienia w magistralnych rurociągach parowych. Gospo. pali i energią 2/1970.
- [58] Szyda Z., Wacek G.: Pomiar strat cieplnych w magistralnych rurociągach wody gorącej. Gospo. pali i energią 10-11/1969.
- [59] Matematizieskij raschodomer i jego primienienie w tieplo-nych sietiach. Tieploenergiika 1/1971.
- [60] Geipel W.: Die Statistik als Mittel zur Beurteilung von Erdverlagungsverfahren für Fernheizleitungen. Elektrizitätswirtschaft 67 /1968/ Heft 22.
- [61] Schmoltz M.: Etude experimental des pertes dun resean de distribution a distance d'eau surchauffee et d'eau glatee. Industries Thermiques et Aeraniques t.15 12/1969.
- [62] Grigull U., Franz G.: Wärmeverluste erdverlagter Rohrleitungen. Wärme und Stoffübertragung 2/1969.
- [63] Bogos G.T.: Determination des pertes calorifiques des reseaux thermiques enterres. Chauffage, Ventilation, Conditionnement /1968/ 9/44.
- [64] Harris B.R., Fitzgerald D.: Estimation of Heat Losses from Buried Insulated Hot Pipes. Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers /1970/ 9/38.
- [65] Franz G., Grigull U.: Wärmeverluste von beheizten Rohrleitungen im Erdboden Heat Losses of Buried Pipes. Wärme und Stoffübertragung 2/1969.
- [66] Normy projektowania tiepłowo izolacji dla turboprowodow i oborudowanie, elektrostancji i tiepłowych sietiej. GEL, Moskwa 1959.

- [67] Cientier F.G.: Projektowanie ciepłowni izolacji elektro-
stancji i ciepłych sieci. Izd. Energia, Moskwa 1972.
- [68] Szubin F.P.: Ciepłoelektrocentrali i ciepłowne sieci.
GEI, Moskwa 1971.
- [69] Eksploatacja miejskich ciepłych sieci. Sb.stat., Moskwa
1964.
- [70] Carlsson S.: Värmeförluster från kulvövtledningar. Statens
råd för byggnadsforskning, Stockholm 1963.
- [71] Danckaert J.: L'isolation thermique industrielle. Editions
Eyrolles, Paris 1969.
- [72] Gasquet R.: Isolation thermique industrielle. Dunod, Paris
1966.
- [73] Malloy J.F.: Thermal insulation. A.o., cop., New York 1969.
- [74] Wilson A.C.: Industrial thermal insulation. Materials,
application methods, specifications. McGraw-Hill, New York
1959.
- [75] Sokołow E.J.: Sieci ciepłe. PWN, Warszawa 1955.
- [76] Nowoczesna matematyka dla inżynierów. PWN, Warszawa 1962.
- [77] Vidal J.: Determination des pertes calorifiques dans les
écanalisations enterrées. SIC, Bruxelles 1961.
- [78] Transactions. American Society of Heating and Ventilating
engineers. New York 1939.
- [79] Tautz H.: Wärmeleitung und temperaturlausgleich. Akademie-
Verlag, Berlin 1971.
- [80] Sokołow E.J.; Gromow H.K.; Safonow A.P.: Eksploatacja ciepło-
wych sieci. GEI, Moskwa 1955.

pomiar I. odcinek I - magistrala d_n 900 mm

przekrój początkowy odcinka pomiarowego

Lp.	Czas pom.	Temperatura wody		Ciśnienie wody		Temperatura pow. w kanale zewnątrz.	
		zasilanie	powrót	zasilanie	powrót		
		°C		MPa		°C	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	12 ²¹	69,90	41,92				5,3
2	12 ²²	70,20	41,98				
3	12 ²³	70,50	41,98	1,400	0,275		
4	12 ²⁴	70,70	41,98				
5	12 ²⁵	71,00	41,98				
6	12 ²⁶	71,05	42,00				
7	12 ²⁷	71,22	42,00				
8	12 ²⁸	71,39	42,00	1,420	0,283		
9	12 ²⁹	71,89	42,00				
10	12 ³⁰	71,89	41,99				
11	12 ³¹	71,90	42,00				
12	12 ³²	71,90	41,97				
13	12 ³³	71,86	41,97	1,425	0,293		
14	12 ³⁴	71,78	41,95				
15	12 ³⁵	71,75	41,92				
16	12 ³⁶	71,61	41,90				
17	12 ³⁷	71,54	41,89				
18	12 ³⁸	71,50	41,88	1,430	0,291		
19	12 ³⁹	71,41	41,86				
20	12 ⁴⁰	71,40	41,86				
21	12 ⁴¹	71,39	41,87				
22	12 ⁴²	71,33	41,89				
23	12 ⁴³	71,30	41,90	1,420	0,290		
24	12 ⁴⁴	71,31	41,90				
25	12 ⁴⁵	71,30	41,89				
26	12 ⁴⁶	71,22	41,89				
27	12 ⁴⁷	71,25	41,87				
28	12 ⁴⁸	70,99	41,85	1,420	0,282		

1	2	3	4	5	6	7	8
29	12 ⁴⁹	70,89	41,81				
30	12 ⁵⁰	70,79	41,80				
31	12 ⁵¹	70,60	41,78				
32	12 ⁵²	70,51	41,75				
33	12 ⁵³	70,45	41,71	1,425	0,280		
34	12 ⁵⁴	70,41	41,70				
35	12 ⁵⁵	70,40	41,69				
36	12 ⁵⁶	70,39	41,69				
37	12 ⁵⁷	70,20	41,69				
38	12 ⁵⁸	70,29	41,66	1,440	0,288		
39	12 ⁵⁹	70,20	41,62				
40	13 ⁰⁰	70,19	41,61				
41	13 ⁰¹	70,15	41,59				
42	13 ⁰²	70,19	41,56				
43	13 ⁰³	70,20	41,55	1,450	0,295		
44	13 ⁰⁴	70,21	41,50				
45	13 ⁰⁵	70,22	41,49				
46	13 ⁰⁶	70,29	41,47				
47	13 ⁰⁷	70,30	41,42				
48	13 ⁰⁸	70,29	41,41	1,445	0,295		
49	13 ⁰⁹	70,30	41,40				
50	13 ¹⁰	70,30	41,39				5,00
51	13 ¹¹	70,39	41,35				
52	13 ¹²	70,30	41,31				
53	13 ¹³	70,25	41,28	1,440	0,287		
54	13 ¹⁴	70,21	41,26				
55	13 ¹⁵	70,22	41,25				
56	13 ¹⁶	70,20	41,22				
57	13 ¹⁷	70,20	41,22				
58	13 ¹⁸	70,20	41,21	1,440	0,298		
59	13 ¹⁹	70,19	41,17				
60	13 ²⁰	70,12	41,15				
61	13 ²¹	70,11	41,10				
62	13 ²²	70,10	41,08				
63	13 ²³	70,10	41,04	1,435	0,288		
64	13 ²⁴	70,11	41,01				

1	2	3	4	5	6	7	8
65	13 ²⁵	70,10	41,01				
66	13 ²⁶	61,91	41,00				
67	13 ²⁷	69,81	41,00				
68	13 ²⁸	69,78	41,00	1,440	0,293		
69	13 ²⁹	69,65	41,00				
70	13 ³⁰	69,60	41,00				
71	13 ³¹	69,59	41,00				
72	13 ³²	69,49	41,00				
73	13 ³³	69,40	41,00	1,450	0,295		
74	13 ³⁴	69,30	40,99				
75	13 ³⁵	69,20	40,99				
76	13 ³⁶	69,11	40,99				
77	13 ³⁷	69,06	40,98				
78	13 ³⁸	69,00	40,96	1,445	0,293		
79	13 ³⁹	69,00	40,96				
80	13 ⁴⁰	69,00	40,97				
81	13 ⁴¹	69,11	40,95				
82	13 ⁴²	69,10	40,96				
83	13 ⁴³	69,10	40,96				
84	13 ⁴⁴	69,11	40,98				
85	13 ⁴⁵	69,11	41,00				
86	13 ⁴⁶	68,91	40,99				
87	13 ⁴⁷	68,81	41,00				
88	13 ⁴⁸	68,78	41,00	1,425	0,282		
89	13 ⁴⁹	68,65	41,00				
90	13 ⁵⁰	68,60	40,99				
91	13 ⁵¹	68,51	40,99				
92	13 ⁵²	68,49	40,97				
93	13 ⁵³	68,40	40,97				
94	13 ⁵⁴	68,30	40,83	1,420	0,285		
95	13 ⁵⁵	68,20	40,92				
96	13 ⁵⁶	68,11	40,92				
97	13 ⁵⁷	68,06	40,90				
98	13 ⁵⁸	68,00	40,88				
99	13 ⁵⁹	68,00	40,87	1,430	0,285		

o.d. tabl'oy 18

1	2	3	4	5	6	7	8
100	14 ⁰⁰	68,00	40,85				
101	14 ⁰¹	68,00	40,82				
102	14 ⁰²	68,01	40,81				
103	14 ⁰³	68,01	40,82	1,423	0,285		
104	14 ⁰⁴	68,01	40,80				4,9
105	14 ⁰⁵	68,01	40,81				

pomiar I. odcinek pierwszy - magistrala d_n 900 mm
przekrój końcowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	12 ²¹	69,81	42,01				
2	12 ²²	69,81	42,05				
3	12 ²³	69,80	42,04				
4	12 ²⁴	69,78	42,05				
5	12 ²⁵	69,77	42,03				
6	12 ²⁶	69,78	42,02				
7	12 ²⁷	69,79	42,00				
8	12 ²⁸	69,80	41,97				
9	12 ²⁹	69,81	41,94				
10	12 ³⁰	70,12	41,94	1,322	0,281	35,8	5,6
11	12 ³¹	70,42	41,91				
12	12 ³²	70,62	41,92				
13	12 ³³	70,92	41,92				
14	12 ³⁴	70,97	41,95				
15	12 ³⁵	71,14	41,95	1,340	0,391		
16	12 ³⁶	71,31	41,96				
17	12 ³⁷	71,81	41,94				
18	12 ³⁸	71,81	41,95				
19	12 ³⁹	71,82	41,92				
20	12 ⁴⁰	71,82	41,90	1,343	0,388		
21	12 ⁴¹	71,78	41,86				
22	12 ⁴²	71,70	41,86				
23	12 ⁴³	71,68	41,84				
24	12 ⁴⁴	71,53	41,80				
25	12 ⁴⁵	71,46	41,76	1,341	0,382		
26	12 ⁴⁶	71,42	41,76				
27	12 ⁴⁷	71,33	41,75				
28	12 ⁴⁸	71,32	41,75				
29	12 ⁴⁹	71,31	41,74				
30	12 ⁵⁰	71,25	41,70	1,341	0,380		
31	12 ⁵¹	71,22	41,68				
32	12 ⁵²	71,23	41,67				
33	12 ⁵³	71,22	41,64				
34	12 ⁵⁴	71,14	41,61				
35	12 ⁵⁵	71,17	41,61	1,340	0,378		

1	2	3	4	5	6	7	8
36	12 ⁵⁶	70,90	41,56				
37	12 ⁵⁷	70,82	41,54				
38	12 ⁵⁸	70,71	41,52				
39	12 ⁵⁹	70,51	41,48				
40	13 ⁰⁰	70,45	41,47	1,346	0,385	35,50	5,8
41	13 ⁰¹	70,37	41,45				
42	13 ⁰²	70,32	41,44				
43	13 ⁰³	70,30	41,40				
44	13 ⁰⁴	70,30	41,37				
45	13 ⁰⁵	70,12	41,32	1,360	0,381		
46	13 ⁰⁶	70,22	41,31				
47	13 ⁰⁷	70,12	41,30				
48	13 ⁰⁸	70,10	41,28				
49	13 ⁰⁹	70,07	41,28				
50	13 ¹⁰	70,10	41,26	1,365	0,392		
51	13 ¹¹	70,12	41,23				
52	13 ¹²	70,14	41,20				
53	13 ¹³	70,15	41,15				
54	13 ¹⁴	70,21	41,13				
55	13 ¹⁵	70,21	41,09	1,350	0,382		
56	13 ¹⁶	70,22	41,07				
57	13 ¹⁷	70,23	41,07				
58	13 ¹⁸	70,24	41,05				
59	13 ¹⁹	70,29	41,05				
60	13 ²⁰	70,21	41,06	1,355	0,387		
61	13 ²¹	70,29	41,06				
62	13 ²²	70,14	41,05				
63	13 ²³	70,14	41,05				
64	13 ²⁴	70,13	41,06				
65	13 ²⁵	70,14	41,06	1,350	0,382	35,5	
66	13 ²⁶	70,15	41,05				
67	13 ²⁷	70,12	41,04				
68	13 ²⁸	70,04	41,04				
69	13 ²⁹	70,04	41,04				
70	13 ³⁰	70,02	41,02	1,368	0,392		5,6
71	13 ³¹	70,01	41,01				
72	13 ³²	70,03	41,02				

1	2	3	4	5	6	7	8
73	13 ³³	70,03	41,00				
74	13 ³⁴	69,82	41,01				
75	13 ³⁵	69,72	41,02	1,365	0,399		
76	13 ³⁶	69,70	41,04				
77	13 ³⁷	69,57	41,05				
78	13 ³⁸	69,53	41,04				
79	13 ³⁹	69,45	41,04				
80	13 ⁴⁰	69,40	41,05	1,370	0,400		
81	13 ⁴¹	69,32	41,05				
82	13 ⁴²	69,21	41,06				
83	13 ⁴³	69,12	41,05				
84	13 ⁴⁴	69,02	41,04				
85	13 ⁴⁵	68,96	41,02	1,365	0,389		
86	13 ⁴⁶	68,90	41,02				
87	13 ⁴⁷	68,97	40,98				
88	13 ⁴⁸	68,92	40,97				
89	13 ⁴⁹	69,02	40,97				
90	13 ⁵⁰	69,02	40,95	1,355	0,379	35,5	
91	13 ⁵¹	69,03	40,93				
92	13 ⁵²	69,03	40,92				
93	13 ⁵³	69,03	40,90				
94	13 ⁵⁴	68,83	40,87				
95	13 ⁵⁵	68,73	40,86	1,350	0,381		
96	13 ⁵⁶	68,70	40,87				
97	13 ⁵⁷	68,57	40,86				
98	13 ⁵⁸	68,52	40,87				
99	13 ⁵⁹	68,42	40,88				
100	14 ⁰⁰	68,41	40,87	1,355	0,382		
101	14 ⁰¹	68,30	40,86				
102	14 ⁰²	68,22	40,85				
103	14 ⁰³	68,12	40,84				
104	14 ⁰⁴	68,03	40,82				
105	14 ⁰⁵	67,98	40,83	1,350	0,380		

tablica 20

pomiar II. odcinek pierwszy - magistrala d_n 900 mm
przekrój początkowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	10^{37}	83,18	41,50	1,361	0,328		2,8
2	10^{38}	83,18	41,52				
3	10^{39}	83,19	41,51				
4	10^{40}	83,20	41,50				
5	10^{41}	83,21	41,49				
6	10^{42}	83,23	41,48	1,326	0,299		
7	10^{43}	83,25	41,48				
8	10^{44}	83,26	41,47				
9	10^{45}	83,27	41,46				
10	10^{46}	83,27	41,45				
11	10^{47}	83,26	41,44	1,330	0,300		
12	10^{48}	83,25	41,45				
13	10^{49}	83,24	41,46				
14	10^{50}	83,25	41,45				
15	10^{51}	83,24	41,42				
16	10^{52}	83,23	41,43	1,334	0,301		
17	10^{53}	83,22	41,42				
18	10^{54}	83,21	41,42				
19	10^{55}	83,21	41,42				
20	10^{56}	83,21	41,43				
21	10^{57}	83,21	41,44	1,335	0,298		3,0
22	10^{58}	83,20	41,43				
23	10^{59}	83,20	41,40				
24	11^{00}	83,20	41,41				
25	11^{01}	83,21	41,40				
26	11^{02}	83,22	41,40	1,345	0,298		
27	11^{03}	83,22	41,41				
28	11^{04}	83,23	41,47				
29	11^{05}	83,24	41,47				
30	11^{06}	83,24	41,46				
31	11^{07}	83,24	41,45	1,350	0,288		
32	11^{08}	83,25	41,42				
33	11^{09}	83,26	41,40				

1	2	3	4	5	6	7	8
34	11 ¹⁰	83,27	41,37				
35	11 ¹¹	83,26	41,35				
36	11 ¹²	83,27	41,33	1,347	0,285		
37	11 ¹³	83,26	41,31				
38	11 ¹⁴	83,27	41,28				
39	11 ¹⁵	83,25	41,28				
40	11 ¹⁶	83,26	41,29				
41	11 ¹⁷	83,24	41,27	1,350	0,288		1,3
42	11 ¹⁸	83,25	41,26				
43	11 ¹⁹	83,26	41,24				
44	11 ²⁰	83,27	41,20				
45	11 ²¹	83,28	41,18				
46	11 ²²	83,29	41,17	1,340	0,295		
47	11 ²³	83,30	41,16				
48	11 ²⁴	83,31	41,15				
49	11 ²⁵	83,31	41,14				
50	11 ²⁶	83,32	41,13				
51	11 ²⁷	83,33	41,12	1,341	0,292		
52	11 ²⁸	83,34	41,11				
53	11 ²⁹	83,35	41,10				
54	11 ³⁰	83,36	41,10				
55	11 ³¹	83,37	41,10				
56	11 ³²	83,39	41,10	1,361	0,328		
57	11 ³³	83,40	41,09				
58	11 ³⁴	83,41	41,09				
59	11 ³⁵	83,42	41,09				
60	11 ³⁶	83,43	41,08				
61	11 ³⁷	83,44	41,08	1,335	0,308		
62	11 ³⁸	83,46	41,09				
63	11 ³⁹	83,48	41,12				
64	11 ⁴⁰	83,49	41,14				
65	11 ⁴¹	83,51	41,15				
66	11 ⁴²	83,51	41,15	1,325	0,296		
67	11 ⁴³	83,52	41,15				
68	11 ⁴⁴	83,53	41,16				
69	11 ⁴⁵	83,54	41,17				
70	11 ⁴⁶	83,54	41,17	1,330	0,300		

