

Dobór średnic rurociągów w sieciach ciepłych osiedlowych i przyłączach w.s.c. z uwzględnieniem optymalnej prędkości wody sieciowej

Zbigniew Pietrzyk
Adam Smyk



Warunki dla doboru średnicy sieci ciepłowniczej

Do doboru średnicy przyłącza i średnicy sieci osiedlowej wykorzystane zostały ogólne zasady doboru średnicy sieci ciepłowniczej. Strumień wody sieciowej do projektowania sieci ciepłowniczej powinien być określony dla warunków maksymalnego zapotrzebowania na ogrzewanie i ciepłą wodę.

$$G_{max} = \frac{N_{co} + N_{ct} + N_{cwmax}}{c_p \cdot \Delta T_{max}}$$

Maksymalny strumień wody sieciowej wyznacza jednocześnie prędkość jaka będzie wymagana w sieci o danej średnicy aby ten strumień został przesłany.

$$w = \frac{4G_{max}}{\pi d^2 \rho}$$

Zbyt mała prędkość przepływu ogranicza przesyłaną moc cieplną, z kolei zbyt duża prędkość wymaga znacznej mocy pompowania.



Warunki dla doboru średnicy sieci ciepłowniczej

Przepływowi strumienia wody sieciowej z daną prędkością towarzyszy spadek ciśnienia w sieci na skutek oporów hydraulicznych wywołanych przez opory tarcia i opory miejscowe.

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2}$$

Właśnie opory hydrauliczne są istotnym ograniczeniem nie pozwalającym dobrać zbyt małej średnicy rurociągu. Tak więc istotnym parametrem wpływającym na dobór średnicy przyłącza jest dopuszczalny spadek ciśnienia jaki może wystąpić na projektowanym przyłączy.

$$\Delta p \leq \Delta p_d$$

Drugim istotnym ograniczeniem jest prędkość przepływu czynnika w sieci ciepłowniczej. W pewnych warunkach pojawiają się w sieciach nieporządane efekty (np. hałas), które nie pozwalają dopuścić zbyt dużej prędkości przepływu w rurociągach.



Parametry do doboru średnicy sieci ciepłowniczej

Na dobór średnicy rurociągów wodnej sieci ciepłowniczej mają wpływ następujące parametry:

- wielkość strumienia wody sieciowej wynikająca z przesyłanej mocy cieplnej i parametrów obliczeniowych,
- liniowa strata ciśnienia w wyniku tarcia w rurociągach, zależna od współczynnika tarcia oraz geometrii sieci i prędkości przepływu,
- miejscowe straty ciśnienia na armaturze i elementach sieci, zależne od ilości i rodzaju zastosowanych elementów oraz prędkości przepływu,
- dopuszczalny spadek ciśnienia na projektowanym odcinku sieci,
- dopuszczalna prędkość przepływu wody,
- lokalne uwarunkowania rynku odbiorców ciepła.

Określenie dopuszczalnego spadku ciśnienia na przyłączy węzła powinno uwzględniać warunki hydrauliczne w miejscu przyłączenia do sieci.

$$\Delta p_d = \Delta p_{ds} - \Delta p_{dw}$$



Warunki prawidłowego doboru średnicy

Warunkiem prawidłowego doboru średnicy sieci jest nie przekroczenie dopuszczalnego spadku ciśnienia na projektowanym odcinku rurociągu oraz nie przekroczenie dopuszczalnej prędkości przepływu:

$$\Delta p \leq \Delta p_d$$

$$w \leq w_{max}$$

Spadek ciśnienia w sieci zależy od: współczynnika tarcie, długości i średnicy sieci oraz sumy współczynników strat miejscowych. Straty miejscowe można zastąpić przez równoważną zastępczą długość rurociągu.

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2} = \lambda \frac{(l + lr)}{d} \frac{w^2 \rho}{2}$$

Określenie maksymalnej prędkości przepływu jest zagadnieniem złożonym. Najlepiej żeby to była optymalna prędkość, dlatego aby ją wyznaczyć przeprowadzono optymalizację kosztów przesyłu ciepła w funkcji średnicy.



