

Krystyna TURKIEWICZ

Halina CIUMAN

Maria EWICH

## WPLYW KONFIGURACJI TERENU NA ZASIĘG SIECI CIEPLNYCH

**Streszczenie.** Zasięg sieci ciepłych można rozpatrywać z różnych punktów widzenia, takich jak gęstość cieplna terenu, straty przesyłu i in. W artykule przedstawiono kryteria dla określenia zasięgu sieci ciepłych w oparciu o układy ciśnień oraz przeprowadzono analizę wpływu konfiguracji terenu na ten zasięg.

### 1. Wstęp

Zasięg sieci ciepłych można rozpatrywać z różnych punktów widzenia, takich jak: ciśnienia, temperatury czynnika grzejącego, gęstość cieplna terenu, straty przesyłu, rejonny zasilania, warunki techniczne, rachunek ekonomiczny i in.

Określenie maksymalnych niewspomaganych zasięgów wodnych sieci ciepłych w oparciu o układ ciśnień ma szczególne znaczenie w obszarach o znacznych różnicach wysokości terenu. Do takich obszarów można zaliczyć aglomeracje miejsko-przemysłowe południowej Polski, jak np. BOP - obejmujący tereny górskie, oraz GOP - gdzie całkowita różnica wysokości wynosi 170 m, a liczne lokalne uskoki terenowe pozostałe po wyrobiskach, hałdach lub szkołach górniczych dochodzą do 30-60 m.

W niniejszym artykule analizowana będzie wielkość maksymalnego niewspomaganego zasięgu sieci ciepłej na podstawie ciśnień, jakie wymagane są w czasie pracy i postoju systemów ciepłowniczych, oraz konfiguracji terenu, przez który sieć przebiega.

Przez maksymalny niewspomagany zasięg sieci ciepłej rozumiemy odległość najbardziej niekorzystnego odbioru od źródła ciepła, który ma być zasilany ze pomocą rozpatrywanej sieci ciepłej. Nie uwzględnia się możliwości ingerencji w układ ciśnień na trasie sieci ciepłej, np. przez stosowanie pomp względnie elementów dławiących. Wszystkie przedstawione analizy przeprowadzono przy założeniu quasi-stałego przepływu przez sieć ciepłą.

## 2. Kryteria oceny ciśnień w sieciach ciepłych

W czasie eksploatacji systemów ciepłowniczych można wyróżnić stan ruchu i stan spoczynku oraz związane z nimi ciśnienia:

- w czasie ruchu pomp obiegowych ciśnienia robocze ruchu, tj. zasilania  $p_1(x)$  i powrotu  $p_2(x)$  występujące w odległości  $x$  od źródła ciepła,
- ciśnienie spoczynku  $p_p$ , które wytworzy się w szczelnej instalacji podczas postoju pomp obiegowych przy prawidłowej pracy urządzeń stabilizujących.

Dla prawidłowego działania sieci ciepłej konieczne jest, aby ciśnienia spełniały podane poniżej warunki:

- 1<sup>o</sup> Ciśnienie w przewodzie zasilającym  $p_1(x)$  i powrotnym  $p_2(x)$  musi być równe lub większe od ciśnienia minimalnego  $p_{\min}$  zabezpieczającego przed odparowaniem lub napowietrzeniem nośnika ciepła:

$$p_1(x) \geq p_{1\min} \quad (1)$$

$$p_2(x) \geq p_{2\min} \quad (2)$$

- 2<sup>o</sup> Ciśnienie w przewodzie zasilającym  $p_1(x)$  musi być mniejsze lub równe od najniższego z ciśnień dopuszczalnych dla elementów sieci:

$$p_1(x) \leq p_{\text{dop}} \quad (3)$$

- 3<sup>o</sup> Ciśnienie w przewodzie powrotnym na wejściu do źródła musi być wyższe lub na poziomie wymaganym przez urządzenia w źródle:

$$p_2 \geq p_{\text{źmin}} \quad (4)$$

- 4<sup>o</sup> Ciśnienie dyspozycyjne  $H$ , czyli różnica ciśnień zasilania i powrotu w źródle, musi być wystarczające dla pokrycia strat ciśnienia w sieci  $\sum(RL+Z)$  oraz w stacji kończącej magistralę  $\Delta p_w$ :