1	2	3	4	5	6	7	8
71	11 ⁴⁷	83,55	41,18				
72	11 ⁴⁸	83,56	41,20				
73	11 ⁴⁹	83,62	41,22				
74	11 ⁵⁰	83,57	41,24				
75	11 ⁵¹	83,61	41,26	1,330	0,298		
76	11 ⁵²	83,62	41,26				
77	11 ⁵³	83,60	41,26				
78	11 ⁵⁴	83,53	41,26				
79	11 ⁵⁵	83,53	41,26				
80	11 ⁵⁶	83,52	41,26	1,330	0,299		
81	11 ⁵⁷	83,50	41,26				
82	11 ⁵⁸	83,43	41,27				
83	11 ⁵⁹	83,42	41,27				
84	12 ⁰⁰	83,36	41,29				
85	12 ⁰¹	83,32	41,35	1,334	0,297		
86	12 ⁰²	83,32	41,34				
87	12 ⁰³	83,30	41,3				
88	12 ⁰⁴	83,40	41,32				
89	12 ⁰⁵	83,52	41,29				
90	12 ⁰⁶	83,52	41,28	1,345	0,295		
91	12 ⁰⁷	82,84	41,28				
92	12 ⁰⁸	82,40	41,31				
93	12 ⁰⁹	82,21	41,33				
94	12 ¹⁰	82,01	41,35				
95	12 ¹¹	81,26	41,37	1,350	0,288		
96	12 ¹²	80,72	41,40				
97	12 ¹³	80,45	41,42				
98	12 ¹⁴	80,21	41,45				
99	12 ¹⁵	80,23	41,46				
100	12 ¹⁶	80,21	41,47	1,345	0,295		
101	12 ¹⁷	80,30	41,47				
102	12 ¹⁸	80,41	41,47				
103	12 ¹⁹	80,56	41,47				
104	12 ²⁰	80,41	41,47				
105	12 ²¹	80,26	41,47	1,340	0,303		
106	12 ²²	80,00	41,47				

1	2	3	4	5	6	7	8
107	12 ²³	79,71	41,48				
108	12 ²⁴	79,41	41,50				
109	12 ²⁵	79,31	41,52				
110	12 ²⁶	79,21	41,55	1,325	0,294		
111	12 ²⁷	79,26	41,57				
112	12 ²⁸	80,00	41,58				
113	12 ²⁹	80,71	41,59				
114	12 ³⁰	81,09	41,62				
115	12 ³¹	81,29	41,63	1,349	0,289		
116	12 ³²	81,44	41,65				
117	12 ³³	81,33	41,66				
118	12 ³⁴	81,41	41,66				
119	12 ³⁵	81,36	41,67				
120	12 ³⁶	81,30	41,67	1,349	0,286		
121	12 ³⁷	81,26	41,68				
122	12 ³⁸	81,31	41,70				
123	12 ³⁹	81,40	41,70				5,5
124	12 ⁴⁰	81,52	41,72				
125	12 ⁴¹	81,79	41,74	1,345	0,286		
126	12 ⁴²	82,11	41,75				
127	12 ⁴³	82,45	41,75				
128	12 ⁴⁴	82,82	41,76				
129	12 ⁴⁵	83,16	41,73				
130	12 ⁴⁶	83,36	41,78	1,350	0,297		
131	12 ⁴⁷	83,45	41,81				
132	12 ⁴⁸	83,50	41,82				
133	12 ⁴⁹	82,84	41,83				
134	12 ⁵⁰	82,15	41,84				
135	12 ⁵¹	81,78	41,84	1,350	0,293		
136	12 ⁵²	81,22	41,85				
137	12 ⁵³	81,60	41,86				
138	12 ⁵⁴	82,02	41,86				
139	12 ⁵⁵	82,55	41,87				
140	12 ⁵⁶	83,30	41,87	1,350	0,276		
141	12 ⁵⁷	83,66	41,89				
142	12 ⁵⁸	83,80	41,90				
143	12 ⁵⁹	83,22	41,92				

c.d. tablicy 20

1	2	3	4	5	6	7	8
144	13 ⁰⁰	82,40	41,95				
145	13 ⁰¹	81,60	41,96	1,270	0,231		
146	13 ⁰²	81,04	41,97				
147	13 ⁰³	80,85	41,97				
148	13 ⁰⁴	80,95	41,97				
149	13 ⁰⁵	81,45	41,97				
150	13 ⁰⁶	82,05	41,97	1,365	0,297		
151	13 ⁰⁷	82,55	41,97				
152	13 ⁰⁸	82,95	41,97				
153	13 ⁰⁹	83,59	41,96				
154	13 ¹⁰	84,20	41,96				5,1
155	13 ¹¹	84,45	41,97	1,415	0,336		
156	13 ¹²	84,45	41,97				
157	13 ¹³	84,26	42,98				
158	13 ¹⁴	84,05	42,01				
159	13 ¹⁵	83,89	42,03				
160	13 ¹⁶	83,75	42,06	1,420	0,342		
161	13 ¹⁷	83,69	42,07				
162	13 ¹⁸	83,67	42,08				
163	13 ¹⁹	83,70	42,11				
164	13 ²⁰	83,76	42,13				
165	13 ²¹	83,65	42,15	1,415	0,338		
166	13 ²²	83,60	42,16				
167	13 ²³	83,01	42,17				
168	13 ²⁴	82,53	42,17				
169	13 ²⁵	81,41	42,18				
170	13 ²⁶	80,70	42,18	1,389	0,353		
171	13 ²⁷	81,01	42,19				
172	13 ²⁸	81,22	42,21				
173	13 ²⁹	81,91	42,20				
174	13 ³⁰	83,51	42,21				
175	13 ³¹	84,31	42,21	1,410	0,328		
176	13 ³²	84,71	42,21				
177	13 ³³	84,51	42,23				
178	13 ³⁴	84,17	42,23				

1	2	3	4	5	6	7	8
179	13 ³⁵	82,98	42,23				
180	13 ³⁶	81,93	42,24	1,350	0,339		
181	13 ³⁷	81,13	42,26				
182	13 ³⁸	80,98	42,27				
183	13 ³⁹	81,62	42,27				
184	13 ⁴⁰	83,48	42,28				
185	13 ⁴¹	84,93	42,30	1,330	0,218		
186	13 ⁴²	85,73	42,32				
187	13 ⁴³	86,08	42,33				
188	13 ⁴⁴	86,13	42,34				
189	13 ⁴⁵	86,28	42,34				
190	13 ⁴⁶	84,93	42,35	1,275	0,230		
191	13 ⁴⁷	83,93	42,35				
192	13 ⁴⁸	83,08	42,36				
193	13 ⁴⁹	82,34	42,37				
194	13 ⁵⁰	81,88	42,37				
195	13 ⁵¹	81,63	42,37	1,350	0,330		
196	13 ⁵²	81,38	42,37				
197	13 ⁵³	81,13	42,37				

pomiar II. odcinek pierwszy - magistrala d_n 900 mm
przekrój końcowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	10^{37}	83,15	41,52				
2	10^{38}	83,17	41,59				
3	10^{39}	83,18	41,50				
4	10^{40}	83,17	41,50				
5	10^{41}	83,16	41,51	1,291	0,401	35,5	3,3
6	10^{42}	83,14	41,50				
7	10^{43}	83,10	41,47				
8	10^{44}	83,08	41,48				
9	10^{45}	83,07	41,47				
10	10^{46}	83,08	41,48	1,258	0,392		
11	10^{47}	83,09	41,48				
12	10^{48}	83,09	41,48				
13	10^{49}	83,11	41,49				
14	10^{50}	83,13	41,48				
15	10^{51}	83,16	41,45	1,270	0,381		
16	10^{52}	83,16	41,47				
17	10^{53}	83,17	41,45				
18	10^{54}	83,18	41,45				
19	10^{55}	83,16	41,46				
20	10^{56}	83,15	41,53	1,271	0,380		
21	10^{57}	83,14	41,55				
22	10^{58}	83,15	41,53				
23	10^{59}	83,14	41,52				
24	11^{00}	83,14	41,49				
25	11^{01}	83,12	41,46	1,282	0,381	36,0	3,5
26	11^{02}	83,10	41,43				
27	11^{03}	83,11	41,40				
28	11^{04}	83,11	41,37				
29	11^{05}	83,10	41,35				
30	11^{06}	83,10	41,33	1,193	0,374		
31	11^{07}	83,11	41,33				
32	11^{08}	83,10	41,35				

1	2	3	4	5	6	7	8
33	11 ⁰⁹	83,11	41,33				
34	11 ¹⁰	83,12	41,32				
35	11 ¹¹	83,12	41,31	1,297	0,390		
36	11 ¹²	83,12	41,27				
37	11 ¹³	83,13	41,25				
38	11 ¹⁴	83,13	41,25				
39	11 ¹⁵	83,14	41,24				
40	11 ¹⁶	83,15	41,22	1,300	0,385		
41	11 ¹⁷	83,16	41,21				
42	11 ¹⁸	83,18	41,20				
43	11 ¹⁹	83,17	41,18				
44	11 ²⁰	83,16	41,17				
45	11 ²¹	83,15	41,16	1,295	0,386	35,8	3,5
46	11 ²²	83,16	41,15				
47	11 ²³	83,15	41,15				
48	11 ²⁴	83,15	41,15				
49	11 ²⁵	83,15	41,14				
50	11 ²⁶	83,15	41,13	1,292	0,392		
51	11 ²⁷	83,16	41,13				
52	11 ²⁸	83,17	41,14				
53	11 ²⁹	83,18	41,13				
54	11 ³⁰	83,19	41,13				
55	11 ³¹	83,20	41,15	1,285	0,382		
56	11 ³²	83,21	41,18				
57	11 ³³	83,20	41,20				
58	11 ³⁴	83,22	41,22				
59	11 ³⁵	83,23	41,22				
60	11 ³⁶	83,24	41,22	1,290	0,400	36,0	3,4
61	11 ³⁷	83,26	41,22				
62	11 ³⁸	83,27	41,24				
63	11 ³⁹	83,27	41,23				
64	11 ⁴⁰	83,28	41,24				
65	11 ⁴¹	83,29	41,29	1,288	0,389		
66	11 ⁴²	83,31	41,30				

c.d. tablicy 21

1	2	3	4	5	6	7	8
67	11 ⁴³	83,32	41,32				
68	11 ⁴⁴	83,33	41,32				
69	11 ⁴⁵	83,34	41,32				
70	11 ⁴⁶	83,36	41,31	1,258	0,391		
71	11 ⁴⁷	83,38	41,32				
72	11 ⁴⁸	83,39	41,32				
73	11 ⁴⁹	83,41	41,31				
74	11 ⁵⁰	83,41	41,32				
75	11 ⁵¹	83,41	41,33	1,260	0,389		
76	11 ⁵²	83,43	41,35				
77	11 ⁵³	83,45	41,40				
78	11 ⁵⁴	83,44	41,40				
79	11 ⁵⁵	83,45	41,38				
80	11 ⁵⁶	83,46	41,38	1,270	0,391		
81	11 ⁵⁷	83,53	41,36				
82	11 ⁵⁸	83,47	41,34				
83	11 ⁵⁹	83,50	41,33				
84	12 ⁰⁰	83,51	41,37				
85	12 ⁰¹	83,49	41,39	1,265	0,388		
86	12 ⁰²	83,42	41,42				
87	12 ⁰³	83,43	41,43				
88	12 ⁰⁴	83,40	41,45				
89	12 ⁰⁵	83,39	41,48				
90	12 ⁰⁶	83,33	41,50	1,275	0,385	34,0	6,0
91	12 ⁰⁷	83,31	41,52				
92	12 ⁰⁸	83,27	41,52				
93	12 ⁰⁹	83,22	41,53				
94	12 ¹⁰	83,22	41,54				
95	12 ¹¹	83,20	41,54	1,281	0,378		
96	12 ¹²	83,30	41,54				
97	12 ¹³	83,43	41,53				
98	12 ¹⁴	83,58	41,53				
99	12 ¹⁵	82,74	41,53				
100	12 ¹⁶	82,30	41,55	1,279	0,385		
101	12 ¹⁷	82,10	41,58				

c.d. tablioy 21

1	2	3	4	5	6	7	8
102	12 ¹⁸	81,90	41,61				
103	12 ¹⁹	81,16	41,63				
104	12 ²⁰	80,62	41,63				
105	12 ²¹	80,35	41,65	1,280	0,392		
106	12 ²²	80,11	41,68				
107	12 ²³	80,14	41,69				
108	12 ²⁴	80,11	41,71				
109	12 ²⁵	80,20	41,71				
110	12 ²⁶	80,30	41,72				
111	12 ²⁷	80,46	41,73				
112	12 ²⁸	80,30	41,74				
113	12 ²⁹	80,17	41,74				
114	12 ³⁰	79,91	41,75				
115	12 ³¹	79,60	41,76	1,281	0,380		
116	12 ³²	79,51	41,78				
117	12 ³³	79,20	41,80				
118	12 ³⁴	79,11	41,80				
119	12 ³⁵	79,17	41,80				
120	12 ³⁶	79,90	41,82				
121	12 ³⁷	80,61	41,79	1,290	0,375	35,0	5,6
122	12 ³⁸	80,99	41,83				
123	12 ³⁹	81,18	41,87				
124	12 ⁴⁰	81,34	41,88				
125	12 ⁴¹	81,23	41,89				
126	12 ⁴²	81,30	41,90	1,290	0,375		
127	12 ⁴³	81,27	41,90				
128	12 ⁴⁴	81,20	41,91				
129	12 ⁴⁵	81,15	41,92				
130	12 ⁴⁶	81,21	41,92				
131	12 ⁴⁷	81,30	41,93	1,298	0,388		
132	12 ⁴⁸	81,42	41,93				
133	12 ⁴⁹	81,68	41,95				
134	12 ⁵⁰	82,00	41,96				
135	12 ⁵¹	82,35	41,98				
136	12 ⁵²	82,72	42,01	1,278	0,385		
137	12 ⁵³	83,07	42,02				

1	2	3	4	5	6	7	8
138	12 ⁵⁴	83,26	42,02				
139	12 ⁵⁵	83,35	42,02				
140	12 ⁵⁶	83,40	42,03				
141	12 ⁵⁷	82,74	42,03	1,270	0,366		
142	12 ⁵⁸	82,05	42,03				
143	12 ⁵⁹	81,67	42,03				
144	13 ⁰⁰	81,23	42,02				
145	13 ⁰¹	81,60	42,03				
146	13 ⁰²	81,91	42,02	1,200	0,318		
147	13 ⁰³	82,45	42,03				
148	13 ⁰⁴	83,21	42,03				
149	13 ⁰⁵	83,56	42,04				
150	13 ⁰⁶	83,70	42,07				
151	13 ⁰⁷	83,23	42,09	1,300	0,390	34,0	6,0
152	13 ⁰⁸	82,33	42,11				
153	13 ⁰⁹	81,50	42,13				
154	13 ¹⁰	79,93	42,14				
155	13 ¹¹	80,75	49,17				
156	13 ¹²	80,86	42,19	1,340	0,422		
157	13 ¹³	81,35	42,21				
158	13 ¹⁴	81,94	42,21				
159	13 ¹⁵	82,45	42,23				
160	13 ¹⁶	82,85	42,23				
161	13 ¹⁷	83,46	42,24	1,360	0,437		
162	13 ¹⁸	84,09	42,24				
163	13 ¹⁹	84,45	42,24				
164	13 ²⁰	84,35	42,27				
165	13 ²¹	84,16	42,26				
166	13 ²²	83,95	42,27	1,380	0,423		
167	13 ²³	83,78	42,26				
168	13 ²⁴	83,66	42,29				
169	13 ²⁵	83,59	42,29				
170	13 ²⁶	83,58	42,29				
171	13 ²⁷	83,60	42,30	1,315	0,420		
172	13 ²⁸	83,66	42,32				