Kryterium ekonomiczne

Optymalny dobór średnicy sieci wiąże się ściśle z określeniem optymalnej prędkości przepływu wody.

Przyjęte kryterium ekonomiczne to minimalizacja rocznych kosztów przesyłu ciepła na odcinku sieci ciepłowniczej obejmujących koszty operacyjne, koszty strat ciepła, koszty pompowania.

$$K = K_O + K_S + K_P \Rightarrow \min$$

$$K_O = K_A + K_F + K_{OP}$$

K_O - roczne koszty operacyjne (zawierające amortyzację, koszty finansowe i pozostałe koszty operacyjne)

K_S - roczne koszty strat ciepła

K_P - roczne koszty pompowania



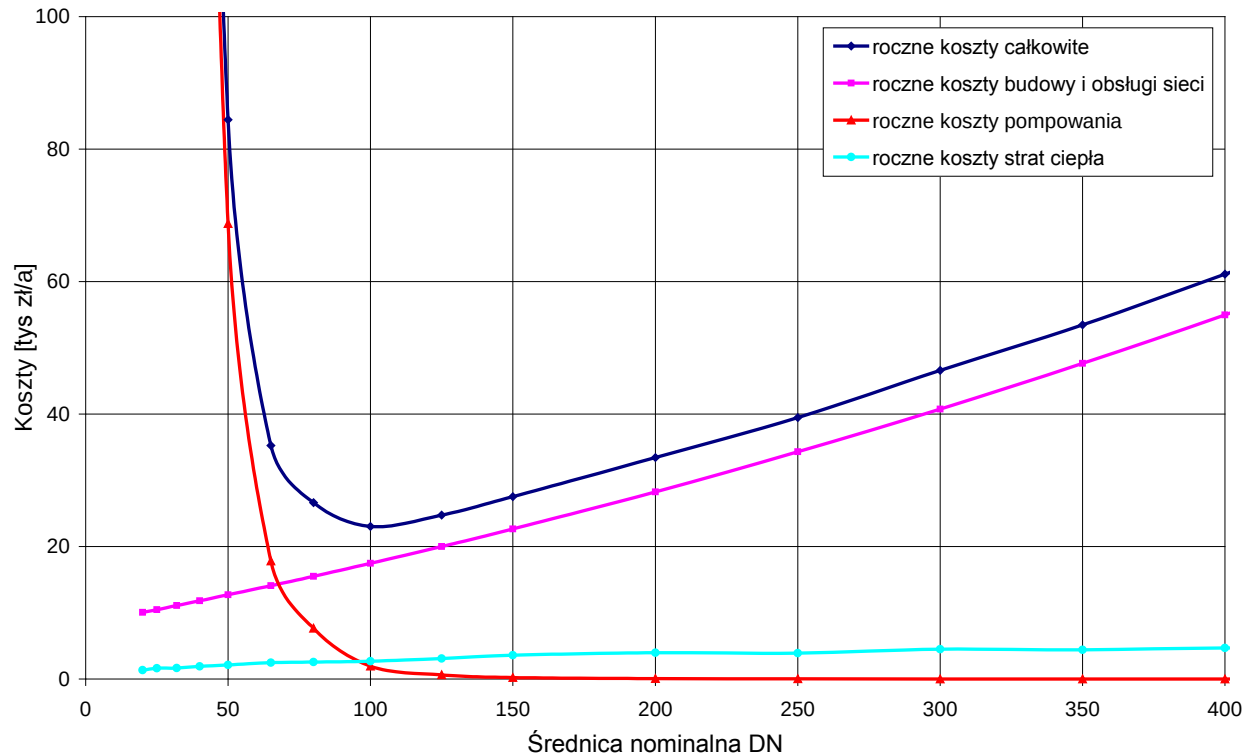
Podstawowe założenia do analizy

- analiza obejmuje zakres średnic DN32 DN400
- żywotność sieci (okres amortyzacji), przyjęto 30 lat,
- roczne koszty operacyjne (łącznie z amortyzacją i kosztami finansowymi) określono według szczegółowych założeń, stanowią one ok.10% nakładów inwestycyjnych,
- średnią cenę energii elektrycznej przyjęto 200 zł/MWh (cena energii w EC ok. 140 zł/MWh podwyższona udziałem energii elektrycznej zużywanej w przepompowniach),