$$H = p_1 - p_2 = \sum(RL+Z) + \Delta p_w \quad (5)$$

W czasie postoju pomp obiegowych ciśnienia  $p_1(x)$  i  $p_2(x)$  przyjmą te same wartości ( $H = 0$ ) i będą równe ciśnieniu spoczynku  $p_p$ . Wobec tego przedstawione powyżej kryteria prawidłowego działania sieci dla stanu spoczynku przyjmą następującą postać:

$$p_{1\min} \leq p_p \leq p_{\text{dop}} \quad (6)$$

Minimalne ciśnienie  $p_{\min}$  w przewodach zależne jest od temperatury nośnika ciepła i związanego z nią ciśnienie nasycenia. Ciśnienie to zabezpiecza przed odparowaniem czynnika przy najwyższych temperaturach oraz przed zapowietrzeniem instalacji i określone jest (zgodnie z normą) wartością ciśnienia nasycenia z 10% nadwyżką, tj:

$$p_{1\min} = p_s(t_1) + 0,1 p_s(t_1) \quad (7)$$

$$p_{2\min} = p_s(t_2) + 0,1 p_s(t_2) \quad (8)$$

Wartość ciśnienia minimalnego  $p_{\min}$  jest tym wyższa, im wyższa jest temperatura, dlatego też  $p_{\min}$  określiliśmy dla najwyższej temperatury występującej w przewodzie.

Z uwagi na zbyt małe nadwyżki ciśnienia uzyskiwane z powyższych wzorów dla wody o temperaturze  $\leq 155^\circ\text{C}$  proponuje się określać ciśnienie minimalne  $p_{\min}$  z następujących wzorów [1]:

$$p_{\min} = p_s(t) + 0,1 p_s(t) \quad \text{dla } t > 155^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$p_{\min} = p_s(t) + h \quad \text{dla } t \leq 155^\circ\text{C} \quad (10)$$

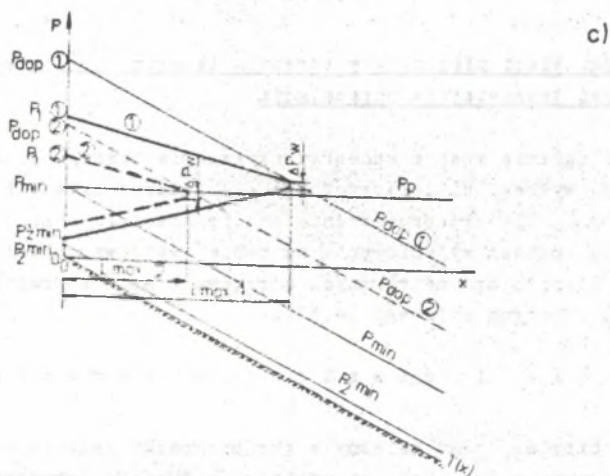
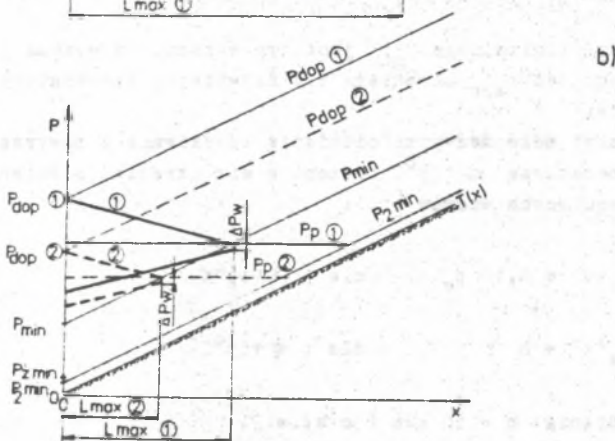
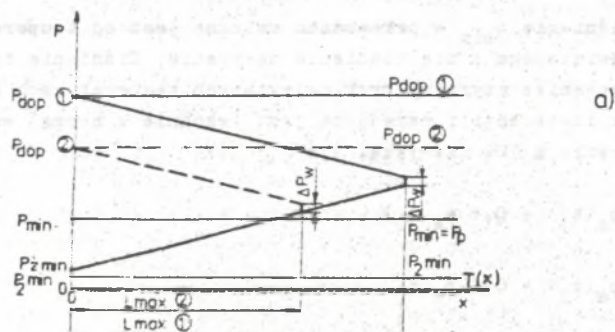
e nadwyżkę ciśnienia:  $h = 50 \text{ kPa}$  (5m sł.w.).