1	2	3	4	5	6	7	8
173	13 ²⁹	83,54	42,33				
174	13 ³⁰	83,50	42,33				
175	13 ³¹	82,90	42,33				
176	13 ³²	82,43	42,36	1,340	0,411		
177	13 ³³	81,31	42,38				
178	13 ³⁴	80,60	42,39				
179	13 ³⁵	80,91	42,40				
180	13 ³⁶	81,13	42,40				
181	13 ³⁷	81,81	42,40	1,281	0,419	35,0	4,4
182	13 ³⁸	83,40	42,41				
183	13 ³⁹	84,21	42,42				
184	13 ⁴⁰	84,60	42,43				
185	13 ⁴¹	84,41	42,44				
186	13 ⁴²	84,08	42,43	1,265	0,321		
187	13 ⁴³	82,88	42,43				
188	13 ⁴⁴	81,83	42,42				
189	13 ⁴⁵	81,03	42,43				
190	13 ⁴⁶	80,88	42,45				
191	13 ⁴⁷	81,52	42,46	1,218	0,321		
192	13 ⁴⁸	83,38	42,46				
193	13 ⁴⁹	84,80	42,47				
194	13 ⁵⁰	85,03	42,48				
195	13 ⁵¹	85,08	42,48				
196	13 ⁵²	86,03	42,48	1,290	0,411		
197	13 ⁵³	86,18	42,50				
198	13 ⁵⁴	84,83	42,51				
199	13 ⁵⁵	83,84	42,52				
200	13 ⁵⁶	82,98	42,53				
201	13 ⁵⁷	82,14	42,51	1,290	0,413	35,0	3,7
202	13 ⁵⁸	81,78	42,52				
203	13 ⁵⁹	81,53	42,52				
204	14 ⁰⁰	81,28	42,50				
205	14 ⁰¹	81,04	42,51				

tablica 22

pomiar III. odcinek drugi - magistrala d_n 900 mm
przekrój początkowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ³⁹	85,21	42,50	1,260	0,375	36,8	5,5
2	9 ⁴⁰	85,20	42,51				
3	9 ⁴¹	85,21	42,53				
4	9 ⁴²	85,22	42,53				
5	9 ⁴³	85,22	42,54				
6	9 ⁴⁴	85,22	42,54	1,257	0,376		
7	9 ⁴⁵	85,23	42,54				
8	9 ⁴⁶	85,24	42,53				
9	9 ⁴⁷	85,24	42,52				
10	9 ⁴⁸	85,23	42,51				
11	9 ⁴⁹	85,23	42,50	1,260	0,356		
12	9 ⁵⁰	85,23	42,50				
13	9 ⁵¹	85,22	42,49				
14	9 ⁵²	85,21	42,48				
15	9 ⁵³	85,21	42,46				
16	9 ⁵⁴	85,21	42,45	1,250	0,360		
17	9 ⁵⁵	85,20	42,42				
18	9 ⁵⁶	85,20	42,42				
19	9 ⁵⁷	85,20	42,41				
20	9 ⁵⁸	85,20	42,40				
21	9 ⁵⁹	85,20	42,40	1,240	0,362		
22	10 ⁰⁰	85,18	42,39				
23	10 ⁰¹	85,18	42,38				
24	10 ⁰²	85,15	42,38				
25	10 ⁰³	85,15	42,35				
26	10 ⁰⁴	85,14	42,35	1,245	0,365	37,1	5,5
27	10 ⁰⁵	85,12	42,32				
28	10 ⁰⁶	85,12	42,30				
29	10 ⁰⁷	85,12	42,27				
30	10 ⁰⁸	85,09	42,26				
31	10 ⁰⁹	85,08	42,25	1,246	0,355		
32	10 ¹⁰	85,06	42,24				
33	10 ¹¹	85,05	42,21				

o.d. tablicy 22

1	2	3	4	5	6	7	8
34	10^{12}	85,00	42,20				
35	10^{13}	85,00	42,19				
36	10^{14}	84,93	42,16	1,253	0,369		
37	10^{15}	84,90	42,14				
38	10^{16}	84,90	42,11				
39	10^{17}	84,88	42,08				
40	10^{18}	84,86	42,05				
41	10^{19}	84,85	42,01	1,255	0,372		
42	10^{20}	84,85	41,97				
43	10^{21}	84,84	41,95				
44	10^{22}	84,84	41,90				
45	10^{23}	84,83	41,88				
46	10^{24}	84,83	41,85	1,257	0,365		
47	10^{25}	84,82	41,82				
48	10^{26}	84,81	41,79				
49	10^{27}	84,80	41,75				
50	10^{28}	84,81	41,74				
51	10^{29}	84,82	41,73	1,260	0,375	37,00	3,5
52	10^{30}	84,61	41,75				
53	10^{31}	84,41	41,78				
54	10^{32}	84,22	41,78				
55	10^{33}	84,01	41,79				
56	10^{34}	83,81	41,80	1,255	0,352		
57	10^{35}	83,60	41,80				
58	10^{36}	83,44	41,80				
59	10^{37}	83,41	41,82				
60	10^{38}	83,15	41,82	1,255	0,346		
61	10^{39}	83,00	41,83				
62	10^{40}	82,82	41,83				
63	10^{41}	82,62	41,81				
64	10^{42}	82,49	41,81				
65	10^{43}	82,37	41,80	1,245	0,325		
66	10^{44}	82,24	41,78				
67	10^{45}	82,18	41,78				
68	10^{46}	81,84	41,79				
69	10^{47}	81,64	41,83				

c.d. tablioy 22

1	2	3	4	5	6	7	8
70	10 ⁴⁸	81,24	41,85				
71	10 ⁴⁹	80,87	41,86	1,240	0,360		
72	10 ⁵⁰	80,62	41,87				
73	10 ⁵¹	80,17	41,88				
74	10 ⁵²	79,62	41,88				
75	10 ⁵³	80,12	41,88				
76	10 ⁵⁴	81,71	41,88	1,240	0,377		
77	10 ⁵⁵	82,41	41,91				
78	10 ⁵⁶	82,67	41,91				
79	10 ⁵⁷	82,54	41,98				
80	10 ⁵⁸	82,51	41,96				
81	10 ⁵⁹	82,49	41,96	1,245	0,365	37,5	5,5
82	11 ⁰⁰	82,67	41,96				
83	11 ⁰¹	82,77	41,94				
84	11 ⁰²	82,88	41,98				
85	11 ⁰³	83,05	41,93				
86	11 ⁰⁴	83,18	41,94	1,245	0,355		
87	11 ⁰⁵	83,33	41,94				
88	11 ⁰⁶	83,51	41,94				
89	11 ⁰⁷	83,54	41,95				
90	11 ⁰⁸	83,59	41,96				
91	11 ⁰⁹	83,27	41,98	1,255	0,369		
92	11 ¹⁰	82,64	41,99				
93	11 ¹¹	82,70	41,99				
94	11 ¹²	83,29	42,07				
95	11 ¹³	83,29	42,10				
96	11 ¹⁴	83,31	42,10	1,255	0,372		
97	11 ¹⁵	83,59	42,14				
98	11 ¹⁶	83,55	42,15				
99	11 ¹⁷	84,07	42,17				
100	11 ¹⁸	84,51	42,19				
101	11 ¹⁹	84,61	42,24	1,255	0,365		
102	11 ²⁰	84,80	42,28				
103	11 ²¹	84,99	42,28				
104	11 ²²	85,10	42,30				
105	11 ²³	85,14	42,37				

o.d. tablicy 22

1	2	3	4	5	6	7	8
106	11 ²⁴	85,20	42,38	1,255	0,352		
107	11 ²⁵	85,21	42,38				
108	11 ²⁶	85,22	42,38				
109	11 ²⁷	85,49	42,43				
110	11 ²⁸	86,22	42,43				
111	11 ²⁹	86,39	42,43	1,255	0,370		
112	11 ³⁰	86,44	42,45				
113	11 ³¹	86,12	42,47				
114	11 ³²	85,53	42,48				
115	11 ³³	84,79	42,49				
116	11 ³⁴	84,44	42,51	1,240	0,361		
117	11 ³⁵	84,43	42,51				
118	11 ³⁶	84,53	42,54				
119	11 ³⁷	84,81	42,53				
120	11 ³⁸	84,96	42,53				
121	11 ³⁹	85,05	42,53	1,220	0,372		
122	11 ⁴⁰	85,12	42,50				
123	11 ⁴¹	85,21	42,51				
124	11 ⁴²	85,24	42,51				
125	11 ⁴³	85,31	42,51				
126	11 ⁴⁴	85,32	42,56	1,220	0,352		
127	11 ⁴⁵	85,41	42,58				
128	11 ⁴⁶	85,93	42,58				
129	11 ⁴⁷	86,50	42,60				
130	11 ⁴⁸	86,67	42,61				
131	11 ⁴⁹	86,73	42,61	1,235	0,375		
132	11 ⁵⁰	86,73	42,66				
133	11 ⁵¹	86,70	42,66				
134	11 ⁵²	86,42	42,66				
135	11 ⁵³	86,01	42,66				
136	11 ⁵⁴	85,24	42,66	1,240	0,359		
137	11 ⁵⁵	84,33	42,65				
138	11 ⁵⁶	83,83	42,63				
139	11 ⁵⁷	84,23	42,60				
140	11 ⁵⁸	85,04	42,58				
141	11 ⁵⁹	85,11	42,56	1,213	0,359	38,0	6,9

o.d. tablioy 22

1	2	3	4	5	6	7	8
142	12 ⁰⁰	84,69	42,51				
143	12 ⁰¹	84,40	42,48				
144	12 ⁰²	84,35	42,48				
145	12 ⁰³	84,61	42,48				
146	12 ⁰⁴	85,60	42,48	1,220	0,363		
147	12 ⁰⁵	85,06	42,50				
148	12 ⁰⁶	85,02	42,49				
149	12 ⁰⁷	84,99	42,48				
150	12 ⁰⁸	84,93	42,48				
151	12 ⁰⁹	84,91	42,50	1,220	0,369		
152	12 ¹⁰	84,88	42,50				
153	12 ¹¹	84,86	42,50				
154	12 ¹²	84,87	42,51				
155	12 ¹³	84,90	42,56				
156	12 ¹⁴	84,92	42,58	1,225	0,363		
157	12 ¹⁵	85,00	42,53				
158	12 ¹⁶	85,07	42,53				
159	12 ¹⁷	85,12	42,55				
160	12 ¹⁸	85,20	42,58				
161	12 ¹⁹	85,32	42,58	1,230	0,389		
162	12 ²⁰	85,52	42,58				
163	12 ²¹	85,47	42,59				
164	12 ²²	85,39	42,63				
165	12 ²³	84,24	42,67				
166	12 ²⁴	84,24	42,67	1,235	0,371		
167	12 ²⁵	83,53	42,68				
168	12 ²⁶	83,11	42,68				
169	12 ²⁷	84,11	42,68				
170	12 ²⁸	85,54	42,66				
171	12 ²⁹	85,54	42,67	1,240	0,383	38,4	7,0
172	12 ³⁰	85,49	42,67				
173	12 ³¹	85,13	42,67				
174	12 ³²	84,51	42,67				
175	12 ³³	83,92	42,68				
176	12 ³⁴	83,42	42,69	1,256	0,385		
177	12 ³⁵	83,01	42,76				

1	2	3	4	5	6	7	8
178	12 ³⁶	82,67	42,73				
179	12 ³⁷	82,43	42,74				
180	12 ³⁸	82,22	42,71				
181	12 ³⁹	81,99	42,68	1,260	0,379		
182	12 ⁴⁰	81,80	42,64				
183	12 ⁴¹	81,64	42,59				
184	12 ⁴²	81,48	42,58				
185	12 ⁴³	81,33	42,47				
186	12 ⁴⁴	81,22	42,47	1,235	0,380		
187	12 ⁴⁵	81,16	42,53				
188	12 ⁴⁶	81,11	42,50				
189	12 ⁴⁷	81,09	42,53				
190	12 ⁴⁸	81,07	42,50				
191	12 ⁴⁹	81,14	42,50	1,250	0,370		
192	12 ⁵⁰	82,49	42,49				
193	12 ⁵¹	83,94	42,48				
194	12 ⁵²	85,13	42,51				
195	12 ⁵³	85,50	42,51				
196	12 ⁵⁴	85,24	42,53	1,260	0,370		
197	12 ⁵⁵	84,33	42,56				
198	12 ⁵⁶	83,53	42,57				
199	12 ⁵⁷	83,79	42,58				
200	12 ⁵⁸	84,61	42,60				
201	12 ⁵⁹	84,67	42,63	1,270	0,369		
202	13 ⁰⁰	84,67	42,64			39,2	6,2
203	13 ⁰¹	84,53	42,67				
204	13 ⁰²	84,43	42,68				
205	13 ⁰³	84,33	42,68				
206	13 ⁰⁴	84,23	42,68	1,270	0,368		
207	13 ⁰⁵	84,11	42,68				
208	13 ⁰⁶	83,99	42,68				
209	13 ⁰⁷	83,84	42,68				
210	13 ⁰⁸	83,71	42,68				
211	13 ⁰⁹	83,62	42,68	1,275	0,370		

1	2	3	4	5	6	7	8
212	13 ¹⁰	83,33	42,68				
213	13 ¹¹	83,19	42,70				
214	13 ¹²	82,90	42,69				
215	13 ¹³	82,41	42,71				
216	13 ¹⁴	81,88	42,70	1,260	0,371		
217	13 ¹⁵	81,33	42,73				
218	13 ¹⁶	80,90	42,76				
219	13 ¹⁷	80,52	42,72				
220	13 ¹⁸	80,22	42,73				
221	13 ¹⁹	79,98	42,78	1,250	0,371		
222	13 ²⁰	80,67	42,79				
223	13 ²¹	81,83	42,80				
224	13 ²²	83,11	42,82				
225	13 ²³	83,88	42,83				
226	13 ²⁴	83,89	42,85	1,240	0,355		
227	13 ²⁵	83,33	42,87				
228	13 ²⁶	82,80	42,83				
229	13 ²⁷	82,84	42,88				
230	13 ²⁸	83,20	42,90				
231	13 ²⁹	83,70	42,96	1,270	0,362		
232	13 ³⁰	84,08	42,96				
233	13 ³¹	84,03	42,94	1,270	0,360		

tablica 23

pomiar III. odcinek drugi - magistrala d_n 900 mm

przekrój końcowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ³⁹	85,10	42,57				
2	9 ⁴⁰	85,12	42,56				
3	9 ⁴¹	85,11	42,55				
4	9 ⁴²	85,10	42,54				
5	9 ⁴³	85,12	42,53	1,106	0,424	33,1	5,6
6	9 ⁴⁴	85,10	42,51				
7	9 ⁴⁵	85,10	42,52				
8	9 ⁴⁶	85,11	42,47				
9	9 ⁴⁷	85,10	42,47				
10	9 ⁴⁸	85,08	42,46	1,090	0,434		
11	9 ⁴⁹	85,07	42,45				
12	9 ⁵⁰	85,09	42,45				
13	9 ⁵¹	85,10	42,44				
14	9 ⁵²	85,11	42,45				
15	9 ⁵³	85,11	42,45	1,109	0,442		
16	9 ⁵⁴	85,11	42,43				
17	9 ⁵⁵	85,12	42,43				
18	9 ⁵⁶	85,13	42,39				
19	9 ⁵⁷	85,12	42,38				
20	9 ⁵⁸	85,11	42,33	1,119	0,438		
21	9 ⁵⁹	85,11	42,32				
22	10 ⁰⁰	85,10	42,32				
23	10 ⁰¹	85,08	42,31				
24	10 ⁰²	85,08	42,29				
25	10 ⁰³	85,08	42,28	1,110	0,438		
26	10 ⁰⁴	85,09	42,27				
27	10 ⁰⁵	85,08	42,24				
28	10 ⁰⁶	85,08	42,21				
29	10 ⁰⁷	85,08	42,18				
30	10 ⁰⁸	85,09	42,15	1,125	0,450	33,0	5,4
31	10 ⁰⁹	85,06	42,11				
32	10 ¹⁰	85,07	42,07				

c.d. tablicy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
33	10^{11}	85,03	42,06				
34	10^{12}	85,03	42,03	1,130	0,440		
35	10^{13}	85,02	41,98				
36	10^{14}	84,99	41,96				
37	10^{15}	84,99	41,93				
38	10^{16}	84,99	41,89				
39	10^{17}	84,96	41,86				
40	10^{18}	84,96	41,81	1,120	0,455		
41	10^{19}	84,94	41,80				
42	10^{20}	84,93	41,81				
43	10^{21}	84,88	41,83				
44	10^{22}	84,88	41,86				
45	10^{23}	84,82	41,86	1,121	0,452		
46	10^{24}	84,79	41,87				
47	10^{25}	84,79	41,87				
48	10^{26}	84,75	41,87				
49	10^{27}	84,73	41,86				
50	10^{28}	84,72	41,88	1,130	0,452		
51	10^{29}	84,73	41,88				
52	10^{30}	84,72	41,91				
53	10^{31}	84,72	41,91				
54	10^{32}	84,72	41,89				
55	10^{33}	84,72	41,89	1,105	0,435		
56	10^{34}	84,69	41,87				
57	10^{35}	84,69	41,85				
58	10^{36}	84,68	41,85				
59	10^{37}	84,69	41,86				
60	10^{38}	84,60	41,91	1,118	0,428	33	5,8
61	10^{39}	84,49	41,93				
62	10^{40}	84,29	41,93				
63	10^{41}	84,13	41,94				
64	10^{42}	83,88	41,96				
65	10^{43}	83,79	41,95	1,090	0,434		
66	10^{44}	83,49	41,95				
67	10^{45}	83,32	41,95				
68	10^{46}	83,29	41,99				

c.d. tabllooy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
69	10 ⁴⁷	83,03	41,98				
70	10 ⁴⁸	82,88	42,05	1,100	0,440		
71	10 ⁴⁹	82,60	42,04				
72	10 ⁵⁰	82,41	42,03				
73	10 ⁵¹	82,38	42,03				
74	10 ⁵²	82,25	42,01				
75	10 ⁵³	82,12	42,00	1,109	0,442	33,2	5,0
76	10 ⁵⁴	82,06	42,01				
77	10 ⁵⁵	81,72	42,01				
78	10 ⁵⁶	81,52	42,01				
79	10 ⁵⁷	81,13	42,02				
80	10 ⁵⁸	80,75	42,02				
81	10 ⁵⁹	80,50	42,03	1,119	0,443		
82	11 ⁰⁰	80,06	42,05				
83	11 ⁰¹	79,50	42,06				
84	11 ⁰²	80,00	42,06				
85	11 ⁰³	81,59	42,15				
86	11 ⁰⁴	82,30	42,17	1,110	0,438		
87	11 ⁰⁵	82,55	42,17				
88	11 ⁰⁶	82,42	42,21				
89	11 ⁰⁷	82,40	42,22				
90	11 ⁰⁸	82,17	42,24				
91	11 ⁰⁹	82,15	42,27	1,125	0,450	33,2	5,25
92	11 ¹⁰	82,65	42,31				
93	11 ¹¹	82,76	42,35				
94	11 ¹²	82,92	42,35				
95	11 ¹³	83,02	42,37				
96	11 ¹⁴	83,20	42,44	1,130	0,455		
97	11 ¹⁵	83,40	42,45				
98	11 ¹⁶	83,42	42,46				
99	11 ¹⁷	83,47	42,45				
100	11 ¹⁸	83,15	42,50				
101	11 ¹⁹	83,54	42,50	1,100	0,443		
102	11 ²⁰	83,58	42,50				
103	11 ²¹	83,17	42,53				
104	11 ²²	83,18	42,54				
105	11 ²³	83,20	42,55				
106	11 ²⁴	83,47	42,56	1,120	0,435	33,2	5,9