- cenę ciepła przyjęto według aktualnej taryfy SPEC S.A., uwzględniono tylko składową zmienną 16,63 zł/GJ,
- średnia wartość chropowatości dla rur eksploatowanych 0,5 mm,
- na zasilaniu i powrocie przyłącza przyjęto: po cztery kolana, zawór lub zasuwę odcinającą, odwodnienie i odpowietrzenie ($\Sigma\xi=1,8$),
- nakłady inwestycyjne określono według aktualnych wskaźników jednostkowych nakładów na budowę sieci preizolowanej,
- straty ciepła określono według wskaźników jednostkowych strat dla sieci preizolowanej,
- uwzględniono średni wzrost strat ciepła w okresie eksploatacji w stosunku do nowej sieci preizolowanej.



Optymalna średnica sieci ciepłowniczej

Dla każdej mocy cieplnej można wyznaczyć średnicę sieci, przy której całkowite roczne koszty przesyłu ciepła osiągają minimum. Przykładowy wykres zmiany kosztów w funkcji średnicy.



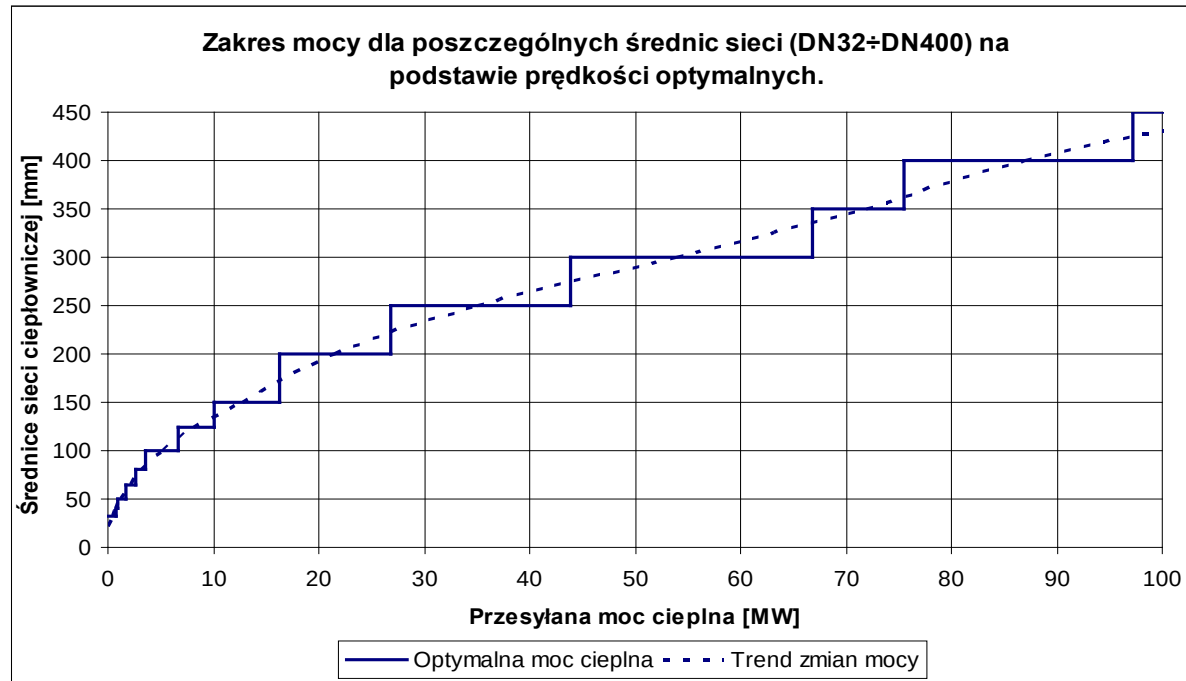
przewymiarowanie sieci znacznie łagodniej wpływa na wzrost kosztów całkowitych niż zaniżenie średnicy.

