

Studium wykonalności rozdzielenia obiegu pomp sieciowych, kotłowych i mieszających w ciepłowni C13 przy ul. Spichrzowej w Gnieźnie

OBIEKT: System ciepłowniczy Gniezna

BRANŻA: ciepłownicza

ZAMAWIAJĄCY: Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Gnieźnie Sp. z o.o.
ul. Staszica 13, 62-200 Gniezno

AUTOR OPRACOWANIA: dr inż. Kazimierz Żarski, Śliwiczki 62, 89-530 Śliwice
tel. 511 866335, k_zarski@ic.torun.pl

DATA OPRACOWANIA: 30 kwietnia 2017 r.

Opracowanie zawiera:

1. Podstawa opracowania
2. Przyczyny realizacji projektu
3. Opis przedmiotu zamówienia
4. Cel projektu
5. Opis stanu istniejącego
6. Parametry operacyjne systemu ciepłowniczego
7. Oczekiwania Zamawiającego
8. Założenia inwestycji
9. Uwarunkowania formalno-prawne inwestycji
10. Uwarunkowania wynikające z procedur prawa budowlanego, prawa energetycznego i zagospodarowania przestrzennego
11. Koncepcja inwestycji
12. Opis rozwiązań technicznych urządzeń
13. Analiza ekonomiczna inwestycji
14. Analiza SWOT inwestycji
15. Przykładowy harmonogram realizacji inwestycji
16. Analiza oddziaływania na środowisko
17. Oddziaływanie społeczno-gospodarcze
18. Kolejne działania niezbędne do realizacji inwestycji
19. Podsumowanie i wnioski

1. Podstawa opracowania

- zlecenie Zamawiającego,
- dane uzyskane od Zamawiającego,
- dane meteorologiczne dla Poznania,
- własne programy komputerowe,
- własne publikacje,
- obowiązujące przepisy.

2. Przyczyny realizacji projektu

Przyczyną realizacji projektu jest potrzeba dostosowania układu technologicznego Ciepłowni C13 przy ul. Spichrzowej w Gnieźnie do dynamicznego, elastycznego modelu istniejącej sieci ciepłowniczej oraz potrzeba zmniejszenia zużycia energii do pompowania nośnika ciepła. Przyczyna kolejna to możliwość uzyskania lepszych parametrów regulacji ciepłowni przez rozdzielenie obiegów:

- kotłów,
- sieci ciepłowniczej,
- zimnego mieszania,
- gorącego mieszania.

3. Opis przedmiotu zamówienia

Przedmiotem studium wykonalności (feasibility study) jest analiza techniczna i ekonomiczna wprowadzenia inwestycji polegającej na rozdzieleniu obiegów Ciepłowni C13, jak 2 p. 2 przez montaż zespołów pompowych, odrębnych w każdym obiegu ciepłowni. Układ rurociągów wymaga niewiele zmian w istniejącym schemacie ideowym. Inwestycja rozdzielanie obiegów łączy się z planowaną modernizacją kotłów nr 2, 5 i 6, co wiąże się z koniecznością wyposażenia ich obiegów w pompy kotłowe. Zmiany w 3 obiegach modernizowanych kotłów **wymagają** identycznych zmian w obiegach kotłów niemodernizowanych.

4. Cel projektu

Celem projektu jest dostosowanie układu technologicznego Ciepłowni C13 przy ul. Spichrzowej w Gnieźnie do dynamicznej, elastycznej współpracy z istniejącą siecią ciepłowniczą oraz możliwość zmniejszenia zużycia energii do pompowania nośnika ciepła.

Celem jest również uzyskanie lepszych parametrów automatycznej regulacji ciepłowni przez rozdzielanie obiegów:

- kotłów,
- sieci ciepłowniczej,
- zimnego mieszania,
- gorącego mieszania.

5. Opis stanu istniejącego

Obecnie w Ciepłowni C13 znajdują się następujące kotły:

K1- WR10, moc 11.6 MW,

K2 – WR5, moc 5.8 MW,

K3 WR10, moc 11.6 MW,

K4- WLM 5, moc 5.8 MW,

K5 – WR 25, moc 29.2 MW,

K6 – WR 25, moc 29.2 MW.

W układzie technologicznym kotłowni nie występują pompy kotłowe. Pompy sieciowe jednocześnie pokonują opory przepływu przez obiegi kotłów. Poniżej podano charakterystykę pomp sieciowych:

Wykaz pomp układu technologicznego ciepłowni C-13

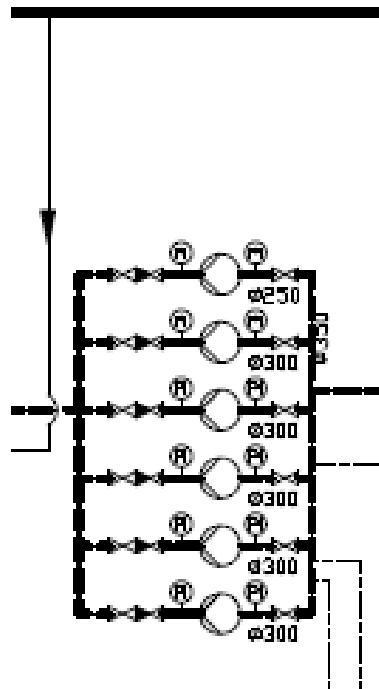
Pompy obiegowe.

Ilość szt.	- 5
Typ	- 20 W 39 A 2GV
Wys. podnoszenia	- 98 m H ₂ O
Wydajność	- 400 m ³ /h

Siniki :

- dla pomp nr 1.2.3.	
typ	- S355LX x 4 /MC/
moc	- 160 kW
napięcie U	- 6.000 V
obroty	- 1.450 obr/min
- dla pompy nr 4.	
typ	- SzDo 174
moc	- 160 kW
napięcie U	- 6.000V
obroty	- 1.485 obr/min
- dla pompy nr 5.	
typ	- Se315 L4
moc	- 160 kW
napięcie	- 380 V
obroty	- 1.450 obr/min

Na rys. 1. Pokazano schemat połączenia pomp sieciowych (+kotłowych).



Rys. 1. Schemat połączenia pomp sieciowych (+kotłowych)

Pompy pracują przemiennie. W tej części opracowania zostanie wykorzystany monitoring ich czasu pracy (od 02.2016. do 04.2017). Pompy nie posiadają falowników, regulacja jest dławieniowa, w zależności od potrzebnego ciśnienia dyspozycyjnego w sieci ciepłowniczej.

Oprócz zespołu pomp sieciowo-kotłowych występuje zespół pomp gorącego mieszania, zapewniający uzyskanie odpowiedniego przepływu przez kotły. W zależności od liczby pracujących jednostek kotłowych jest włączana odpowiednia liczba pomp, także w modelu regulacji dławieniowej.

Ze względu na połączenie równoległe jednostek kotłowych o różnej mocy występuje zróżnicowanie niezbędnego ciśnienia dyspozycyjnego do pokonania oporu przepływu przez kocioł. Przy jednoczesnej pracy kotłów o różnym ciśnieniu dyspozycyjnym występuje konieczność ręcznego ustawienia przepływu przez dławienie obiegu o niższej różnicy dyspozycyjnej ciśnienia. Jest to niepotrzebna strata energii, połączona z pewną niedogodnością eksploatacyjną polegającą na ręcznym ustawieniu rozdziału nośnika ciepła. Wielkością regulowaną jest przepływ przez kotły. Parametry pomp mieszających są podane poniżej:

Pompy mieszające - 3 szt.

Pompy nr 1 i nr 2

typ	- 12 C40-2
wydajność	- 150 m ³ /h
wys. podnoszenia	- 50 m H ₂ O
moc	- 45 kW
obroty	- 1.475 obr/min

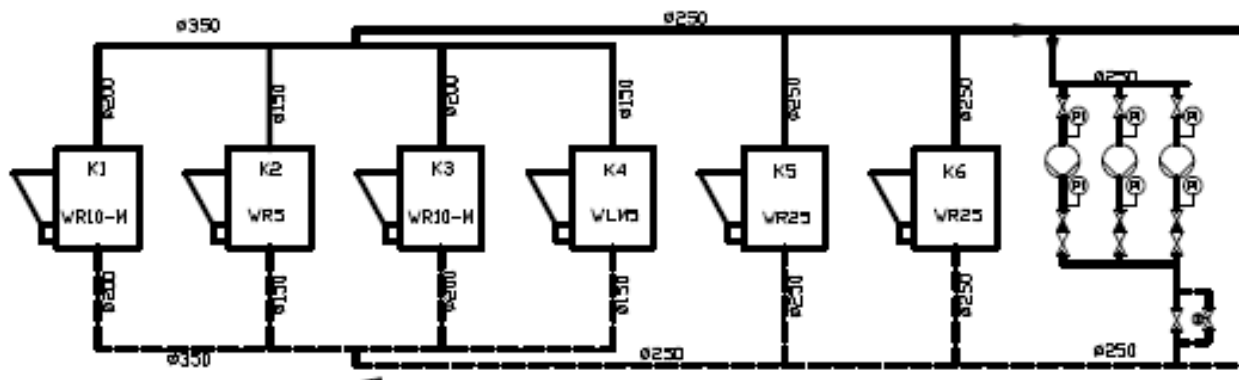
Pompa nr 3

typ	- 8 C-21-1
wydajność	- 100 m ³ /h
wys. podnoszenia	- 50 m H ₂ O
moc	- 22 kW
obroty	- 2.990 obr/min

Pompy stabilizujące - 2 szt.

typ	- 32YSN 3
wydajność	- 8,5 m ³ /h
wys. podnoszenia	- 66 m H ₂ O
silnik typ	- Sg 123S2A
moc	- 5,5 kW
obroty	- 2.925 obr/min

Na rysunku poniżej podano schemat połączenia kotłów i pomp gorącego mieszania.

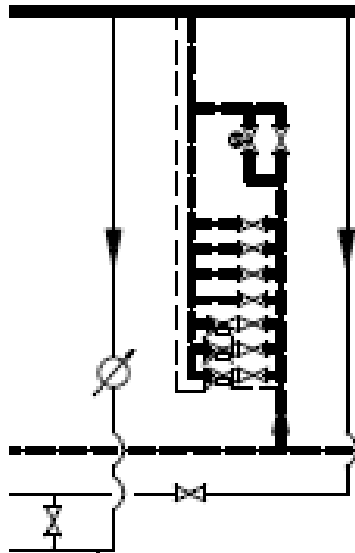


Rys. 2. Schemat połączenia kotłów

Obieg zimnego mieszania jest obiegiem o działaniu upustowym, z zaworem regulacyjnym i obejściem zaworu, z kilkoma nitkami przewodów, otwieranych w zależności od liczby działających jednostek kotłowych. Jest to „pozostałość” po typowych rozwiązaniach kotłowni węglowych według projektu BISTYP, kiedy nie istniały możliwości regulacji parametrów operacyjnych inne niż przez działanie mechaniczne – otwarcie i zamknięcie równoległe połączonych przewodów upustowych. Upust wymaga również nadwyżki ciśnienia i jest trudny w regulacji przy sąsiednim położeniu układu gorącego mieszania (przeciwnie kierunki

przepływu w położonych obok punktach schematu). Regulacja układów upustowych wymaga stabilizacji różnicy ciśnienia w wybranych punktach.

Na rys. 3 przedstawiono układ zimnego mieszania.



Rys. 3. Schemat układu zimnego mieszania

Ponadto, w układzie ciepłowni występują pompy stabilizujące i uzupełniające o następujących charakterystykach:

Pompy stabilizujące - 2 szt.

typ	- 32YSN 3
wydajność	- 8,5 m ³ /h
wys. podnoszenia	- 66 m H ₂ O
silnik typ	- Sg 123S2A
moc	- 5,5 kW
obroty	- 2.925 obr/min

Pompy uzupełniające - 2 szt identycznie jak stabilizujące.

Regulatory BRU - 2 szt typ V-230 D 04 (Kvs -125 m³/h ,Δ p 15 bar).

Pompy te nie mają znaczenia przy planowanej inwestycji.

W układzie ciepłowni działa również układ odgazowania termicznego i podciśnieniowego.

Układy te pozostają bez zmian.

6. Parametry operacyjne systemu ciepłowniczego

Obecne parametry systemu ciepłowniczego podano poniższych tabelach.

Tab. 1. Parametry operacyjne systemu ciepłowniczego

Temperatura wewnętrzna	t_i	20	°C
Temperatura zewnętrzna	t_e	-18	°C
Moc kotła	K1	11.6	MW
	K2	5.8	MW
	K3	11.6	MW
	K4	5.8	MW
	K5	29	MW
	K6	29	MW
Suma mocy kotłów	Σ	92.8	MW
Moc do ogrzewania	Φ_{co}	58.00	MW
Moc do przygotowania c.w.	Φ_{cw}	7.00	MW
Obliczeniowa temperatura zasilania	T_{szo}	130.00	°C
Obliczeniowa temperatura powrotu	T_{spo}	55.00	°C

Wskutek planowanej modernizacji kotłów zmieni się moc kotła K6 – na 15 MW w paliwie. W tabeli 2. Podano dane po zaplanowanej modernizacji kotłów.

Tab. 2. Parametry operacyjne systemu ciepłowniczego po planowanej modernizacji

Temperatura wewnętrzna	t_i	20	°C
Temperatura zewnętrzna	t_e	-18	°C
Moc kotła	K1	11.6	MW
	K2	5.8	MW
	K3	11.6	MW
	K4	5.8	MW
	K5	29	MW
	K6	12	MW
Suma mocy kotłów	Σ	75.8	MW
Moc do ogrzewania	Φ_{co}	58.00	MW
Moc do przygotowania c.w.	Φ_{cw}	7.00	MW
Obliczeniowa temperatura zasilania	T_{szo}	130.00	°C
Obliczeniowa temperatura powrotu	T_{spo}	55.00	°C

Moc kotłów po modernizacji będzie przewyższała zapotrzebowanie na moc cieplną w systemie. Rezerwa jest niewielka, zatem przyszła rozbudowa systemu, o ile będzie wymagała zwiększenia mocy, może być realizowana jako np. dobudowa kotła olejowego lub gazowego. Analizę ekonomiczną sporządzono przy mocy istniejącej i docelowej (100% mocy kotłów). W tabeli 3. Podano parametry operacyjne odpowiadające wykorzystaniu maksymalnej mocy ciepłowni.

Tab. 3. Parametry operacyjne systemu ciepłowniczego po planowanej modernizacji przy wykorzystaniu 100% mocy ciepłowni

Temperatura wewnętrzna	t_i	20	°C
Temperatura zewnętrzna	t_e	-18	°C
Moc kotła	K1	11.6	MW
	K2	5.8	MW
	K3	11.6	MW
	K4	5.8	MW
	K5	29	MW
	K6	12	MW
Suma mocy kotłów	Σ	75.8	MW
Moc do ogrzewania	Φ_{co}	65.90	MW
Moc do przygotowania c.w.	Φ_{cw}	9.90	MW
Obliczeniowa temperatura zasilania	T_{szo}	130.00	°C
Obliczeniowa temperatura powrotu	T_{spo}	55.00	°C

7. Oczekiwania Zamawiającego

Zamawiający oczekuje podania w niniejszym opracowaniu przesłanek do podjęcia decyzji o realizacji inwestycji i określenia efektów ekonomicznych oraz ekologicznych przy różnych warunkach brzegowych.

8. Założenia inwestycji

Inwestycja polega na:

- a. Demontażu niezbędnych obiegów i pomp wycofanych z eksploatacji,
- b. Montażu pomp w obiegach: kotłów, gorącego mieszania, zimnego mieszania,
- c. Montażu falowników do pomp sieciowych,
- d. Wykonaniu niezbędnych fragmentów rurociągów z pracami dodatkowymi (malowanie, izolacje, podparcia),
- e. Dopisanie aplikacji automatycznej regulacji do istniejącego systemu automatyki i monitoringu Ciepłowni,
- f. Przeprowadzeniu rozruchu układu technologicznego kotłowni w celu uzyskania planowanych parametrów operacyjnych.

9. Uwarunkowania formalno-prawne inwestycji

Inwestycja powinna być przeprowadzona po podjęciu decyzji przez Zamawiającego i po wykonaniu koncepcji z określeniem w miarę dokładnego kosztu realizacji oraz po wykonaniu projektu wykonawczego wraz z kosztorysem inwestorskim. Po opracowaniu SIWZ może zostać wyłoniony przyszły wykonawca inwestycji. Istnieje możliwość połączenia fazy projektu

wykonawczego i wykonawstwa. Przyszły wykonawca powinien mieć doświadczenie w realizacji zadań o podobnym stopniu złożoności.

10. Uwarunkowania wynikające z procedur prawa budowlanego, prawa energetycznego i zagospodarowania przestrzennego

Planowana inwestycja nie wymaga procedur prawa budowlanego: decyzji o warunkach zabudowy, wypisu z planu zagospodarowania przestrzennego oraz uzyskania pozwolenia na budowę. Prace nie wychodzą poza budynek i nie zmieniają przeznaczenia poszczególnych pomieszczeń. Prace także nie zmieniają układu stref pożarowych w budynku. Nie jest wymagane również spełnienie procedur prawa energetycznego i prawa o zagospodarowaniu przestrzennym.

11. Koncepcja inwestycji

Koncepcję rozwiązania oparto na założeniach teoretycznych opisanych poniżej.

11.1. Regulacja przepływu i ciśnienia w kotłowniach średniej mocy (2-100 MW)

Kotłownie małej i średniej mocy stanowią zespół powiązanych z sobą obiegów. Właściwy dobór parametrów obiegów będzie decydował o prawidłowości współpracy źródła ciepła z systemem ciepłowniczym: siecią ciepłowniczą i węzłami. Materiał w głównej mierze dotyczy kotłowni węglowych z kotłami wodnorurkowymi. W kotłowniach gazowych i węglowych z kotłami o zmiennym przepływie algorytmy automatycznej są odmienne. Zostanie to omówione w dalszej części materiałów.

11.2. Podstawy obliczeń hydraulicznych i cieplnych

Znajomość strumienia masy w każdym obwodzie hydraulicznym umożliwia dobór średnicy rurociągu oraz obliczenie strat ciśnienia przy przepływie nośnika ciepła. Parametrem opisującym charakter przepływu w rurociągach jest liczba Reynoldsa Re . Wymiarem charakterystycznym w liczbie Reynoldsa przy przepływie w przewodach o przekroju kołowym jest średnica geometryczna (równa średnicy zastępczej – hydraulicznej). Wówczas:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

gdzie:

w – prędkość przepływu płynu, m/s,

d – średnica wewnętrzna przewodu, m,

v - kinematyczny współczynnik lepkości płynu, m²/s.

Liczba Reynoldsa jest bezwymiarowym parametrem opisującym charakter ruchu płynu:

– laminarny, jeżeli warstwy płynu poruszają się równoległe do siebie,

– burzliwy (przejściowy), gdy występują dodatkowe ruchy cząsteczek płynu w kierunku prostopadłym do osi przepływu. W literaturze (Bruce, 1995; Idelchik, Begell, 1994; Mitosek, 2001; Żarski, 2007) przyjmuje się wartość graniczną liczby Reynoldsa przy ruchu laminarnym jako 2300. Powyżej tej wartości w technice nie występuje ruch laminarny. Do wyznaczenia liczby Reynoldsa jest konieczna znajomość prędkości przepływu cieczy. Równanie ciągłości w przewodzie o przekroju kołowym można zapisać w postaci:

$$m = \rho \cdot w \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

gdzie:

m – strumień masy cieczy, kg/s,

w – prędkość przepływu cieczy, m/s,

d – średnica wewnętrzna przewodu, m,

ρ – gęstość cieczy (zależna od temperatury), kg/m³.

Wewnętrzna średnica przewodu jest określana z katalogu rur. Obwody sieciowe oraz instalacyjne: ogrzewania, wentylacji i technologii (w przypadku braku innych wymagań) wykonuje się wyłącznie z rur ze stali węglowej, o wymiarach zgodnych z PN-EN 10216-2 Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych. Warunki techniczne dostawy. Przewody obwodu wtórnego ciepłej wody można wykonać z rur miedzianych, zgodnie z normą PN-EN 1057 Miedź i stopy miedzi – Rury miedziane okrągłe bez szwu do wody i gazu stosowane w instalacjach sanitarnych i ogrzewania lub ze stali nierdzewnej według PN-EN 10216-7 Rury stalowe bez szwu ze stali nierdzewnej. Warunki techniczne dostawy. Rury z mosiądzu są rzadko używane w warunkach polskich.

W tabeli 5. podano średnicę zewnętrzną i grubość ścianki rur ze stali węglowej, w tabeli 6. – rur ze stali nierdzewnej i miedzi (ten sam szereg wymiarowy). Średnica nominalna jest

umowną średnicą połączenia (kołnierzewego lub gwintowanego). Nie ma dziś reprezentacji geometrycznej (w latach 50. XX wieku w Polsce była to średnica wewnętrzna rur stalowych).

Tabela 5. Średnica zewnętrzna i grubość ścianki rur stalowych (ze stali węglowej) (PN EN 10216-2)

DN	d_e	t
15	21.5	2.3
20	26.9	2.6
25	33.7	2.6
32	42.4	2.6
40	48.3	2.6
50	60.3	2.9
65	76.1	2.9
80	88.9	3.2
100	114.3	3.6
125	139.7	3.6
150	168.3	4.0
200	219.1	4.5
250	273.0	5.0

Tabela 6. Średnica zewnętrzna i grubość ścianki rur (ze stali nierdzewnej (PN-EN 10216-7) i miedzi (PN-EN 1057))

DN	d_e	t
15	13.0	1.0
20	20.0	1.0
25	25.6	1.2
32	32.0	1.5
40	39.0	1.5
50	50.0	2.0
65	72.0	2.0
80	85.0	2.0
100	95.0	2.5
125	127.0	3.0
150	153.0	3.0
200	213.0	3.0
250	261.0	3.0

DN – średnica nominalna, mm,

d_e – średnica zewnętrzna, mm,

t – grubość ścianki

W istniejących układach kotłowni (także sieci ciepłowniczych) występują jeszcze przewody z rur stalowych o wymiarach zgodnych z nieaktualną normą PN-H-74219 i PN-H-74244. Dane charakterystyczne tych rur podano w poniższej tabeli.