c.d. tablioy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
107	11 ²⁵	83,43	42,58				
108	11 ²⁶	83,95	42,59				
109	11 ²⁷	84,40	42,61				
110	11 ²⁸	84,40	42,60				
111	11 ²⁹	84,68	42,60				
112	11 ³⁰	84,87	42,60				
113	11 ³¹	85,00	42,57				
114	11 ³²	85,02	42,58	1,099	0,440		
115	11 ³³	85,09	42,58				
116	11 ³⁴	85,11	42,59				
117	11 ³⁵	85,11	42,63				
118	11 ³⁶	85,37	42,65				
119	11 ³⁷	86,11	42,65	1,050	0,449		
120	11 ³⁸	86,29	42,67				
121	11 ³⁹	86,34	42,69				
122	11 ⁴⁰	86,02	42,68				
123	11 ⁴¹	85,41	42,73				
124	11 ⁴²	84,68	42,73	1,059	0,437	32,9	6,1
125	11 ⁴³	84,31	42,74				
126	11 ⁴⁴	84,31	42,73				
127	11 ⁴⁵	84,42	42,73				
128	11 ⁴⁶	84,68	42,72				
129	11 ⁴⁷	84,84	42,71	1,110	0,445		
130	11 ⁴⁸	84,93	42,67				
131	11 ⁴⁹	85,00	42,65				
132	11 ⁵⁰	85,09	42,63				
133	11 ⁵¹	85,11	42,59				
134	11 ⁵²	85,20	42,55	1,122	0,431		6,4
135	11 ⁵³	85,20	42,55				
136	11 ⁵⁴	85,29	42,56				
137	11 ⁵⁵	85,81	42,55				
138	11 ⁵⁶	86,38	42,57				
139	11 ⁵⁷	86,56	42,56	1,079	0,432	32,2	6,1
140	11 ⁵⁸	86,61	42,56				
141	11 ⁵⁹	86,61	42,55				

o.d. tablicy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
142	12 ⁰⁰	86,58	42,57				
143	12 ⁰¹	86,29	42,57				
144	12 ⁰²	85,90	42,57	1,080	0,438		
145	12 ⁰³	85,12	42,58				
146	12 ⁰⁴	84,21	42,64				
147	12 ⁰⁵	83,71	42,65				
148	12 ⁰⁶	84,11	42,60				
149	12 ⁰⁷	84,92	42,60				
150	12 ⁰⁸	85,00	42,62				
151	12 ⁰⁹	84,57	42,65	1,100	0,444	30,2	
152	12 ¹⁰	84,27	42,66				
153	12 ¹¹	84,23	42,65				
154	12 ¹²	84,50	42,67	1,110	0,450		
155	12 ¹³	85,48	42,70				
156	12 ¹⁴	84,94	42,74				
157	12 ¹⁵	84,90	42,74				
158	12 ¹⁶	84,87	42,76				
159	12 ¹⁷	84,81	42,75				
160	12 ¹⁸	84,80	42,75	1,095	0,456	31,9	6,4
161	12 ¹⁹	84,76	42,73				
162	12 ²⁰	84,74	42,74				
163	12 ²¹	84,76	42,75				
164	12 ²²	84,78	42,74	1,130	0,443		
165	12 ²³	84,80	42,74				
166	12 ²⁴	84,88	42,75				
167	12 ²⁵	84,95	42,76				
168	12 ²⁶	85,00	42,83				
169	12 ²⁷	85,08	42,80	1,130	0,459		
170	12 ²⁸	85,23	42,81				
171	12 ²⁹	85,40	42,78				
172	12 ³⁰	85,35	42,75				
173	12 ³¹	85,27	42,72				
174	12 ³²	84,12	42,66	1,140	0,462	32,3	
175	12 ³³	84,13	42,65				
176	12 ³⁴	83,41	42,54				
177	12 ³⁵	83,00	42,54				
178	12 ³⁶	84,00	42,60				
179	12 ³⁷	85,42	42,58	1,140	0,459		

c.d. tablioy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
180	12 ³⁸	85,43	42,60				
181	12 ³⁹	85,37	42,57				
182	12 ⁴⁰	85,00	42,57				
183	12 ⁴¹	84,40	42,57				
184	12 ⁴²	83,80	42,55	1,065	0,476	32,0	
185	12 ⁴³	83,30	42,58				
186	12 ⁴⁴	82,89	42,58				
187	12 ⁴⁵	82,55	42,60				
188	12 ⁴⁶	82,30	42,64				
189	12 ⁴⁷	82,10	42,64	1,160	0,456		
190	12 ⁴⁸	81,87	42,65				
191	12 ⁴⁹	81,68	42,67				
192	12 ⁵⁰	81,52	42,70				
193	12 ⁵¹	81,26	42,71				
194	12 ⁵²	81,20	42,75	1,152	0,454		
195	12 ⁵³	81,10	42,75				
196	12 ⁵⁴	81,05	42,76				
197	12 ⁵⁵	81,00	42,75				
198	12 ⁵⁶	80,97	42,76				
199	12 ⁵⁷	80,95	42,75	1,143	0,448	32,2	
200	12 ⁵⁸	81,01	42,75				
201	12 ⁵⁹	82,37	42,75				
202	13 ⁰⁰	83,82	42,76				
203	13 ⁰¹	85,00	42,75				
204	13 ⁰²	85,37	42,77	1,142	0,454		
205	13 ⁰³	85,12	42,77				
206	13 ⁰⁴	84,21	42,78				
207	13 ⁰⁵	83,40	42,77				
208	13 ⁰⁶	83,67	42,80				
209	13 ⁰⁷	84,50	42,83	1,150	0,455	32,0	
210	13 ⁰⁸	84,55	42,79				
211	13 ⁰⁹	84,55	42,80				
212	13 ¹⁰	84,41	42,84				
213	13 ¹¹	84,30	42,86				
214	13 ¹²	84,20	42,87	1,120	0,453		
215	13 ¹³	84,11	42,90				

o.d. tablitsy 23

1	2	3	4	5	6	7	8
216	13 ¹⁴	84,00	42,90				
217	13 ¹⁵	83,87	42,92				
218	13 ¹⁶	83,72	42,94				
219	13 ¹⁷	83,60	42,90	1,122	0,442		
220	13 ¹⁸	83,50	42,96				
221	13 ¹⁹	83,21	42,97				
222	13 ²⁰	83,07	42,93				
223	13 ²¹	82,78	43,03				
224	13 ²²	82,30	43,01	1,141	0,439	32,0	
225	13 ²³	81,76	43,03				
226	13 ²⁴	81,20	43,05				
227	13 ²⁵	80,78	43,06				
228	13 ²⁶	80,40	43,05				
229	13 ²⁷	80,09	43,04	1,161	0,449		
230	13 ²⁸	79,86	43,08				
231	13 ²⁹	80,55	43,10				
232	13 ³⁰	81,70	43,11	1,161	0,450		
233	13 ³¹	83,00	43,12				
234	13 ³²	83,76	43,12				
235	13 ³³	83,77	43,11				
236	13 ³⁴	83,20	43,10				
237	13 ³⁵	82,68	43,11	1,159	0,445		
238	13 ³⁶	82,72	43,10				
239	13 ³⁷	83,09	43,12				
240	13 ³⁸	83,58	43,14				
241	13 ³⁹	83,96	43,15				
242	13 ⁴⁰	83,90	43,16	1,160	0,448	32,2	

tablica 24

pomiar IV. odcinek pierwszy i drugi łącznie - magistrala
 d_n 900 mm
 przekrój początkowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ²⁸	89,45	48,45	1,440	0,280	43,0	7,0
2	9 ²⁹	89,45	48,44				
3	9 ³⁰	89,44	48,44				
4	9 ³¹	89,43	48,43				
5	9 ³²	89,43	48,41				
6	9 ³³	89,42	48,40	1,431	0,778		
7	9 ³⁴	89,43	48,38				
8	9 ³⁵	89,41	48,36				
9	9 ³⁶	89,41	48,35				
10	9 ³⁷	89,40	48,35				
11	9 ³⁸	89,40	48,33	1,451	0,281		
12	9 ³⁹	89,38	48,32				
13	9 ⁴⁰	89,38	48,31				
14	9 ⁴¹	89,37	48,28				
15	9 ⁴²	89,36	48,25				
16	9 ⁴³	89,35	48,24	1,450	0,289		
17	9 ⁴⁴	89,35	48,21				
18	9 ⁴⁵	89,34	48,20				
19	9 ⁴⁶	89,35	48,19				
20	9 ⁴⁷	89,35	48,19				
21	9 ⁴⁸	89,36	48,18	1,461	0,290		
22	9 ⁴⁹	89,37	48,17				
23	9 ⁵⁰	89,37	48,16				
24	9 ⁵¹	89,38	48,15				
25	9 ⁵²	89,39	48,12				
26	9 ⁵³	89,40	48,10	1,415	0,281		
27	9 ⁵⁴	89,40	48,08				
28	9 ⁵⁵	89,40	48,06				
29	9 ⁵⁶	89,41	48,04				
30	9 ⁵⁷	89,40	48,01				
31	9 ⁵⁸	89,40	47,98	1,462	0,282		
32	9 ⁵⁹	89,41	47,95				

c.d. tabl'oy 24

1	2	3	4	5	6	7	8
33	10^{00}	89,41	47,90				
34	10^{01}	89,41	47,88				
35	10^{02}	89,43	47,86				
36	10^{03}	89,40	47,83	1,460	0,288		
37	10^{04}	89,40	47,81				
38	10^{05}	89,37	47,80				
39	10^{06}	89,33	47,80				
40	10^{07}	89,30	47,79				
41	10^{08}	89,25	47,77	1,450	0,295		
42	10^{09}	89,24	47,75				
43	10^{10}	89,23	47,73				
44	10^{11}	89,20	47,73				
45	10^{12}	89,20	47,73				
46	10^{13}	89,19	47,73	1,455	0,282		
47	10^{14}	89,19	47,72				
48	10^{15}	89,19	47,72				
49	10^{16}	89,19	47,72				
50	10^{17}	89,19	47,72				
51	10^{18}	89,19	47,72	1,440	0,284	43,0	7,1
52	10^{19}	89,19	47,72				
53	10^{20}	89,19	47,72				
54	10^{21}	89,22	47,72				
55	10^{22}	89,23	47,72				
56	10^{23}	89,23	47,75	1,430	0,276		
57	10^{24}	89,28	47,75				
58	10^{25}	89,24	47,77				
59	10^{26}	89,20	47,77				
60	10^{27}	89,19	47,78				
61	10^{28}	89,20	47,78	1,450	0,280		
62	10^{29}	89,24	47,77				
63	10^{30}	89,35	47,79				
64	10^{31}	89,52	47,79				
65	10^{32}	89,81	47,75				
66	10^3	90,01	47,74	1,450	0,295		
67	10^3	90,21	47,74				

o.d. tablicy 24

1	2	3	4	5	6	7	8
68	10 ³⁵	90,35	47,74				
69	10 ³⁶	90,50	47,75				
70	10 ³⁷	90,61	47,73				
71	10 ³⁸	90,71	47,73	1,465	0,295		
72	10 ³⁹	90,77	47,73				
73	10 ⁴⁰	90,82	47,77				
74	10 ⁴¹	90,86	47,76				
75	10 ⁴²	90,92	47,76				
76	10 ⁴³	91,01	47,76	1,415	0,279		
77	10 ⁴⁴	91,06	47,79				
78	10 ⁴⁵	91,11	47,81				
79	10 ⁴⁶	91,13	47,85				
80	10 ⁴⁷	91,14	47,87				
81	10 ⁴⁸	91,13	47,86	1,450	0,283		
82	10 ⁴⁹	91,06	47,86				
83	10 ⁵⁰	90,75	47,86				
84	10 ⁵¹	90,04	47,86				
85	10 ⁵²	89,16	47,86				
86	10 ⁵³	88,34	47,88	1,460	0,288		
87	10 ⁵⁴	87,66	47,91				
88	10 ⁵⁵	87,12	47,96				
89	10 ⁵⁶	86,73	47,96				
90	10 ⁵⁷	86,82	47,98				
91	10 ⁵⁸	88,73	48,01	1,450	0,296		
92	10 ⁵⁹	89,16	47,98				
93	11 ⁰⁰	90,61	47,99				
94	11 ⁰¹	90,35	47,99				
95	11 ⁰²	89,42	48,02				
96	11 ⁰³	89,11	48,02	1,445	0,292		
97	11 ⁰⁴	89,14	48,03				
98	11 ⁰⁵	89,29	48,02				
99	11 ⁰⁶	89,39	48,02				
100	11 ⁰⁷	89,28	48,02				
101	11 ⁰⁸	89,02	48,02	1,455	0,278		
102	11 ⁰⁹	88,83	48,02				

1	2	3	4	5	6	7	8
103	11 ¹⁰	88,80	48,01				
104	11 ¹¹	88,81	48,01				
105	11 ¹²	88,84	47,99				
106	11 ¹³	88,92	47,99	1,465	0,300		
107	11 ¹⁴	89,04	48,01				
108	11 ¹⁵	89,20	48,01				
109	11 ¹⁶	89,30	48,01				
110	11 ¹⁷	89,42	48,02				
111	11 ¹⁸	89,54	48,02	1,465	0,303	43,0	7,6
112	11 ¹⁹	89,61	48,02				
113	11 ²⁰	89,64	48,03				
114	11 ²¹	89,63	48,04				
115	11 ²²	89,47	48,04				
116	11 ²³	88,96	48,04	1,430	0,308		
117	11 ²⁴	88,25	48,04				
118	11 ²⁵	88,44	48,04				
119	11 ²⁶	89,13	48,03				
120	11 ²⁷	89,61	48,04				
121	11 ²⁸	89,71	48,04	1,430	0,278		
122	11 ²⁹	89,26	48,04				
123	11 ³⁰	88,44	48,14				
124	11 ³¹	88,23	48,15				
125	11 ³²	88,42	48,18				
126	11 ³³	88,84	48,21	1,405	0,285		
127	11 ³⁴	89,81	48,24				
128	11 ³⁵	89,88	48,21				
129	11 ³⁶	89,86	48,24				
130	11 ³⁷	89,78	48,24				
131	11 ³⁸	89,67	48,24	1,400	0,279		
132	11 ³⁹	89,62	48,24				
133	11 ⁴⁰	89,61	48,24				
134	11 ⁴¹	89,60	48,24				
135	11 ⁴²	89,61	48,24				
136	11 ⁴³	89,61	48,24	1,370	0,265		
137	11 ⁴⁴	89,74	48,24				
138	11 ⁴⁵	89,87	48,25				

c.d. tablicy 24

1	2	3	4	5	6	7	8
139	11 ⁴⁶	89,94	48,26				
140	11 ⁴⁷	89,93	48,27				
141	11 ⁴⁸	89,55	48,27	1,385	0,259	42,5	8,1
142	11 ⁴⁹	88,41	48,27				
143	11 ⁵⁰	86,93	48,27				
144	11 ⁵¹	86,02	48,27				
145	11 ⁵²	85,42	48,27				
146	11 ⁵³	85,50	48,25	1,385	0,270		
147	11 ⁵⁴	86,50	48,26				
148	11 ⁵⁵	86,80	48,26				
149	11 ⁵⁶	87,18	48,26				
150	11 ⁵⁷	87,30	48,36				
151	11 ⁵⁸	87,02	48,36	1,395	0,259		
152	11 ⁵⁹	86,67	48,35				
153	12 ⁰⁰	86,72	48,35				
154	12 ⁰¹	88,22	48,35				
155	12 ⁰²	89,51	48,35				
156	12 ⁰³	89,95	48,35	1,400	0,299		
157	12 ⁰⁴	90,03	48,35				
158	12 ⁰⁵	89,92	48,35				
159	12 ⁰⁶	90,15	48,35				
160	12 ⁰⁷	90,90	48,57				
161	12 ⁰⁸	91,53	48,38	1,400	0,289		
162	12 ⁰⁹	92,38	48,38				
163	12 ¹⁰	91,81	48,39				
164	12 ¹¹	93,24	48,39				
165	12 ¹²	93,53	48,39				
166	12 ¹³	93,82	48,35	1,400	0,270		
167	12 ¹⁴	92,92	48,35				
168	12 ¹⁵	94,00	48,33				
169	12 ¹⁶	94,04	48,33				
170	12 ¹⁷	93,92	48,28			42,0	8,3
171	12 ¹⁸	93,42	48,25	1,390	0,271		
172	12 ¹⁹	92,88	48,25				
173	12 ²⁰	93,09	48,25				
174	12 ²¹	94,05	48,25				

c.d. tablitsy 24

1	2	3	4	5	6	7	8
175	12 ²²	94,86	48,24				
176	12 ²³	94,85	48,25	1,430	0,279		
177	12 ²⁴	94,36	48,27				
178	12 ²⁵	93,46	48,27				
179	12 ²⁶	92,59	48,34				
180	12 ²⁷	92,29	48,34				
181	12 ²⁸	92,44	48,31	1,420	0,288		
182	12 ²⁹	92,93	48,26				
183	12 ³⁰	93,24	48,24				
184	12 ³¹	93,34	48,19				
185	12 ³²	93,31	48,16				
186	12 ³³	93,20	48,12	1,410	0,282		
187	12 ³⁴	93,10	48,11				
188	12 ³⁵	93,02	48,06				
189	12 ³⁶	93,03	48,06				
190	12 ³⁷	93,02	48,08				
191	12 ³⁸	93,02	48,08	1,410	0,280		
192	12 ³⁹	93,02	48,08				
193	12 ⁴⁰	93,04	48,12				
194	12 ⁴¹	93,11	48,11				
195	12 ⁴²	93,24	48,12				
196	12 ⁴³	93,32	48,12	1,400	0,270		
197	12 ⁴⁴	93,31	48,06				
198	12 ⁴⁵	93,21	48,06				
199	12 ⁴⁶	93,03	48,04				
200	12 ⁴⁷	92,80	48,03			43,0	8,5
201	12 ⁴⁸	92,59	48,03	1,400	0,269		
202	12 ⁴⁹	92,25	48,03				
203	12 ⁵⁰	91,97	48,03				
204	12 ⁵¹	91,75	48,03				
205	12 ⁵²	91,60	48,03				
206	12 ⁵³	91,50	48,03	1,415	0,280		
207	12 ⁵⁴	91,44	48,03				
208	12 ⁵⁵	91,34	48,02				
209	12 ⁵⁶	91,32	48,02				
210	12 ⁵⁷	91,41	48,01	1,410	0,248		8,5