Roczne koszty budowy i eksploatacji odcinka sieci o długości 100 m i mocy przesyłanej 5 MW.



Zakres optymalnych mocy cieplnych

Przy pomocy opracowanego algorytmu określania optymalnej średnicy rurociągu wyznaczono dla każdej średnicy zakres mocy cieplnych, przy których występuje minimum rocznych kosztów budowy i eksploatacji przyłącza.

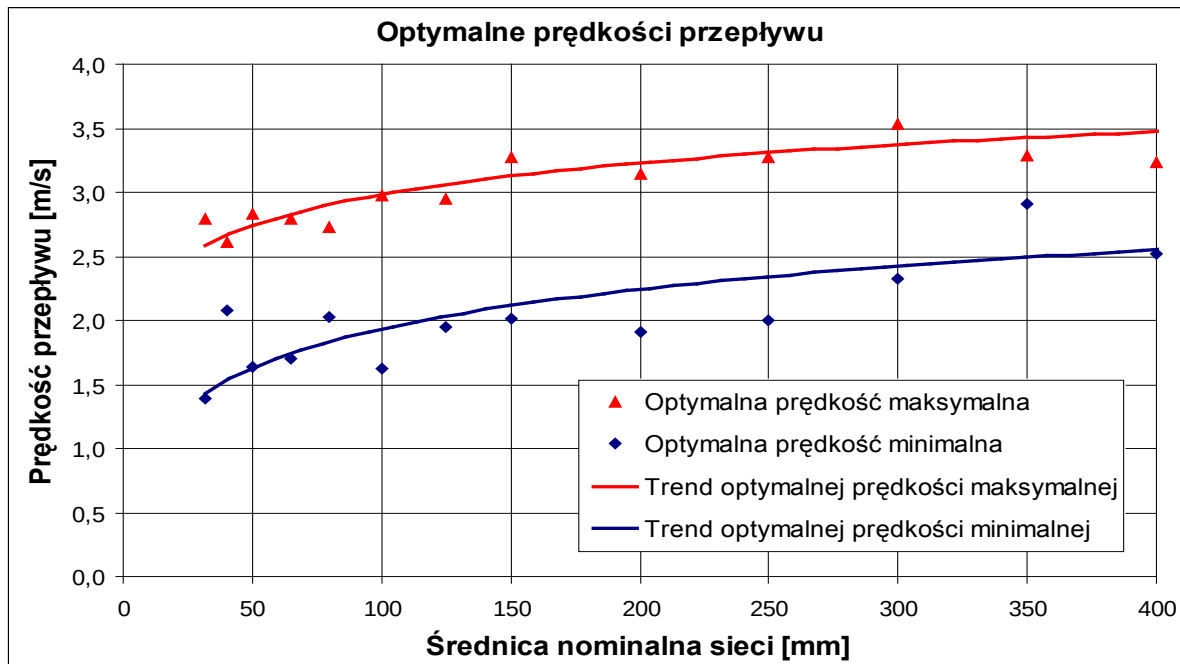


Te optymalne moce cieplne są często znacznie większe od mocy rzeczywistych przesyłanych daną średnicą przyłącza ponieważ wynikają z przyjęcia wyższych prędkości (optymalnych) w porównaniu do prędkości stosowanych obecnie.



Zakres optymalnych prędkości przepływu

Zakresowi optymalnych mocy cieplnych dla danej średnicy odpowiada zakres optymalnych prędkości przepływu - stąd wyznaczono maksymalną i minimalną prędkość optymalną dla każdej średnicy.