Tabela 7. Średnica zewnętrzna i grubość ścianki rur stalowych (ze stali węglowej) (PN-H-74219, 74244)

DN	d _e	t
15	21.5	2.6
20	26.9	2.6
25	33.7	2.6
32	38.0	2.9
40	44.5	2.9
50	57.0	2.9
65	76.1	3.2
80	89.0	3.5
100	108.0	4.0
125	133.0	4.0
150	159.0	4.5
200	219.0	6.3
250	273.0	7.0

Tabele obejmują zakres średnicy nominalnej do 250 mm. W przypadku specjalnych wymagań Przedsiębiorstw Ciepłowniczych mogą mieć zastosowanie przewody z rur o pogrubionych ściankach. Do obliczeń hydraulicznych należy wówczas przyjąć średnicę wewnętrzną odpowiednio do przyjętego szeregu wymiarowego.

Kryterium doboru średnicy obwodów hydraulicznych jest zwykle maksymalna prędkość przepływu nośnika ciepła. W większości przypadków przyjmuje się ją jako 1 m/s w przypadku przewodów z rur stalowych i 0.5 m/s w przypadku przewodów z rur miedzianych. Strata ciśnienia przy przepływie cieczy w prostym przewodzie nosi nazwę liniowej straty ciśnienia (Bruce, 1995; Idelchik, Begell, 1994; Mitosek, 2001; Żarski, 2007). Wyznacza się ją z wzoru

$$\Delta p_l = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

gdzie:

Δp_l – liniowa strata ciśnienia, Pa,

λ – współczynnik oporów liniowych (współczynnik tarcia),

l – długość przewodu, m,

w – prędkość przepływu cieczy, m/s,

ρ – gęstość cieczy, kg/m³, przy odpowiedniej temperaturze,

d – średnica wewnętrzna przewodu, m.

Ostatni czynnik po prawej stronie równania (iloczyn gęstości i połowy kwadratu prędkości) nosi nazwę ciśnienia dynamicznego. W ruchu laminarnym współczynnik oporów liniowych jest wyłącznie funkcją liczby Reynoldsa. Wynosi (wzór Hagen-Poiseuille'a):

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4)$$

W ruchu burzliwym najbardziej dokładne wyniki otrzymuje się przy zastosowaniu wzoru Colebrooka-White'a, czasem w literaturze określanego jako wzór Prandtla-Nikuradsego.

Oryginalna formuła jest uwikłana, ale jej postać rekurencyjna pozwala na szybkie obliczenie (Żarski, 2007).

$$\lambda_{n+1} = \left(-2 \log \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda_n}} + \frac{\varepsilon}{3.71} \right) \right)^{-2} \quad (5)$$

gdzie:

n – indeks kolejnej iteracji,

\log – logarytm przy podstawie „10”,

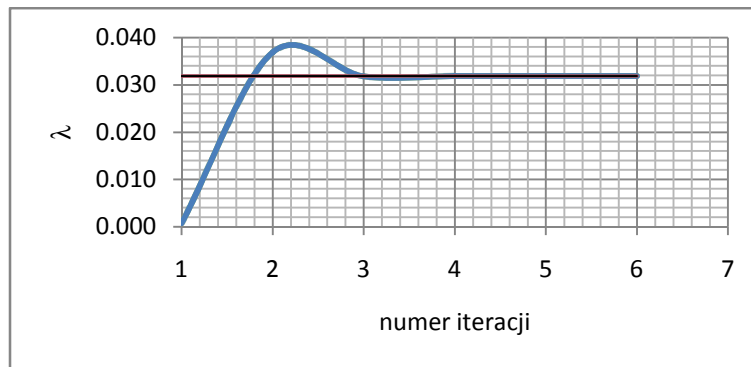
ε – chropowatość bezwzględna, równa:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \quad (6)$$

k – chropowatość bezwzględna ścianki wewnętrznej przewodu, [m],

d – średnica wewnętrzna przewodu, [m].

Trzecie lub czwarte przybliżenie daje wartość współczynnika oporów liniowych z wystarczającą dokładnością. Formuła jest szybko zbieżna i stabilna, nie ma znaczenia wartość początkowa iteracji. Zbieżność procedury przedstawia rysunek 4. W dobie komputerów nie ma dziś uzasadnienia do stosowania nieuwikłanych aproksymacji formuły Colebrooka-White'a.



Rys. 4. Zbieżność metody iteracyjnej obliczenia współczynnika oporów liniowych według wzoru Colebrooka-White'a.

Wzór (5) zawiera w niejawnej formie prędkość przepływu, średnicę przewodu i kinematyczny współczynnik lepkości cieczy. Tylko od tych zmiennych zależy wartość współczynnika oporów liniowych przy przepływie cieczy. Chropowatość bezwzględna ścianki przewodów podaje tabela 9. (Żarski, 2007, 2014c).

Tabela 8. Chropowatość bezwzględna ścianki rur przewodów węzła cieplnego (Żarski,2007,2014)

Przewody	k [mm]
Nowe przewody ze stali węglowej	0.15÷0.20
Stare (min 10 lat) przewody ze stali węglowej	0.50÷0.70
Przewody ze stali nierdzewnej i miedzi	0.05÷0.10

W literaturze i katalogach producentów można znaleźć niższe wartości chropowatości przewodów ze stali nierdzewnej i miedzi (Mitosek, 2001; Idelchik, Begell, 1994). Te wartości dotyczą przewodów fabrycznie nowych. Po pewnym czasie na powierzchni wewnętrznej mogą się osadzać zanieczyszczenia, stąd sugerowane wartości w tabeli.

Przy zakłóceniach przepływu, takich jak: zmiana przekroju, zmiana kierunku, rozgałęzienie i łączenie strumieni jest generowana strata miejscowa ciśnienia. Istnieje kilka możliwości opisu matematycznego miejscowej straty ciśnienia:

- a. za pomocą zastępczej długości oporów miejscowych,
- b. za pomocą współczynnika oporów miejscowych,
- c. za pomocą współczynnika przepływu,
- d. za pomocą charakterystyki hydraulicznej.

ad a. Długość zastępcza oporu miejscowego jest to długość przewodu o danej średnicy i chropowatości ścianki, w którym liniowa strata ciśnienia jest równa stracie miejscowej w danym elemencie. Metoda ta miała zastosowanie w przeszłości, przy braku narzędzi obliczeniowych (do dyspozycji był tylko suwak logarytmiczny) – łatwiej było dodać długość zastępczą do długości geometrycznej niż mnożyć 4 liczby. Do dziś ta metoda znajduje (nieuzasadnione) zastosowanie w obliczeniach instalacji wody i gazu. Jest metodą kłopotliwą, albowiem każda korekta średnicy i materiału wymaga zmiany długości zastępczej oporu miejscowego.

ad b. Strata miejscowa w danym elemencie zakłócającym przepływ jest obliczana z wzoru

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (7)$$

gdzie:

Δp_m – miejscowa strata ciśnienia, Pa,

ζ – współczynnik oporów miejscowych,

w – prędkość przepływu cieczy, m/s,

ρ – gęstość cieczy, kg/m³, przy odpowiedniej temperaturze.

Wartości współczynnika oporów miejscowych występujących w kotłowniach podaje tabela 9 (Żarski, 2007, 2014c). Wzór (7) opisuje stratę ciśnienia dynamicznego. Ciśnienie dynamiczne jest równe energii kinetycznej płynu przypadającej na jednostkę objętości.

Tabela 9. Współczynnik oporów miejscowych elementów współczesnych układów hydraulicznych

Element	ζ
Zawór kulowy	1.3
Łuk o małym promieniu, kolano 90°	0.5
Trójnik przelot, zasilanie/powrót	0.5/0.5
Trójnik odgałęzienie, zasilanie/powrót	1.0/1.5
Nagłe rozszerzenie/zwężenie przekroju	0.5/0.5

W starszych układach mogą wystąpić opory miejscowe elementów już obecnie niestosowanych. Prezentuje je tabela 10.

Tabela 10. Współczynnik oporów miejscowych elementów stosowanych w przeszłości

Nazwa elementu	Współczynnik oporów miejscowych przy średnicy nominalnej rurociągu										
	<=32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
Średnica DN	<=32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
Zasuwa	0.3	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Zawór prosty	5	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.8	6.2	6.6	-
Zawór skośny	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
Wydłużka falista	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Kolano gładkie R/d=2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.46	0.45	0.42	0.38	0.35	0.32	0.3
Kolano gładkie R/d=4	0.4	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.3	0.28	0.25	0.23	0.21
Kolano 3 segm. R/d=4	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Kolano 5 segm. R/d=4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

W danym odcinku obliczeniowym (odcinek o tej samej średnicy i strumieniu masy) sumuje się współczynniki oporów miejscowych.

ad c. Strata miejscowa w danym elemencie zakłócającym przepływ o znanym współczynniku przepływu jest obliczana z wzoru (Żarski, 2007)

$$\Delta p_m = \frac{\rho}{1000} \left(\frac{V}{K_v} \right)^2 \quad (8)$$

gdzie:

Δp_m – miejscowa strata ciśnienia, [bar],

K_v – współczynnik przepływu, [m³/h],

V – strumień objętości płynu, [m³/h],

ρ – gęstość cieczy, [kg/m³], przy odpowiedniej temperaturze.

Współczynnik przepływu można zdefiniować na podstawie wzoru następująco:

Współczynnik przepływu jest to strumień objętości płynu o gęstości 1000 kg/m³, wyrażony w m³/h, przy którego przepływie strata ciśnienia w urządzeniu wynosi 1 bar.

Wzór (8) spotyka się w literaturze i katalogach producentów bez czynnika normalizującego gęstość. Jest to – zdaniem autora – zbyt uproszczenie. Czasem gęstość odnosi się do temperatury wody 20 °C, ale jest to mniej wygodne niż operowanie wartością gęstości.

Urządzenia regulacyjne mogą mieć różne wartości współczynnika przepływu przy różnych wartościach nastawy wstępnej, np. termostatyczne zawory grzejnikowe, zawory ograniczenia

przepływu (NavalTrim). Wówczas współczynnik przepływu jest podawany z indeksem „s” lub „100”: K_{vs} , K_{v100} .

Ta metoda obliczenia straty miejscowej jest stosowana w odniesieniu do filtrów, zaworów regulacyjnych, przepływomierzy itp.

ad d. Ta metoda jest przydatna w przypadku elementów hydraulicznych o stałej charakterystyce, takich jak kotły, wymienniki ciepła. Strata miejscowa ciśnienia jest równa

$$\Delta p_m = A \cdot V^n \quad (9)$$

gdzie:

Δp_m – miejscowa strata ciśnienia, bar,

A – charakterystyka hydrauliczna, $\text{bar}/(\text{m}^3/\text{h})^n$

V – strumień objętości płynu, $[\text{m}^3/\text{h}]$.

Wykładnik potęgi jest zbliżony do 2. W przypadku kotłów WR i podobnych charakterystykę hydrauliczną można wyznaczyć doświadczalnie, przy wygaszonym kotle, zmieniając przepływ i notując wskazania przepływomierza i manometrów. Wskazane są bardziej czułe przyrządy niż manometry o skali 0-16 lub 0-25 bar.

Wówczas należy wprowadzić korektę ze względu na różnicę gęstości wody przepływającej przez kocioł:

$$\Delta p_{m\text{kor}} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \Delta p_m \quad (10)$$

gdzie:

$\Delta p_{m\text{kor}}$ – skorygowana miejscowa strata ciśnienia, bar,

ρ_1 – gęstość wody w warunkach pomiaru, kg/m^3 ,

ρ_2 – gęstość wody w warunkach pracy kotła, kg/m^3 .

Straty ciśnienia przy obliczeniu układów hydraulicznych wygodnie jest wyrażać w kilopaskalach ($1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$), co wymaga odpowiedniego przeliczenia jednostek.

Całkowita strata ciśnienia Δp w danym odcinku przewodu jest równa sumie straty liniowej i miejscowej.

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_m \quad (11)$$

Podstawowe równanie wiążące przepływ nośnika ciepła ze strumieniem masy w obwodzie kotłowni lub węzła cieplnego ma postać:

$$\Phi = m_w \cdot c_p(t_2 - t_1) \quad (12)$$

gdzie:

Φ – strumień ciepła przekazany w obwodzie, kW,

m – strumień masy nośnika ciepła, kg/s,

c_p – ciepło właściwe nośnika ciepła (średnie w przedziale temperatury), kJ/(kg K),

t_1 – niższa temperatura nośnika ciepła w obwodzie, °C,

t_2 – wyższa temperatura nośnika ciepła w obwodzie, °C.

Równanie obowiązuje w każdym obwodzie kotłowni, gdzie zachodzi wymiana ciepła, pośrednia lub bezpośrednia.

11.3. Ciepłota i hydrauliczna charakterystyka kotłów Kotły WR i WLM mają przez producenta określone charakterystyczne wielkości strumienia masy (t/h) i wielkości odpowiadającej przepływowi straty ciśnienia. Należy mieć na uwadze fakt, że konstrukcje kotłów powstawały w latach, gdy obowiązującymi parametrami systemów ciepłowniczych były: 150/70 °C. W tab. 11. podano wielkości charakterystycznych przepływów przez kotły WR o typowej mocy i odpowiadającą im stratę ciśnienia. W przypadku modernizacji kotłów należy po przeprowadzonej modernizacji dokonać pomiarów mocy wraz z wyznaczeniem przepływu obliczeniowego i straty ciśnienia (charakterystyka hydrauliczna).

Tabela 11. Charakterystyczny przepływ i strata ciśnienia w kotłach WR o typowej mocy przy parametrach 150/70 °C

Wielkość kotła	m [t/h]	Δp [kPa]
WR 1.25	15.61	50
WR 2.5	31.23	60
WR 5	62.45	80
WR10	124.9	120
WR25	312.3	200

Praktycznie we wszystkich systemach ciepłowniczych w Polsce nastąpiła zmiana parametrów obliczeniowych w sieci ciepłowniczej. Wraz z tą zmianą nastąpiło obniżenie temperatury wody opuszczającej kotły. Temperatura wody sieciowej zwykle nie przekracza 120 °C, są systemy gdzie jest równa 105 °C, nawet poniżej 100 °C. Obniżenie temperatury wody za kotłem jest możliwe wówczas, gdy w kotłowni nie ma odgazowania termicznego. Przy odgazowaniu termicznym (nadciśnieniowym) minimalna temperatura wody za kotłem powinna wynosić 135 °C, przy niższej temperaturze odgazowanie termiczne nie będzie działać. Temperatura wody za kotłem i temperatura zasilania w sieci ciepłowniczej nie muszą być równe. O maksymalnej temperaturze wody za kotłem i ciśnieniu w kotle decyduje Dozór Techniczny, dopuszczając kotły do odpowiednich warunków pracy.

W tab. 12. podano wielkości charakterystycznych przepływów przez kotły WR o typowej mocy i odpowiadającą im stratę ciśnienia przy zmienionych parametrach obiegu kotłów.

Utrzymanie minimalnej temperatury wody powracającej do kotła 60 °C jest konieczne ze względu na ochronę powierzchni ogrzewalnej kotła przed kondensacją pary wodnej zawartej w spalinach.

Tabela 12. Charakterystyczny przepływ i strata ciśnienia w kotłach WR o typowej mocy przy parametrach 135/70 °C

Wielkość kotła	m [t/h]	Δp [kPa]
WR 1.25	19.22	75
WR 2.5	38.43	90
WR 5	76.86	120
WR10	153.7	180
WR25	384.3	300

Kotły wodnorurkowe są wrażliwe na zmianę przepływu. Spadek przepływu poniżej 90% oznacza zwykle nierównomierny rozptyw wody do części ekranów, co może powodować nadmierne obciążenie cieplne części kotłów i grozić uszkodzeniami mechanicznymi i utratą wytrzymałości ścianek ekranów. Kotły posiadają w konstrukcji układ dysz, który zapewnia równomierny rozptyw wody. Wyjęcie dysz prowadzi do rozregulowania przepływu przez sekcje ekranów. Po wyjęciu dysz zmniejsza się strata ciśnienia w kotle, ale zapewnienie

równomierności przepływu wymaga prawie dwukrotnie większego strumienia masy wody kotłowej.

Modernizacja kotła polegająca na budowie przegrzewacza (wymiennik spaliny/woda) powinna być poprzedzona analizą techniczną i ekonomiczną. Bardziej wskazana jest budowa wymiennika spaliny/woda w przewodzie powrotnym wody do kotła niż w przewodzie zasilającym za kotłem – wymiennik działa wówczas przy większej logarytmicznej różnicy temperatury nośników ciepła. Straty ciśnienia w wymienniku ciepła po stronie wody nie powinny przekraczać 50 kPa.

11.4. Optymalny schemat ideowy kotłowni z kotłami o stałym przepływie

W kotłowni z kotłami o stałym przepływie powinny występować następujące obiegi:

- kotłów (pojedynczych),
- kotłów (wspólny),
- gorącego mieszania,
- zimnego mieszania,
- sieci ciepłowniczej.

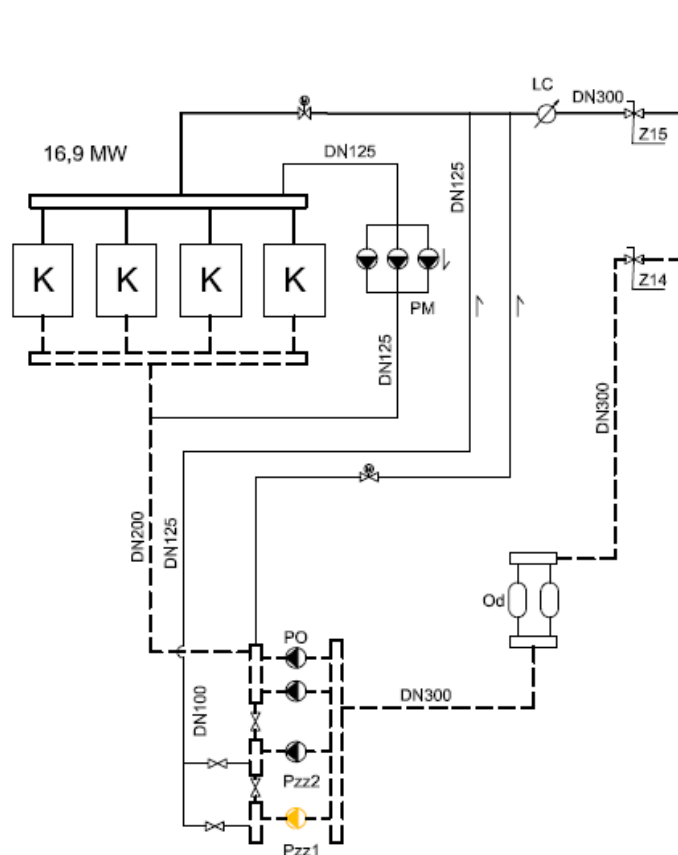
Występują także obiegi o charakterze pomocniczym: potrzeb własnych kotłowni, uzupełniania i odgazowania termicznego (nadciśnieniowego lub podciśnieniowego).

Minimalnym wymaganiem w stosunku do kotłowni z kotłami o stałym przepływie jest zastosowanie pomp gorącego mieszania lub zaworów upustowych gorącego mieszania. Poniżej przeanalizowana kilka rzeczywistych układów kotłowni WR pod kątem optymalizacji algorytmów regulacji i minimalizacji zużycia energii do pompowania nośnika ciepła. Na rys. 5. pokazano schemat kotłowni z odrębnym zespołem pomp gorącego mieszania. W układzie występują wspólne pompy sieciowe i kotłowe. Układ zapewnia możliwości uzyskania właściwego przepływu przez kotły, ale tylko w przypadku kotłów o jednakowej mocy cieplnej.