tablica 25

pomiar IV. odcinek pierwszy i drugi łącznie - magistrala
 d_n 900 mm
 przekrój końcowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ²⁸	89,30	48,43				
2	9 ²⁹	89,30	48,40				
3	9 ³⁰	89,31	48,39	1,238	0,464	37,0	9,5
4	9 ³¹	89,32	48,36				
5	9 ³²	89,30	48,35				
6	9 ³³	89,29	48,34				
7	9 ³⁴	89,28	48,34				
8	9 ³⁵	89,27	48,34	1,230	0,461		
9	9 ³⁶	89,27	48,32				
10	9 ³⁷	89,26	48,31				
11	9 ³⁸	89,25	48,30				
12	9 ³⁹	89,24	48,37				
13	9 ⁴⁰	89,23	48,35	1,240	0,468	37,1	
14	9 ⁴¹	89,25	48,23				
15	9 ⁴²	89,24	48,21				
16	9 ⁴³	89,23	48,19				
17	9 ⁴⁴	89,22	48,16				
18	9 ⁴⁵	89,41	48,13	1,245	0,477		
19	9 ⁴⁶	89,21	48,10				
20	9 ⁴⁷	89,20	48,05				
21	9 ⁴⁸	89,20	48,03				
22	9 ⁴⁹	89,19	48,01				
23	9 ⁵⁰	89,21	47,98	1,259	0,480		
24	9 ⁵¹	89,18	47,96				
25	9 ⁵²	89,18	47,95				
26	9 ⁵³	89,17	47,95				
27	9 ⁵⁴	89,17	47,94				
28	9 ⁵⁵	89,16	47,92	1,241	0,461	36,7	
29	9 ⁵⁶	89,15	47,90				
30	9 ⁵⁷	89,14	47,88				
31	9 ⁵⁸	89,13	47,88				

c.d. tablicy 25

1	2	3	4	5	6	7	8
32	9^{59}	89,14	47,88				
33	10^{00}	89,13	47,88	1,242	0,462		
34	10^{01}	89,11	47,87				
35	10^{02}	89,12	47,87				
36	10^{03}	89,12	47,87				
37	10^{04}	89,13	47,87				
38	10^{05}	89,15	47,87	1,250	0,473		
39	10^{06}	89,14	47,87				
40	10^{07}	89,15	47,90				
41	10^{08}	89,16	47,90				
42	10^{09}	89,17	47,92				
43	10^{10}	89,18	47,92	1,230	0,480		
44	10^{11}	89,17	47,93				
45	10^{12}	89,18	47,93				
46	10^{13}	89,17	47,92				
47	10^{14}	89,17	47,94				
48	10^{15}	89,18	47,94	1,221	0,482	37,0	
49	10^{16}	89,17	47,90				
50	10^{17}	89,17	47,89				
51	10^{18}	89,20	47,89				
52	10^{19}	89,17	47,89				
53	10^{20}	89,18	47,89	1,239	0,466		
54	10^{21}	89,14	47,89				
55	10^{22}	89,10	47,89				
56	10^{23}	89,07	47,90				
57	10^{24}	89,03	47,88				
58	10^{25}	89,02	47,92	1,230	0,460		
59	10^{26}	89,00	47,91				
60	10^{27}	88,97	47,91				
61	10^{28}	88,97	47,92				
62	10^{29}	88,96	47,94				
63	10^{30}	88,97	47,96	1,240	0,469	37,0	
64	10^{31}	88,96	48,01				
65	10^{32}	88,96	48,03				
66	10^{33}	88,96	48,01				

1	2	3	4	5	6	7	8
67	10 ³⁴	88,96	48,02				
68	10 ³⁵	89,00	48,01	1,245	0,477		
69	10 ³⁶	89,00	48,02				
70	10 ³⁷	89,00	48,00				
71	10 ³⁸	89,05	48,02				
72	10 ³⁹	88,97	48,06				
73	10 ⁴⁰	88,97	48,41	1,259	0,485		
74	10 ⁴¹	88,97	48,10				
75	10 ⁴²	88,97	48,13				
76	10 ⁴³	88,96	48,16				
77	10 ⁴⁴	88,99	48,12				
78	10 ⁴⁵	89,06	48,14	1,240	0,463	36,8	9,3
79	10 ⁴⁶	89,20	48,14				
80	10 ⁴⁷	89,42	48,17				
81	10 ⁴⁸	89,78	48,17				
82	10 ⁴⁹	89,88	48,17				
83	10 ⁵⁰	90,05	38,17	1,240	0,466		
84	10 ⁵¹	90,20	48,17				
85	10 ⁵²	90,32	48,17				
86	10 ⁵³	90,43	48,18				
87	10 ⁵⁴	90,51	48,16				
88	10 ⁵⁵	90,56	48,16	1,250	0,472		
89	10 ⁵⁶	90,61	48,16				
90	10 ⁵⁷	90,66	48,14				
91	10 ⁵⁸	90,24	48,14				
92	10 ⁵⁹	90,80	48,16				
93	11 ⁰⁰	90,85	48,16	1,239	0,482	36,9	9,2
94	11 ⁰¹	90,89	48,16				
95	11 ⁰²	90,91	48,17				
96	11 ⁰³	90,92	48,16				
97	11 ⁰⁴	90,87	48,17				
98	11 ⁰⁵	90,17	48,18	1,225	0,480		
99	11 ⁰⁶	90,13	48,19				
100	11 ⁰⁷	89,87	48,19				
101	11 ⁰⁸	88,02	48,18				
102	11 ⁰⁹	87,27	48,18				
103	11 ¹⁰	87,16	48,19	1,255	0,482		

c.d. tablioy 25

1	2	3	4	5	6	7	8
104	11 ¹¹	87,20	48,18				
105	11 ¹²	86,55	48,19				
106	11 ¹³	86,54	48,19				
107	11 ¹⁴	88,16	48,18				
108	11 ¹⁵	90,15	48,30	1,260	0,484	36,9	9,1
109	11 ¹⁶	90,25	48,33				
110	11 ¹⁷	90,15	48,36				
111	11 ¹⁸	89,04	48,39				
112	11 ¹⁹	88,91	48,36				
113	11 ²⁰	88,92	48,39	1,260	0,489		
114	11 ²¹	89,06	48,39				
115	11 ²²	89,16	48,39				
116	11 ²³	89,05	48,38				
117	11 ²⁴	88,78	48,39				
118	11 ²⁵	88,59	48,39	1,235	0,489		
119	11 ²⁶	88,65	48,38				
120	11 ²⁷	88,68	48,38				
121	11 ²⁸	88,61	48,38				
122	11 ²⁹	88,70	48,39				
123	11 ³⁰	88,80	48,42	1,235	0,462	36,8	8,5
124	11 ³¹	88,97	48,43				
125	11 ³²	89,04	48,43				
126	11 ³³	89,20	48,42				
127	11 ³⁴	89,31	48,42				
128	11 ³⁵	89,38	48,42	1,200	0,462		
129	11 ³⁶	89,41	48,43				
130	11 ³⁷	89,40	48,40				
131	11 ³⁸	89,24	48,41				
132	11 ³⁹	88,73	48,41				
133	11 ⁴⁰	88,01	48,41	1,205	0,464		
134	11 ⁴¹	88,21	48,51				
135	11 ⁴²	88,89	48,51				
136	11 ⁴³	88,37	48,50				
137	11 ⁴⁴	89,48	48,50				
138	11 ⁴⁵	89,04	48,49	1,175	0,442	36,8	8,0
139	11 ⁴⁶	88,20	48,49				

c.d. tablioy 25

1	2	3	4	5	6	7	8
140	11 ⁴⁷	88,01	48,50				
141	11 ⁴⁸	88,19	48,52				
142	11 ⁴⁹	88,61	48,52				
143	11 ⁵⁰	89,68	48,50	1,195	0,438		
144	11 ⁵¹	89,64	48,52				
145	11 ⁵²	89,62	48,53				
146	11 ⁵³	89,53	48,53				
147	11 ⁵⁴	89,44	48,54				
148	11 ⁵⁵	89,40	48,54	1,195	0,450		
149	11 ⁵⁶	89,38	48,55				
150	11 ⁵⁷	89,37	48,50				
151	11 ⁵⁸	89,38	48,50				
152	11 ⁵⁹	89,38	48,48				
153	12 ⁰⁰	89,51	48,48	1,203	0,435	36,2	7,9
154	12 ⁰¹	89,62	48,43				
155	12 ⁰²	89,71	48,40				
156	12 ⁰³	89,70	48,40				
157	12 ⁰⁴	89,33	48,40				
158	12 ⁰⁵	88,19	48,41	1,200	0,465		
159	12 ⁰⁶	86,70	48,39				
160	12 ⁰⁷	85,79	48,40				
161	12 ⁰⁸	85,18	48,42				
162	12 ⁰⁹	85,25	48,42				
163	12 ¹⁰	86,26	48,49	1,200	0,470		
164	12 ¹¹	86,57	48,49				
165	12 ¹²	87,75	48,46				
166	12 ¹³	87,06	48,41				
167	12 ¹⁴	86,80	48,39				
168	12 ¹⁵	86,44	48,33	1,190	0,452	33,0	
169	12 ¹⁶	86,50	48,31				
170	12 ¹⁷	87,98	48,27				
171	12 ¹⁸	89,28	48,26				
172	12 ¹⁹	89,72	48,27				
173	12 ²⁰	89,80	48,22	1,198	0,442		
174	12 ²¹	89,70	48,23				
175	12 ²²	89,90	48,23				

c.d. tablicy 25

1	2	3	4	5	6	7	8
176	12 ²³	90,67	48,23				
177	12 ²⁴	91,30	48,25				
178	12 ²⁵	92,15	48,26	1,210	0,455		
179	12 ²⁶	91,58	48,28				
180	12 ²⁷	93,00	48,28				
181	12 ²⁸	93,30	48,21				
182	12 ²⁹	93,60	48,21				
183	12 ³⁰	92,68	48,19	1,220	0,470	32,9	8,3
184	12 ³¹	93,77	48,18				
185	12 ³²	93,80	48,18				
186	12 ³³	93,68	48,17				
187	12 ³⁴	93,18	48,18				
188	12 ³⁵	92,65	48,18	1,205	0,463		
189	12 ³⁶	92,86	48,19				
190	12 ³⁷	93,82	48,19				
191	12 ³⁸	94,63	48,18				
192	12 ³⁹	94,62	48,17				
193	12 ⁴⁰	94,13	48,17	1,210	0,462		
194	12 ⁴¹	93,23	48,16				
195	12 ⁴²	92,26	48,17				
196	12 ⁴³	92,06	48,18				
197	12 ⁴⁴	92,21	48,19				
198	12 ⁴⁵	92,70	48,19	1,200	0,454	32,9	8,7
199	12 ⁴⁶	93,01	48,20				
200	12 ⁴⁷	93,12	48,19				
201	12 ⁴⁸	93,08	48,18				
202	12 ⁴⁹	92,97	48,18				
203	12 ⁵⁰	92,88	48,17	1,195	0,450		
204	12 ⁵¹	92,80	48,18				
205	12 ⁵²	92,80	48,18				
206	12 ⁵³	92,81	48,19				
207	12 ⁵⁴	92,80	48,20				
208	12 ⁵⁵	92,79	48,21	1,210	0,460		
209	12 ⁵⁶	92,81	48,21				
210	12 ⁵⁷	92,88	48,21				

tablica 26

pomiar V. odcinek trzeci - odgałęzienie d_n 100 mm

przekrój początkowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ⁵²	89,01	72,21				
2	9 ⁵³	89,01	72,85				
3	9 ⁵⁴	89,00	72,25				
4	9 ⁵⁵	89,00	72,24	1,331	0,442	25,0	9,7
5	9 ⁵⁶	89,00	72,25				
6	9 ⁵⁷	88,98	72,21				
7	9 ⁵⁸	88,97	72,21				
8	9 ⁵⁹	88,97	72,23				
9	10 ⁰⁰	88,98	72,25	1,311	0,433		
10	10 ⁰¹	88,95	72,24				
11	10 ⁰²	88,99	72,21				
12	10 ⁰³	88,98	72,20				
13	10 ⁰⁴	88,97	72,20				
14	10 ⁰⁵	88,97	72,21	1,312	0,436		
15	10 ⁰⁶	88,96	72,20				
16	10 ⁰⁷	88,95	72,20				
17	10 ⁰⁸	88,95	72,18				
18	10 ⁰⁹	88,94	72,18				
19	10 ¹⁰	88,93	72,16	1,297	0,437	26,1	9,7
20	10 ¹¹	88,92	72,16				
21	10 ¹²	88,91	72,16				
22	10 ¹³	88,90	72,17				
23	10 ¹⁴	88,90	72,18				
24	10 ¹⁵	88,89	72,18	1,230	0,441		
25	10 ¹⁶	88,90	72,18				
26	10 ¹⁷	88,91	72,18				
27	10 ¹⁸	88,91	72,18				
28	10 ¹⁹	88,91	72,20				
29	10 ²⁰	88,88	72,20	1,285	0,439		
30	10 ²¹	88,87	72,20				
31	10 ²²	88,87	72,20				
32	10 ²³	88,87	72,20				
33	10 ²⁴	88,86	72,21				

c.d. tablicy 26

1	2	3	4	5	6	7	8
34	10^{25}	88,86	72,22	1,290	0,436		
35	10^{26}	88,85	72,22				
36	10^{27}	88,87	72,22				
37	10^{28}	88,87	72,21				
38	10^{29}	88,86	72,21				
39	10^{30}	88,86	72,21	1,310	0,440	76,2	9,8
40	10^{31}	88,85	72,23				
41	10^{32}	88,84	72,24				
42	10^{33}	88,85	72,25				
43	10^{34}	88,83	72,26				
44	10^{35}	88,83	72,27	1,250	0,452		
45	10^{36}	88,84	72,28				
46	10^{37}	88,83	72,27				
47	10^{38}	88,82	72,27				
48	10^{39}	88,81	72,26				
49	10^{40}	88,83	72,25	1,300	0,440		
50	10^{41}	88,82	72,26				
51	10^{42}	88,83	72,27				
52	10^{43}	88,84	72,28				
53	10^{44}	88,84	72,28				
54	10^{45}	88,83	72,27	1,330	0,443		9,8
55	10^{46}	88,82	72,26				
56	10^{47}	88,81	72,25				
57	10^{48}	88,83	72,24				
58	10^{49}	88,85	72,25				
59	10^{50}	88,88	72,26	1,310	0,434	24,8	
60	10^{51}	88,90	72,27				
61	10^{52}	88,92	72,28				
62	10^{53}	88,97	72,29				
63	10^{54}	88,92	72,29				
64	10^{55}	88,89	72,30	1,312	0,435		
65	10^{56}	88,88	72,31				
66	10^{57}	88,88	72,31				
67	10^{58}	88,87	72,30				
68	10^{59}	88,89	72,30				

c.d. tabllooy 26

1	2	3	4	5	6	7	8
69	11 ⁰⁰	88,88	72,31	1,295	0,435	26,6	11,1
70	11 ⁰¹	88,87	72,32				
71	11 ⁰²	88,83	72,31				
72	11 ⁰³	88,77	72,31				
73	11 ⁰⁴	88,69	72,31				
74	11 ⁰⁵	88,59	72,32	1,230	0,450		
75	11 ⁰⁶	88,48	72,31				10,15
76	11 ⁰⁷	88,35	72,30				
77	11 ⁰⁸	88,26	72,29				
78	11 ⁰⁹	88,11	72,20				
79	11 ¹⁰	88,01	72,00	1,285	0,439		
80	11 ¹¹	87,91	71,23				10,12
81	11 ¹²	88,23	70,61				
82	11 ¹³	88,65	70,31				
83	11 ¹⁴	90,11	70,18				
84	11 ¹⁵	90,11	70,10	1,290	0,437	27,7	10,50
85	11 ¹⁶	91,10	70,01				
86	11 ¹⁷	91,21	69,99				
87	11 ¹⁸	91,05	69,93				
88	11 ¹⁹	90,75	69,92				
89	11 ²⁰	90,31	69,90	1,310	0,440		10,50
90	11 ²¹	89,80	69,84				
91	11 ²²	89,21	69,81				
92	11 ²³	88,70	69,79				
93	11 ²⁴	88,61	69,74				
94	11 ²⁵	88,32	69,75	1,250	0,457		10,3
95	11 ²⁶	88,30	69,89				
96	11 ²⁷	88,60	70,20				
97	11 ²⁸	88,85	70,50				
98	11 ²⁹	89,45	70,80				
99	11 ³⁰	89,82	71,03	1,285	0,450	28,4	10,2
100	11 ³¹	90,00	71,30				
101	11 ³²	90,01	71,50				
102	11 ³³	89,42	71,65				
103	11 ³⁴	87,19	71,79				
104	11 ³⁵	86,31	71,89	1,280	0,450		