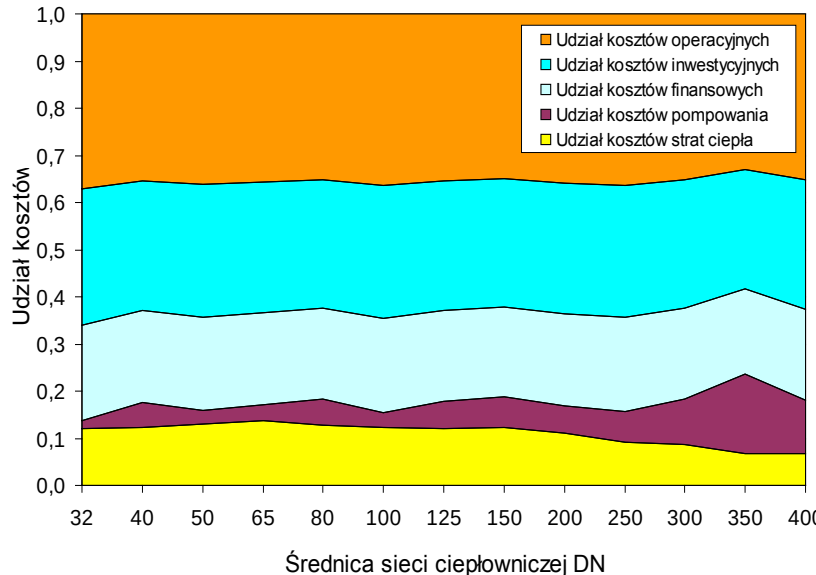
Ze względu na nieregularny rozkład punktów optymalnych prędkości wynikający głównie ze stosowanego typoszeregu średnic nominalnych, naniesiono linie trendu minimalnej i maksymalnej prędkości optymalnej.



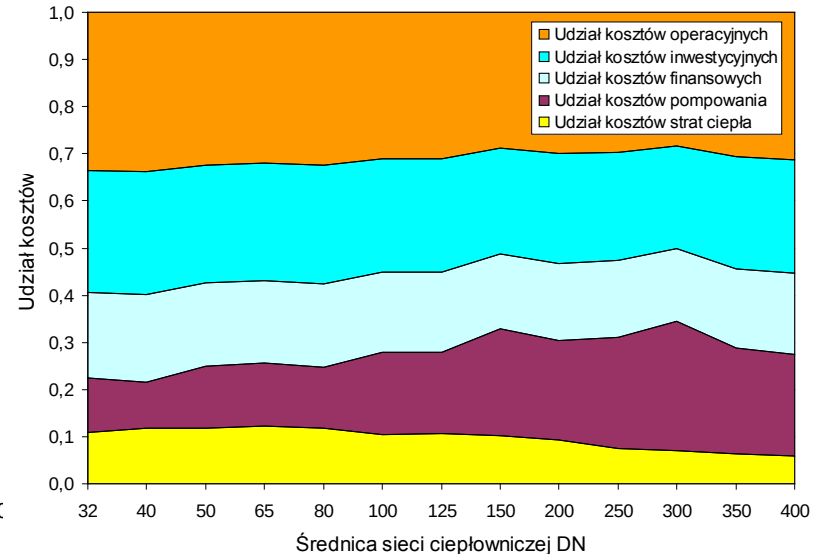
Składowe koszty

Udziały poszczególnych składowych kosztów rocznych dla warunków optymalnej prędkości przepływu w funkcji średnicy nominalnej:

$$K = K_O + K_A + K_F + K_P + K_S$$



Udział składowych kosztów przy optymalnej prędkości minimalnej



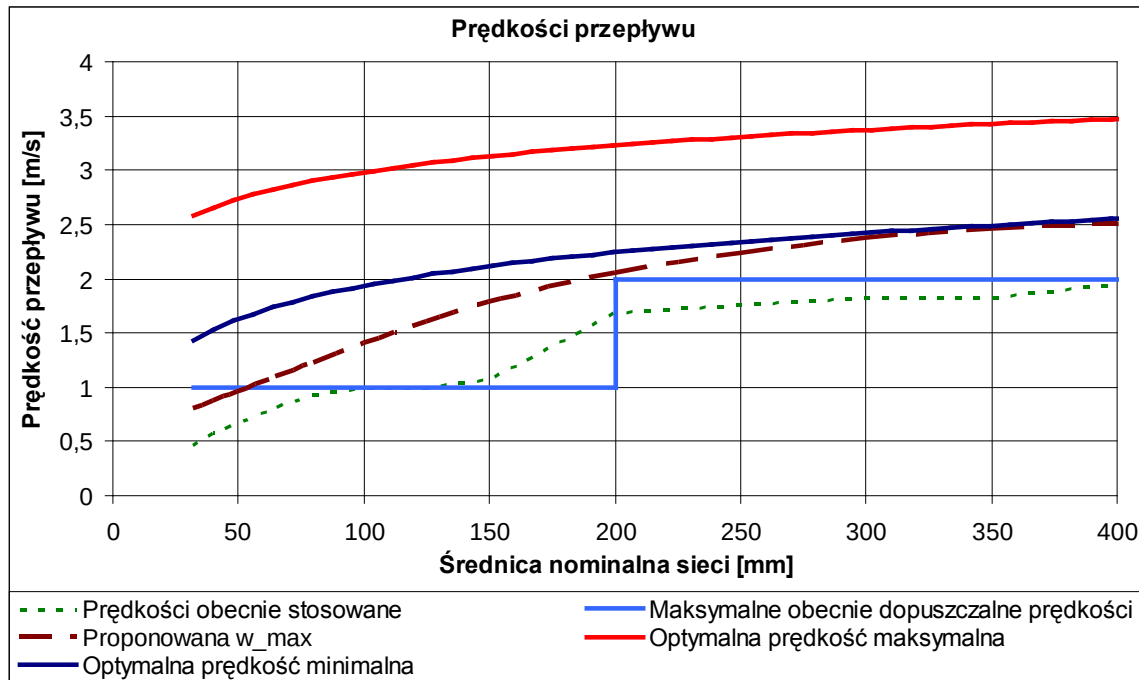
Udział składowych kosztów przy optymalnej prędkości maksymalnej

Głównym składnikiem rocznych kosztów są koszty operacyjne, stanowią one około 70-80% kosztów całkowitych. Pozostałe koszty (strat ciepła i pompowania) stanowią w sumie około 20-30% kosztów całkowitych.



Zalecana prędkość maksymalna

Ze względu na jednostkowe straty ciśnienia w sieci, hałas powodowany dużą prędkością przepływu oraz inne niekorzystne efekty pojawiające się w sieciach, nie można znacznie podwyższyć dopuszczalnych prędkości.



Stosowane dotychczas ograniczenia prędkości przy doborze średnicy sieci ciepłowniczej:

1 m/s do DN150,

1-2 m/s DN200 DN400

2-3 m/s powyżej DN400

W związku z tym dla doboru średnic przyłączy i średnic sieci osiedlowych wskazane jest stopniowe podwyższenie dopuszczalnych prędkości (linia przerywana na wykresie) tak aby zbliżyły się do dolnego zakresu prędkości optymalnych.



Tabela zalecanych prędkość i mocy maksymalnych

Proponuje się nieznacznie podwyższyć dopuszczalną prędkości przepływu na przyłączy wężła oraz w sieci osiedlowej – do 1m/s dla DN50 do 2 m/s dla Dn200 i do 2,5 m/s dla DN400.

DN	d	w _{max}	N _{max}	G	G	R
mm	mm	m/s	MW	kg/s	t/h	Pa/m
32	37,2	0,80	0,214	0,85	3,1	316,0
40	43,1	0,87	0,313	1,24	4,5	310,9
50	54,5	0,96	0,552	2,20	7,9	282,3
65	70,3	1,09	1,04	4,15	14,9	264,8
80	82,5	1,22	1,61	6,40	23,0	271,6
100	107,1	1,40	3,11	12,37	44,5	258,1
125	132,5	1,60	5,44	21,64	77,9	258,3
150	160,3	1,78	8,86	35,23	126,8	252,0
200	210,1	2,05	17,5	69,71	251,0	238,3
250	263,0	2,23	29,9	118,82	427,8	213,0
300	312,7	2,37	44,9	178,52	642,7	193,8
350	344,4	2,45	56,3	223,86	805,9	183,5
400	393,8	2,50	75,1	298,66	1075,2	161,6

Maksymalne dopuszczalne prędkości przepływu dobrano tak, aby jednostkowe opory przepływu na przyłączy wynosiły około 300 Pa/m dla najmniejszych średnic DN32÷DN50 i nie przekraczały 200 Pa/m dla DN300÷DN400.