Wady tego układu są następujące:

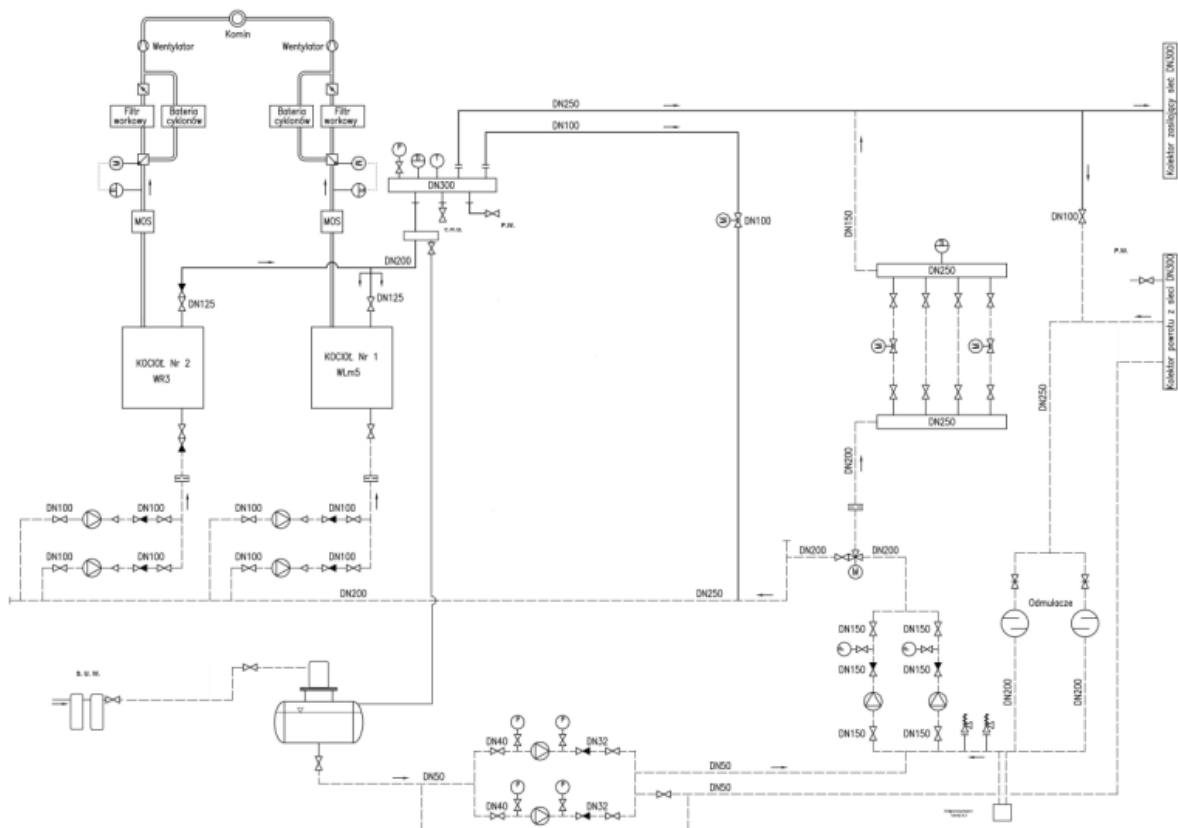
- trudności w uzyskaniu właściwego rozptywu wody do kotłów o zróżnicowanej mocy, ale również w przypadku kotłów o tej samej mocy ale o odmiennej charakterystyce hydraulicznej,
- trudność w sformułowaniu algorytmu regulacji pomp gorącego mieszania w przypadku pracy kotłów o różnej mocy i różnej charakterystyce hydraulicznej,

- konieczność dławienia ciśnienia (strata energii) w obwodzie kotła o mniejszej stracie ciśnienia przy równoległej pracy kotłów,
- brak możliwości optymalizacji energii pompowania do sieci ciepłowniczej ze względu na połączenie funkcji pompy sieciowej i kotłowej – pompy sieciowe muszą pokonać opory przepływu wody przez kocioł,
- brak możliwości optymalizacji pracy pomp mieszania gorącego – pompy muszą pokonać opory przepływu wody przez kotły,
- brak możliwości optymalizacji pracy układu mieszania zimnego – strata ciśnienia w tym układzie (dławienie) jest równa oporom przepływu wody przez kotły,
- brak możliwości dynamicznego dostosowania się do zmiennego obciążenia cieplnego, zwłaszcza w obszarze poza punktem załamania wykresu regulacyjnego, co oznacza brak „zdyskontowania” zysków ciepła w postaci zmniejszenia energii pompowania nośnika ciepła,
- odbiegająca od optymalnej współpraca z siecią ciepłowniczą o dynamicznym oddziaływaniu.



Rys. 5. Fragment schematu ideowego kotłowni z kotłami WR z odrębnym zespołem pomp gorącego mieszania i wspólnymi pompami obiegu kotłów i sieci ciepłowniczej

Na rys. 6. pokazano schemat kotłowni z pompami kotłowymi i zaworami regulacyjnymi w obiegu gorącego mieszania.



Rys. 6. Fragment schematu ideowego kotłowni z kotłami WR z pompami kotłowymi i zaworami regulacyjnymi w obiegu gorącego mieszania

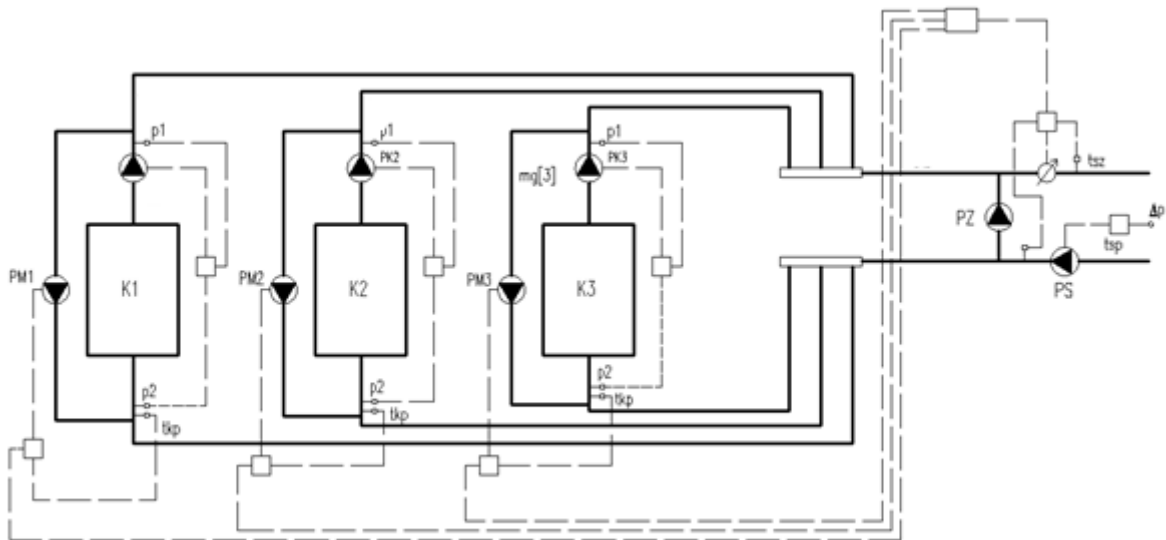
W układzie występują wspólne pompy sieciowe i odrębne pompy kotłowe. Układ zapewnia możliwości uzyskania właściwego przepływu przez kotły, ale stwarza trudności w regulacji obiegu gorącego mieszania. Jest to układ nieco korzystniejszy niż pokazany na rys. 5.

Wady tego układu są następujące:

- trudność w sformułowaniu algorytmu regulacji pomp gorącego mieszania w przypadku pracy kotłów o różnej mocy i różnej charakterystyce hydraulicznej,
- trudności w dostosowaniu się do zmiennego obciążenia cieplnego, zwłaszcza w obszarze poza punktem załamania wykresu regulacyjnego, co oznacza brak „zdyskontowania” zysków ciepła w postaci zmniejszenia energii pompowania nośnika ciepła,

– odbiegająca od optymalnej współpraca z siecią ciepłowniczą o dynamicznym oddziaływaniu, choć możliwa do usprawnienia przez odpowiednie algorytmy automatycznej regulacji.

Optymalny schemat źródła ciepła wymaga rozdzielenia i wyposażenia w pompy wszystkich obiegów: kotłów, gorącego mieszania, zimnego mieszania i sieci ciepłowniczej. Schemat (uproszczony) jest pokazany na rys. 7.



Rys. 7. Uproszczony schemat ideowy kotłowni z kotłami o stałym przepływie z rozdzielonymi obiegami: kotłów, gorącego mieszania, zimnego mieszania i sieci ciepłowniczej

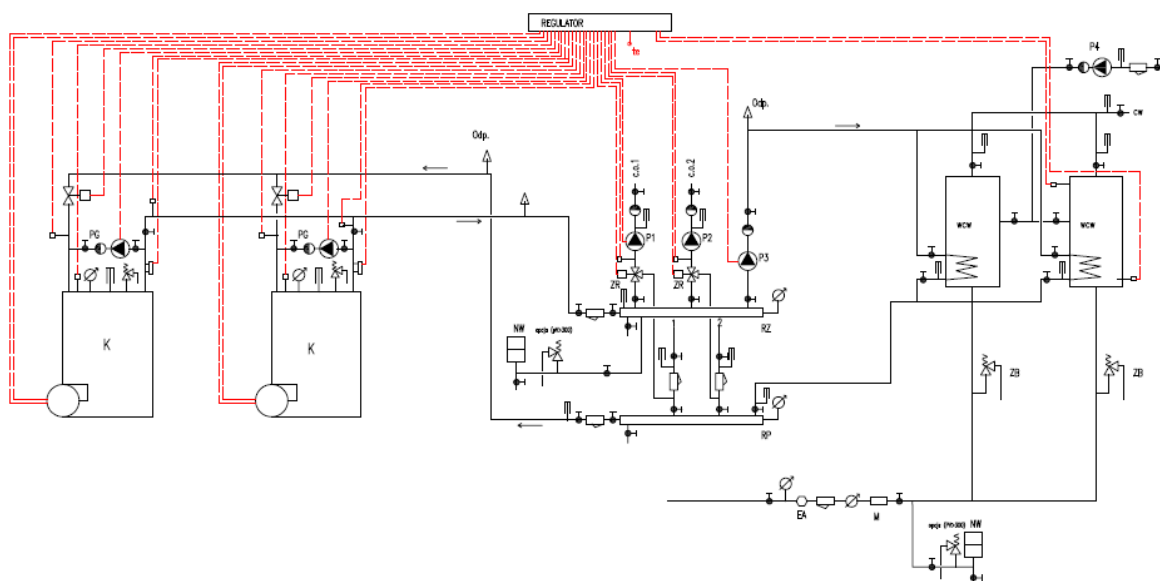
Przepływ przez kotły jest regulowany różnicą ciśnienia przed i za kotłami, przepływ w przewodzie zimnego mieszania – temperaturą wody zasilającej sieć ciepłowniczą, przepływ w przewodzie gorącego mieszania – temperaturą wody powracającej z sieci, według której można obliczyć obciążenie kotłów. W schemacie brak jest elementów dławiących – jest wytwarzana tylko niezbędna energia do przetłaczania nośnika ciepła. Wydajność pomp sieciowych jest kształtowana przez sieć ciepłowniczą z węzłami. Optymalnym algorytmem regulacji pomp sieciowych jest wprowadzenie jako zmiennej regulowanej dyspozycyjnej różnicy ciśnienia w najmniej korzystnie położonym węźle ciepłowniczym. Przy wątpliwościach co do wyboru węzła można w układ wpiąć dowolną liczbę czujników w newralgicznych miejscach sieci ciepłowniczej.

Wszystkie pompy są wyposażone w bezstopniową regulację prędkości obrotowej za pomocą przemienników częstotliwości (falowników). Pompy kotłowe i mieszania gorącego kotłów

niepracujących nie działają, co przynosi oszczędności energii w stosunku do układów nierozdzielonych. Zmiany charakterystyki hydraulicznej sieci ciepłowniczej są kompensowane odpowiednim ustawieniem parametrów pomp w źródle ciepła. Układ likwiduje wszystkie wady opisane przy poprzednio prezentowanych schematach.

11.5. Optymalny schemat ideowy kotłowni z kotłami o zmiennym przepływie

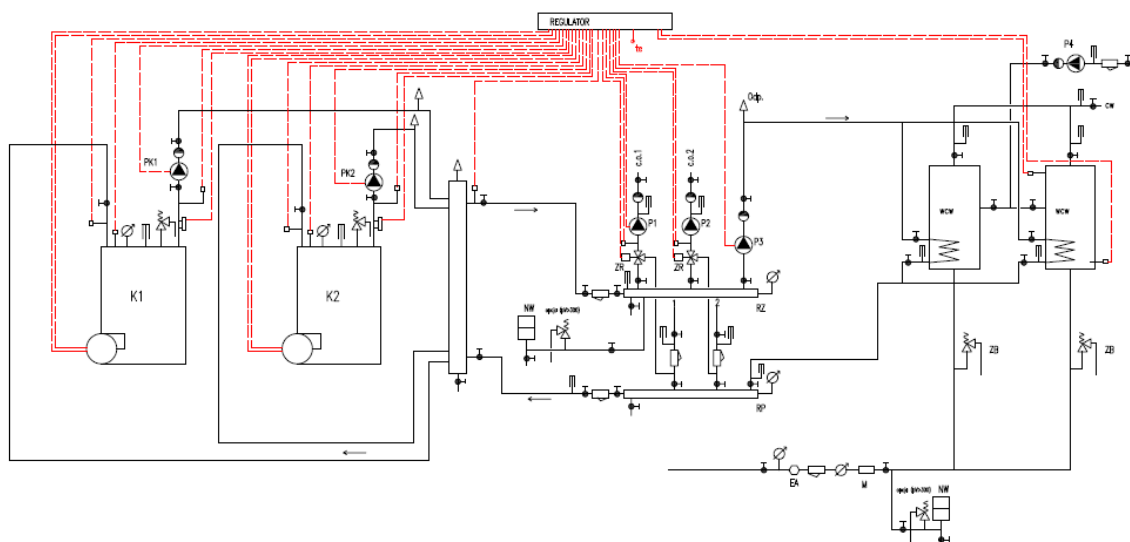
Kotły wodne pojemnościowe są zwykle niewrażliwe na zmianę przepływu, mogą prawidłowo działać nawet przy zaniku przepływu. Do tej grupy należą także kotły węglowe i na inny rodzaj paliwa stałego. Kotły gazowe i olejowe mogą mieć również konstrukcje pojemnościowe, ale mogą być też przepływowe. Na rys. 8. pokazano schemat kotłowni z dwoma kotłami o zmiennym przepływie. Ten schemat może być zastosowany w przypadku kotłów o jednakowej mocy cieplnej i jednakowej charakterystyce hydraulicznej. Regulowana jest wyłącznie temperatura wody opuszczającej kocioł. Jeśli przy danym obciążeniu cieplnym i stanie pracy (liczba kotłów, liczba stopni palników, poziom mocy przy palnikach modulowanych) temperatura nie może być osiągnięta, włącza się kolejna strefa, kocioł lub zwiększa się stopień obciążenia palnika modulowanego. Pokazane na rys. pompy gorącego mieszania nie mają zastosowania przy kotłach kondensacyjnych oraz w przypadku specjalnych rozwiązań zabezpieczenia kotła przed napływem wody o niskiej temperaturze, np. Thermostream firmy Buderus. Temperatura wody zasilającej w obiegu grzewczym ciepłej wody jest stała, w obiegach grzewczych ogrzewania i wentylacji jest regulowana w funkcji temperatury zewnętrznej (rzeczywistej albo tłumionej). W przypadku kotłowni współpracującej ze scentralizowanym systemem ciepłowniczym w kotłowni występuje jeden obwód grzewczy o zmiennej, regulowanej temperaturze nośnika ciepła, z ograniczeniem do minimalnej temperatury zasilania 70 °C.



Rys. 8. Schemat ideowy kotłowni z kotłami o zmiennym przepływie (kotły pojemnościowe o tej samej mocy)

Elementem bezwładnościowym, pozwalającym na racjonalne działanie kotłowni jest pojemność wodna kotła.

W przypadku łączenia kotłów o zróżnicowanej mocy lub zróżnicowanej charakterystyce hydraulicznej połączenie może być zrealizowane przez sprzęgło hydrauliczne: bezpojemnościowe lub pojemnościowe. Schemat takiej kotłowni pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Schemat ideowy kotłowni z kotłami połączonymi przez sprzęgło hydrauliczne

W przypadku kotłów pojemnościowych mogą być zastosowane palniki (paleniska) jednostopniowe lub dwustopniowe (także modulowane). Wielkością regulowaną jest temperatura wody opuszczającej kocioł, najczęściej stała, ze względu na przygotowanie ciepłej wody równa 70 °C. Wydajność pomp kotłowych powinna być stała, nawet przy palnikach modulowanych. W przypadku kotłów przepływowych (bezpojemnościowych) należy zastosować wyłącznie palniki modulowane. Kotłownia jest w zasadzie cały czas w ruchu. Dolny zakres mocy cieplnej jednego kotła nie powinien być większy niż minimalny wymagany strumień ciepła kierowany do instalacji ogrzewania. Schemat przedstawiony na rys. 9. nie jest odpowiedni do kotłów kondensacyjnych, należy wówczas zastosować schemat przedstawiony na rys. 8. lub wykonać sprzęgło jako zbiornik buforowy o pojemności i szerokości pozwalającej na utrzymanie niskiej temperatury wody powracającej do kotłów. Pozostałe algorytmy automatycznej regulacji obiegów grzewczych są identyczne jak w poprzednim schemacie ideowym. Schemat ze sprzęgłem hydraulicznym wymaga bardziej skomplikowanych algorytmów regulacji niż schemat bez pomp kotłowych (rys. 8.). Pozytywnym zjawiskiem jest zanik „mody” na „kaskady” kotłów wiszących, nawet o znacznej mocy.

11.6. Obliczenia przepływów w obiegach kotłowni z kotłami o stałym przepływie

Na rys. 7. pokazano uproszczony schemat ideowy kotłowni z 3 kotłami, z zaznaczeniem charakterystycznych parametrów. Można wyodrębnić następujące obiegi:

- trzy obiegi kotłowe z pompami PK, indeks „k”,
- trzy obiegi gorącego mieszania z pompami PM, indeks „m”,
- obieg zimnego mieszania z pompą (pompami) PZ, indeks „z”,
- obieg sieciowy z pompą (pompami) PS, indeks „s”,
- obieg pomiędzy włączeniem pomp zimnego mieszania i rozdzielaczami, indeks „o”.

Wartości strumienia masy i temperatury w każdym z obiegów opisują równania

$$m_s = m_o + m_z \quad (13)$$

$$m_s \cdot t_{sz} = m_o \cdot t_{kz} + m_z \cdot t_{sp} \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n m_k[j] = \sum_{j=1}^n m_g[j] + m_o \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n m_k[j] \cdot t_{kp} = \sum_{j=1}^n m_g[j] \cdot t_{kz} + m_o \cdot t_{sp} \quad (16)$$

gdzie:

t_{sz} – temperatura wody zasilającej w sieci ciepłej, °C,

t_{sp} – temperatura wody powrotnej z sieci ciepłej, °C,

t_{kz} – temperatura wody „za kotłami” , °C,,

t_{kp} – temperatura wody zasilającej kotły (powrotnej), °C,

m_s – strumień masy czynnika w sieci ciepłej, t/h,

$m_k[j]$ – strumień masy czynnika w obiegu kotłowym kotła „j”, t/h,

$m_g[j]$ – strumień masy czynnika w obiegu mieszania gorącego kotła „j” t/h,

m_z – strumień masy czynnika w obiegu zimnego mieszania, t/h,

m_o – strumień masy czynnika w przewodzie obiegowym (pomiędzy przewodem mieszania zimnego i gorącego) t/h,

n – liczba kotłów.

Temperatura t_{kz} i strumienie masy $m_k[j]$ są stałe. Temperatura wody za kotłem może być także zmienna (w układach bez nadciśnieniowego odgazowania termicznego), ale przepływ przez kotły jest stały. Liczbę działających jednostek ustala się na podstawie sumy zapotrzebowania na moc cieplną do centralnego ogrzewania i podgrzewania ciepłej wody. Potrzeby własne kotłowni stałe (np. podgrzanie wody zasilającej) włączono do potrzeb ciepłej wody, potrzeby zmienne (np. ogrzewanie i wentylacja) – do centralnego ogrzewania. Strumień ciepła kierowany do sieci Φ_s jest równy (z dokładnością do strat cieplnych obiegów i tzw. potrzeb własnych kotłowni) sumie strumieni ciepła przekazanych w kotłach $\Phi_k[j]$.
Odpowiednio:

$$\Phi_s = m_s(t_{sz} - t_{sp}) \quad (17)$$

$$\Phi_k[j] = m_k[j](t_{kz} - t_{kp}) \quad (18)$$

Obliczenia wygodnie jest sporządzać w arkuszu kalkulacyjnym.

Temperaturę wody zasilającej sieć ciepłowniczą można ustalić w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego. Istnieją dwa modele regulacji mocy cieplnej w systemach ciepłowniczych: regulacja ilościowa i regulacja jakościowa.

Regulacja ilościowa polega na zmianie strumienia masy nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej przy stałej temperaturze wody zasilającej.

Regulacja jakościowa (w czystej postaci) polega na zmianie temperatury wody zasilającej w sieci ciepłowniczej bez zmiany strumienia masy nośnika ciepła.

Model regulacji jakościowej jest możliwy tylko w przypadku braku elementów regulacyjnych w węźle cieplnym, a zatem już we współczesnych systemach w Polsce praktycznie nie istnieje. Automatyczna regulacja parametrów (temperatury w instalacji ogrzewania, wentylacji, technologii i przygotowania ciepłej wody) jest realizowana przez zawory regulacyjne dwudrogowe, oddziałujące na obwód regulowany przez zmienny stopień otwarcia, zatem typowo w algorytmie ilościowym. Ten model nazywa się regulacją ilościowo-jakościową.

W krajowych systemach ciepłowniczych przyjmuje się sposób regulacji temperatury wody zasilającej jak w systemie regulacji jakościowej w przedziale temperatury wyższym od minimalnej temperatury zapewniającej możliwości uzyskania właściwej temperatury ciepłej wody.

Parametry obliczeniowe sieci ciepłowniczej to najwyższa temperatura wody zasilającej i odpowiadająca jej temperatura wody powrotnej przy obliczeniowej temperaturze powietrza zewnętrznego zgodnie z PN EN 12832, w pięciu strefach klimatycznych od $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wykres regulacyjny to funkcja i jej graficzna interpretacja wyznaczająca temperaturę wody zasilającej w sieci ciepłej odpowiadającą temperaturze powietrza zewnętrznego. Temperaturę wody zasilającej i powrotnej oblicza się z wzorów (Żarski, 1997, 2013):

$$T_z = t_i + \frac{1}{2}(T_{zo} - T_{po})\varphi + \left(\frac{T_{zo} + T_{po}}{2} - t_i \right) \varphi^{\frac{1}{1+m}} \quad (19)$$

$$T_p = T_z - (T_{zo} - T_{po})\varphi \quad (20)$$

gdzie:

T_z/T_p – temperatura zasilania/powrotu w sieci ciepłej w warunkach danej temperatury powietrza zewnętrznego, [$^{\circ}\text{C}$],

T_{zo}/T_{po} – temperatura zasilania/powrotu w warunkach obliczeniowych, [$^{\circ}\text{C}$],

t_i – temperatura przestrzeni ogrzewanej, [$^{\circ}\text{C}$],

m – wykładnik charakterystyki grzejnika (przeciętna wartość: $0.25 \div 0.3$).