1	2	3	4	5	6	7	8
105	11 ³⁶	86,88	71,91				9,4
106	11 ³⁷	89,26	71,98				
107	11 ³⁸	91,11	71,99				
108	11 ³⁹	91,62	71,99				
109	11 ⁴⁰	92,48	71,98				
110	11 ⁴¹	93,05	72,00				
111	11 ⁴²	92,69	72,02	1,270	0,440		
112	11 ⁴³	90,51	72,10				
113	11 ⁴⁴	87,58	72,14				
114	11 ⁴⁵	85,69	72,09	1,270	0,435		
115	11 ⁴⁶	85,43	71,80				
116	11 ⁴⁷	86,99	71,40				
117	11 ⁴⁸	88,88	70,88				
118	11 ⁴⁹	90,54	70,51				
119	11 ⁵⁰	90,80	70,41	1,265	0,435		
120	11 ⁵¹	89,89	70,55				
121	11 ⁵²	88,19	70,70				
122	11 ⁵³	86,31	70,88				
123	11 ⁵⁴	84,84	71,06				
124	11 ⁵⁵	84,26	71,18	1,255	0,432		
125	11 ⁵⁶	84,41	71,11				
126	11 ⁵⁷	85,41	70,88				
127	11 ⁵⁸	87,63	70,41				
128	11 ⁵⁹	88,64	70,01				
129	12 ⁰⁰	89,47	69,80	1,270	0,430	27,6	6,5
130	12 ⁰¹	89,99	69,90				
131	12 ⁰²	90,48	70,05				
132	12 ⁰³	90,87	70,17				
133	12 ⁰⁴	91,11	70,19				
134	12 ⁰⁵	91,29	70,09	1,265	0,405		
135	12 ⁰⁶	91,49	69,80				
136	12 ⁰⁷	91,70	69,49				
137	12 ⁰⁸	91,69	69,05				
138	12 ⁰⁹	92,12	68,79				
139	12 ¹⁰	92,42	68,63	1,260	0,413		

c.d. tablicy 26

1	2	3	4	5	6	7	8
140	12 ¹¹	92,55	68,80				
141	12 ¹²	92,51	68,91				
142	12 ¹³	92,90	69,10				
143	12 ¹⁴	92,40	69,30				6,8
144	12 ¹⁵	90,69	69,54	1,260	0,420	27,6	
145	12 ¹⁶	88,10	69,86				
146	12 ¹⁷	87,18	70,00				
147	12 ¹⁸	86,60	70,20				
148	12 ¹⁹	87,48	70,40				
149	12 ²⁰	89,59	70,59	1,255	0,420		
150	12 ²¹	91,76	70,78				
151	12 ²²	92,18	71,00				
152	12 ²³	92,40	71,12				
153	12 ²⁴	92,83	71,25				
154	12 ²⁵	92,70	71,36	1,263	0,424		
155	12 ²⁶	91,20	71,50				
156	12 ²⁷	88,60	71,46				
157	12 ²⁸	86,95	71,40				
158	12 ²⁹	85,82	71,10				
159	12 ³⁰	85,32	70,70	1,276	0,420	27,8	8,9
160	12 ³¹	85,05	70,40				
161	12 ³²	84,85	70,20				
161	12 ³³	84,71	70,21				
162	12 ³⁴	84,50	70,50				
163	12 ³⁵	84,35	70,69	1,274	0,428		
164	12 ³⁶	84,20	70,82				
165	12 ³⁷	84,12	71,02				
166	12 ³⁸	84,13	71,19				
167	12 ³⁹	84,19	71,20				
168	12 ⁴⁰	85,12	70,69	1,270	0,420		
169	12 ⁴¹	86,80	70,68				
170	12 ⁴²	89,65	70,24				
171	12 ⁴³	91,25	69,82				
172	12 ⁴⁴	92,15	69,50				
173	12 ⁴⁵	92,90	69,12	1,285	0,433	28,5	

o.d. tablicy 26

1	2	3	4	5	6	7	8
174	12 ⁴⁶	92,40	68,90				
175	12 ⁴⁷	90,20	68,61				
177	12 ⁴⁸	87,40	68,38				
178	12 ⁴⁹	85,80	68,19				
179	12 ⁵⁰	86,10	68,00	1,280	0,453		
180	12 ⁵¹	88,90	67,81				
181	12 ⁵²	90,30	67,70				
182	12 ⁵³	91,42	67,68				
183	12 ⁵⁴	92,30	67,78	1,270	0,460		

tablica 27

pomiar V. odcinek trzeci - odgałęzienie d_n 100 mm

przekrój końcowy odcinka pomiarowego

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9^{52}	87,80	72,75				
2	9^{53}	87,81	72,71				
3	9^{54}	87,82	72,71				
4	9^{55}	87,81	72,73	1,310	0,431		
5	9^{56}	87,81	72,75				
6	9^{57}	87,82	72,74				
7	9^{58}	87,80	72,74				
8	9^{59}	87,79	72,73				
9	10^{00}	87,80	72,70	1,320	0,441		
10	10^{01}	87,78	72,73				
11	10^{02}	87,77	72,75				
12	10^{03}	87,77	72,70				
13	10^{04}	87,76	72,68				
14	10^{05}	87,76	72,69	1,308	0,435		
15	10^{06}	87,77	72,66				
16	10^{07}	87,75	72,66				
17	10^{08}	87,74	72,66				
18	10^{09}	87,76	72,68				
19	10^{10}	87,72	72,68	1,295	0,420		
20	10^{11}	87,78	72,68				
21	10^{12}	87,75	72,69				
22	10^{13}	87,73	72,69				
23	10^{14}	87,72	72,70				
24	10^{15}	87,71	72,71	1,287	0,421		
25	10^{16}	87,70	72,69				
26	10^{17}	87,70	72,70				
27	10^{18}	87,68	72,70				
28	10^{19}	87,69	72,69				
29	10^{20}	87,67	72,70	1,290	0,421		
30	10^{21}	87,68	72,69				
31	10^{22}	87,71	72,69				

c.d. tablicy 27

1	2	3	4	5	6	7	8
32	10^{23}	87,70	72,70				
33	10^{24}	87,68	72,70				
34	10^{25}	87,67	72,71	1,277	0,417		
35	10^{26}	87,67	72,69				
36	10^{27}	87,67	72,70				
37	10^{28}	87,66	72,74				
38	10^{29}	87,64	72,75				
39	10^{30}	87,65	72,75	1,308	0,433		
40	10^{31}	87,67	72,71				
41	10^{32}	87,67	72,80				
42	10^{33}	87,66	72,80				
43	10^{34}	87,66	72,79				
44	10^{35}	87,65	72,78	1,320	0,441		
45	10^{36}	87,64	72,75				
46	10^{37}	87,65	72,77				
47	10^{38}	87,63	72,78				
48	10^{39}	87,64	72,80				
49	10^{40}	87,64	72,80	1,308	0,435		
50	10^{41}	87,63	72,77				
51	10^{42}	87,62	72,75				
52	10^{43}	87,61	72,73				
53	10^{44}	87,60	72,72				
54	10^{45}	87,62	72,75	1,299	0,425		
55	10^{46}	87,63	72,76				
56	10^{47}	87,64	72,77				
57	10^{48}	87,65	72,78				
58	10^{49}	87,60	72,79	1,285	0,420		
59	10^{50}	87,62	72,79				
60	10^{51}	87,61	72,80				
61	10^{52}	87,60	72,81				
62	10^{53}	87,65	72,81				
63	10^{54}	87,67	72,80				
64	10^{55}	87,80	72,80	1,290	0,419		
65	10^{56}	87,70	72,81				
66	10^{57}	87,75	72,82				

1	2	3	4	5	6	7	8
67	10 ⁵⁸	87,80	72,81				
68	10 ⁵⁹	87,81	72,81				
69	11 ⁰⁰	87,82	72,81	1,272	0,418		
70	11 ⁰¹	87,82	72,82				
71	11 ⁰²	87,82	72,81				
72	11 ⁰³	87,82	72,80				
73	11 ⁰⁴	87,80	72,79				
74	11 ⁰⁵	87,80	72,70	1,205	0,442		
75	11 ⁰⁶	87,74	71,40				
76	11 ⁰⁷	87,75	71,00				
77	11 ⁰⁸	87,75	70,72				
78	11 ⁰⁹	87,75	70,58				
79	11 ¹⁰	87,71	70,51	1,245	0,422		
80	11 ¹¹	87,67	70,40				
81	11 ¹²	87,60	70,38				
82	11 ¹³	87,52	70,31				
83	11 ¹⁴	87,42	70,26				
84	11 ¹⁵	87,32	70,21	1,265	0,418		
85	11 ¹⁶	87,22	70,20				
86	11 ¹⁷	87,11	70,18				
87	11 ¹⁸	87,45	70,12				
88	11 ¹⁹	88,91	70,08				
89	11 ²⁰	89,50	70,08	1,280	0,425		
90	11 ²¹	90,00	70,05				
91	11 ²²	90,01	70,21				
92	11 ²³	89,95	70,49				
93	11 ²⁴	89,50	70,78				
94	11 ²⁵	89,10	71,05	1,225	0,441		
95	11 ²⁶	88,61	71,30				
96	11 ²⁷	88,01	71,52				
97	11 ²⁸	87,50	71,70				
98	11 ²⁹	87,41	71,80				
99	11 ³⁰	87,10	71,45	1,250	0,432		
100	11 ³¹	87,10	72,06				
101	11 ³²	87,39	72,11				

c.d. tablicy 27

1	2	3	4	5	6	7	8
101	11 ³³	87,65	72,18				
102	11 ³⁴	88,21	72,40				
103	11 ³⁵	88,60	72,43	1,250	0,428		
104	11 ³⁶	88,81	72,53				
105	11 ³⁷	88,82	72,60				
106	11 ³⁸	90,97	72,48				
107	11 ³⁹	88,52	72,43				
108	11 ⁴⁰	86,82	72,42	1,225	0,441		
109	11 ⁴¹	86,24	72,22				
110	11 ⁴²	86,32	71,78				
111	11 ⁴³	86,77	71,40				
112	11 ⁴⁴	88,02	71,20				
113	11 ⁴⁵	88,52	70,98	1,240	0,421		
114	11 ⁴⁶	90,52	71,00				
115	11 ⁴⁷						
116	11 ⁴⁸	91,42	71,18				
117	11 ⁴⁹	89,44	71,30				
118	11 ⁵⁰	87,77	71,45				
119	11 ⁵¹	85,53	71,49	1,240	0,415		
120	11 ⁵²	85,24	71,30				
121	11 ⁵³	85,72	70,85				
122	11 ⁵⁴	86,80	70,55				
123	11 ⁵⁵	88,32	70,35	1,230	0,412		
124	11 ⁵⁶	89,12	70,35				
125	11 ⁵⁷	88,54	70,41				
126	11 ⁵⁸	87,47	70,52				
127	11 ⁵⁹	85,94	70,58				
128	12 ⁰⁰	84,73	70,51	1,245	0,412		
129	12 ⁰¹	84,11	70,29				
130	12 ⁰²	84,03	69,95				
131	12 ⁰³	84,32	69,58				
132	12 ⁰⁴	85,11	69,20				
133	12 ⁰⁵	86,52	69,15	1,235	0,382		
134	12 ⁰⁶	87,52	69,11				
135	12 ⁰⁷	88,27	69,21				

1	2	3	4	5	6	7	8
136	12 ⁰⁸	88,82	69,31				
137	12 ⁰⁹	89,31	69,48				
138	12 ¹⁰	89,66	69,68	1,240	0,392		
139	12 ¹¹	89,90	69,89				
140	12 ¹²	90,14	70,11				
141	12 ¹³	90,37	70,31				
142	12 ¹⁴	90,57	70,55				
143	12 ¹⁵	90,80	70,71	1,225	0,400		
144	12 ¹⁶	91,02	70,91				
145	12 ¹⁷	91,22	71,11				
146	12 ¹⁸	91,37	71,30				
147	12 ¹⁹	91,42	71,42				
148	12 ²⁰	91,36	71,60	1,235	0,402		
149	12 ²¹	89,67	71,71				
150	12 ²²	88,02	71,80				
151	12 ²³	85,79	71,72				
152	12 ²⁴	86,50	71,60				
153	12 ²⁵	86,72	71,22	1,240	0,405		
154	12 ²⁶	87,52	70,90				
155	12 ²⁷	89,17	70,72				
156	12 ²⁸	90,34	70,70				
157	12 ²⁹	91,00	70,68				
158	12 ³⁰	91,34	70,92	1,245	0,403		
159	12 ³¹	91,52	71,08				
160	12 ³²	90,20	71,21				
161	12 ³³	87,94	71,40				
162	12 ³⁴	86,52	71,45				
163	12 ³⁵	85,62	71,38	1,250	0,405		
164	12 ³⁶	85,07	71,08				
165	12 ³⁷	84,81	70,68				
166	12 ³⁸	84,61	70,25				
167	12 ³⁹	84,42	69,98				
168	12 ⁴⁰	84,22	69,60	1,245	0,402		
169	12 ⁴¹	84,02	69,32				
170	12 ⁴²	83,87	69,10				

o.d. tablicy 27

1	2	3	4	5	6	7	8
171	12 ⁴³	83,76	68,87				
172	12 ⁴⁴	83,64	68,65				
173	12 ⁴⁵	83,57	68,50	1,260	0,422		
174	12 ⁴⁶	83,71	68,30				
175	12 ⁴⁷	84,93	68,25				
176	12 ⁴⁸	87,12	68,20				
177	12 ⁴⁹	89,02	68,26				
178	12 ⁵⁰	90,17	68,46	1,250	0,442		
179	12 ⁵¹	90,92	68,78				
180	12 ⁵²	91,11	69,10				
181	12 ⁵³	88,90	69,50				
182	12 ⁵⁴	86,82	69,90				
183	12 ⁵⁵	85,72	70,10	1,245	0,442		
184	12 ⁵⁶	85,74	70,10				
185	12 ⁵⁷	86,34	69,90				
186	12 ⁵⁸	87,62	69,65				
187	12 ⁵⁹	89,22	69,72				
188	13 ⁰⁰	90,30	69,80	1,245	0,446		

tablica 28

pomiar I. odcinek pierwszy - magistrala d_n 900 mm

Lp.	Czas pom.	Spiętrzenie na zwężce		Ciśnienie przed zwężką	Temper. przed zwężką	Natężenie przepływu	
		h_1	h_2				Δp
		mm	mm	Pa	MPa	°C	m ³ /h
1	2	3	4	5	6	7	8
1	12 ²⁵	46	73	14648,4	1,410	71,00	5045,4
2	12 ³⁰	56	72	14402,7	1,425	71,89	5002,9
3	12 ³⁵	47	74	14894,6	1,425	71,75	5087,7
4	12 ⁴⁰	45	72	14402,2	1,420	71,40	5002,9
5	12 ⁴⁵	46	73	14648,4	1,420	71,30	5045,4
6	12 ⁵⁰	46	73	14648,4	1,425	71,70	5045,4
7	12 ⁵⁵	45	72	14402,8	1,430	71,54	5002,9
8	13 ⁰⁰	46	72	14525,3	1,445	71,11	5024,2
9	13 ⁰⁵	46	73	14648,4	1,450	70,95	5045,4
10	13 ¹⁰	47	74	14894,6	1,445	70,79	5087,7
11	13 ¹⁵	45	72	14402,2	1,440	70,40	5002,9
12	13 ²⁰	45	72	14402,2	1,440	70,19	5002,9
13	13 ²⁵	46	73	14698,4	1,435	70,22	5045,4
14	13 ³⁰	46	73	14648,4	1,440	70,30	5045,4
15	13 ³⁵	46	73	14848,4	1,450	70,22	5045,4
16	13 ⁴⁰	47	74	14894,6	1,450	70,12	5087,7
17	13 ⁴⁵	47	74	14894,6	1,445	70,10	5087,7
18	13 ⁵⁰	45	72	14902,2	1,425	69,60	5002,9
19	13 ⁵⁵	46	73	14648,4	1,420	69,20	5045,4
20	14 ⁰⁰	45	72	14402,2	1,430	69,00	5002,9

tablica 29

pomiar II. odcinek pierwszy - magistrala d_n 900 mm

1	2	3	4	5	6	7	8
1	10 ⁴⁰	40	68	13294,8	1,326	83,20	4824,5
2	10 ⁴⁵	40	68	13294,8	1,330	83,27	4824,5
3	10 ⁵⁰	41	69	13541,0	1,334	83,25	4868,9
4	10 ⁵⁵	41	69	13541,0	1,335	83,21	4868,9
5	11 ⁰⁰	41	69	13541,0	1,345	83,20	4868,9
6	11 ⁰⁵	40	68	13294,8	1,350	83,24	4824,5
7	11 ¹⁰	42	70	13787,2	1,347	83,27	4913,0
8	11 ¹⁵	41	69	13541,0	1,350	83,25	4868,9
9	11 ²⁰	41	69	13541,0	1,340	83,27	4868,9
10	11 ²⁵	40	68	13294,8	1,341	83,31	4824,5
11	11 ³⁰	39	67	13048,6	1,362	83,36	4779,5
12	11 ³⁵	40	68	13294,8	1,335	82,07	4824,5
13	11 ⁴⁰	40	68	13294,8	1,325	83,13	4824,5
14	11 ⁴⁵	41	69	13541,0	1,330	83,54	4868,9
15	11 ⁵⁰	41	69	13541,0	1,330	83,57	4868,9
16	11 ⁵⁵	41	69	13541,0	1,330	83,53	4868,9
17	12 ⁰⁰	40	68	13294,8	1,334	83,36	4824,5
18	12 ⁰⁵	42	70	13787,2	1,345	83,52	4913,0
19	12 ¹⁰	41	69	13541,0	1,350	82,01	4868,9
20	12 ¹⁵	41	69	13541,0	1,345	80,73	4868,9
21	12 ²⁰	40	68	13294,8	1,340	80,41	4824,5
22	12 ²⁵	41	69	13541,0	1,325	79,31	4868,9
23	12 ³⁰	42	70	13787,2	1,349	81,01	4913,0
24	12 ³⁵	42	70	13787,2	1,349	81,36	4913,0
25	12 ⁴⁰	42	70	13787,2	1,345	81,52	4913,0
26	12 ⁴⁵	41	69	13541,0	1,350	83,16	4868,9
27	12 ⁵⁰	41	69	13541,0	1,350	82,15	4868,9
28	12 ⁵⁵	37	66	12679,3	1,350	82,55	4710,0
29	13 ⁰⁰	36	65	12433,1	1,270	82,44	4665,5
30	13 ⁰⁵	41	69	13541,0	1,365	81,45	4861,9
31	13 ¹⁰	43	71	14033,4	1,315	84,20	4956,6