Rzeczywiste prędkości przepływu w sieci ciepłowniczej

Maksymalne prędkości przepływu zalecane do stosowania przy doborze średnic przyłączy mogą być osiągnięte tylko w szczególnych przypadkach, a mianowicie gdy dobór średnicy nastąpi przy maksymalnej mocy cieplnej zalecanej dla tej średnicy sieci. Dla mocy cieplnych mniejszych od maksymalnej ale mieszczących się w zakresie mocy zalecanej dla danej średnicy, prędkości przepływu będą odpowiednio mniejsze. Takich przypadków jest zdecydowanie najwięcej.

Ponadto rzeczywiste przepływy w sieci ciepłowniczej są na ogół mniejsze od przepływów projektowych, dla których dobierane są średnice sieci.

Powyższe warunki sprawiają, że rzeczywiste prędkości przepływu na przyłączy węzła będą na ogół znacznie mniejsze od przyjętej prędkości maksymalnej.

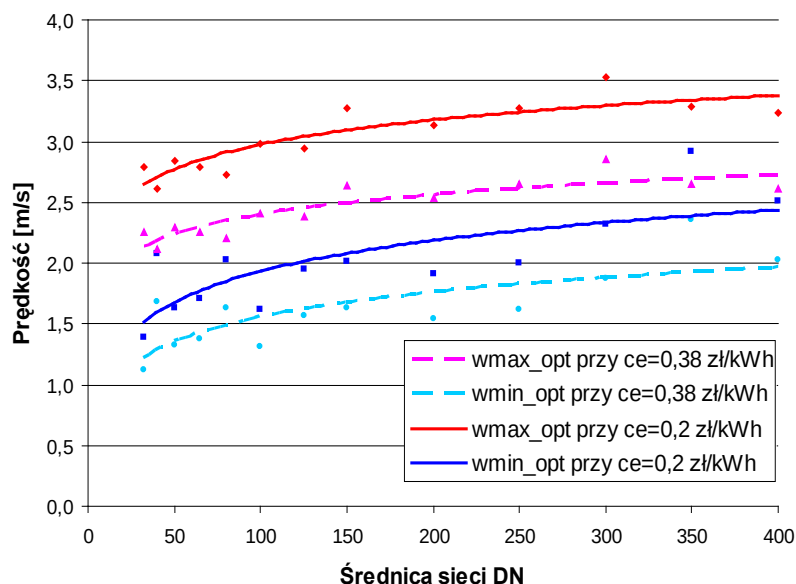
W związku z tym zagrożenie pojawienia się niepożądanych efektów w sieci spowodowanych zbyt dużą prędkością przepływu jest praktycznie wyeliminowane.



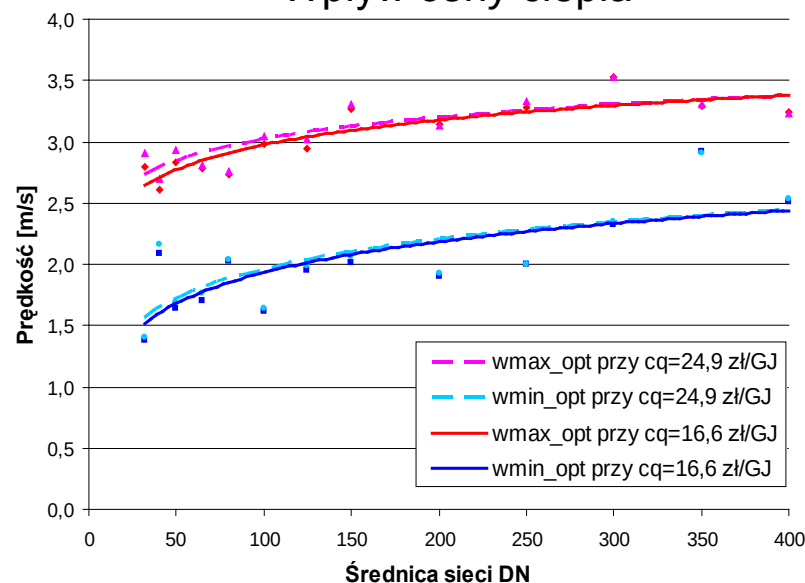
Wpływ ceny energii elektrycznej i ceny ciepła na prędkość optymalną