φ – współczynnik obciążenia, równy:

$$\varphi = \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{eo}} \quad (21)$$

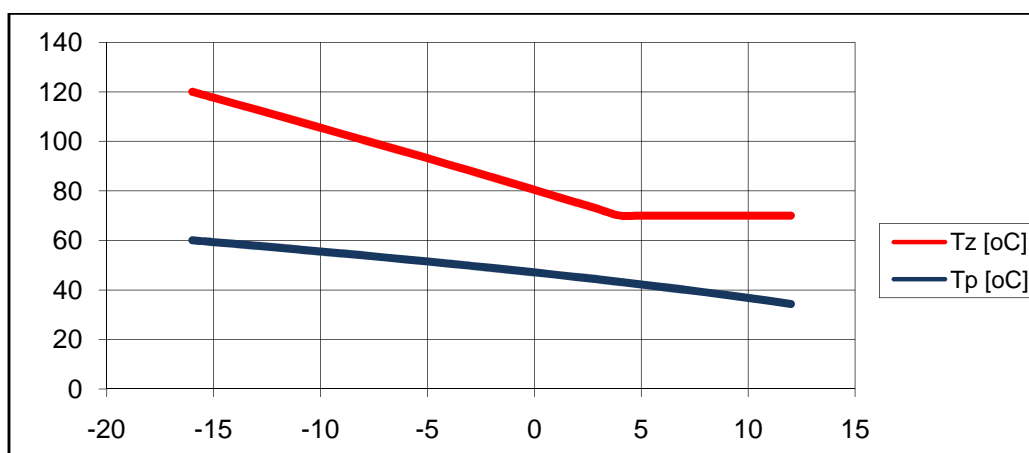
gdzie:

t_{e0} – obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego (zgodnie z PN-EN 12831), °C,

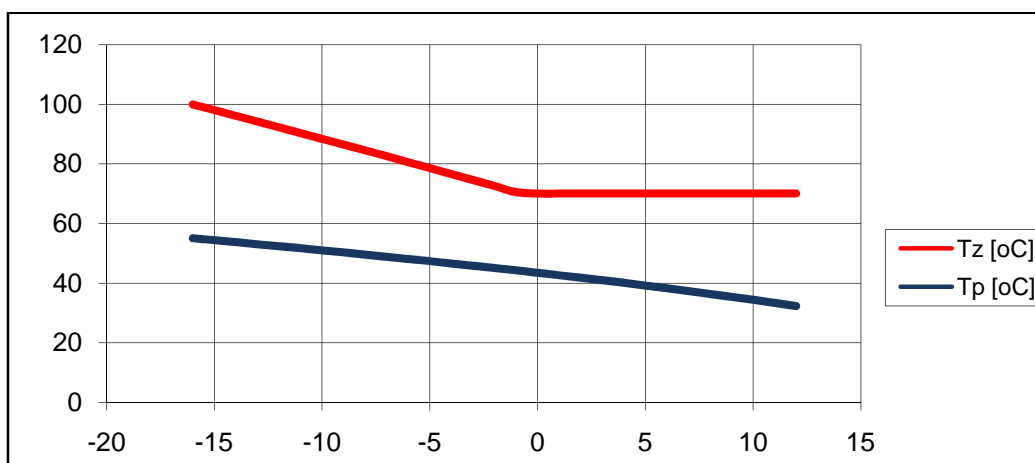
t_e – aktualna temperatura powietrza zewnętrznego, [°C].

W wytycznych ustalania temperatury wody w systemach ciepłowniczych, w latach 60..80. XX w. wydawanych przez Główny Inspektorat Gospodarki Paliwowo-Energetycznej (później Energetycznej) były stosowane poprawki ze względu na nasłonecznienie i działanie wiatru. Obecnie, przy dużej szczelności budynków, poprawka na działanie wiatru nie ma uzasadnienia. W przypadku wystąpienia zysków ciepła od nasłonecznienia trudno jest wprowadzić jedną poprawkę w dużym i średniej wielkości systemie ciepłowniczym ze względu na nierównomierne nasłonecznienie, ale także ze względu na długi czas przepływu wody do najdalszych odbiorców (kilka, kilkanaście godzin). Kiedyś, przy braku automatycznej regulacji ta poprawka miała uzasadnienie, obecnie – w wyniku działania miejscowej regulacji temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach i regulacji przepływu w węźle cieplnym – zyski ciepła od nasłonecznienia zostaną „zdyskontowane” przez skuteczne systemy regulacji automatycznej. Temperatura wody zasilającej jest ograniczona z dołu, jej minimalna wartość wynosi najczęściej 70 °C. Punkt, w którym temperatura zasilania pozostaje stała nazywa się punktem załamania wykresu regulacyjnego.

Na rys. 10. pokazano wykres regulacyjny przy temperaturze obliczeniowej (parametrach) 120/60 °C (najczęściej przyjmowane parametry w Polsce) w III strefie klimatycznej, na rys. 11. przy temperaturze 100/55 °C w I strefie klimatycznej.



Rys. 10. Wykres regulacyjny sieci ciepłowniczej, III strefa klimatyczna, parametry obliczeniowe: 120/60 °C



Rys. 11. Wykres regulacyjny sieci ciepłowniczej, I strefa klimatyczna, parametry obliczeniowe: 100/55 °C

Widocznym skutkiem obniżenia temperatury obliczeniowej wody zasilającej jest przesunięcie punktu załamania wykresu regulacyjnego w stronę niższej temperatury powietrza zewnętrznego. Na rys. 11. jest to temperatura ok. -2 °C. Obszar regulacji ilościowej obejmuje statystycznie 70÷85% czasu trwania sezonu grzewczego. Źródło ciepła powinno mieć możliwości elastycznego dopasowania się do współpracy z siecią ciepłowniczą: kotłownie i ciepłownie powinny mieć rozdzielone obiegi, elektrociepłownie – układy zbiorników buforowych (zasobników ciepła). Projektowane według standardów lat 60. i 70. XX wieku źródła ciepła nie mają na ogół możliwości współpracy z dynamicznie działającą siecią ciepłą zarówno w aspekcie technicznym, jak i ekonomicznym. Tendencja do obniżania parametrów obliczeniowych sieci ciepłych będzie się pogłębiać. Przyczyną tego jest stała poprawa standardu ochrony cieplnej budynków i obniżanie parametrów obliczeniowych instalacji ogrzewania (do 65/40 °C i niżej).

Temperatura wody powrotnej ma charakter orientacyjny, umowny. Jest to teoretyczna temperatura wody powrotnej w obwodzie ogrzewania (wentylacji), założona przy braku zysków ciepła i przy idealnej zgodności mocy cieplnej węzła i instalacji. Wynikowa temperatura wody wracającej do sieci jest wypadkową (średnią ważoną) temperatury wody wracającej ze wszystkich sekcji, w przeważającej większości węzłów z sekcji ogrzewania i przygotowania ciepłej wody. W prawidłowo zaprojektowanym węźle cieplnym temperatura wody powracającej z obwodu ciepłej wody jest niższa niż przyjęta w punkcie doboru

wymiennika ciepła. Temperatura w obwodzie ogrzewania jest zwykle również niższa niż temperatura obliczeniowa ze względu na efekty regulacji ilościowej. Zatem temperaturę wody powrotnej na wykresie regulacyjnym należy traktować jako orientacyjną, najwyższą przy prawidłowym działaniu węzła cieplnego. Jeżeli rzeczywista temperatura wody powrotnej będzie wyższa niż obliczeniowa, będzie to świadczyć o **nieprawidłowym** funkcjonowaniu węzła cieplnego lub instalacji wewnętrznej. Przedsiębiorstwa Ciepłownicze wykres regulacyjny traktują jako integralną część umowy o dostawę ciepła. Zmiana wykresu regulacyjnego implikuje zmianę warunków umowy. W dużych systemach ciepłowniczych temperatura powietrza zewnętrznego może być ustalona raz w ciągu doby. Jako prawdopodobną temperaturę dnia następnego można przyjąć temperaturę o godz. 21⁰⁰ lub średnią ważoną z temperatury o godzinie 7⁰⁰, 14⁰⁰ i 21⁰⁰ (Żarski, 2013).

$$t_{av} = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4} \quad (22)$$

W mniejszych systemach ciepłowniczych temperatura zasilania wody sieciowej może być ustalana częściej, np. 4-6 razy na dobę jako stała lub jako tłumiona temperatura powietrza zewnętrznego.

Nie zawsze jest uzasadnione nadążanie za temperaturą zewnętrzną, zwłaszcza przy jej szybkich zmianach (okres wiosny i jesieni). Masywność współczesnych budynków działa jak „filtr dolnoprzepustowy”, eliminując cykliczne zmiany temperatury zachodzące z dużą częstotliwością. Pojemność cieplna obudowy budynku jest przyczyną opóźnienia przejścia zmiany temperatury zewnętrznej do wnętrza budynku. Opóźnienie może wynosić od kilku do kilkuset godzin. W takim przypadku nie ma potrzeby szybkiej zmiany temperatury wody zasilającej instalację ogrzewania. Jako funkcja „spłaszczająca” przebiegu temperatury powietrza zewnętrznego może być przyjęta tzw. temperatura tłumiona. Może być wyznaczona z wzoru:

$$t_i[j] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t[j-k-i] + \alpha(t[j-k] - t[j-k-1]) \quad (23)$$

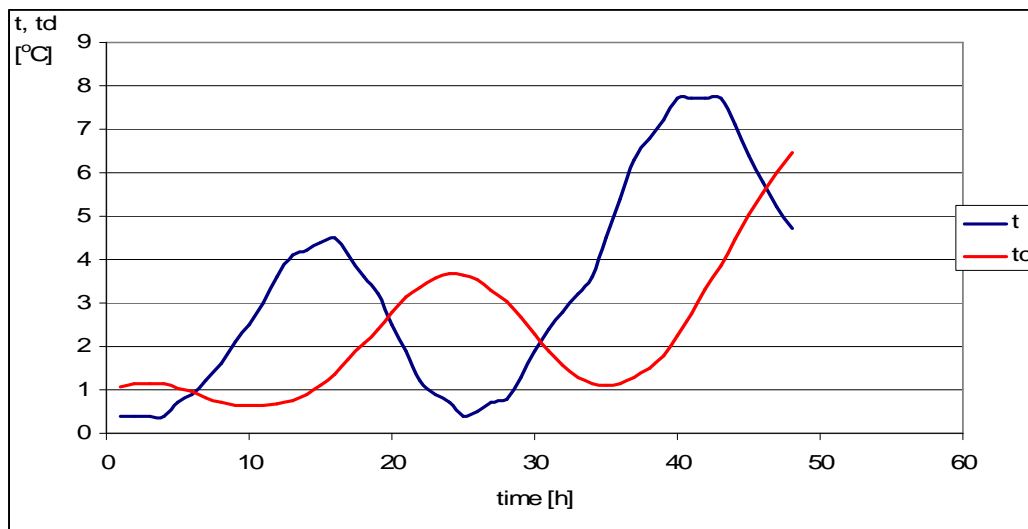
gdzie:

t – rzeczywista temperatura powietrza zewnętrznego, °C,
 t_d – tłumiona temperatura powietrza zewnętrznego, °C,
 k – przesunięcie czasowe, h,
 α – współczynnik tłumienia, bezwymiarowy,
 $i, j, j-k, j-k-1$ – indeks godzin.

Na rys. 12. zilustrowano przebieg rzeczywistej i tłumionej temperatury powietrza zewnętrznego we fragmencie sezonu grzewczego. Przy ustalaniu temperatury zasilania w instalacji wewnętrznej przesunięcie czasowe i współczynnik tłumienia są zależne wyłącznie od cech dynamicznych budynku. Filtracja temperatury powietrza zewnętrznego w regulatorze ECL Comfort Danfoss odbywa się według poniższej funkcji z krokiem sekundowym (symbolika oryginalna):

$$\text{New T.out} = ((\text{T.out.new} - \text{T.out.old}) * 50 / 100) + \text{Old T.out} \quad (24)$$

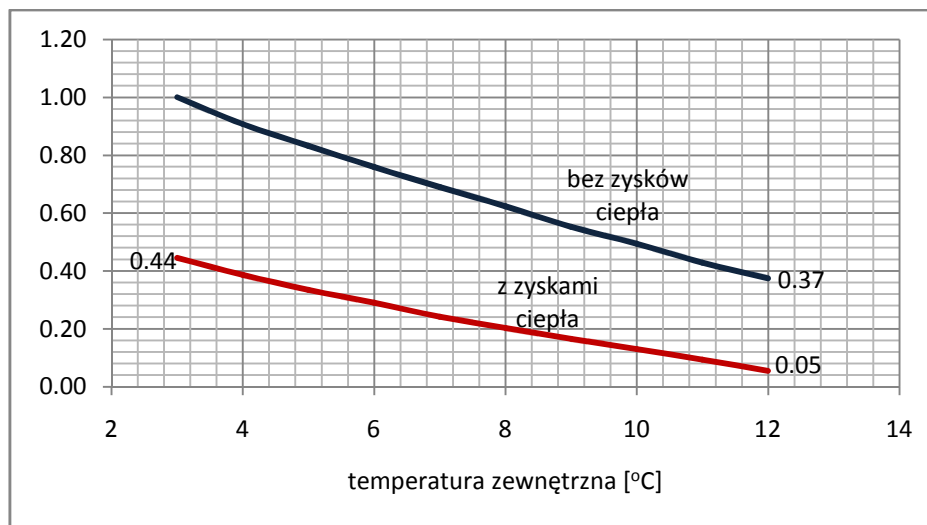
Przy wyznaczeniu temperatury wody zasilającej w systemie ciepłowniczym przesunięcie czasowe jest zależne od cech dynamicznych budynków i od czasu przepływu nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej. W systemach o czasie przepływu kilku, kilkunastu godzin jest wystarczające ustalenie temperatury raz na dobę, na podstawie przewidywanej temperatury powietrza w następnym dniu.



Rys. 12. Rzeczywista i tłumiona temperatura powietrza zewnętrznego , $k=5$ h, $m=10$ h, $\alpha=0.1$, 3,4 lutego roku porównawczego, oznaczenia w tekście (opracowanie własne)

Do konstrukcji wykresu regulacyjnego może być przyjęta tłumiona temperatura powietrza zewnętrznego, ale przy dużym współczynniku tłumienia i przy odpowiednim przesunięciu fazowym, zależnym od czasu dopływu wody do daleko położonych odbiorców. Zdarza się, że w jednym systemie ciepłowniczym o znacznej rozległości (Trójmiasto, aglomeracja śląska)

mogą wystąpić zróżnicowane warunki klimatyczne. Wówczas system powinien być „prowadzony” przy ostrzejszych warunkach klimatu. Regulacja ilościowa w całym zakresie temperatury powietrza zewnętrznego jest rzadko w Polsce stosowana, ale np. w Trójmieście zakres regulacji jakościowej jest minimalny. Na rys. 13. pokazano wykres regulacyjny (zależność strumienia masy nośnika ciepła od temperatury zewnętrznej) w modelu regulacji ilościowej. Na strumień masy nośnika ciepła ma znaczny wpływ występowanie zysków ciepła w ogrzewanych obiektach.



Rys. 13. Wykres regulacyjny (bezwymiarowy strumień masy w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego) przy regulacji ilościowej

Górna krzywa przedstawia bezwymiarowy strumień masy bez uwzględnienia zysków ciepła, dolna z uwzględnieniem zysków ciepła równych 15% projektowego obciążenia cieplnego ogrzewanego budynku. Stan ten jest charakterystyczny w okresie początku i końca sezonu grzewczego, kiedy występują zyski ciepła od nasłonecznienia. Zmniejszenie strumienia masy do 5% wartości obliczeniowej powoduje **drastyczne** zmniejszenie strat ciśnienia przy przepływie nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej, do ok. 3% wartości wyznaczonej w warunkach obliczeniowych. W systemie ze źródłem o stałej wysokości podnoszenia pomp sieciowych prawie w całej sieci pojawia się nadwyżka ciśnienia, niepotrzebna i wywołująca szereg niekorzystnych zjawisk, takich jak kawitacja.

11.7. Obliczenia obiegów grzewczych Ciepłowni C13

Koncepcja rozwiązania polega na realizacji schematu pokazanego na rys. 7, z dostosowaniem do 6 kotłów. Sporządzono obliczenia przy mocy obecnej i mocy maksymalnej (100% obciążenia Ciepłowni). Obliczenia podano w poniższych tabelach i wykresach.

11.7.1. Obliczenia obiegów przy mocy obecnej

Oznaczenia

t_e	[°C]	-	temperatura powietrza zewnętrznego
φ		-	współczynnik obciążenia
Φ_{co}	[MW]	-	moc do ogrzewania
Φ_z	[MW]	-	zyski ciepła (nieuwzględniane)
$\Phi_{co}-\Phi_z$	[MW]	-	moc do ogrzewania pomniejszona o zyski ciepła
Φ_{cw}	[MW]	-	moc do przygotowania c.w. (średnia dobowa)
Φ_c	[MW]	-	moc całkowita
K_1	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 1
K_2	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 2
K_3	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 3
K_4	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 4
K_5	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 5
K_6	0/1	-	wskaźnik stanu pracy kotła nr 6
T_{sz}	[°C]	-	temperatura zasilania w sieci ciepłowniczej
T_{sp}	[°C]	-	temperatura powrotu w sieci ciepłowniczej
T_{kz}	[°C]	-	temperatura wody za kotłem
T_{kp}	[°C]	-	temperatura wody na wlocie do kotła
m_{sco}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu sieci ciepłowniczej do ogrzewania strumień masy w obiegu sieci ciepłowniczej do przygotowania ciepłej wody
m_{scw}	[t/h]	-	wody
m_s	[t/h]	-	całkowity strumień masy wody w sieci
m_{zm}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu zimnego mieszania
m_o	[t/h]	-	różnica strumienia masy w obiegu kotłów i gorącego mieszania
m_k	[t/h]	-	suma strumieni masy w obiegach kotłów
m_{k1}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 1
m_{k2}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 2
m_{k3}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 3
m_{k4}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 4
m_{k5}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 5
m_{k6}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu kotła nr 6
m_{gm}	[t/h]	-	suma strumieni masy w obiegach gorącego mieszania kotłów
m_{gm1}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 1
m_{gm2}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 2
m_{gm3}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 3
m_{gm4}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 4
m_{gm5}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 5
m_{gm6}	[t/h]	-	strumień masy w obiegu gorącego mieszania kotła nr 6

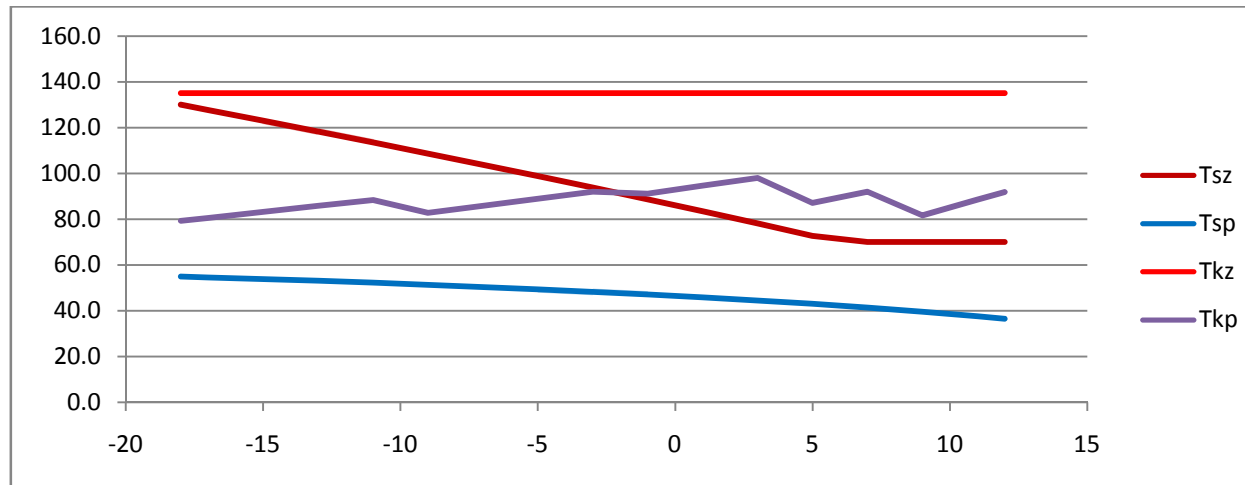
T _i	20	°C		
T _e	-18	°C		
K1	11.6	MW	153.33	t/h
K2	5.8	MW	76.67	t/h
K3	11.6	MW	153.33	t/h
K4	5.8	MW	76.67	t/h
K5	29	MW	383.33	t/h
K6	12	MW	158.62	t/h
Σ	75.8	MW	460.00	t/h