o.d. tablicy 29

1	2	3	4	5	6	7	8
32	13 ¹⁵	44	72	14279,6	1,420	83,89	4999,9
33	13 ²⁰	43	71	14033,4	1,415	83,76	4956,6
34	13 ²⁵	43	71	14033,4	1,388	81,41	4956,6
35	13 ³⁰	43	71	14033,4	1,410	83,51	4956,6
36	13 ³⁵	41	69	13541,0	1,350	82,98	4868,9
37	13 ⁴⁰	41	69	13541,0	1,330	83,48	4868,9
38	13 ⁴⁵	40	68	13294,8	1,275	86,28	4824,5
39	13 ⁵⁰	40	68	13294,8	1,350	81,63	4824,5
40	13 ⁵⁵	40	68		1,350	81,38	4824,5
41	14 ⁰⁰	41	69		1,340	81,13	4868,9

tablica 30

pomiar III. odcinek drugi - magistrala d_n 900 mm

1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ⁴⁰	41	69	13541,0	1,360	85,20	4804,1
2	9 ⁴⁵	42	70	13782,2	1,355	85,23	4917,6
3	9 ⁵⁰	41	69	13541,0	1,350	85,23	4804,1
4	9 ⁵⁵	41	69	13541,0	1,345	85,20	4804,1
5	10 ⁰⁰	39	67	13048,6	1,340	85,18	4784,2
6	10 ⁰⁵	39	67	13048,6	1,345	85,12	4784,2
7	10 ¹⁰	37	65	12556,2	1,330	85,06	4693,0
8	10 ¹⁵	38	66	12802,4	1,340	84,90	4738,9
9	10 ²⁰	40	68	13294,8	1,345	84,85	4829,1
10	10 ²⁵	40	68	13294,8	1,355	84,81	4820,1
11	10 ³⁰	41	69	13541,0	1,360	84,91	4804,1
12	10 ³⁵	42	70	13782,2	1,345	85,90	4917,6
13	10 ⁴⁰	41	69	13541,0	1,340	83,12	4804,1
14	10 ⁴⁵	41	69	13541,0	1,330	82,48	4804,1
15	10 ⁵⁰	39	67	13048,6	1,345	80,92	4784,2
16	10 ⁵⁵	39	67	13048,6	1,340	82,71	4784,2
17	11 ⁰⁰	37	65	12556,2	1,345	82,97	4693,0
18	11 ⁰⁵	38	66	12802,4	1,350	83,63	4738,9
19	11 ¹⁰	40	68	13294,8	1,355	82,94	4828,1
20	11 ¹⁵	39	67	13048,6	1,360	83,89	4784,2
21	11 ²⁰	40	68	13294,8	1,360	85,10	4829,1
22	11 ²⁵	38	66	12802,4	1,360	85,51	4738,9
23	11 ³⁰	39	67	13048,6	1,330	86,74	4784,3
24	11 ³⁵	39	67	13048,6	1,300	84,73	4784,2
25	11 ⁴⁰	36	65	12433,1	1,355	85,42	4670,0
26	11 ⁴⁵	35	64	12186,9	1,370	85,71	4623,4
27	11 ⁵⁰	37	65	12556,2	1,350	87,03	4693,0
28	11 ⁵⁵	36	65	12433,1	1,330	84,63	4670,0
29	12 ⁰⁰	38	66	12802,4	1,330	84,99	4738,9
30	12 ⁰⁵	37	65	12556,2	1,330	85,36	4693,0
31	12 ¹⁰	38	65	12556,2	1,350	85,18	4693,0
32	12 ¹⁵	38	66	12802,4	1,370	85,30	4738,9

c.d. tablioy 30

1	2	3	4	5	6	7	8
33	12 ²⁰	38	66	13294,8	1,365	85,82	4738,9
34	12 ²⁵	40	68	13048,6	1,360	83,54	4829,1
35	12 ³⁰	39	67	13294,8	1,360	85,79	4784,2
36	12 ³⁵	40	68	13294,8	1,360	83,31	4829,1
37	12 ⁴⁰	40	68	13294,8	1,370	82,10	4829,1
38	12 ⁴⁵	40	68	13048,6	1,375	81,46	4829,1
39	12 ⁵⁰	39	67	13541,0	1,380	82,79	4784,2
40	12 ⁵⁵	41	69	13541,0	1,375	84,63	4804,1
41	13 ⁰⁰	41	69	13541,0	1,370	84,97	4804,1
42	13 ⁰⁵	41	69	12802,4	1,375	84,41	4804,1
43	13 ¹⁰	38	66	13294,8	1,380	83,63	4738,9
44	13 ¹⁵	40	68	13787,2	1,370	81,63	4829,1
45	13 ²⁰	42	70	13787,2	1,360	80,97	4917,6
46	13 ²⁵	42	70	13787,2	1,371	83,63	4917,6
47	13 ³⁰	42	70	13787,2	1,380	84,48	4917,6
48	13 ³⁵	42	70	13787,2	1,380	84,01	4917,6
49	13 ⁴⁰	42	70	13787,2	1,375	83,10	4917,6

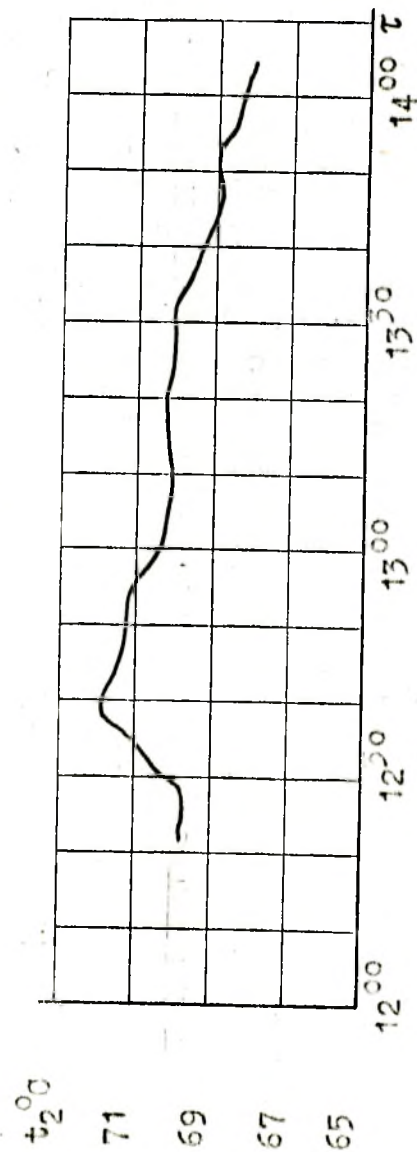
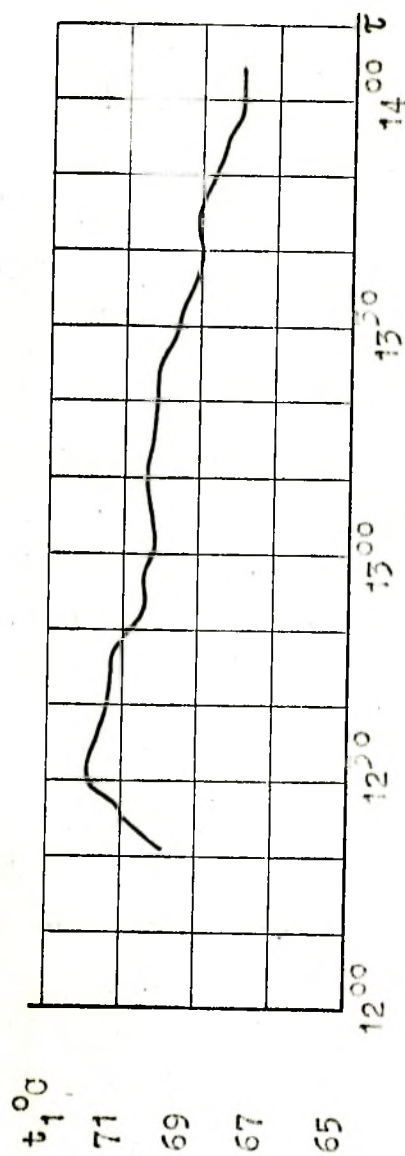
tablica 31

pomiar IV. odcinek pierwszy i drugi łącznie - magistrala
 d_n 900 mm

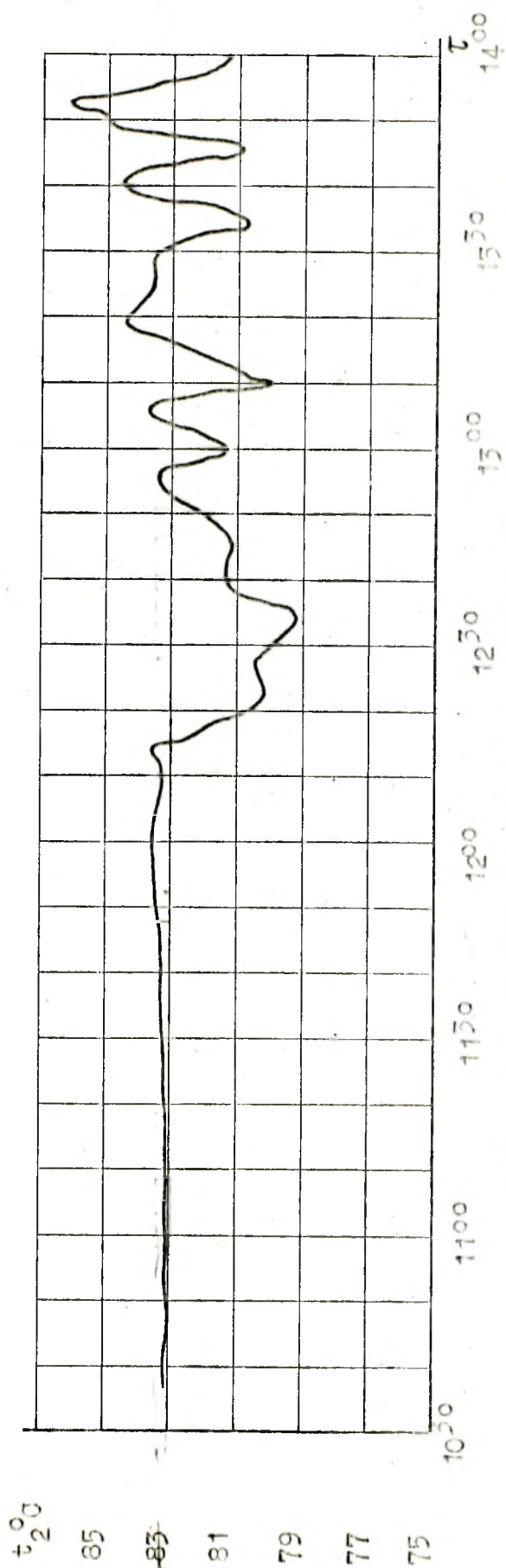
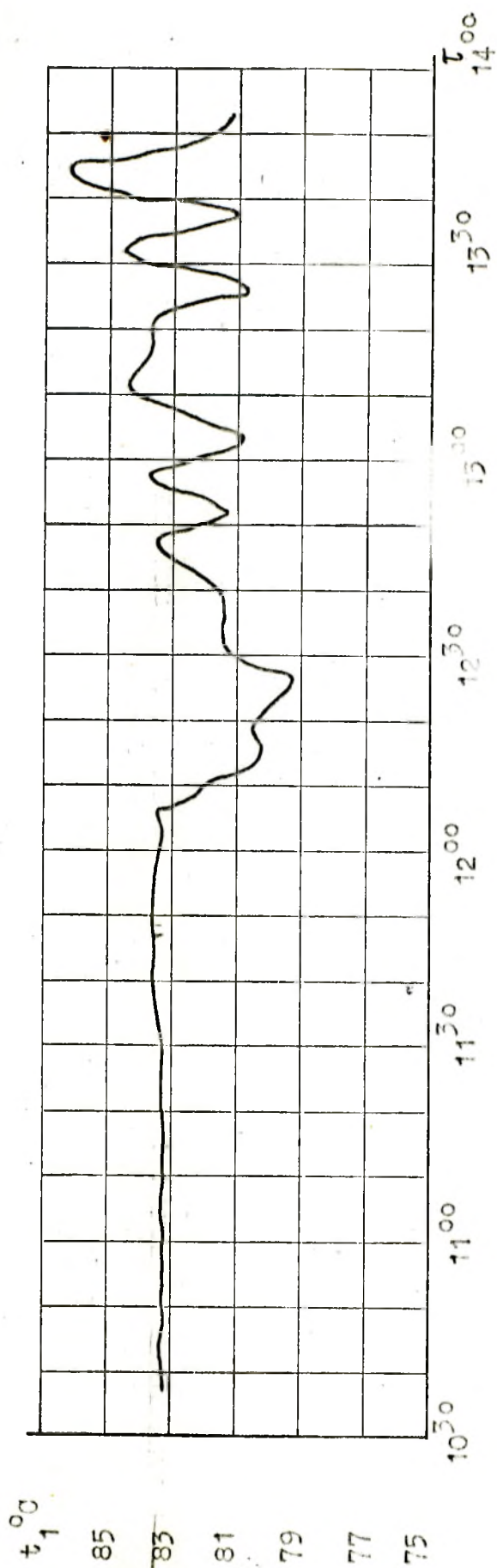
1	2	3	4	5	6	7	8
1	9 ³⁰	46	74	14772,0	1,440	89,44	5100,7
2	9 ³⁵	46	74	14772,0	1,431	89,41	5100,7
3	9 ⁴⁰	45	73	14525,8	1,451	89,38	5058,0
4	9 ⁴⁵	46	74	14772,0	1,450	89,34	5100,7
5	9 ⁵⁰	47	75	15018,2	1,461	89,38	5143,0
6	9 ⁵⁵	46	74	14772,0	1,415	89,38	5100,7
7	10 ⁰⁰	46	74	14772,0	1,462	89,41	5100,7
8	10 ⁰⁵	46	74	14772,0	1,460	89,40	5100,7
9	10 ¹⁰	45	73	14525,8	1,450	89,23	5058,0
10	10 ¹⁵	46	74	14772,0	1,455	89,19	5100,7
11	10 ²⁰	45	73	14525,8	1,440	89,19	5058,0
12	10 ²⁵	46	74	14772,0	1,430	89,24	5100,7
13	10 ³⁰	46	74	14772,0	1,450	89,35	5100,7
14	10 ³⁵	45	73	14525,8	1,450	90,35	5058,0
15	10 ⁴⁰	46	74	14772,0	1,465	90,82	5100,7
16	10 ⁴⁵	47	75	15018,2	1,415	91,11	5143,0
17	10 ⁵⁰	46	74	14772,0	1,450	90,75	5100,7
18	10 ⁵⁵	46	74	14772,0	1,460	87,12	5100,7
20	11 ⁰⁰	46	74	14772,0	1,450	90,61	5100,7
21	11 ⁰⁵	45	73	14525,8	1,445	89,29	5058,0
22	11 ¹⁰	46	74	14772,0	1,455	88,80	5100,7
23	11 ¹⁵	45	73	14525,8	1,465	89,20	5058,0
24	11 ²⁰	45	73	14525,8	1,465	89,04	5058,0
25	11 ²⁵	46	74	14772,0	1,430	88,44	5100,7
26	11 ³⁰	46	74	14772,0	1,430	88,44	5100,7
27	11 ³⁵	43	72	14256,5	1,405	89,88	4993,2
28	11 ⁴⁰	44	72	14249,6	1,400	83,61	5041,9
29	11 ⁴⁵	43	71	14033,4	1,370	89,87	4971,4
30	11 ⁵⁰	44	72	14279,6	1,385	86,93	5014,9
31	11 ⁵⁵	44	72	14279,6	1,385	86,80	5014,9

o.d. tablicy 31

1	2	3	4	5	6	7	8
32	12 ⁰⁰	45	73	14525,8	1,395	86,72	5058,0
33	12 ⁰⁵	44	72	14279,6	1,400	89,92	5014,9
34	12 ¹⁰	43	71	14033,4	1,400	92,81	4971,4
35	12 ¹⁵	43	71	14033,4	1,400	94,00	4971,4
36	12 ²⁰	45	73	14525,8	1,390	93,09	5058,0
37	12 ²⁵	44	72	14279,6	1,430	93,46	5014,9
38	12 ³⁰	45	73	14525,8	1,420	93,24	5058,0
39	12 ³⁵	44	72	14279,6	1,410	93,02	5014,9
40	12 ⁴⁰	44	72	14279,6	1,410	93,04	5014,9
41	12 ⁴⁵	44	72	14279,6	1,400	93,21	5014,9
42	12 ⁵⁰	45	73	14525,8	1,400	91,97	5058,0
43	12 ⁵⁵	44	72	14279,6	1,415	91,34	5014,9
44	13 ⁰⁰	45	71	14033,4	1,410	91,45	4971,4