### 3. Analiza zasięgu sieci ciepłych w terenach płaskich, jednostajnie wznoszącym się oraz jednostajnie opadającym

Tradycyjnym i ogólnie znanym sposobem określania zasięgu sieci ciepłej jest konstruowanie wykresu piezometrycznego dla każdego układu ciśnień oraz konfiguracji terenu. Dla przeprowadzenia analizy zasięgu sieci ciepłych w szerokim zakresie założeń wyjściowych, na bazie wyprowadzonych matematycznych zależności ciśnień monometrycznych opracowano sposób graficzny oraz przy zastosowaniu maszyny cyfrowej [4,5].

#### Z a s i ę g  s i e c i  c i e p ł e j  w  t e r e n i e  p ł a s k i m

Zasięg sieci ciepłej jest zależny w tym przypadku jedynie od przyjętych parametrów pracy sieci, tzn. od wartości ciśnienia dopuszczalnego  $p_{\text{dop}}$ , ciśnienia minimalnego  $p_{1\min}$  (temperatury nośnika ciepła), ciśnienia minimalnego w magistrali powrotnej  $p_{2\min}$  i w źródle ciepła  $p_{\text{źm}}$  oraz jednostkowej straty ciśnienia w sieci ciepłej  $R$  (rys. 1a).



Rys. 1. Wykresy piezometryczne dla określenia maksymalnego zasięgu sieci ciepłej w terenie

a) płaskim, b) jednostajnie wznoszącym się, c) jednostajnie opadającym przy różnych ciśnieniach dopuszczalnych dla elementów sieci

Zasięg sieci ciepłej prowadzonej w terenie płaskim jest zasięgiem maksymalnym z możliwych do uzyskania dla sieci ciepłych prowadzonych w terenach o dowolnej konfiguracji, przy tych samych parametrach pracy sieci.

Dla najczęściej stosowanych parametrów pracy sieci ciepłej w warunkach GOP, tj. temperatury zasilania  $t_1 = 150^\circ\text{C}$  i ciśnienia dopuszczalnego  $P_{\text{dop}} = 1600 \text{ kPa}$ , otrzymano w terenie płaskim zasięg sieci ciepłej  $L_{\text{max}} = 7,5 \text{ km}$  ( $R = 0,1 \text{ kPa/m}$ ). W przypadku sieci mniej oporowej ( $R = 0,05 \text{ kPa/m}$ ) otrzymuje się zasięg sieci ciepłej  $L_{\text{max}} = 15 \text{ km}$ . Zwiększenie ciśnienia dopuszczalnego sieci ciepłej do wartości  $P_{\text{dop}} = 2500 \text{ kPa}$  powoduje zwiększenie zasięgu sieci do  $L_{\text{max}} = 12 \text{ km}$  przy  $R = 0,1 \text{ kPa/m}$  oraz do  $L_{\text{max}} = 24 \text{ km}$  przy  $R = 0,05 \text{ kPa/m}$ .

Zasięg sieci ciepłej w terenie jednostajnie wznoszącym się

W terenie jednostajnie wznoszącym się zasięg sieci ciepłej uzależniony jest od kąta nachylenia tego terenu. Zasięgi sieci ciepłych dla różnych kątów nachylenia terenu są porównywalne, gdy rozpatruje się je dla tych samych założonych parametrów pracy sieci.

Na rysunku 1b przedstawiono wykres piezometryczny dla określenia zasięgu sieci ciepłej w terenie jednostajnie wznoszącym się przy uwzględnieniu różnych ciśnień dopuszczalnych  $P_{\text{dop}}$ . Ograniczenie zasięgu sieci ciepłej wynika z konieczności utrzymania w przewodzie zasilającym ciśnienia  $p_1(x)$  wyższego od ciśnienia minimalnego  $P_{1\text{min}}$  związanego z temperaturą nośnika ciepła.

Ciśnienie minimalne determinuje również w analizowanym przypadku przyjęcie ciśnienia spoczynku  $p_p$  w sieci.

Zasięg sieci ciepłej w terenie jednostajnie opadającym

Podobnie jak dla terenu wznoszącego się, w terenie jednostajnie opadającym kąt nachylenia tego terenu decydująco wpływa na zasięg sieci ciepłej.