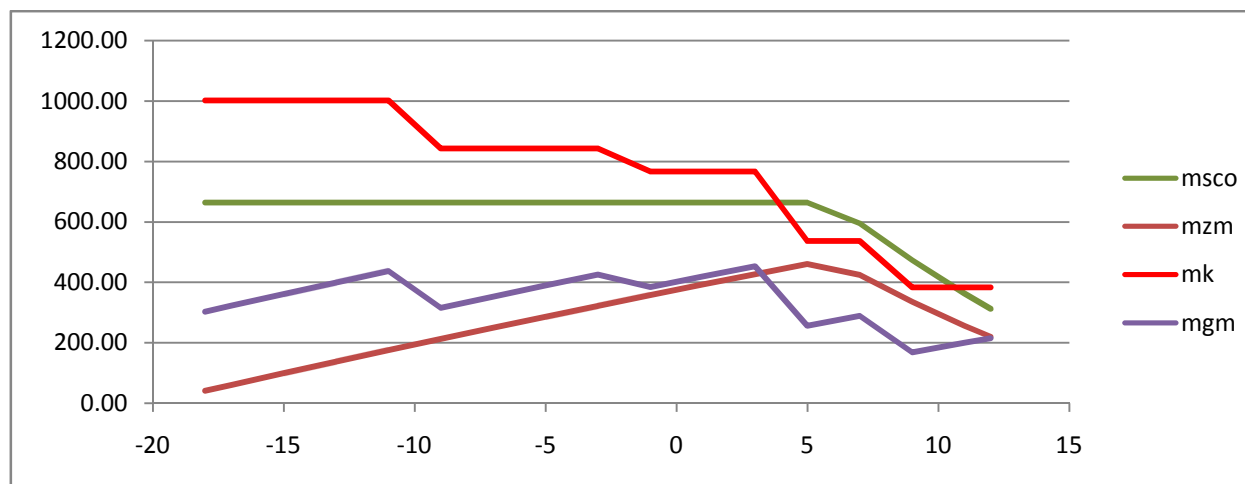
c _p	4.19	kJ/kg K
----------------	------	------------

Φ _{co}	58.00	MW
Φ _{cw}	7.00	MW
T _{kzo}	135.00	°C
T _{kpo}	70.00	°C
T _{szo}	130.00	°C
T _{szo}	55.00	°C

t _e	-18	-17	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	12	lato	MAX
φ	1.00	0.97	0.92	0.87	0.82	0.76	0.71	0.66	0.61	0.55	0.50	0.45	0.39	0.34	0.29	0.24	0.21		
Φ _{co}	58.00	56.47	53.42	50.37	47.32	44.26	41.21	38.16	35.11	32.05	29.00	25.95	22.89	19.84	16.79	13.74	12.21		
Φ _z	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Φ _{yo} -Φ _z	58.00	56.47	53.42	50.37	47.32	44.26	41.21	38.16	35.11	32.05	29.00	25.95	22.89	19.84	16.79	13.74	12.21		
Φ _{cw}	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	
Φ _c	65.00	63.47	60.42	57.37	54.32	51.26	48.21	45.16	42.11	39.05	36.00	32.95	29.89	26.84	23.79	20.74	19.21	7.00	
K ₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
K ₂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
K ₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
K ₄	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
K ₅	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
K ₆	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T _{sz}	130.0	127.7	123.0	118.2	113.5	108.6	103.7	98.8	93.7	88.6	83.4	78.1	72.6	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	
T _{sp}	55.0	54.6	53.9	53.1	52.3	51.4	50.4	49.4	48.3	47.1	45.9	44.5	43.0	41.4	39.6	37.6	36.5	30.0	
T _{kz}	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	
T _{kp}	79.3	80.6	83.2	85.8	88.4	82.8	85.9	89.0	92.1	91.2	94.7	98.1	87.1	92.0	81.7	88.5	91.9	97.1	
m _{sco}	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	664.44	595.85	474.30	363.94	312.83		664.44
m _{scw}	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	75.18	150.36	150.36
m _s	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	671.03	549.48	439.12	388.01	150.36	739.62
m _{zm}	41.53	60.92	99.47	137.66	175.47	212.87	249.82	286.30	322.27	357.70	392.55	426.79	460.37	424.67	335.26	256.25	220.50	93.08	460.37
m _o	698.09	678.69	640.15	601.96	564.15	526.75	489.79	453.32	417.34	381.92	347.07	312.83	279.25	246.36	214.22	182.87	167.51	57.28	698.09

m _k	1001.95	1001.95	1001.95	1001.95	1001.95	843.33	843.33	843.33	843.33	766.66	766.66	766.66	536.66	536.66	383.33	383.33	383.33	158.62	1001.95
m _{k1}	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	
m _{k2}	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.67	76.67	76.67	0.00	
m _{k3}	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	0.00	153.33	153.33	153.33	0.00	
m _{k4}	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
m _{k5}	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
m _{k6}	158.62	158.62	158.62	158.62	158.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.62	
m _{gm}	303.86	323.25	361.80	399.99	437.80	316.58	353.53	390.01	425.98	384.74	419.60	453.83	257.41	290.30	169.11	200.46	215.82	101.34	453.83
m _{gm1}	46.50	49.47	55.37	61.21	67.00	57.56	64.28	70.91	77.45	76.95	83.92	90.77	73.55	82.94	67.64	80.18	86.33	0.00	90.77
m _{gm2}	23.25	24.73	27.68	30.61	33.50	28.78	32.14	35.46	38.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.82	40.09	43.16	0.00	43.16
m _{gm3}	46.50	49.47	55.37	61.21	67.00	57.56	64.28	70.91	77.45	76.95	83.92	90.77	0.00	0.00	67.64	80.18	86.33	0.00	90.77
m _{gm4}	23.25	24.73	27.68	30.61	33.50	28.78	32.14	35.46	38.73	38.47	41.96	45.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.38
m _{gm5}	116.25	123.67	138.42	153.03	167.50	143.90	160.70	177.28	193.63	192.37	209.80	226.92	183.87	207.36	0.00	0.00	0.00	0.00	226.92
m _{gm6}	48.10	51.17	57.28	63.32	69.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.34	101.34





11.7.2. Obliczenia obiegów przy mocy maksymalnej

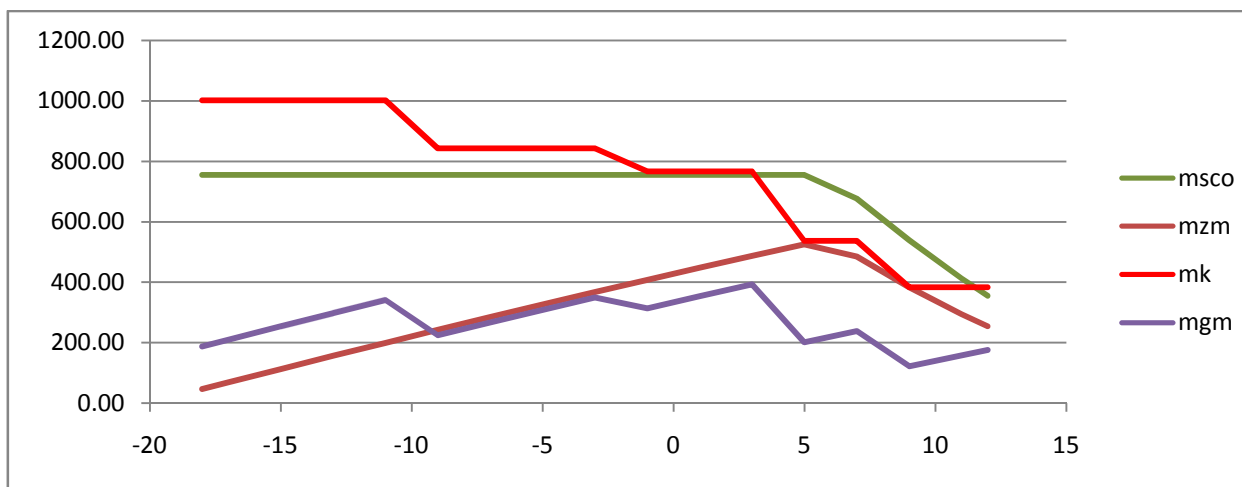
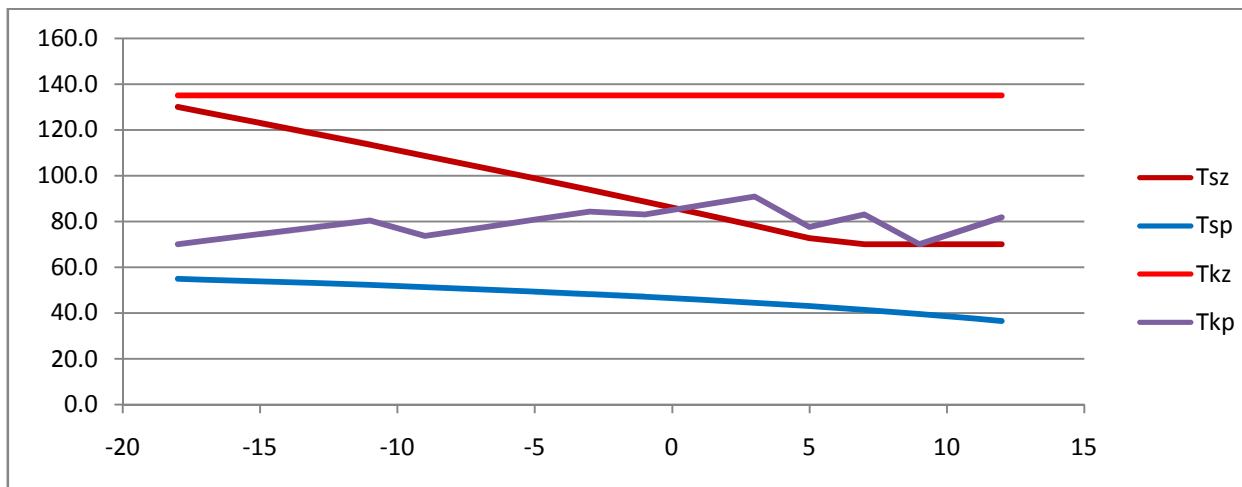
T_i	20	°C		
T_e	-18	°C		
K1	11.6	MW	153.33	t/h
K2	5.8	MW	76.67	t/h
K3	11.6	MW	153.33	t/h
K4	5.8	MW	76.67	t/h
K5	29	MW	383.33	t/h
K6	12	MW	158.62	t/h
Σ	75.8	MW	460.00	t/h

c_p	4.19	kJ/kg K
-------	------	---------

Φ_{co}	65.90	MW
Φ_{cw}	9.90	MW
T_{kzo}	135.00	°C
T_{kpo}	70.00	°C
T_{szo}	130.00	°C
T_{spo}	55.00	°C

T_e	-18	-17	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	12	lato	MAX
φ	1.00	0.97	0.92	0.87	0.82	0.76	0.71	0.66	0.61	0.55	0.50	0.45	0.39	0.34	0.29	0.24	0.21		
Φ_{co}	65.90	64.17	60.70	57.23	53.76	50.29	46.82	43.36	39.89	36.42	32.95	29.48	26.01	22.54	19.08	15.61	13.87		
Φ_z	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
$\Phi_{y0}-\Phi_z$	65.90	64.17	60.70	57.23	53.76	50.29	46.82	43.36	39.89	36.42	32.95	29.48	26.01	22.54	19.08	15.61	13.87		
Φ_{cw}	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	
Φ_c	75.80	74.07	70.60	67.13	63.66	60.19	56.72	53.26	49.79	46.32	42.85	39.38	35.91	32.44	28.98	25.51	23.77	9.90	
K_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
K_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
K_3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
K_4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
K_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
K_6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T_{sz}	130.0	127.7	123.0	118.2	113.5	108.6	103.7	98.8	93.7	88.6	83.4	78.1	72.6	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	
T_{sp}	55.0	54.6	53.9	53.1	52.3	51.4	50.4	49.4	48.3	47.1	45.9	44.5	43.0	41.4	39.6	37.6	36.5	30.0	
T_{kz}	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0
T_{kp}	70.0	71.5	74.5	77.4	80.4	73.7	77.2	80.7	84.3	83.1	87.0	90.9	77.5	83.1	70.1	77.8	81.7	81.4	
m_{sco}	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	754.94	677.01	538.90	413.52	355.44		754.94
m_{scw}	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	106.32	212.65	212.65
m_s	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	783.34	645.23	519.84	461.77	212.65	861.26
m_{zm}	47.18	69.31	113.30	156.89	200.06	242.77	284.98	326.66	367.78	408.29	448.16	487.34	525.80	485.55	384.30	294.90	254.47	131.64	525.80
m_o	814.08	791.95	747.97	704.37	661.21	618.50	576.28	534.60	493.48	452.97	413.10	373.92	335.47	297.79	260.93	224.94	207.30	81.01	814.08
m_k	1001.95	1001.95	1001.95	1001.95	1001.95	843.33	843.33	843.33	843.33	766.66	766.66	766.66	536.66	536.66	383.33	383.33	383.33	158.62	1001.95
m_{k1}	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	
m_{k2}	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.67	76.67	76.67	0.00	
m_{k3}	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	0.00	153.33	153.33	153.33	0.00	
m_{k4}	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
m_{k5}	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
m_{k6}	158.62	158.62	158.62	158.62	158.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.62	
m_{gm}	187.86	209.99	253.98	297.57	340.74	224.83	267.04	308.73	349.84	313.69	353.56	392.74	201.20	238.88	122.40	158.39	176.03	77.61	392.74
m_{gm1}	28.75	32.14	38.87	45.54	52.14	40.88	48.55	56.13	63.61	62.74	70.71	78.55	57.48	68.25	48.96	63.35	70.41	0.00	78.55
m_{gm2}	14.37	16.07	19.43	22.77	26.07	20.44	24.28	28.07	31.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	31.68	35.21	0.00	35.21
m_{gm3}	28.75	32.14	38.87	45.54	52.14	40.88	48.55	56.13	63.61	62.74	70.71	78.55	0.00	0.00	48.96	63.35	70.41	0.00	78.55

m _{gm4}	14.37	16.07	19.43	22.77	26.07	20.44	24.28	28.07	31.80	31.37	35.36	39.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.27
m _{gm5}	71.87	80.34	97.17	113.85	130.36	102.19	121.38	140.33	159.02	156.84	176.78	196.37	143.71	170.63	0.00	0.00	0.00	0.00	196.37
m _{gm6}	29.74	33.24	40.21	47.11	53.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.61



11.7.3. Obliczenia zużycia energii do pompowania przy mocy obecnej i obiegach rozdzielonych

Oznaczenia

τ	[h]	-	czas występowania przedziału temperatury powietrza zewnętrznego
t_e	[°C]	-	temperatura powietrza zewnętrznego
m_s	[t/h]	-	całkowity strumień masy wody w sieci
V_s	[m ³ /h]	-	całkowity strumień objętości wody w sieci
Δp_s	[kPa]	-	opory przepływu w sieci
P_{steor}	[kW]	-	teoretyczna moc pompowania w obiegu sieci
η_{ps}		-	sprawność pomp
P_{srzecz}	[kW]	-	rzeczywista moc pompowania w obiegu sieci
E_{srzecz}	[kWh]	-	zużycie energii do pompowania w obiegu sieci ciepłowniczej
m_{zm}	[t/h]	-	strumień masy wody w obiegu zimnego mieszania
V_{zm}	[m ³ /h]	-	strumień objętości wody w obiegu zimnego mieszania
Δp_{zm}		-	opory przepływu w obiegu zimnego mieszania
P_{zmteor}		-	teoretyczna moc pompowania w obiegu zimnego mieszania
η_{pzm}		-	sprawność pomp
$P_{zmrzecz}$		-	rzeczywista moc pompowania w obiegu zimnego mieszania
$E_{zmrzecz}$		-	zużycie energii w obiegu zimnego mieszania
w obiegach kotłów K1..K6			
m_k		-	strumień masy wody w obiegu kotła
V_k		-	strumień objętości wody w obiegu kotła
Δp_k		-	opory przepływu w obiegu kotła
P_{kteor}		-	teoretyczna moc pompowania w obiegu kotła
η_{pk}		-	sprawność pomp

- P_{krzecz} - rzeczywista moc pompowania w obiegu kotła
- E_{krzecz} - zużycie energii w obiegu kotła
- m_{qm} - strumień masy wody w obiegu gorącego mieszania kotła
- V_{qm} - strumień objętości wody w obiegu gorącego mieszania kotła
- Δp_{qm} - opory przepływu w obiegu gorącego mieszania kotła
- P_{gnteor} - teoretyczna moc pompowania w obiegu gorącego mieszania kotła
- η_{pgm} - sprawność pomp
- $P_{gmrzecz}$ - rzeczywista moc pompowania w obiegu gorącego mieszania kotła
- $E_{gmrzecz}$ - zużycie energii w obiegu gorącego mieszania kotła

τ	h	0	13	20	23	87	180	358	435	571	690	678	743	584	520	503	3355	
t_e		-17	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	lato	Razem
SIEC																		
m_s	t/h	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	739.62	671.03	549.48	439.12	105.25	
V_s	m ³ /h	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	766.24	695.19	569.26	454.93	109.04	
Δp_s	kPa	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	553.63	471.46	396.86	171.15	
P_{steor}	kW	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	127.71	106.91	74.55	50.15	5.18	
η_{ps}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{srzecz}	kW	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	182.44	152.73	106.50	71.64	7.41	
E_{srzecz}	kWh	0	2372	3649	4196	15872	32839	65313	79361	104173	125883	123693	135552	89194	55381	36037	24846	898360
ZM																		
m_{zm}	t/h	60.92	99.47	137.66	175.47	212.87	249.82	286.30	322.27	357.70	392.55	426.79	460.37	424.67	335.26	256.25	47.97	
V_{zm}	m ³ /h	63.12	103.05	142.62	181.79	220.53	258.82	296.61	333.87	370.58	406.68	442.15	476.94	439.95	347.33	265.48	49.70	
Δp_{zm}	kPa	1.22	3.26	6.24	10.14	14.93	20.56	27.00	34.21	42.15	50.76	60.01	69.82	59.41	37.03	21.63	0.76	
P_{zmteor}	kW	0.02	0.09	0.25	0.51	0.91	1.48	2.22	3.17	4.34	5.73	7.37	9.25	7.26	3.57	1.60	0.01	
η_{pzm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{zmrzecz}$	kW	0.03	0.13	0.35	0.73	1.31	2.11	3.18	4.53	6.20	8.19	10.53	13.21	10.37	5.10	2.28	0.01	
$E_{zmrzecz}$	kWh	0	2	7	17	114	380	1138	1972	3539	5653	7138	9818	6057	2654	1146	50	39685
K1																		
m_k		153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00
V_k		158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	0.00
Δp_k		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
P_{kteor}		8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	0.00

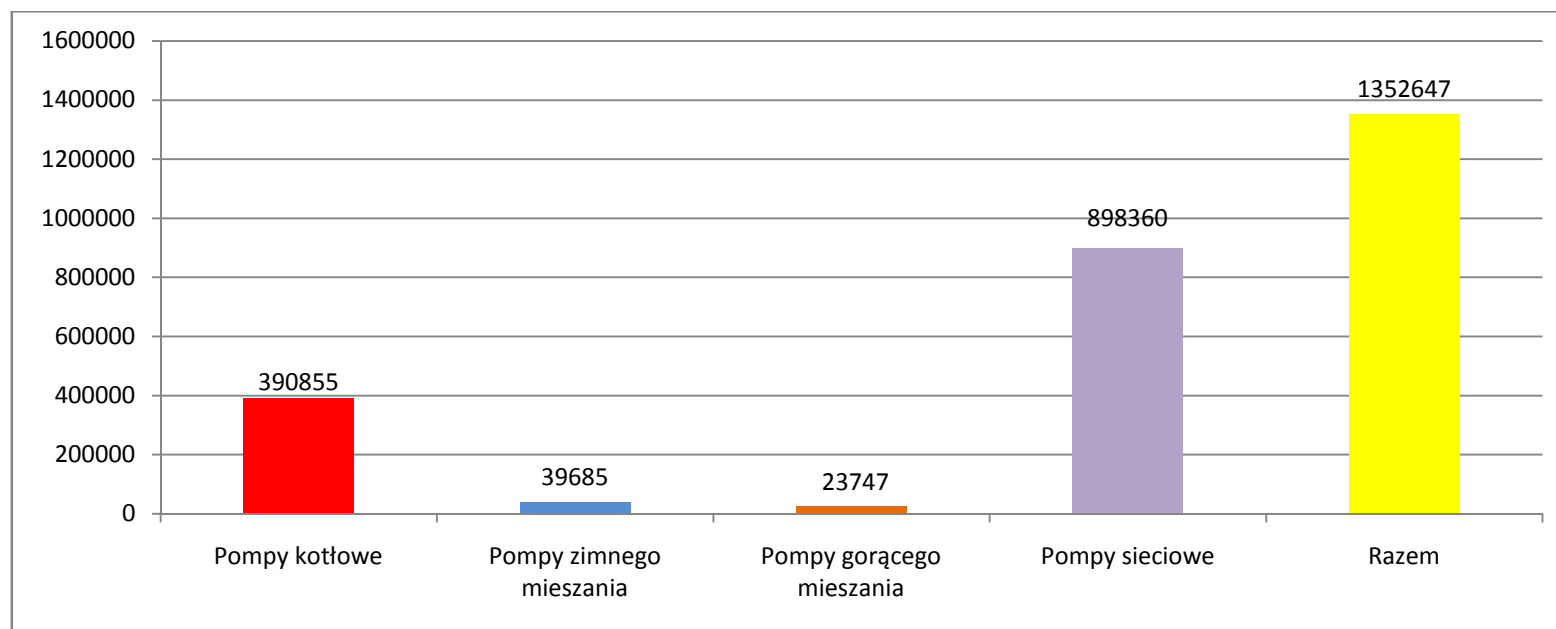
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{krzecz}		12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	0.00
E_{krzecz}		0	164	252	290	1097	2269	4513	5484	7199	8699	8548	9367	7363	6556	6341	0	68142
m_{gm}		49.47	55.37	61.21	67.00	57.56	64.28	70.91	77.45	76.95	83.92	90.77	73.55	82.94	67.64	80.18	0.00	
V_{gm}		51.25	57.36	63.42	69.41	59.63	66.59	73.46	80.24	79.72	86.94	94.03	76.19	85.93	70.08	83.07	0.00	
Δp_{gm}		14.37	18.01	22.01	26.37	19.46	24.27	29.54	35.24	34.78	41.37	48.39	31.77	40.41	26.88	37.77	0.00	
P_{gmteor}		0.20	0.29	0.39	0.51	0.32	0.45	0.60	0.79	0.77	1.00	1.26	0.67	0.96	0.52	0.87	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$P_{gmrzecz}$		0.29	0.41	0.55	0.73	0.46	0.64	0.86	1.12	1.10	1.43	1.81	0.96	1.38	0.75	1.24	0.00	
$E_{gmrzecz}$		0	5	11	17	40	115	308	488	628	985	1224	714	805	389	626	0	6355
K2																		
m_k		76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.67	76.67	0.00	
V_k		79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.43	79.43	0.00	
Δp_k		120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	
P_{kteor}		2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	2.65	0.00	
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P_{krzecz}		3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78	3.78	0.00	
E_{krzecz}		0	49	76	87	329	681	1354	1645	0	0	0	0	0	1967	1902	0	8090
m_{gm}		24.73	27.68	30.61	33.50	28.78	32.14	35.46	38.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.82	40.09	0.00	
V_{gm}		25.62	28.68	31.71	34.71	29.82	33.30	36.73	40.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.04	41.54	0.00	
Δp_{gm}		8.02	10.04	12.28	14.71	10.86	13.54	16.48	19.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.99	21.07	0.00	
P_{gmteor}		0.06	0.08	0.11	0.14	0.09	0.13	0.17	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.24	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$P_{gmrzecz}$		0.08	0.11	0.15	0.20	0.13	0.18	0.24	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.35	0.00	
$E_{gmrzecz}$		0	1	3	5	11	32	86	136	0	0	0	0	0	108	175	0	558
K3																		
m_k		153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	0.00	153.33	153.33	0.00	
V_k		158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	0.00	0.00	158.85	158.85	0.00	
Δp_k		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
P_{kteor}		8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	0.00	0.00	8.83	8.83	0.00	
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P_{krzecz}		12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	0.00	0.00	12.61	12.61	0.00	
E_{krzecz}		0	164	252	290	1097	2269	4513	5484	7199	8699	8548	0	0	6556	6341	0	51412
m_{gm}		49.47	55.37	61.21	67.00	57.56	64.28	70.91	77.45	76.95	83.92	90.77	0.00	0.00	67.64	80.18	0.00	
V_{gm}		51.25	57.36	63.42	69.41	59.63	66.59	73.46	80.24	79.72	86.94	94.03	0.00	0.00	70.08	83.07	0.00	
Δp_{gm}		11.92	14.93	18.25	21.86	16.14	20.12	24.49	29.22	28.84	34.30	40.13	0.00	0.00	22.29	31.32	0.00	
P_{gmteor}		0.17	0.24	0.32	0.42	0.27	0.37	0.50	0.65	0.64	0.83	1.05	0.00	0.00	0.43	0.72	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

