

**WODNE  
SIECI  
CIEPŁOWNICZE**

**+ programy  
kalkulacyjne**

KAZIMIERZ ŻARSKI

# WODNE SIECI CIEPŁOWNICZE

+ programy  
kalkulacyjne

**POL***cen*

POLCEN  
Warszawa 2025

© **Copyright by**

Oficyna Wydawnicza POLCEN i Kazimierz Żarski  
Warszawa 2025

**Autor**

dr inż. Kazimierz Żarski

**Redaktor naczelny**

inż. Ryszard Sobolewski

**Redaktor prowadzący**

Jacek Sobolewski

**Redaktor**

Anna Bogdańska  
redakcja@polcen.com.pl

**Sekretarz redakcji**

Aneta Radziszewska  
wydawnictwo@polcen.com.pl

**Projektant okładki**

Ewa „Kropka” Lachowska

**Skład i łamanie**

ARTKOM Tomasz Drażek

**Wszelkie prawa zastrzeżone**

**Stan prawny:** 1 stycznia 2025 r.

**ISBN 978-83-64795-85-5**

**Wydawca**

POLCEN Sp. z o.o.  
ul. Nowogrodzka 31, lok. 333  
00-511 Warszawa  
tel. 601 885 039

**www.polcen24.pl**

(księgarnia internetowa)

# SPIS TREŚCI

<b>Od Wydawcy</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>Przedmowa</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>Rozdział 1. Wiadomości ogólne</b> . . . . .	<b>15</b>
1.1. Scentralizowane systemy dostawy ciepła – podstawowe informacje i definicje . .	<b>15</b>
1.2. Klasyfikacja sieci ciepłych (ciepłowniczych). . . . .	<b>18</b>
1.2.1. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na rodzaj nośnika ciepła . . . . .	<b>18</b>
1.2.2. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na temperaturę nośnika ciepła. . . . .	<b>19</b>
1.2.3. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na ciśnienie robocze . . . . .	<b>20</b>
1.2.4. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na rodzaj zapotrzebowania na moc cieplną . . . . .	<b>20</b>
1.2.5. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na liczbę przewodów . . . . .	<b>20</b>
1.2.6. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na sposób budowy . . . . .	<b>24</b>
1.2.7. Klasyfikacja sieci ciepłych ze względu na układ geometryczny . . . . .	<b>26</b>
1.2.8. Klasyfikacja sieci ciepłowniczych ze względu na znaczenie w systemie ciepłowniczym . . . . .	<b>27</b>
1.2.9. Podział sieci ciepłych ze względu na rodzaj zasilanego obszaru . . . . .	<b>28</b>
1.3. Stan prawny w dziedzinie sieci ciepłowniczych . . . . .	<b>28</b>
1.3.1. Ustawy i rozporządzenia . . . . .	<b>28</b>
1.3.2. Normy zharmonizowane . . . . .	<b>30</b>
1.3.3. Normy krajowe . . . . .	<b>32</b>
1.3.4. Inne źródła . . . . .	<b>32</b>
<b>Rozdział 2. Elementy budowy i wyposażenia kanałowych i nadziemnych wodnych sieci ciepłowniczych</b> . . . . .	<b>33</b>
2.1. Przewody i armatura sieci ciepłowniczych . . . . .	<b>33</b>
2.1.1. Przewody . . . . .	<b>33</b>
2.1.2. Armatura odcinająca . . . . .	<b>38</b>
2.1.2. Armatura pomocnicza: odpowietrzenie i odwodnienie, obejście obiegowe . .	<b>40</b>
2.2. Aparatura kontrolno-pomiarowa w sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>43</b>
2.3. Podpory i zamocowania przewodów sieci ciepłowniczych . . . . .	<b>45</b>

## SPIS TREŚCI

2.3.1. Podpory i zamocowania przesuwne . . . . .	45
2.3.2. Podpory stałe . . . . .	48
2.3.3. Elementy konstrukcyjne w sieci ciepłowniczej . . . . .	51
2.4. Elementy kompensujące wydłużenie cieplne w sieciach kanałowych i nadziemnych . . . . .	57
2.4.1. Układy samokompensacji w sieciach kanałowych i nadziemnych . . . . .	57
2.4.2. Wydłużki w sieciach kanałowych i nadziemnych . . . . .	57
2.5. Izolacja cieplna przewodów . . . . .	59

### **Rozdział 3. Elementy budowy i wyposażenia preizolowanych wodnych sieci ciepłowniczych . . . . . 65**

3.1. Przewody i armatura preizolowanych sieci ciepłowniczych . . . . .	65
3.1.1. Przewody preizolowanych sieci ciepłowniczych . . . . .	65
3.1.2. Armatura odcinająca w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	71
3.1.3. Armatura pomocnicza w preizolowanych sieciach ciepłowniczych: odpowietrzenie i odwodnienie . . . . .	72
3.2. Aparatura kontrolno-pomiarowa w preizolowanej sieci ciepłowniczej . . . . .	73
3.3. Elementy kompensujące wydłużenie cieplne w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	73
3.3.1. Układy samokompensacji w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	73
3.3.2. Wydłużki startowe w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	74
3.4. Elementy konstrukcyjne w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	75
3.5. Elementy systemu alarmowego w preizolowanych sieciach ciepłowniczych . . . . .	75

### **Rozdział 4. Podstawy fizyczne przepływu nośnika ciepła . . . . . 79**

4.1. Właściwości fizyczne wody w ujęciu komputerowym . . . . .	79
4.2. Równania ruchu płynu . . . . .	80
4.3. Przepływ wody w przewodach sieci ciepłowniczej . . . . .	87
4.4. Obliczenia strat ciśnienia w promieniowej sieci ciepłowniczej . . . . .	90
4.5. Obliczenia strat ciśnienia w pierścieniowej sieci ciepłowniczej . . . . .	91