Ograniczenie zasięgu sieci ciepłej w tym przypadku wynika z konieczności nieprzekroczenia w żadnym stanie eksploatacyjnym systemu ciśnienia dopuszczalnego w przewodzie zasilającym. Dla prawidłowego wyznaczenia zasięgu sieci ciepłych należy równolegle rozpatrywać warunki:

$$p_1(x) \leq P_{\text{dop}} \quad (11)$$

$$p_p \leq P_{\text{dop}} \quad (12)$$

Jak wynika z rysunku 1c, dla większych wartości ciśnień dopuszczalnych zasięg sieci zdeterminowany jest przez ciśnienie ruchu (rys. 1c (1)), a dla mniejszych wartości ciśnień dopuszczalnych przez ciśnienie spoczynku (rys. 1c (2)). Im mniejsza jest różnica między ciśnieniem minimalnym  $p_{1min}$  a dopuszczalnym  $p_{dop}$ , tym bardziej maleje zasięg sieci cieplnej (trudniej utrzymać ww. warunki).

Zależność maksymalnego zasięgu sieci cieplnej od kąta nachylenia terenu przedstawiono na rysunku 2.

Do obliczeń przyjęto następujące dane:

$$p_{dop} = 2500 \text{ kPa}$$

$$p_{1min} = 435 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_w = 50 \text{ kPa}$$

$$p_{2min} = 70 \text{ kPa}$$

$$p_{2min} = 50 \text{ kPa}$$

$$R = 0,1 \text{ kPa/m}; 0,05 \text{ kPa/m}$$

Z rysunku 2 wynika, że istnieje pewien niewielki zakres kątów nachylenia terenu  $\alpha$ , w którym można otrzymać maksymalny z możliwych do uzyskania dla danych parametrów (jak dla terenu płaskiego) zasięg sieci cieplnej. Zakres ten wynosi odpowiednio:

$$\text{- dla } R = 0,1 \text{ kPa/m} - \alpha \in [-0,63^\circ; +0,46^\circ]$$

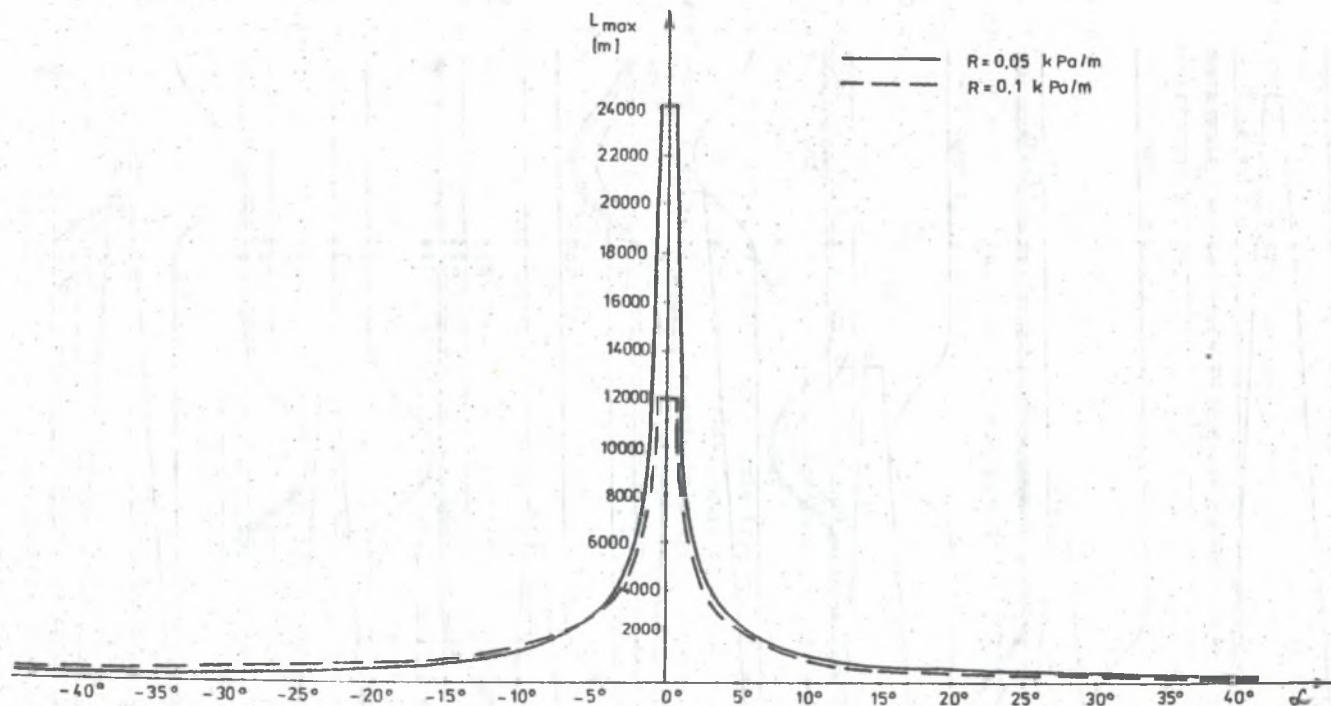
$$\text{- dla } R = 0,05 \text{ kPa/m} - \alpha \in [-0,34^\circ; +0,24^\circ]$$