P _{gmrzecz}	0.24	0.34	0.46	0.60	0.38	0.53	0.71	0.93	0.91	1.18	1.50	0.00	0.00	0.62	1.03	0.00	
E _{gmrzecz}	0	4	9	14	33	96	256	405	521	817	1015	0	0	322	519	0	4011
K4																	
m _k	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
V _k	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Δp _k	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	
P _{k teor}	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
η _{pk}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P _{krzecz}	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
E _{krzecz}	0	49	76	87	329	681	1354	1645	2160	2610	2564	0	0	0	0	0	11555
m _{gm}	24.73	27.68	30.61	33.50	28.78	32.14	35.46	38.73	38.47	41.96	45.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
V _{gm}	25.62	28.68	31.71	34.71	29.82	33.30	36.73	40.12	39.86	43.47	47.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Δp _{gm}	5.11	6.40	7.82	9.37	6.91	8.62	10.49	12.52	12.36	14.70	17.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
P _{gm teor}	0.04	0.05	0.07	0.09	0.06	0.08	0.11	0.14	0.14	0.18	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
η _{pgm}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P _{gmrzecz}	0.05	0.07	0.10	0.13	0.08	0.11	0.15	0.20	0.20	0.25	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
E _{gmrzecz}	0	1	2	3	7	21	55	87	112	175	217	0	0	0	0	0	679
K5																	
m _k	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	0.00	0.00	0.00	
V _k	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	0.00	0.00	0.00	
Δp _k	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	
P _{k teor}	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	0.00	0.00	0.00	
η _{pk}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P _{krzecz}	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	0.00	0.00	0.00	
E _{krzecz}	0	615	946	1087	4113	8510	16925	20566	26995	32621	32054	35127	27610	0	0	0	207169
m _{gm}	123.67	138.42	153.03	167.50	143.90	160.70	177.28	193.63	192.37	209.80	226.92	183.87	207.36	0.00	0.00	0.00	
V _{gm}	128.12	143.40	158.54	173.53	149.08	166.48	183.66	200.60	199.30	217.35	235.08	190.49	214.82	0.00	0.00	0.00	
Δp _{gm}	9.32	11.67	14.27	17.09	12.61	15.73	19.14	22.84	22.54	26.81	31.37	20.59	26.19	0.00	0.00	0.00	
P _{gm teor}	0.33	0.46	0.63	0.82	0.52	0.73	0.98	1.27	1.25	1.62	2.05	1.09	1.56	0.00	0.00	0.00	
η _{pgm}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P _{gmrzecz}	0.47	0.66	0.90	1.18	0.75	1.04	1.40	1.82	1.78	2.31	2.93	1.56	2.23	0.00	0.00	0.00	
E _{gmrzecz}	0	9	18	27	65	187	499	791	1018	1596	1984	1157	1304	0	0	0	8654
K6																	
m _k	158.62	158.62	158.62	158.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.62
V _k	164.33	164.33	164.33	164.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	164.33
Δp _k	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
P _{k teor}	9.13	9.13	9.13	9.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.13
η _{pk}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	

P_{krzecz}		13.04	13.04	13.04	13.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.04	
E_{krzecz}		0	170	261	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43756	44486
m_{gm}		51.17	57.28	63.32	69.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.34	
V_{gm}		53.02	59.34	65.60	71.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.99	
Δp_{gm}		6.34	7.94	9.71	11.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.86	
P_{gmteor}		0.09	0.13	0.18	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{gmrzecz}$		0.13	0.19	0.25	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	
$E_{gmrzecz}$		0	2	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3475	3490

Zestawienie zużycia energii pompowania [kWh]

1	Pompy kotłowe	390855
2	Pompy zimnego mieszania	39685
3	Pompy gorącego mieszania	23747
4	Pompy sieciowe	898360
	Razem	1352647



11.7.4. Obliczenia zużycia energii do pompowania przy mocy maksymalnej przy rozdzielaniu obiegów

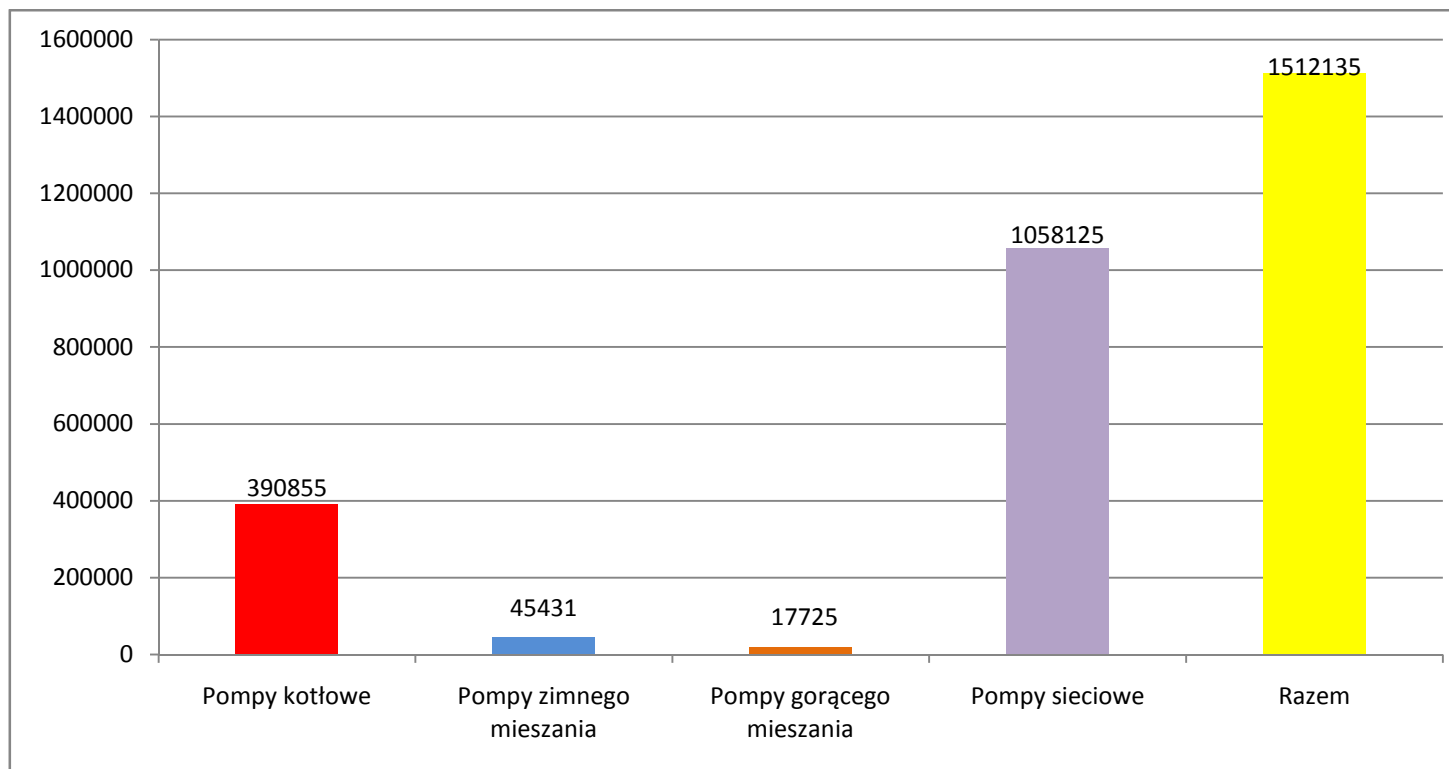
τ	h	0	13	20	23	87	180	358	435	571	690	678	743	584	520	503	3355	
t_e		-17	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	lato	Razem
SIEC																		
m_s	t/h	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	783.34	645.23	519.84	148.85
V_s	m ³ /h	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	811.53	668.45	538.55	154.21
Δp_s	kPa	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	554.76	474.58	401.79	186.42
P_{steor}	kW	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	148.71	125.06	88.12	60.11	7.99
η_{ps}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P_{srzecz}	kW	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	212.44	178.65	125.89	85.87	11.41
E_{srzecz}	kWh	0	2762	4249	4886	18483	38240	76055	92414	121306	146587	144038	157847	104333	65462	43191	38273	#####
ZM																		
m_{zm}	t/h	69.31	113.30	156.89	200.06	242.77	284.98	326.66	367.78	408.29	448.16	487.34	525.80	485.55	384.30	294.90	67.85	
V_{zm}	m ³ /h	71.81	117.38	162.54	207.26	251.51	295.24	338.42	381.02	422.99	464.29	504.89	544.73	503.03	398.13	305.51	70.29	
Δp_{zm}	kPa	1.21	3.24	6.22	10.11	14.88	20.51	26.95	34.16	42.10	50.72	59.98	69.82	59.54	37.30	21.96	1.16	
P_{zmteor}	kW	0.02	0.11	0.28	0.58	1.04	1.68	2.53	3.62	4.95	6.54	8.41	10.56	8.32	4.12	1.86	0.02	
η_{pzm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$P_{zmrzecz}$	kW	0.03	0.15	0.40	0.83	1.49	2.40	3.62	5.16	7.07	9.35	12.02	15.09	11.88	5.89	2.66	0.03	
$E_{zmrzecz}$	kWh	0	2	8	19	129	433	1296	2247	4035	6448	8148	11214	6941	3064	1339	109	45431
K1																		
m_k		153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00
V_k		158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	0.00
Δp_k		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
P_{kteor}		8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	0.00
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P_{krzecz}		12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	0.00
E_{krzecz}		0	164	252	290	1097	2269	4513	5484	7199	8699	8548	9367	7363	6556	6341	0	68142
m_{gm}		32.14	38.87	45.54	52.14	40.88	48.55	56.13	63.61	62.74	70.71	78.55	57.48	68.25	48.96	63.35	0.00	
V_{gm}		33.29	40.27	47.18	54.02	42.35	50.30	58.15	65.90	65.00	73.26	81.38	59.55	70.71	50.72	65.64	0.00	
Δp_{gm}		8.10	11.85	16.27	21.33	13.11	18.49	24.71	31.73	30.87	39.22	48.39	25.92	36.54	18.80	31.48	0.00	
P_{gmteor}		0.07	0.13	0.21	0.32	0.15	0.26	0.40	0.58	0.56	0.80	1.09	0.43	0.72	0.26	0.57	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$P_{gmrzecz}$		0.11	0.19	0.30	0.46	0.22	0.37	0.57	0.83	0.80	1.14	1.56	0.61	1.03	0.38	0.82	0.00	
$E_{gmrzecz}$		0	2	6	11	19	66	204	361	455	787	1059	455	599	197	412	0	4634
K2																		
m_k		76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.67	76.67	0.00	
V_k		79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.43	79.43	0.00	

Δp_k		120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	
P_{kteor}		2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	2.65	0.00	
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{krzecz}		3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.78	3.78	0.00	
E_{krzecz}		0	49	76	87	329	681	1354	1645	0	0	0	0	0	1967	1902	0	8090
m_{gm}		16.07	19.43	22.77	26.07	20.44	24.28	28.07	31.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	31.68	0.00	
V_{gm}		16.65	20.13	23.59	27.01	21.17	25.15	29.08	32.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.36	32.82	0.00	
Δp_{gm}		5.09	7.44	10.21	13.39	8.23	11.61	15.52	19.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.81	19.77	0.00	
P_{gmteor}		0.02	0.04	0.07	0.10	0.05	0.08	0.13	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.18	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{gmrzecz}$		0.03	0.06	0.10	0.14	0.07	0.12	0.18	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.26	0.00	
$E_{gmrzecz}$		0	1	2	3	6	21	64	113	0	0	0	0	0	62	129	0	402
K3																		
m_k		153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	153.33	0.00	0.00	153.33	153.33	0.00	
V_k		158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	158.85	0.00	0.00	158.85	158.85	0.00	
Δp_k		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
P_{kteor}		8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	0.00	0.00	8.83	8.83	0.00	
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{krzecz}		12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	12.61	0.00	0.00	12.61	12.61	0.00	
E_{krzecz}		0	164	252	290	1097	2269	4513	5484	7199	8699	8548	0	0	6556	6341	0	51412
m_{gm}		32.14	38.87	45.54	52.14	40.88	48.55	56.13	63.61	62.74	70.71	78.55	0.00	0.00	48.96	63.35	0.00	
V_{gm}		33.29	40.27	47.18	54.02	42.35	50.30	58.15	65.90	65.00	73.26	81.38	0.00	0.00	50.72	65.64	0.00	
Δp_{gm}		6.72	9.83	13.49	17.68	10.87	15.33	20.49	26.31	25.60	32.52	40.13	0.00	0.00	15.59	26.10	0.00	
P_{gmteor}		0.06	0.11	0.18	0.27	0.13	0.21	0.33	0.48	0.46	0.66	0.91	0.00	0.00	0.22	0.48	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{gmrzecz}$		0.09	0.16	0.25	0.38	0.18	0.31	0.47	0.69	0.66	0.95	1.30	0.00	0.00	0.31	0.68	0.00	
$E_{gmrzecz}$		0	2	5	9	16	55	169	299	377	652	879	0	0	163	342	0	2968
K4																		
m_k		76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	76.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
V_k		79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	79.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Δp_k		120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	
P_{kteor}		2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{krzecz}		3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
E_{krzecz}		0	49	76	87	329	681	1354	1645	2160	2610	2564	0	0	0	0	0	11555
m_{gm}		16.07	19.43	22.77	26.07	20.44	24.28	28.07	31.80	31.37	35.36	39.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
V_{gm}		16.65	20.13	23.59	27.01	21.17	25.15	29.08	32.95	32.50	36.63	40.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Δp_{gm}		2.88	4.21	5.78	7.58	4.66	6.57	8.78	11.27	10.97	13.93	17.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

$P_{g\text{mteor}}$		0.01	0.02	0.04	0.06	0.03	0.05	0.07	0.10	0.10	0.14	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{g\text{mrzecz}}$		0.02	0.03	0.05	0.08	0.04	0.07	0.10	0.15	0.14	0.20	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$E_{g\text{mrzecz}}$		0	0	1	2	3	12	36	64	81	140	188	0	0	0	0	0	528
K5																		
m_k		383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	383.33	0.00	0.00	0.00	
V_k		397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	397.13	0.00	0.00	0.00	
Δp_k		300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	
$P_{k\text{teor}}$		33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	33.09	0.00	0.00	0.00
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{k\text{rzecz}}$		47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	47.28	0.00	0.00	0.00
$E_{k\text{rzecz}}$		0	615	946	1087	4113	8510	16925	20566	26995	32621	32054	35127	27610	0	0	0	207169
m_{gm}		80.34	97.17	113.85	130.36	102.19	121.38	140.33	159.02	156.84	176.78	196.37	143.71	170.63	0.00	0.00	0.00	
V_{gm}		83.23	100.67	117.95	135.06	105.87	125.75	145.38	164.74	162.49	183.14	203.44	148.88	176.77	0.00	0.00	0.00	
Δp_{gm}		5.25	7.68	10.54	13.82	8.49	11.98	16.02	20.57	20.01	25.42	31.37	16.80	23.68	0.00	0.00	0.00	
$P_{g\text{mteor}}$		0.12	0.21	0.35	0.52	0.25	0.42	0.65	0.94	0.90	1.29	1.77	0.69	1.16	0.00	0.00	0.00	
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{g\text{mrzecz}}$		0.17	0.31	0.49	0.74	0.36	0.60	0.92	1.34	1.29	1.85	2.53	0.99	1.66	0.00	0.00	0.00	
$E_{g\text{mrzecz}}$		0	4	10	17	31	108	331	585	737	1275	1717	737	970	0	0	0	6521
K6																		
m_k		158.62	158.62	158.62	158.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.62
V_k		164.33	164.33	164.33	164.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	164.33
Δp_k		200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
$P_{k\text{teor}}$		9.13	9.13	9.13	9.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.13
η_{pk}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{k\text{rzecz}}$		13.04	13.04	13.04	13.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.04
$E_{k\text{rzecz}}$		0	170	261	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43756
m_{gm}		33.24	40.21	47.11	53.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.61
V_{gm}		34.44	41.66	48.81	55.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.40
Δp_{gm}		4.56	6.67	9.16	12.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.86
$P_{g\text{mteor}}$		0.04	0.08	0.12	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
η_{pgm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{g\text{mrzecz}}$		0.06	0.11	0.18	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79
$E_{g\text{mrzecz}}$		0	1	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2661

Zestawienie zużycia energii pompowania [kWh]

1	Pompy kotłowe	390855
2	Pompy zimnego mieszania	45431
3	Pompy gorącego mieszania	17725
4	Pompy sieciowe	1058125
	Razem	1512135

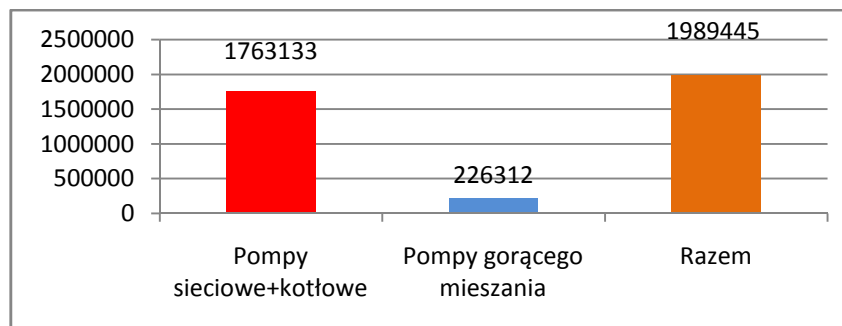


11.7.5. Obliczenia zużycia energii do pompowania w obiegach nierozdzielonych przy mocy maksymalnej

τ	h	0	13	20	23	87	180	358	435	571	690	678	743	584	520	503	3355	
t_e		-17	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	lato	Razem
SIEC																		
m_s	t/h	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	861.26	783.34	645.23	519.84	148.85	
V_s	m ³ /h	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	892.27	811.53	668.45	538.55	154.21	
Δp_n	kPa	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	1010.00	927.66	781.74	649.26	257.28	
P_{steor}	kW	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	250.33	209.12	145.15	97.13	11.02	
η_{ps}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
P_{srzecz}	kW	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	357.62	298.74	207.36	138.75	15.74	
E_{srzecz}	kWh	0	4649	7152	8225	31113	64371	128026	155563	204198	246755	242463	265708	174465	107829	69793	52822	1763133
GM																		
m_{zm}	t/h	209.99	253.98	297.57	340.74	224.83	267.04	308.73	349.84	313.69	353.56	392.74	201.20	238.88	122.40	158.39	77.61	
V_{zm}	m ³ /h	217.55	263.12	308.28	353.01	232.92	276.66	319.84	362.44	324.98	366.28	406.88	208.44	247.48	126.81	164.09	80.40	
Δp_{zm}	kPa	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	240.00	240.00	200.00	
P_{znteor}	kW	21.15	25.58	29.97	34.32	22.65	26.90	31.10	35.24	31.60	35.61	39.56	20.26	24.06	8.45	10.94	4.47	
η_{pzm}		0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
$P_{zmrzecz}$	kW	30.22	36.54	42.82	49.03	32.35	38.42	44.42	50.34	45.14	50.87	56.51	28.95	34.37	12.08	15.63	6.38	
$E_{zmrzecz}$	kWh	0	475	856	1128	2814	6916	15903	21897	25773	35102	38314	21510	20073	6280	7861	21409	226312

Zestawienie zużycia energii pompowania [kWh]

1	Pompy sieciowe+kotłowe	1763133
2	Pompy gorącego mieszania	226312
	Razem	1989445



Poniżej przedstawiono obliczenia hydrauliczne obiegów kotłowych w układzie docelowym (do doboru pomp) i do weryfikacji istniejących średnic przewodów.