Wykres 1. Pomiar I, przewód zasilający



Wykres 2: Roniar II, przewódasilający

$t_1^{\circ}\text{C}$

26

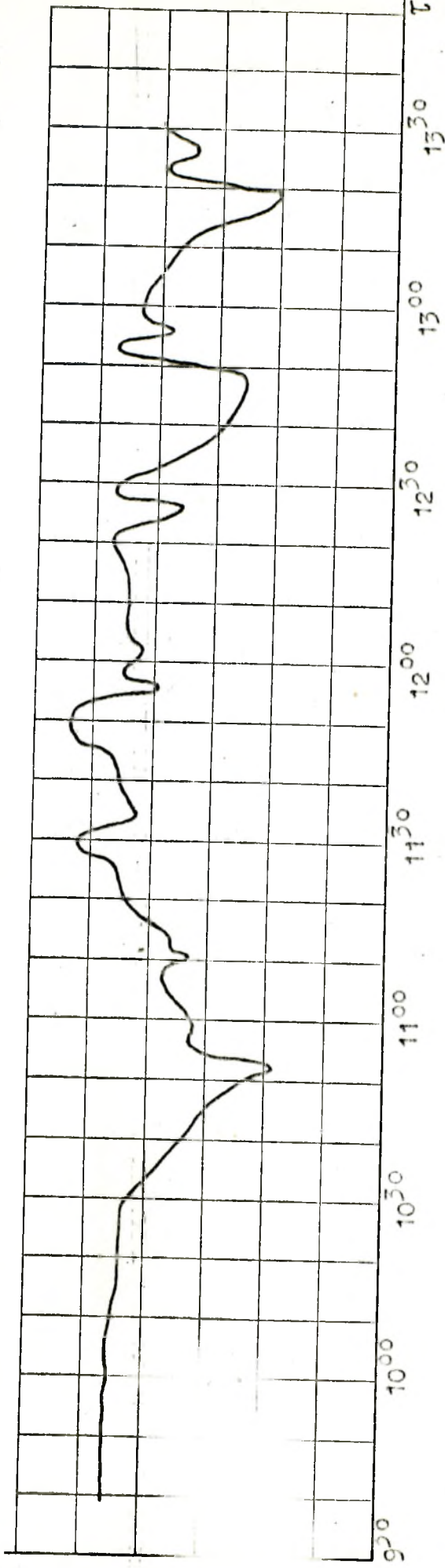
24

22

20

18

16



$t_2^{\circ}\text{C}$

16

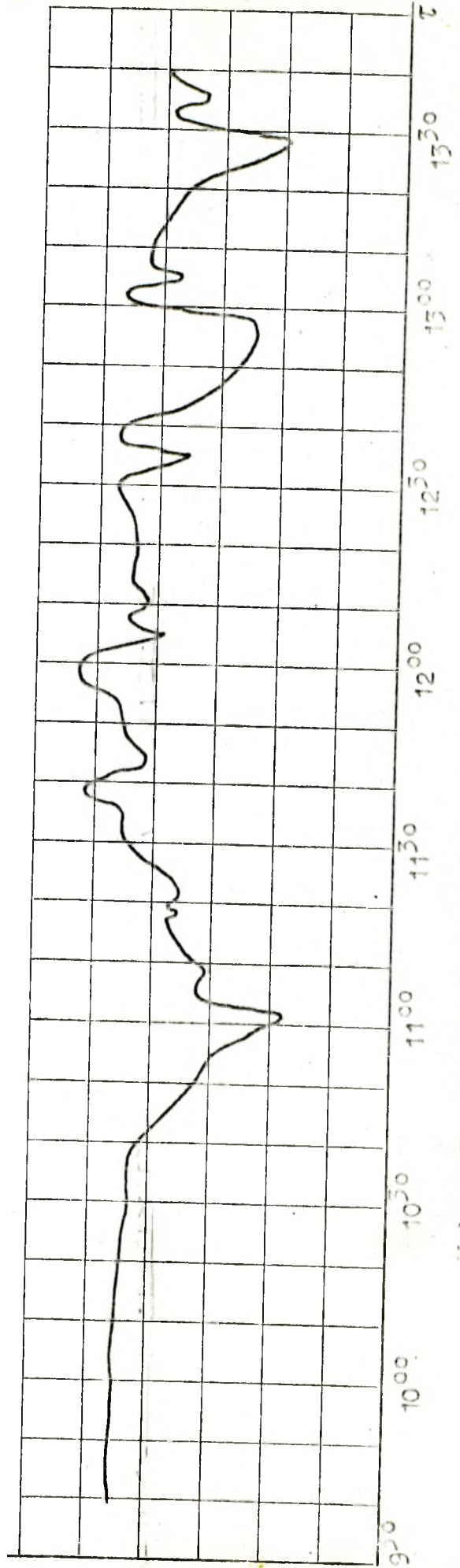
14

12

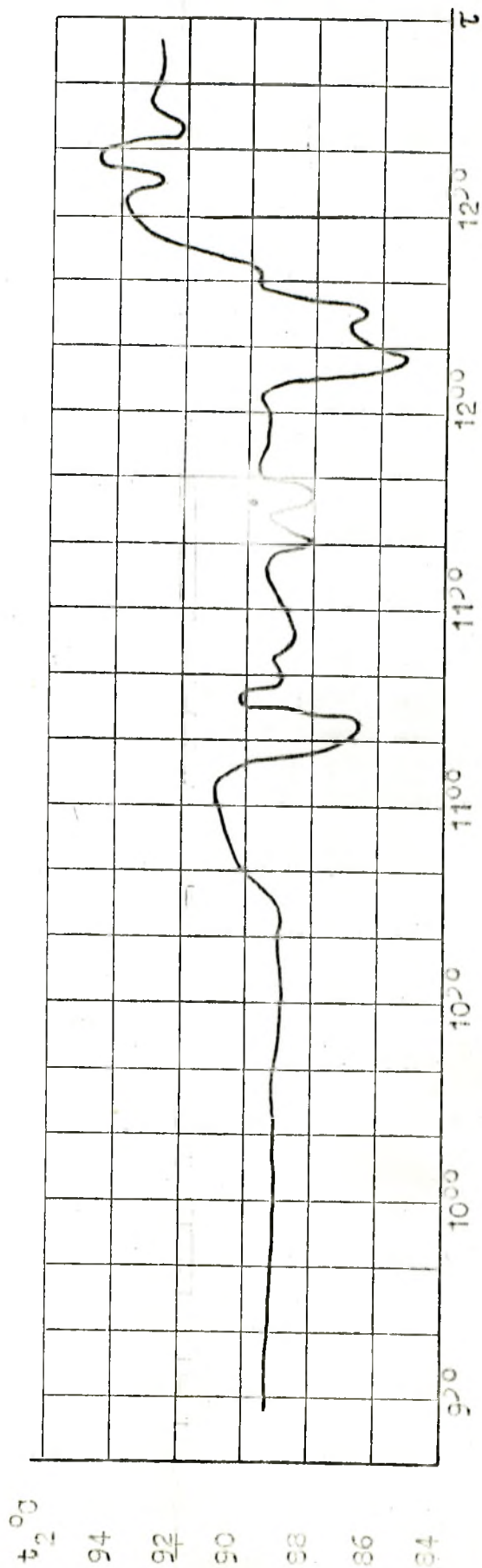
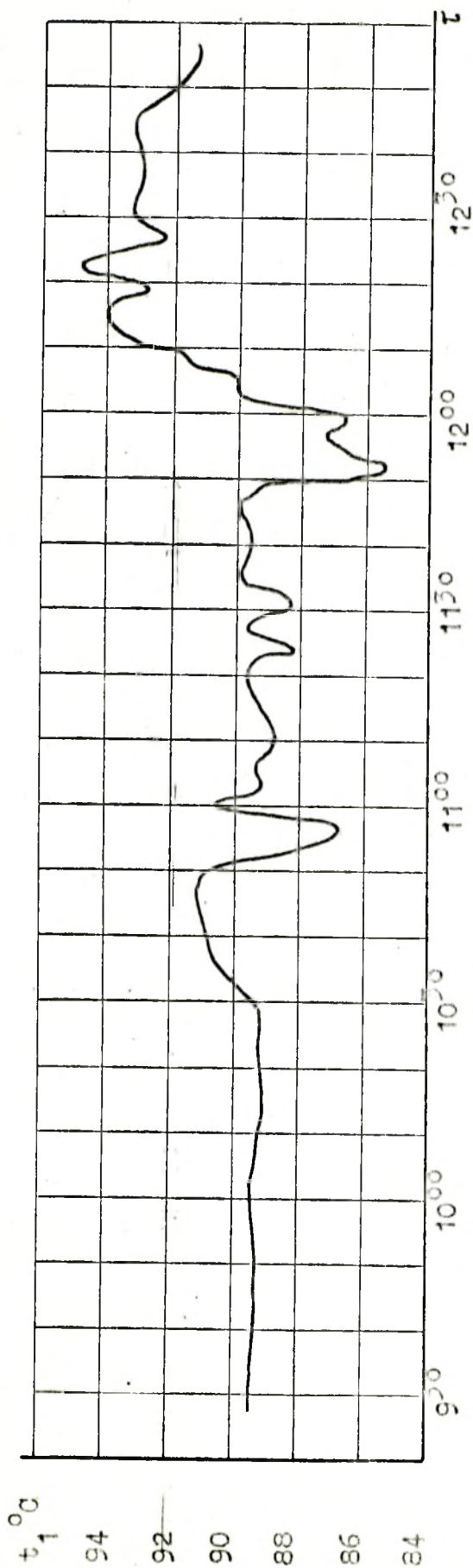
10

8

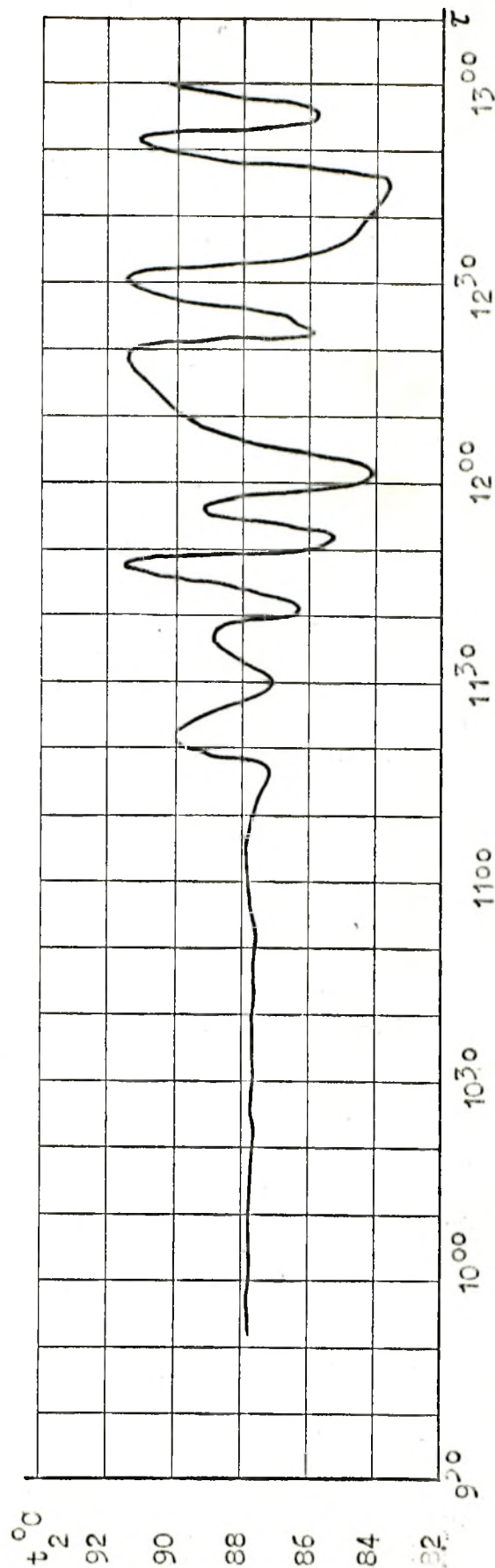
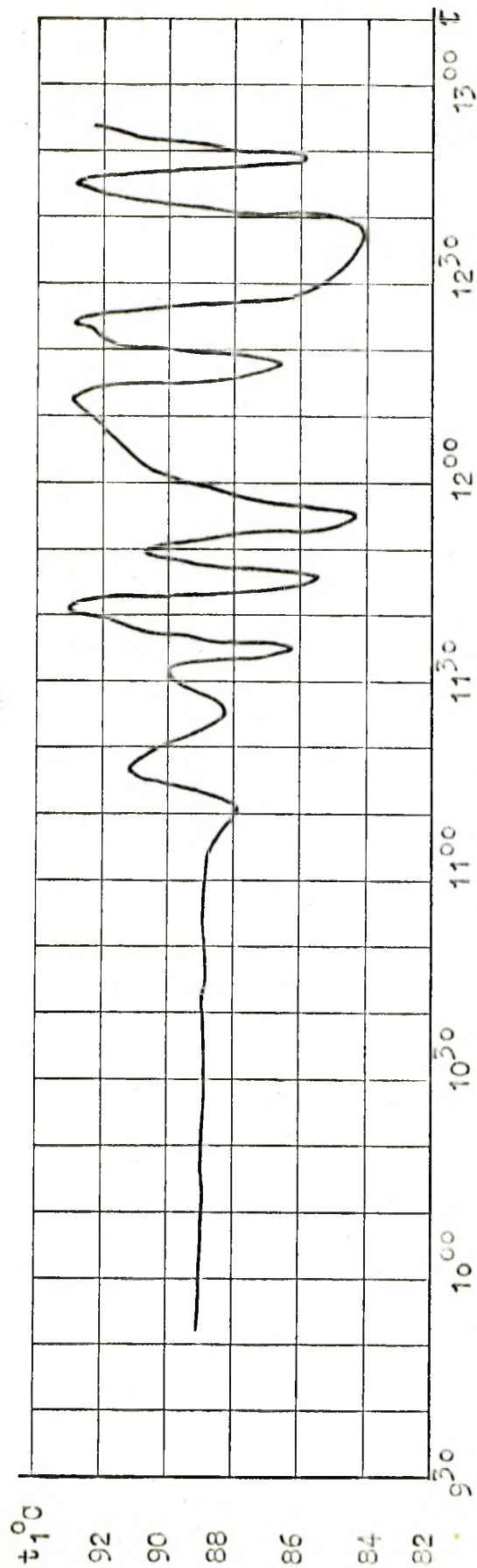
6



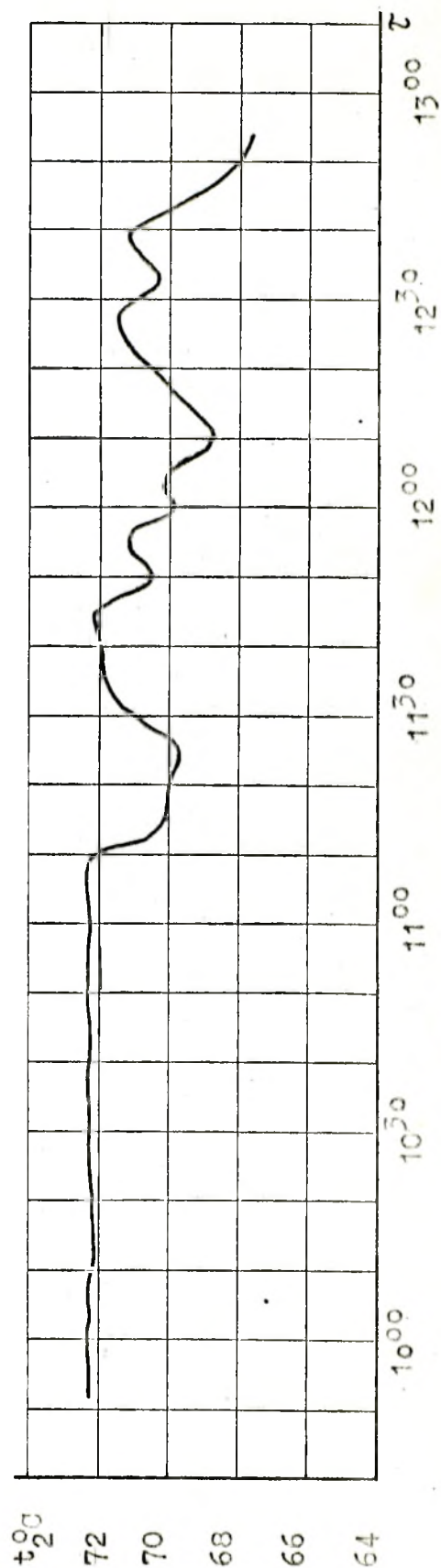
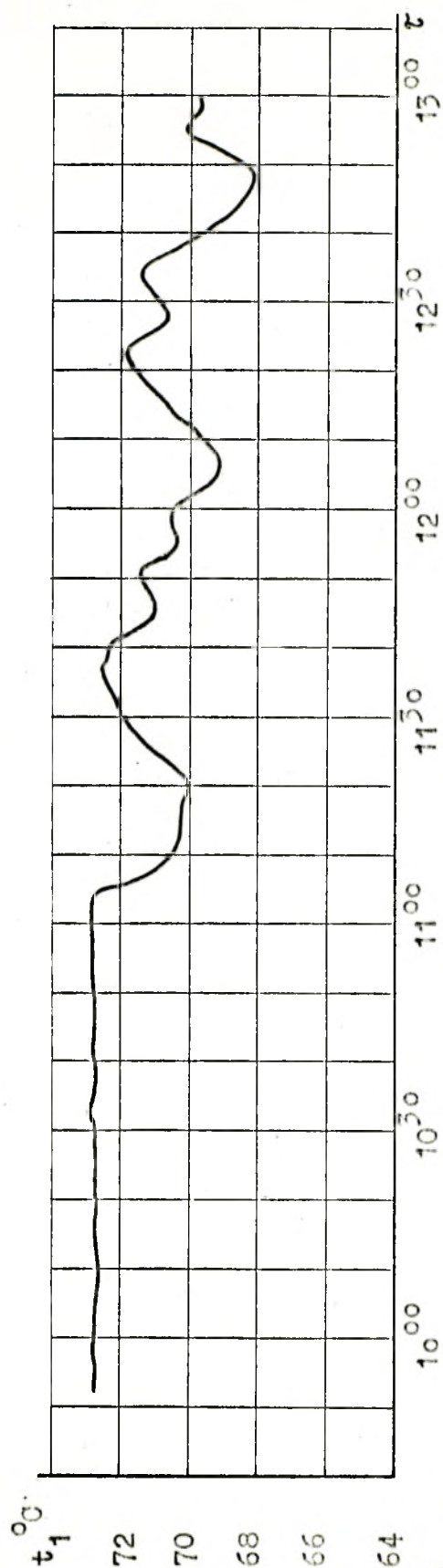
Wylres.3. Pomiar III, przewód wasilajacy



Wykres 4. Pomiar IV, przewód zasilający



Wykres 5. pomiar V , przewód zasilający



Wykres 6. Pomiar V, przewód powrotny



B.

14945



400000000113006

B. 14945