Przy spadku terenu większym niż w wymienionych przedziałach zasięg maksymalny sieci przy danych parametrach gwałtownie maleje. Należy zaznaczyć, że przy wznoszeniu się terenu zasięg sieci cieplnej jest krótszy niż przy analogicznym kącie dla terenu opadającego. Od pewnej wartości kąta nachylenia terenu  $\alpha > 15^\circ$  lub  $\alpha < -15^\circ$  zasięg maleje powoli, ale jest w tych granicach już tak niewielki (ok. 700 m), że należałoby się zastanowić, czy uzasadnione jest wtedy centralna dostawa ciepła. W pewnych granicach nachylenia terenu znika uzależnienie zasięgu sieci od jednostkowej straty ciśnienie w rurociągach. I tak przykładowo dla nachyleń terenu  $\alpha < -4,5^\circ$  i  $\alpha > +4^\circ$  różnice w zasięgach dla  $R = 0,1 \text{ kPa/m}$  i  $R = 0,05 \text{ kPa/m}$  są jedynie rzędu centymetrów.

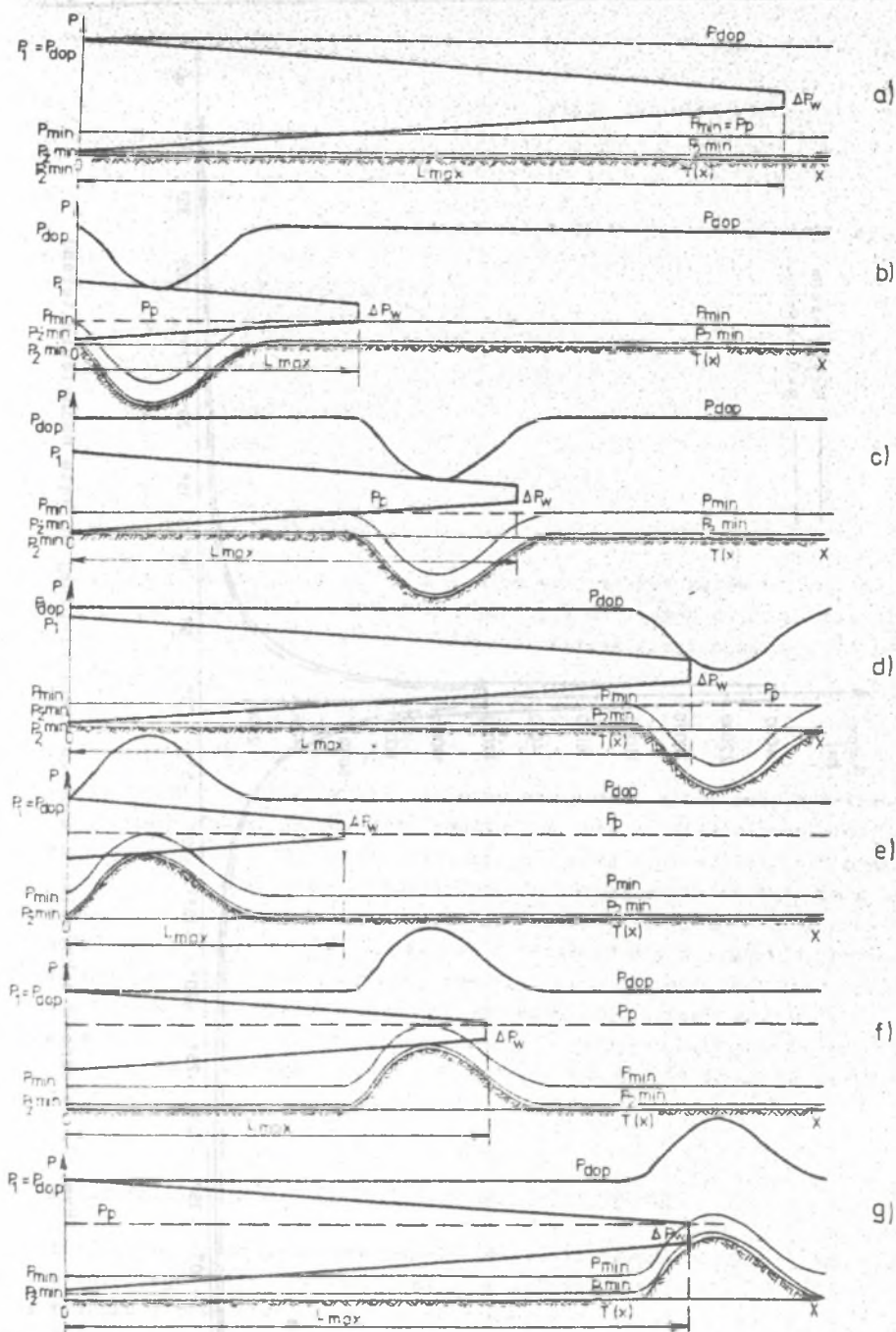
#### 4. Zasięg sieci cieplnej w terenie dowolnie pofałdowanym