Przewody obiegów istniejących mają wystarczającą średnicę.

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
GŁÓWNY			450	T	45.0	27.00	861.26	861.26	437.0	1.67	62.2	2.80	35.98	38.77	38.77

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
ZM			250	T	15.0	16.00	525.80	525.80	259.0	2.90	361.4	5.42	64.40	69.82	69.82

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM1			125	P	20.0	19.00	101.51	101.51	132.5	2.14	339.0	6.78	41.61	48.39	48.39

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM2			100	P	15.0	16.00	50.75	50.75	107.1	1.64	260.1	3.90	20.52	24.42	24.42

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM3			125	P	15.0	16.00	101.51	101.51	132.5	2.14	339.0	5.08	35.04	40.13	40.13

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{l+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM4			100	P	15.0	16.00	42.57	42.57	107.1	1.37	183.6	2.75	14.44	17.19	17.19

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM5			200	P	25.0	22.00	196.37	196.37	210.1	1.65	113.7	2.84	28.52	31.37	31.37

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
GM6			125	P	22.0	16.00	77.61	77.61	132.5	1.64	199.0	4.38	20.48	24.86	24.86

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K1			200	T	30.0	20.00	153.33	153.33	206.5	1.33	101.7	3.05	16.94	19.99	19.99

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K2			150	T	30.0	20.00	76.67	76.67	150.0	1.26	137.6	4.13	15.21	19.34	19.34

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K3			200	T	30.0	29.00	153.33	153.33	206.5	1.33	101.7	3.05	24.56	27.62	27.62

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K4			150	T	30.0	20.00	76.67	76.67	150.0	1.26	137.6	4.13	15.21	19.34	19.34

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K5			250	T	30.0	20.00	383.33	383.33	259.0	2.12	192.3	5.77	42.78	48.55	48.55

P	K	Δp_w	DN	TYP	l [m]	$\Sigma \zeta$	m [t/h]	m_{kor} [t/h]	Dw [mm]	w [m/s]	R [Pa/m]	$\Delta p_i=RI$ [kPa]	Δp_m [kPa]	Δp_{i+m} [kPa]	Δp_{tr}
K6			250	P	30.0	20.00	158.62	158.62	263.0	0.85	23.3	0.70	6.89	7.59	7.59

11.7.6. Obliczenia zużycia energii do pompowania w obiegach nierozdzielonych na podstawie danych eksploatacyjnych

Zużycie energii obliczono na podstawie danych z monitoringu określających czas pracy pomp.

Liczniki czasu pracy pomp				
	Pompy obiegowe:	Pompy stabilizacji	Pompy uzupełniania	Pompy mieszania
Pompa nr 1:	3742 h	86 h	6691 h	5643 h
Pompa nr 2:	5613 h	50 h	3779 h	18328 h
Pompa nr 3:	5058 h			10078 h
Pompa nr 4:	6769 h			
Pompa nr 5:	19068 h			
Pompa nr 6:	15459 h			

Liczniki czasu pracy pomp				
	Pompy obiegowe:	Pompy stabilizacji	Pompy uzupełniania	Pompy mieszania
Pompa nr 1:	3741 h	75 h	5443 h	326 h
Pompa nr 2:	5266 h	23 h	2418 h	13754 h
Pompa nr 3:	2911 h			10078 h
Pompa nr 4:	3291 h			
Pompa nr 5:	14342 h			
Pompa nr 6:	14342 h			

Pompa	24.02.2016	20.04.2017	różnica	różnica skor. do roku	moc [kW]	energia [kWh]
P1	3741	3742	1	1	160	133
P2	5266	5613	347	289	160	46267
P3	2911	5058	2147	1789	160	286267
P4	3291	6769	3478	2898	160	463733
P5	14342	19068	4726	3938	160	630133
P6	14342	15459	1117	931	160	148933
M1	326	5643	5317	4431	45	199388
M2	13754	18328	4574	3812	45	171525
M3	10078	10078	0	0	22	0
				Razem w roku		1946379

Jest to wartość zbliżona (5%) do wartości prognozowanej przy obiegach nierozdzielonych.

11.7.7. Obliczenie różnicy zużycia energii do pompowania w obiegach nierozdzielonych i rozdzielonych

Z uwagi na niewielką rozbieżność zużycia energii elektrycznej do pompowania nośnika ciepła w obiegach nierozdzielonych przy mocy obecnej i maksymalnej, jako miarodajną do obliczeń przyjęto tę ostatnią.

Różnica zużycia energii pompowania [kWh]

1	Obiegi nierozdzielone	1989445
2	Obiegi rozdzielone	1512135
	Różnica	477310

12. Opis rozwiązań technicznych urządzeń

W wyniku obliczeń wyznaczono następujące parametry pomp w obiegach Ciepłowni C13.

Parametry przyjęto do układu docelowego obciążenia.

K1,2,3,4,5,6 – pompy kotłowe, MG1,2,3,4,5,6 – pompy gorącego mieszania, PZ – pompy zimnego mieszania, PS – pompy sieciowe. Wstępnie proponuje się pozostawienie pomp sieciowych (2 pracujące 1 rezerwowa) i wyposażenie ich w 2 falowniki.

	V [m ³ /h]	H [m]
K1	158.9	27.3
K2	79.4	18.8
K3	158.9	28.1
K4	79.4	18.8
K5	397.1	40.9
K6	164.3	26.0
MG1	81.4	5.1
MG2	36.5	2.6
MG3	81.4	4.2
MG4	40.7	1.8
MG5	203.4	3.3
MG6	80.4	2.6
PZ	544.7	7.4
PS	892.3	63.4

W tabeli poniżej podano wstępny dobór pomp i ich arkusze danych.

K1	IL-E 80/160-11/2	3
K2	IL-E 80/140-7.5/2	3
K3	IL-E 80/160-11/2	3
K4	IL-E 80/140-7.5/2	3
K5	IL 150/360-30/4	3
K6	IL-E 80/160-11/2	3
MG1	IL-E 125/210-5.5/2	2
MG2	IL-E 65/150-5.5/2	2
MG3	IL-E 125/210-5.5/2	1
MG4	IL-E 65/150-5.5/2	2
MG5	IL-E 125/210-5.5/2	3
MG6	IL-E 125/210-5.5/2	1
PZ	IL-E 150/200-7.5/4	3
PS	istniejące+falowniki	2



Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

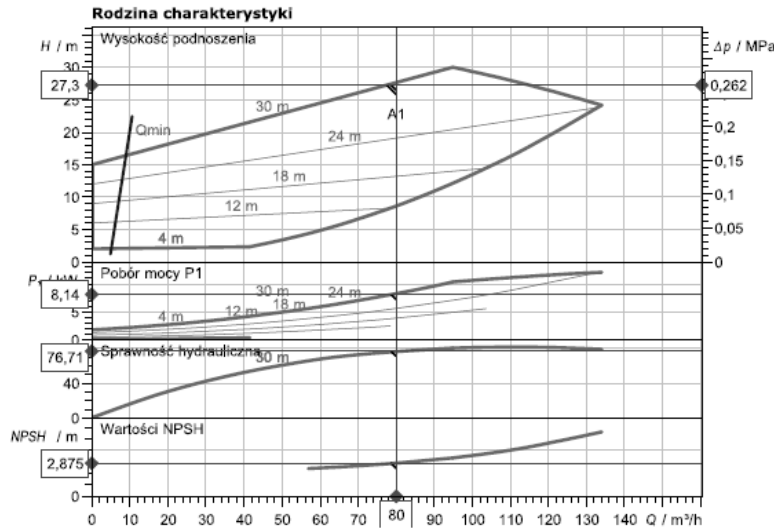
Dane techniczne

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza IL-E 80/160-11/2

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 15:40:59,940

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ	80,00 m ³ /h
Wysokość podnoszenia	27,30 m
Medium	Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy	70,00 °C
Gęstość	977,70 kg/m ³
Lepkość kinematyczna	0,41 mm ² /s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ	80,00 m ³ /h
Wysokość podnoszenia	27,30 m
Pobór mocy P1	8,14 kW
NPSH	2,88 m

Dane o produkcie

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza IL-E 80/160-11/2	
Rodzaj pracy	dp-v
Maksymalne ciśnienie robocze	1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy	-20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia	40 °C
Wskaźnik MEI	≥ 0.40

Dane silnika

Konstrukcja silnika	Standard
Klasa sprawności energetycznej	IE4
Napięcie zasilania	3~ 400 V / 50 Hz



Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

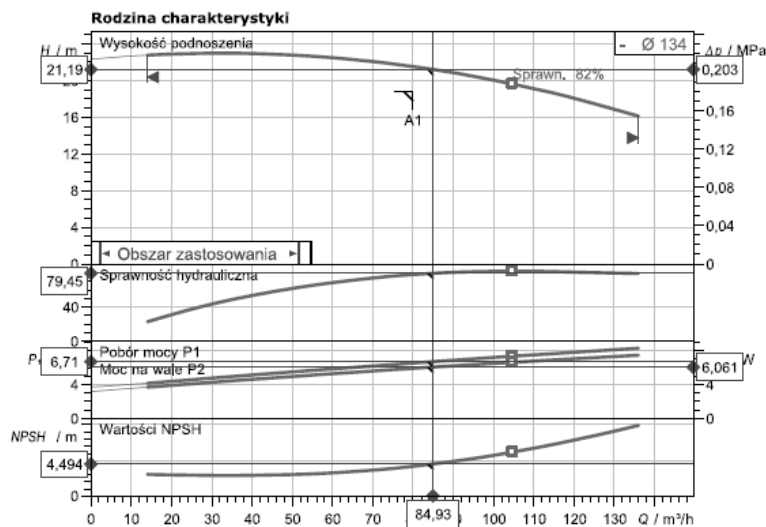
Dane techniczne

Dławnicowa pojedyncza pompa standardowa IL 80/140-7,5/2

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 15:40:59,940

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ	80,00 m ³ /h
Wysokość podnoszenia	18,80 m
Medium	Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy	70,00 °C
Gęstość	977,70 kg/m ³
Lepkość kinematyczna	0,41 mm ² /s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ	84,93 m ³ /h
Wysokość podnoszenia	21,19 m
Moc na wale P2	6,06 kW
Sprawność hydrauliczna	79,45 %
NPSH	4,49 m

Dane o produkcie

Dławnicowa pojedyncza pompa standardowa IL 80/140-7,5/2	
Maksymalne ciśnienie robocze	1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy	-20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia	40 °C
Wskaźnik MEI	≥ 0.40

Dane silnika

Poziom sprawności silnika	IE3
Napięcie zasilania	3~ 400 V / 50 Hz
Dozwolona tolerancja napięcia	±10 %

wilo

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

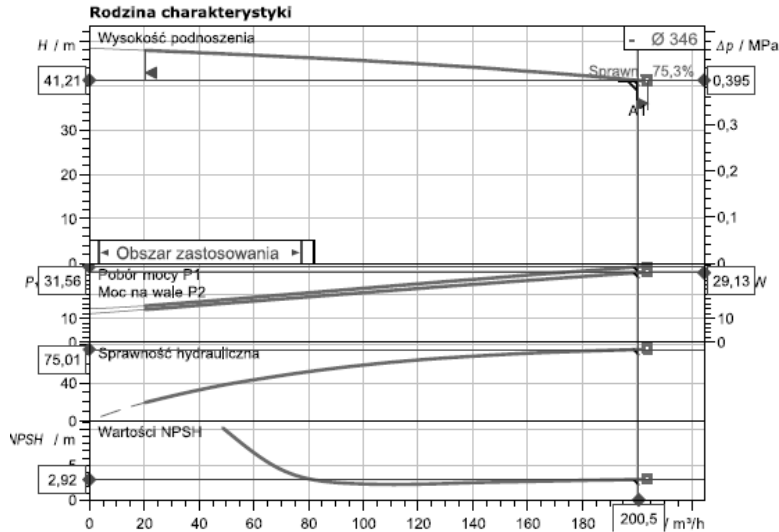
Dane techniczne

Dławnicowa pojedyncza pompa standardowa IL 150/360-30/4

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 15:40:59,940

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ 200,00 m³/h
Wysokość podnoszenia 41,00 m
Medium Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy 70,00 °C
Gęstość 977,70 kg/m³
Lepkość kinematyczna 0,41 mm²/s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ 200,52 m³/h
Wysokość podnoszenia 41,21 m
Moc na wale P2 29,13 kW
Sprawność hydrauliczna 75,01 %
NPSH 2,92 m

Dane o produkcie

Dławnicowa pojedyncza pompa standardowa
IL 150/360-30/4
Maksymalne ciśnienie robocze 1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy -20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia 40 °C
Wskaźnik MEI ≥ 0.40

Dane silnika

Poziom sprawności silnika IE3
Napięcie zasilania 3~ 400 V / 50 Hz
Dopuszczalna tolerancja napięcia ±10 %

wilo

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

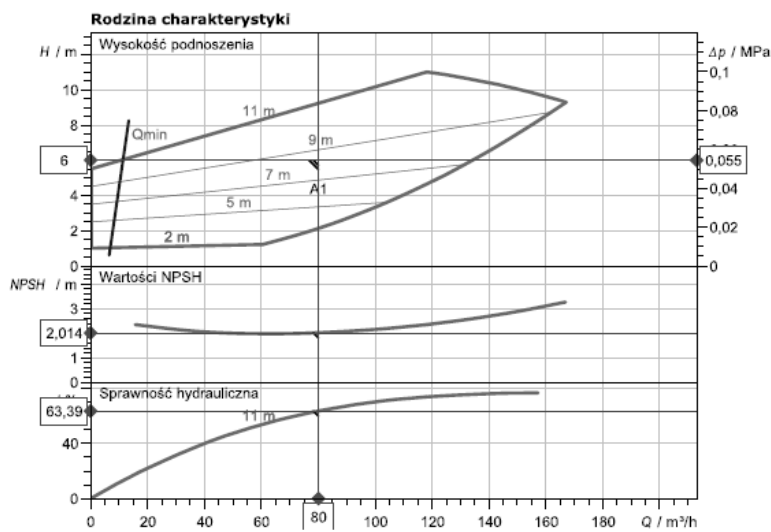
Dane techniczne

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza IL-E 125/210-5,5/4

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 13:16:27,379

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ 80,00 m³/h
Wysokość podnoszenia 6,00 m
Medium Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy 140,00 °C
Gęstość 926,10 kg/m³
Lepkość kinematyczna 0,20 mm²/s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ 80,00 m³/h
Wysokość podnoszenia 6,00 m
Pobór mocy P1 1,92 kW
NPSH 2,01 m

Dane o produkcie

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza
IL-E 125/210-5,5/4
Rodzaj pracy dp-v
Maksymalne ciśnienie robocze 1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy -20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia 40 °C
Wskaźnik MEI ≥ 0.40

Dane silnika

Konstrukcja silnika Standard
Klasa sprawności energetycznej IE4
Napięcie zasilania 3~ 400 V / 50 Hz

wilo

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

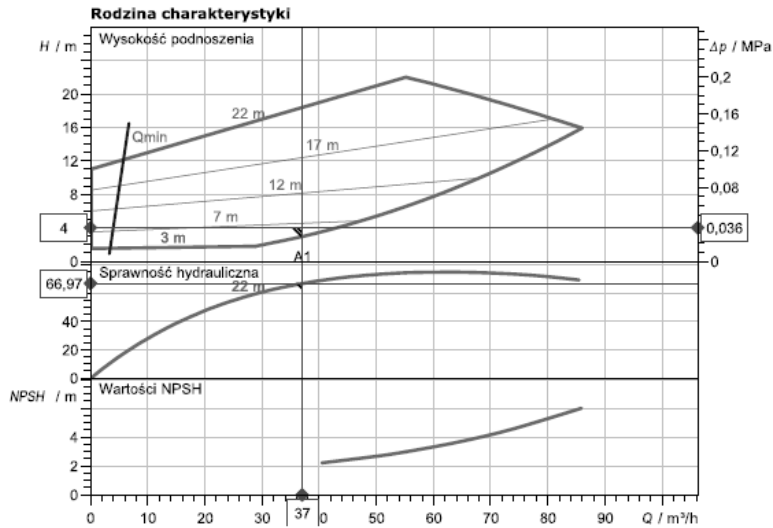
Dane techniczne

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza IL-E 65/150-5,5/2

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 13:16:27,379

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ	37,00 m³/h
Wysokość podnoszenia	4,00 m
Medium	Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy	140,00 °C
Gęstość	926,10 kg/m³
Lepkość kinematyczna	0,20 mm²/s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ	37,00 m³/h
Wysokość podnoszenia	4,00 m
Pobór mocy P1	0,67 kW
NPSH	

Dane o produkcie

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza
IL-E 65/150-5,5/2

Rodzaj pracy	dp-v
Maksymalne ciśnienie robocze	1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy	-20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia	40 °C
Wskaźnik MEI	≥ 0.40

Dane silnika

Konstrukcja silnika	Standard
Klasa sprawności energetycznej	IE4
Napięcie zasilania	3~ 400 V / 50 Hz

wilo

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

Klient

Osoba kontaktowa
E-mail
Telefon

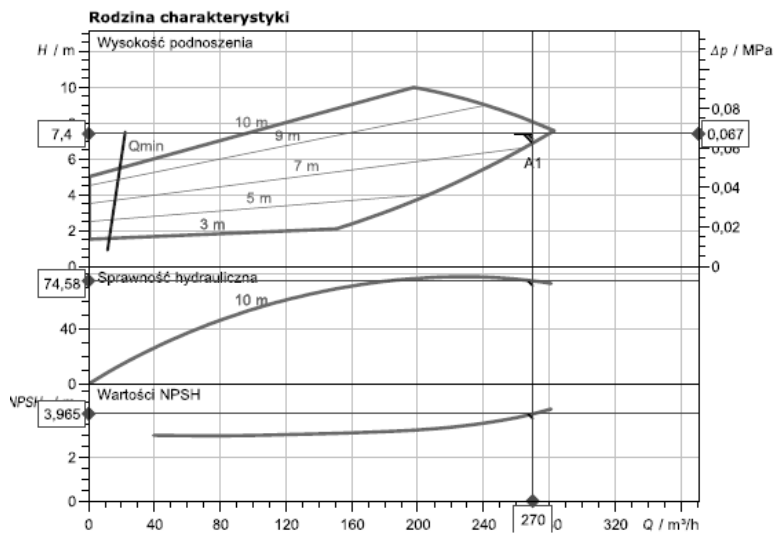
Dane techniczne

Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza IL-E 150/200-7,5/4

Nazwa projektu Nienazwany projekt 2017-05-16 13:16:27,379

ID projektu
Miejsce montażu
Numer pozycji klienta

Data 16.05.2017



Wprowadzenie danych eksploatacyjnych

Przepływ	270,00 m³/h
Wysokość podnoszenia	7,40 m
Medium	Woda 100 %
Temperatura przetłaczanej cieczy	140,00 °C
Gęstość	926,10 kg/m³
Lepkość kinematyczna	0,20 mm²/s

Dane hydrauliczne (punkt pracy)

Przepływ	270,00 m³/h
Wysokość podnoszenia	7,40 m
Pobór mocy P1	7,35 kW
NPSH	3,97 m

Dane o produkcie

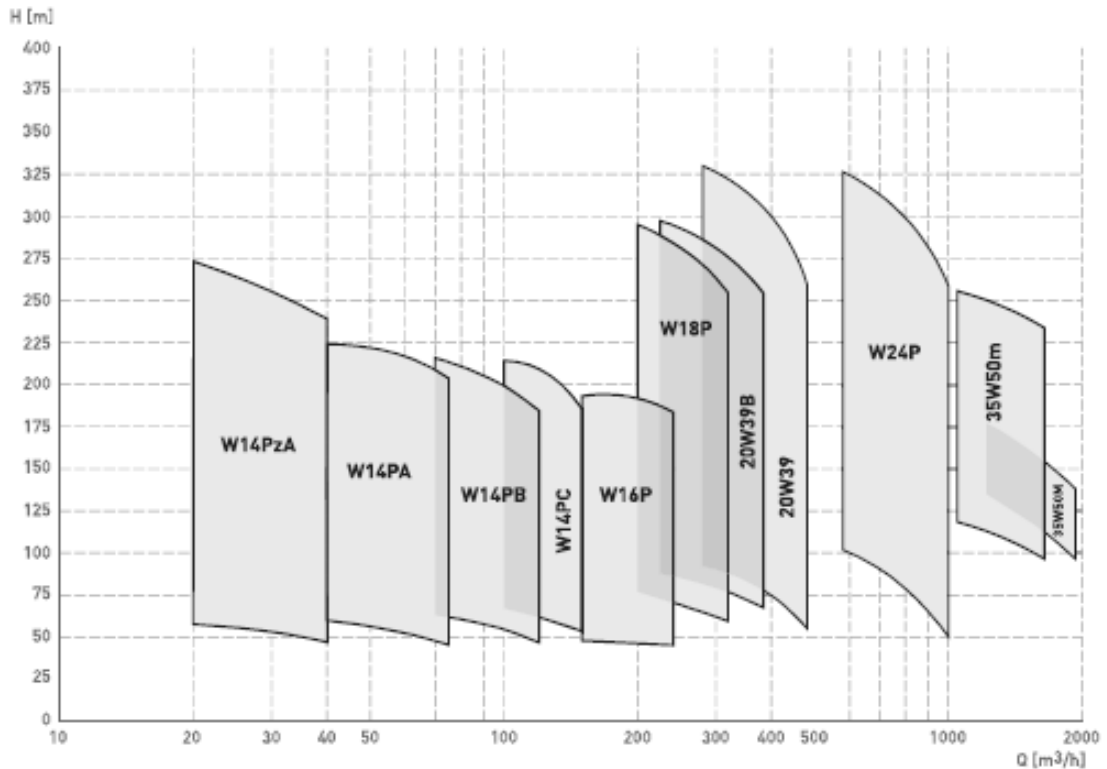
Energooszczędna dławnicowa pompa pojedyncza
IL-E 150/200-7,5/4

Rodzaj pracy	dp-v
Maksymalne ciśnienie robocze	1,6 MPa
Temperatura przetłaczanej cieczy	-20 °C ... +140 °C
Max. temp otoczenia	40 °C
Wskaźnik MEI	≥ 0.40

Dane silnika

Konstrukcja silnika	Standard
Klasa sprawności energetycznej	IE4
Napięcie zasilania	3~ 400 V / 50 Hz

POLA PRACY



W pompach kotłowych przewidziano 1 pompę rezerwową, w układzie pomp gorącego mieszania jedna pompa rezerwowa będzie wykorzystana do kotłów K1 i K3 oraz K5 i K6 przez odpowiednie spięcie przewodów.