Przedstawione wyniki analizy odnoszą się do systemu ciepłowniczego zasilanego w ciepło wytwarzane w kogeneracji - przyjęto stosunkowo niską cenę energii elektrycznej zużywanej do napędu pomp sieciowych (200 zł/MWh). W przypadku systemu zasilanego wyłącznie z ciepłowni taryfowa cena energii elektrycznej będzie znacznie wyższa (wg taryfy C21 ok. 380 zł/MWh). Spowoduje to obniżenie optymalnych prędkości wody sieciowej o ok. 0,4 m/s dla małych średnic do 0,6 m/s dla większych.

Wpływ ceny energii elektrycznej



Wpływ ceny ciepła



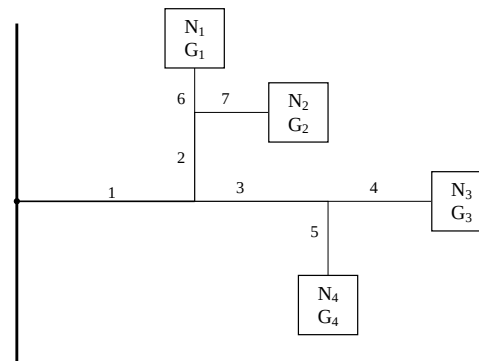
Podwyższenie ceny ciepła nie ma istotnego wpływu na zmianę prędkości optymalnych.



Dobór średnic sieci osiedlowej

W przypadku doboru średnic sieci osiedlowej sposób postępowania jest podobny jak przy doborze średnicy przyłącza węzła. Dla sieci osiedlowej należy określić następujące podstawowe dane:

- maksymalną moc cieplną przesyłaną każdym odcinkiem sieci
- długości poszczególnych odcinków sieci
- sumę współczynników strat miejscowych na każdym odcinku sieci
- dopuszczalny spadek ciśnienia dla sieci osiedlowej



Określamy spadki ciśnienia na drodze do każdego węzła

Jeżeli dla któregośkolwiek z węzłów spadek ciśnienia od wcińki do węzła przekracza dopuszczalny spadek ciśnienia przewidziany dla całej sieci osiedlowej należy powtórzyć obliczenia zwiększając średnicę na newralgicznych odcinkach sieci.

W przypadku, gdy spadek ciśnienia na drodze do któregośkolwiek z węzłów sieci osiedlowej jest znacznie mniejszy od spadku ciśnienia dla całej sieci (o ponad 50%) to należy rozważyć możliwość zredukowania średnicy ostatniego odcinka przed węzłem o jedną dymensję.



Wnioski końcowe

Maksymalne prędkości stosowane do doboru średnicy przyłącza i sieci osiedlowych są mniejsze od prędkości optymalnych wynikających z minimalnych kosztów przesyłania ciepła. Ze względu na niekorzystne efekty, które mogą pojawić się w sieciach przy zbyt dużych prędkościach przepływu, zaproponowano „umiarkowane” podwyższenie prędkości maksymalnej dla doboru średnic, aby zbliżyć je do zakresu prędkości optymalnych.

Dokonana analiza odnosi się do systemu ciepłowniczego zasilanego w ciepło wytwarzane w kogeneracji czyli w EC. Wyrazem tego jest przyjęcie stosunkowo niskiej ceny energii elektrycznej zużywanej na pompowanie wody sieciowej (200 zł/MWh). W przypadku systemu zasilanego wyłącznie z ciepłowni taryfowa cena energii elektrycznej będzie o ponad 50% wyższa. Spowoduje to obniżenie optymalnych prędkości wody sieciowej. W takim przypadku linia proponowanych maksymalnych prędkości przepływu znajdzie się w zakresie prędkości optymalnych.

Dziękuję za uwagę