Ponizej rozpatrzono pewne szczególne przypadki terenu pofałdowanego dla zobrazowania jego wpływu na zasięg sieci cieplnej.

Na rysunku 3 przedstawiono wpływ na zasięg sieci cieplnej zagłębienia (rys. 3b, c, d) oraz wzniesienia (rys. 3e, f, g) terenu przy różnej jego



Rys. 2. Zależność maksymalnego zasięgu sieci ciepłej od kąta nachylenia terenu



Rys. 3. Wpływ konfiguracji terenu na zasięg sieci ciepłej



odległości od źródła ciepła oraz porównano z zasięgiem sieci w terenie płaskim (rys. 3a). Dla przeprowadzenia prawnania przyjęto we wszystkich przypadkach takie same parametry sieci cieplnej oraz tę samą bezwzględną wielkość i kształt zagłębienia i wzniesienia terenu.

W terenie płaskim (rys. 3a) ciśnienie dyspozycyjne w źródle ciepła ma wartość maksymalną i wynosi:

$$H = p_1 - p_2 = p_{dop} - p_{\min} \quad (13)$$

W terenie, w którym występuje zagłębienie (rys. 3b, c, d), ciśnienie dyspozycyjne w źródle ciepła ma mniejszą wartość, gdyż  $p_1(x) < p_{dop}$  i w związku z tym  $p_1 \neq p_{dop}$ , a więc:

$$H = p_1 - p_2 = p_1 - p_{\min} \quad (14)$$

Im odległość zagłębienia od źródła ciepła jest większa, tym ciśnienie zasilania  $p_1$  i ciśnienie dyspozycyjne  $H$  w źródle ciepła są większe, a więc również zwiększa się zasięg sieci cieplnej.

W terenie, w którym występuje wzniesienie (rys. 3e, f, g), ciśnienie dyspozycyjne w źródle ma mniejszą wartość, gdyż ciśnienie powrotu musi spełniać warunek  $p_2(x) > p_{2\min}$  i w związku z tym  $p_2$  większe od  $p_{2\min}$ , a więc:

$$H = p_1 - p_2 = p_{dop} - p_2 \quad (15)$$

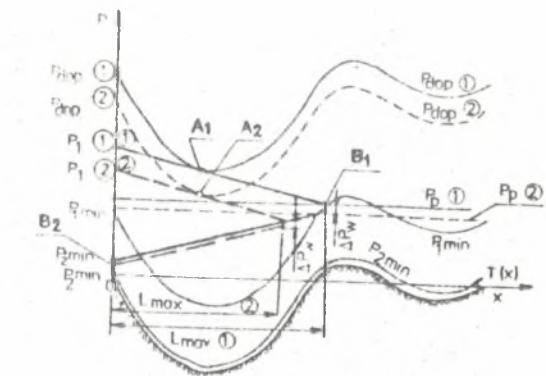
Podobnie jak w przypadku zagłębienia terenu, również odległość wzniesienia od źródła ciepła wpływa na maksymalny zasięg sieci cieplnej.