13. Analiza ekonomiczna inwestycji

Średnia cenę zakupu energii elektrycznej netto określono na podstawie danych udostępnionych przez Zamawiającego.

w poz. 2 Tabeli nr 1 [B23]		
Szczyt przedpołudniowy	Szczyt popołudniowy	Pozostałe godziny doby
243,70	293,80	184,20

Średnia cena energii elektrycznej

L.p.	Pozycja	cena [zł/kWh]
1	Szczyt przedpołudniowy	0.2938
2	Szczyt popołudniowy	0.2437
3	Pozostałe godziny	0.1842
4	Średnio w całej dobie	0.2124

13.1. Zmniejszenie kosztu pompowania nośnika ciepła

Zmianę kosztu zakupu energii elektrycznej uwidoczniiono w tabeli poniżej.

Różnica kosztu zakupu energii elektrycznej netto

L.p.	Rodzaj obiegów	energia [kWh]	cena [zł/kWh]	różnica kosztu [zł]
1	Obiegi nierozdzielone	1989445	0.2124	422525
2	Obiegi rozdzielone	1512135	0.2124	321152
	Różnica	477310	0.2124	101373

13.2. Koszt inwestycji

W tabeli podano orientacyjną cenę i koszt pomp w 2 wariantach - ceny katalogowe i ceny z uwzględnieniem 35% rabatu (wartość prawdopodobna).

Dobór pomp i koszt zakupu (cena katalogowa) 1e=4.19 zł

	TYP	Liczba	Cena [euro]	Koszt (euro)	Koszt [zł]
K1	IL-E 80/160-11/2	3	7883	23649	98853
K2	IL-E 80/140-7.5/2	3	5827	17481	73071
K3	IL-E 80/160-11/2	3	7883	23649	98853
K4	IL-E 80/140-7.5/2	3	5827	17481	73071
K5	IL 150/360-30/4	3	16445	49335	206220
K6	IL-E 80/160-11/2	3	7883	23649	98853
MG1	IL-E 125/210-5.5/2	2	6764	13528	56547
MG2	IL-E 65/150-5.5/2	2	5517	11034	46122
MG3	IL-E 125/210-5.5/2	1	6764	6764	28274
MG4	IL-E 65/150-5.5/2	2	5517	11034	46122
MG5	IL-E 125/210-5.5/2	3	6764	20292	84821
MG6	IL-E 125/210-5.5/2	1	6764	6764	28274
PZ	IL-E 150/200-7.5/4	3	8440	25320	105838
PS	istniejące+falowniki	2	9000	18000	75240
Razem				267980	1120156

Dobór pomp i koszt zakupu (z możliwym rabatem 35%) 1e=4.19 zł

	TYP	Liczba	Cena (euro)	Koszt (euro)	Koszt [zł]
K1	IL-E 80/160-11/2	3	5124	21418	89528
K2	IL-E 80/130-5.5/2	3	3788	11363	47496
K3	IL-E 80/160-11/2	3	5124	15372	64254
K4	IL-E 80/130-5.5/2	3	3788	11363	47496
K5	IL 150/335-37/4	3	10689	32068	134043
K6	IL-E 80/160-11/2	3	5124	15372	64254
MG1	IL-E 125/210-5.5/2	2	4397	8793	36756
MG2	IL-E 65/150-5.5/2	2	3586	7172	29979
MG3	IL-E 125/210-5.5/2	1	4397	4397	18378
MG4	IL-E 65/150-5.5/2	2	3586	7172	29979
MG5	IL-E 125/210-5.5/2	3	4397	13190	55133
MG6	IL-E 125/210-5.5/2	1	4397	4397	18378
PZ	IL-E 150/200-7.5/4	3	5486	16458	68794
PS	istniejące+falowniki	2	5850	11700	48906
Razem				180233	753375

Obok zakupu pomp również uwzględniono koszty wykonawstwa i rozruchu i odbiorów:

Preliminarz kosztów inwestycji (z rabatem 35%)

L.p.	Pozycja	koszt [zł]
1	Urządzenia	753375
2	Wykonawstwo	150000
3	Rozruch i odbiory	30000
4	Razem	933375

Preliminarz kosztów inwestycji (bez rabatu)

L.p.	Pozycja	koszt [zł]
1	Urządzenia	1120156
2	Wykonawstwo	150000
3	Rozruch i odbiory	30000
4	Razem	1300156

13.3. Wskaźniki atrakcyjności ekonomicznej inwestycji

Poniżej podano prosty czas zwrotu w obydwu wariantów (z rabatem i bez rabatu)

SPBT	bez rabatu	z rabatem
lat	12.8	9.2

Do oceny atrakcyjności inwestycji w układzie dynamicznym zastosowano metodykę podobną do NPV (wartości bieżącej netto), określając skumulowane, zdyskontowane koszty inwestycji i eksploatacji bez inwestycji i z inwestycją w czasie życia inwestycji (przyjęto 15 lat). Wyniki zaprezentowano na wykresach i w tabelach.

stopa redyskonta	5	%
stopa redyskonta+wzrostu cen	6.5	%
stopa wzrostu cen	1.5	%

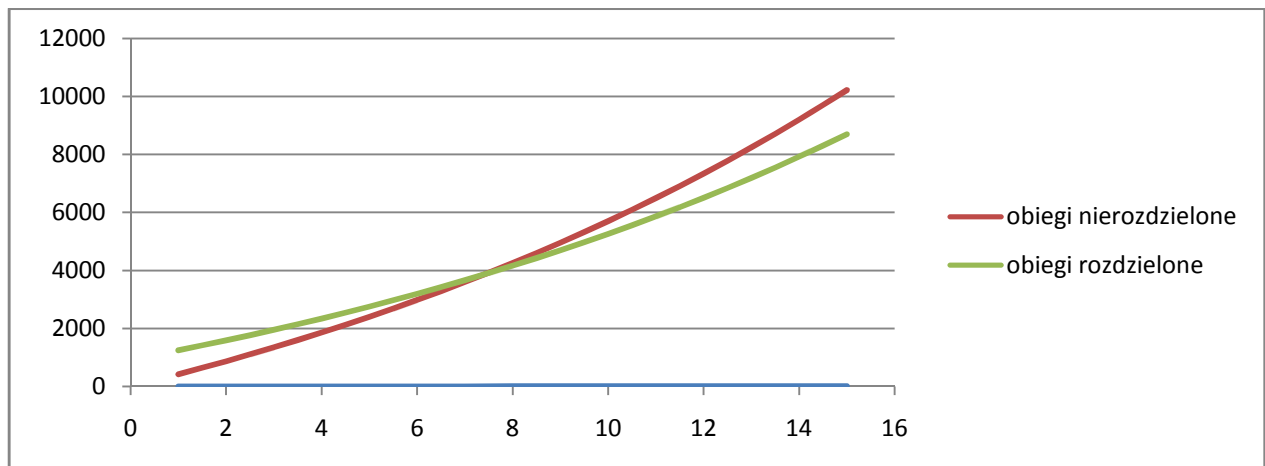
rabat	koszty w tys. zł			obieg nierozdzielone
rok	inwestycja	eksploatacja	suma	
	0.00	422.52	422.52	422.52
1		449.99	449.99	872.51
2		479.24	479.24	1351.75
3		510.39	510.39	1862.14
4		543.56	543.56	2405.71
5		578.90	578.90	2984.60
6		616.52	616.52	3601.13
7		656.60	656.60	4257.72
8		699.28	699.28	4957.00
9		744.73	744.73	5701.73
10		793.14	793.14	6494.87
11		844.69	844.69	7339.56
12		899.60	899.60	8239.16
13		958.07	958.07	9197.23
14		1020.34	1020.34	10217.57
15				

rok	inwestycja	koszty w tys. zł		obiegi rozdzielone
		eksploatacja	suma	
1	933.38	321.15	1254.53	1254.53
2		342.03	342.03	1596.55
3		364.26	364.26	1960.81
4		387.94	387.94	2348.75
5		413.15	413.15	2761.90
6		440.01	440.01	3201.91
7		468.61	468.61	3670.51
8		499.07	499.07	4169.58
9		531.51	531.51	4701.09
10		566.05	566.05	5267.14
11		602.85	602.85	5869.99
12		642.03	642.03	6512.02
13		683.76	683.76	7195.78
14		728.21	728.21	7923.99
15		775.54	775.54	8699.54

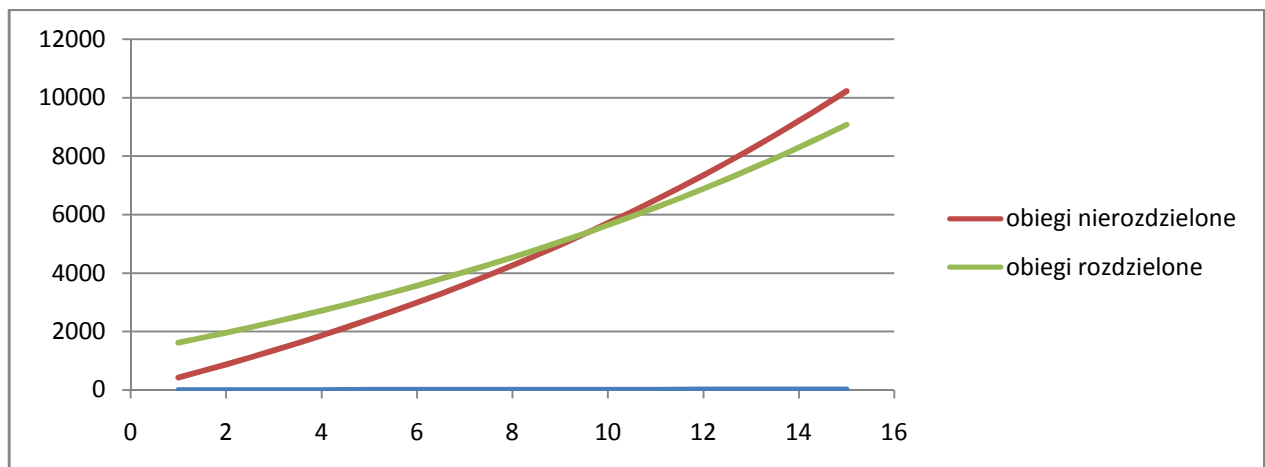
rok	inwestycja	koszty w tys. zł		obiegi nierozdzielone
		eksploatacja	suma	
1	0.00	422.52	422.52	422.52
2		449.99	449.99	872.51
3		479.24	479.24	1351.75
4		510.39	510.39	1862.14
5		543.56	543.56	2405.71
6		578.90	578.90	2984.60
7		616.52	616.52	3601.13
8		656.60	656.60	4257.72
9		699.28	699.28	4957.00
10		744.73	744.73	5701.73
11		793.14	793.14	6494.87
12		844.69	844.69	7339.56
13		899.60	899.60	8239.16
14		958.07	958.07	9197.23
15		1020.34	1020.34	10217.57

rok	inwestycja	koszty w tys. zł		obiegi rozdzielone
		eksploatacja	suma	
1	1300.16	321.15	1621.31	1621.31
2		342.03	342.03	1963.34
3		364.26	364.26	2327.60
4		387.94	387.94	2715.53
5		413.15	413.15	3128.68
6		440.01	440.01	3568.69
7		468.61	468.61	4037.30
8		499.07	499.07	4536.36
9		531.51	531.51	5067.87
10		566.05	566.05	5633.92
11		602.85	602.85	6236.77
12		642.03	642.03	6878.80
13		683.76	683.76	7562.57
14		728.21	728.21	8290.77
15		775.54	775.54	9066.32

Skumulowane koszty inwestycji i eksploatacji z uwzględnieniem rabatu w zakupie urządzeń:



Skumulowane koszty inwestycji i eksploatacji bez uwzględnienia rabatu w zakupie urządzeń:



Zdyskontowany czas zwrotu wynosi odpowiednio: 8 lat i 10 lat. Są to wyniki przeciętne w energetyce.

Aspektem korzystnym jest równoległe prowadzona modernizacja kotłów, która i tak wymaga zastosowania pomp kotłowych.

14. Analiza SWOT inwestycji

Silne strony:

- a. Ułatwienie eksploatacji kotłowni,
- b. Usprawnienie automatycznej regulacji parametrów,
- c. Zmniejszenie kosztu pompowania nośnika ciepła,

- d. Połączenie inwestycji rozdzielania obiegów z planowaną modernizacją jednostek kotłowych.

Słabe strony:

- a. Niska cena zakupu energii elektrycznej,
- b. Średnie parametry atrakcyjności ekonomicznej.

Szanse:

- a. Budowa przejrzystego układu ciepłowni pozwalająca na modułową dobudowę np. kotła olejowego, gazowego lub bloku kogeneracyjnego,
- b. Usprawnienie eksploatacji Ciepłowni,
- c. Podwyżka cen energii elektrycznej.

Zagrożenia:

- a. Możliwa podwyżka cen urządzeń i kosztu wykonania inwestycji,
- b. Wpływ czynników losowych na przygotowanie inwestycji – mało prawdopodobny

15. Przykładowy harmonogram realizacji inwestycji

Przykładowy harmonogram realizacji inwestycji		9. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	1. 2018	2. 2018	3. 2018	4. 2018	5. 2018	6. 2018	7. 2018	8. 2018	9. 2018	10. 2018
1	Dokumentacja wstępna														
2	Przygotowanie przetargu do projektu														
3	Wybór wykonawcy dokumentacji wykonawczej														
4	Opracowanie SIWZ i wykonanie projektu wykonawczego														
5	Prace demontażowe														
6	Montaż pomp i rurociągów														
7	Zabezpieczenie antykorozyjne i izolacja														
8	Automatyczna regulacja														
9	Odbiory														
10	Rozruch														
11	Oddanie do eksploatacji														
12	Weryfikacja parametrów, monitoring														

16. Analiza oddziaływania na środowisko

W wyniku podjętych działań inwestycyjnych zmniejszy się zużycie energii elektrycznej do pompowania nośnika ciepła

W poniższej tabeli zestawiono wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających do powietrza atmosferycznego przy różnych rodzajach paliwa.

Wskaźniki emisji na 1 GJ energii chemicznej paliwa

L.p.	Zanieczyszczenie	Wskaźnik emisji [g/GJ]				
		węgiel	olej lekki	drewno	gaz 2E	propan
1	Pył	910	0	360	0	0
2	Sadza	458	0	0	0	0
3	tlenek węgla	5000	36	1250	28	14
4	Dwutlenek węgla	92000	72000	114000	56000	21700
5	Dwutlenek siarki	800	140	0	0	0
6	tlenki azotu	50	90	90	35	35
7	Węglowodory	1410	100	700	0	0
8	benzo(*)piren	550	0	0	0	0

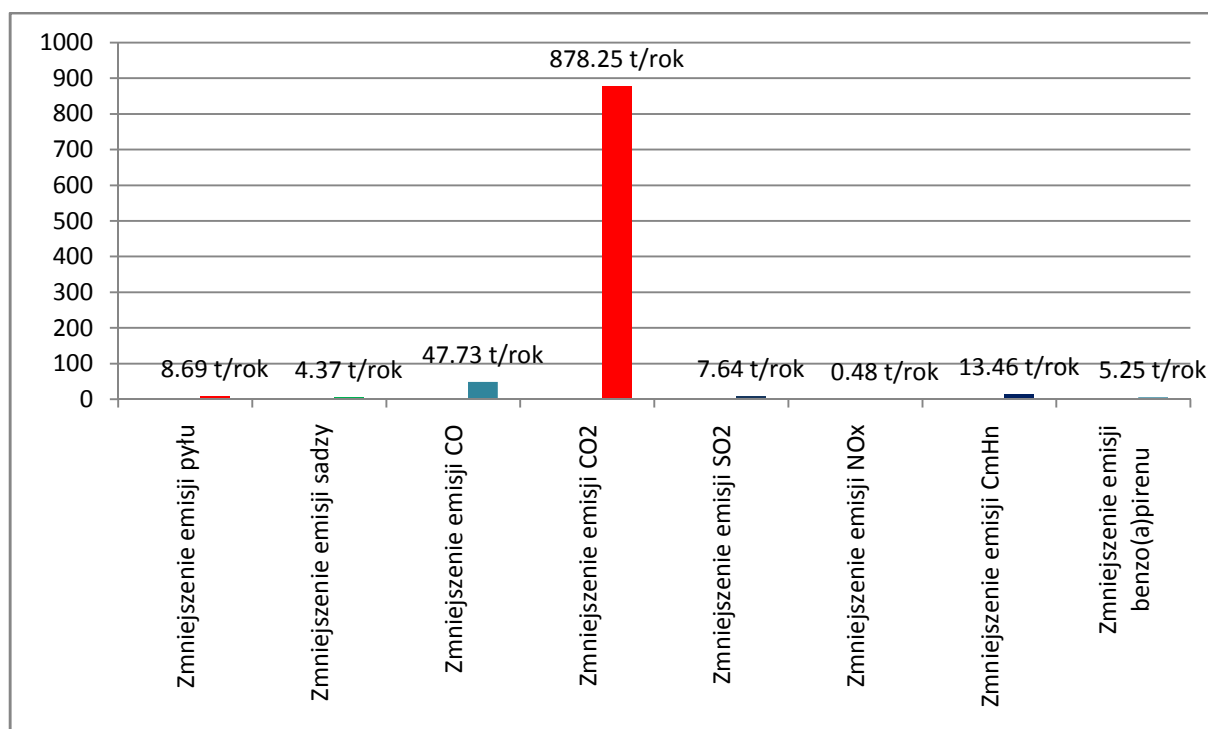
W następnym tabeli przedstawiono efekt ekologiczny – zmniejszenie emisji zanieczyszczeń.

Efekt ekologiczny nie występuje loco Ciepłownia C13, występuje globalnie w kraju.

Zmniejszenie emisji zanieczyszczeń

L.p.			
1	Różnica zużycia energii	kWh	477310
2	Efektywność wytwarzana i transportu energii		0.18
3	Energia w paliwie	kWh	2651720
		GJ	9546
4	Zmniejszenie emisji pyłu	t/rok	8.69
5	Zmniejszenie emisji sadzy	t/rok	4.37
6	Zmniejszenie emisji CO	t/rok	47.73
7	Zmniejszenie emisji CO ₂	t/rok	878.25
8	Zmniejszenie emisji SO ₂	t/rok	7.64
9	Zmniejszenie emisji NO _x	t/rok	0.48
10	Zmniejszenie emisji C _m H _n	t/rok	13.46
11	Zmniejszenie emisji benzo(a)pirenu	t/rok	5.25

Wyniki przedstawiono graficznie



17. Oddziaływanie społeczno-gospodarcze

Planowana inwestycja przyczyni się do ożywienia koniunktury w regionie przez zatrudnienie firm o określonym potencjale i określonej specjalizacji. Inwestycja nie niesie ujemnych skutków społeczno-gospodarczych.

18. Kolejne działania niezbędne do realizacji inwestycji

Kolejność działań uwidoczniono w przykładowym harmonogramie realizacji inwestycji, patrz p. 15.

19. Podsumowanie i wnioski

W obecnym studium wykonalności sporządzono niezbędne obliczenia i analizy określające parametry techniczne i ekonomiczne planowanej inwestycji rozdzielania obiegów w Ciepłowni C13 przy ul. Spichrzowej w Gnieźnie. Przeprowadzone obliczenia i analizy mogą dostarczyć Zarządowi PEC w Gnieźnie przesłanek do podjęcia decyzji o wprowadzeniu inwestycji w życie. Można sformułować następujące wnioski końcowe:

19.1. Planowana inwestycja jest korzystna ze względu na usprawnienie eksploatacji Ciepłowni.

19.2 Planowana inwestycja jest korzystna ze względu na możliwości lepszych procedur automatyzacji parametrów Ciepłowni.

19.3. Planowana inwestycja charakteryzuje się średnimi wskaźnikami atrakcyjności ekonomicznej: SPBT ok. 10-12 lat w różnych wariantach, DPBT (zdyskontowany): 8-10 lat. Nie są to wskaźniki najkorzystniejsze, ale w inwestycjach w energetyce i ciepłownictwie rzadko są lepsze.

19.4. Niska cena zakupu energii elektrycznej jest, z jednej strony, czynnikiem korzystnym, obniżającym koszty eksploatacji kotłowni, z drugiej przyczynia się do obniżenia wskaźników atrakcyjności inwestycji.

19.5. Planowana inwestycja prowadzi do zmniejszenia mocy zainstalowanej i mocy szczytowej w Ciepłowni, co wiąże się z wielkością mocy zamówionej.

10.6. Zdaniem autora opracowania inwestycja jest uzasadniona, zwłaszcza z uwagi na połączenie z planowaną modernizacją układów 3 kotłów w Ciepłowni C13.

Opracował: dr inż. Kazimierz Żarski