Należy ponadto zwrócić uwagę na to, że jedynie przy dużej różnicy przyjętych ciśnień dopuszczalnych i minimalnych (jak na rys. 3) zasięgi sieci cieplnych dla tych samych parametrów pracy sieci, tej samej wielkości bezwzględnej zagłębienia i wzniesienia terenu oraz takich samych ich odległości od źródła ciepła są sobie równe.

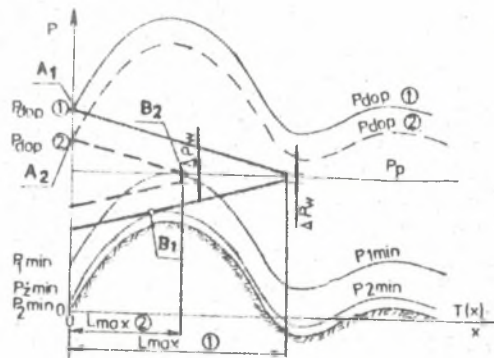
Wpływ terenu pofalowanego o wyraźnym zagłębieniu i wzniesieniu rzędu 70 - 150 m na zasięg sieci cieplnej zilustrowano na rysunku 4. Na rysunku tym zaznaczono charakterystyczne punkty, w których wartości ciśnień w sieci przyjmują wartości ekstremalne wynikające z podanych kryteriów i w związku z tym decydują o zasięgu sieci cieplnej.

Na rysunku 4a punkty charakterystyczne wyznaczające zasięg sieci to:

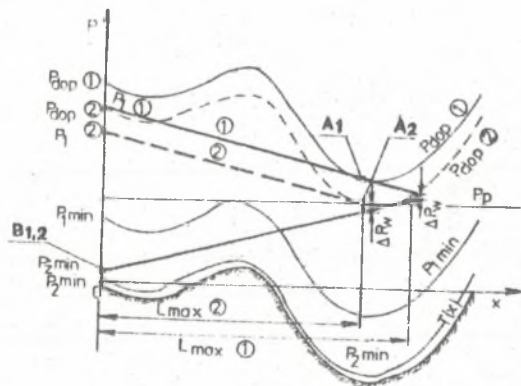
- $A_1$  i  $A_2$  wynikające z warunku nieprzekroczenia ciśnienia dopuszczalnego w przewodzie zasilającym w najniższym punkcie systemu  $p_1(x) = p_{dop}$
- $B_1$  wynikający z warunku nieodparowania wody w czasie ruchu w przewodzie zasilającym  $p_1(x) = p_{1\min}$



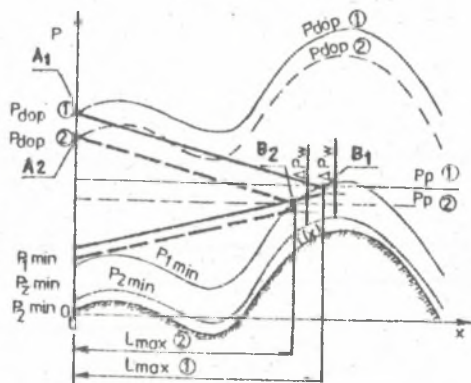
a)



c)



b)



d)

Rys. 4. Wykresy piezometryczne dla określenia maksymalnego zasięgu sieci cieplnej w terenie  
 a) z zagłębieniem przy źródle ciepła, b) z zagłębieniem oddalonym od źródła ciepła, c) ze wzniesieniem przy źródle ciepła, d) ze wzniesieniem oddalonym od źródła ciepła

-  $B_2$  wynikający z warunku utrzymania odpowiedniego ciśnienia w przewodzie powrotnym na wejściu do źródła ciepła  $P_2 = P_{\text{min}}$

W podobny sposób można omówić pozostałe punkty charakterystyczne zaznaczone na rysunku 4b, c, d.

Z analizy szeregu przypadków poszukiwanego terenu wynika, że zdecydowanym ograniczeniem zasięgu sieci ciepłych są wzniesienia i zagłębienia znajdujące się w pobliżu źródła ciepła.

W tabeli 1 zestawiono otrzymane z obliczeń różnice wysokości terenu od poziomu źródła ciepła w zależności od odległości od źródła, przy których można uzyskać zasięg sieci taki, jak w terenie płaskim, czyli maksymalny z możliwych dla danych parametrów pracy sieci. W obliczeniach przyjęto następujące parametry pracy sieci:

$P_{\text{dop}}$	= 2500 kPa
$P_{1\text{min}}$	= 435 kPa
$\Delta P_w$	= 50 kPa
$P_{\text{zmin}}$	= 70 kPa
$P_{2\text{min}}$	= 50 kPa
$R$	= 0,1 kPa/m

Tabela 1

Dopuszczalne różnice wysokości terenu dla uzyskania zasięgu sieci ciepłej maksymalnego z możliwych (jak dla terenu płaskiego)

Odległość od źródła ciepła m	Różnice wysokości terenu od poziomu źródła ciepła
0 - 300	do - 2, + 5 m
300 - 500	do - 5, + 10 m
500 - 1000	do - 10, + 15 m
1000 - 2000	do - 20, + 25 m
2000 - 3000	do - 30, + 33 m
3000 - 4000	do - 40, + 43 m
4000 - 5000	do - 50, + 53 m
5000 - 6000	do - 60, + 63 m
6000 - 7000	do - 70, + 73 m
7000 - 8000	do - 80, + 83 m
8000 - 9000	do - 90, + 93 m
9000 - 10000	do - 100, + 103 m
10000 - 11000	do - 110, + 96 m
11000 - 12000	do - 120, + 86 m

Z danych w tabeli 1 wynika, że przy znacznej odległości od ciepłowni nawet duże pofałdowanie terenu nie ograniczają zasięgu sieci ciepłej poniżej maksymalnego z możliwych zasięgów dla danych parametrów.

## 5. Podsumowanie

- 1) Maksymalny zasięg sieci ciepłych można uzyskać w terenie płaskim. Zależy on w tym przypadku wyłącznie od przyjętego ciśnienia dopuszczalnego dla elementów sieci oraz od ciśnień minimalnych zapewniających nieodparowanie czynnika grzejącego w rurociągach zasilających i powrotnym.
- 2) W terenach jednostajnie opadających lub wznoszących się od źródła zasięg sieci ciepłych jest mniejszy od maksymalnego i osiąga wartość kilkuset metrów przy kątach nachylenia terenu  $\sim 15^\circ$ .
- 3) Na zasięg ciepłych w terenach pofałdowanych wpływa miejsce lokalizacji źródła. Lokalizacja źródła na wzniesieniu lub w zagłębieniu terenu ogranicza zdecydowanie zasięg sieci. Natomiast w terenach płaskich w pobliżu źródła, a w miarę oddalania się od niego przebiegających z coraz większymi pofałdowaniami można uzyskać zasięg sieci maksymalny z możliwych (jak w terenie płaskim).
- 4) Wprowadzenie regulacji ilościowej, a więc zmian przepływu w sieci ciepłej przy założeniu stabilizacji ciśnienia w źródle, zdecydowanie wpływa na skrócenie zasięgu sieci ciepłych w terenach o zróżnicowaniu wysokościowym.

## LITERATURA

- [1] Legieć S.: Koncepcja uciepłownienia GOP do roku 1990. Tom 4 - Założenia technologii działania systemu ciepłowniczego. Praca własna WBP, Zabrze 1975.
- [2] Legieć S., Rachwał J., Jurkiewicz B., Wilczek J.: Technologia pracy systemów zaopatrzenia w ciepło - Określenie ciśnień stosowane w ciepłownictwie. Praca własna WBP, Zabrze 1974.
- [3] Kamier W.: Ciepłownictwo. Warszawa, PWN 1976.
- [4] Ewich M.: Analiza wpływu warunków pracy wodnego systemu ciepłowniczego na wielkość obszaru zasilanego w ciepło. Praca dyplomowa. Zakład Ogrzewnictwa Wentylacji i Ochrony Atmosfery Politechniki Śląskiej 1978.
- [5] Praca zbiorowa: Etap A.II.3.1. "Opracowanie metody wyznaczania maksymalnych niewspomaganych zasięgów sieci ciepłej" - praca zlecona. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Śl. 1980.

ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ТЕРРИТОРИИ НА РАДИУС ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОСЕТЕЙ

Резюме

В статье представлены критерия для определения радиуса действия теплосетей на основании системы давлений а также проведен анализ влияния конфигурации территории на этот радиус.

THE EFFECT OF SITE CONFIGURATION ON THE RANGE OF HEATING NETWORK

Summary

The range of heating network may be considered from different points of view such as heat density of site, losses of transmission. Criteria of the range determination for heat networks basing on pressure systems are presented and the analysis of the effect of configuration of site on this range is given.