### **Rozdział 5. Podstawy fizyczne przepływu ciepła . . . . . 95**

5.1. Równania przekazywania ciepła: przewodzenia, przejmowania i promieniowania . . . . .	95
5.2. Straty ciepła do otoczenia i schłodzenie nośnika ciepła w przewodach sieci ciepłowniczej – podstawy teoretyczne . . . . .	108

<b>Rozdział 6. Obliczenia cieplne i hydrauliczne sieci ciepłowniczej</b> . . . . .	<b>117</b>
6.1. Zasady wyznaczania bilansu cieplnego obszaru objętego zasięgiem sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>117</b>
6.2. Zasady wyznaczania parametrów sieci i strumienia masy nośnika ciepła w odcinkach sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>121</b>
6.3. Wspomagane komputerowo obliczenia hydrauliczne (strat ciśnienia) w sieci promieniowej . . . . .	<b>125</b>
6.4. Wspomagane komputerowo obliczenia hydrauliczne (strat ciśnienia) w sieci pierścieniowej . . . . .	<b>130</b>
6.5. Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej z uwzględnieniem zasięgu sieci i konfiguracji terenu wraz z wytycznymi do projektowania pompowni sieciowych . . . . .	<b>133</b>
6.6. Elementy regulacji ciśnienia w sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>137</b>
6.7. Sposoby zabezpieczenia elementów sieci ciepłowniczej przed kawitacją i pulsacją ciśnienia . . . . .	<b>140</b>
6.8. Regulacja parametrów operacyjnych sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>143</b>
6.9. Wpływ obniżenia temperatury wody powrotnej na wielkość strumienia nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>148</b>
6.10. Wpływ obniżenia temperatury wody zasilającej na wielkość strumienia nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej . . . . .	<b>151</b>
<b>Rozdział 7. Pompownie sieciowe</b> . . . . .	<b>153</b>
7.1. Dobór parametrów pompowni sieciowej . . . . .	<b>153</b>
7.2. Dobór pomp w pompowni sieciowej . . . . .	<b>154</b>
7.3. Schemat ideowy pompowni sieciowej . . . . .	<b>157</b>
7.4. Algorytmy regulacji pompowni sieciowej . . . . .	<b>158</b>
7.5. Budynek pompowni sieciowej . . . . .	<b>160</b>
<b>Rozdział 8. Powiązanie sieci ciepłowniczej ze źródłem ciepła</b> . . . . .	<b>163</b>
8.1. Optymalny schemat kotłowni współpracującej z siecią ciepłowniczą . . . . .	<b>163</b>
8.2. Optymalny schemat bloku elektrociepłowni współpracującej z siecią ciepłowniczą . . . . .	<b>165</b>
8.3. Zasady doboru zasobnika ciepła w elektrociepłowni . . . . .	<b>167</b>
8.4. Zasady współpracy sieci ciepłowniczej z odnawialnymi źródłami ciepła i małymi układami kogeneracji . . . . .	<b>169</b>

## SPIS TREŚCI

<b>Rozdział 9. Straty ciepła i schłodzenie nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej</b> .....	<b>171</b>
9.1. Dobór grubości izolacji przewodów sieci ciepłowniczej .....	171
9.2. Wspomagane komputerowo obliczenie chwilowych i sezonowych strat ciepła w sieci ciepłowniczej .....	171
9.3. Wpływ grubości izolacji przewodów na sezonowe straty ciepła .....	185
9.4. Wpływ obniżenia temperatury wody sieciowej na wielkość sezonowych strat ciepła w systemie ciepłowniczym .....	186
9.5. Wspomagane komputerowo obliczenie schłodzenia nośnika ciepła na drodze przepływu .....	189
<b>Rozdział 10. Obliczenia wytrzymałościowe kanałowych i nadziemnych sieci ciepłowniczych</b> .....	<b>191</b>
10.1. Wydłużenie cieplne przewodów kanałowej i nadziemnej sieci ciepłowniczej ..	191
10.2. Wyznaczenie położenia podpór stałych .....	193
10.3. Dobór i lokalizacja elementów kompensujących wydłużenie cieplne przewodów kanałowej i nadziemnej sieci ciepłowniczej .....	194
10.4. Wyznaczenie sił działających na podpory przesuwne i stałe .....	199
10.5. Wytyczne do projektu konstrukcyjnego sieci ciepłowniczej .....	205
<b>Rozdział 11. Uprozczone obliczenia wytrzymałościowe preizolowanych sieci ciepłowniczych</b> .....	<b>207</b>
11.1. Rozkład naprężeń i sił osiowych w rurociągu o zmiennej temperaturze, wydłużenie przewodu .....	208
11.2. Technika montażu przewodów preizolowanej sieci ciepłowniczej .....	216
11.3. Dobór elementów kompensujących wydłużenie cieplne przewodów preizolowanej sieci ciepłowniczej .....	221
11.4. Wyznaczenie sił działających na podpory stałe w preizolowanych sieciach ciepłowniczych .....	226
<b>Rozdział 12. Systemy alarmowe preizolowanych sieci ciepłowniczych</b> .....	<b>229</b>
12.1. Zasady budowy schematu ideowego rezystancyjnego systemu alarmowego ..	229
12.2. Zasady budowy schematu ideowego impulsowego systemu alarmowego ..	233

<b>Rozdział 13. Kształtowanie trasy i wysokości położenia sieci ciepłowniczej w terenie zurbanizowanym . . . . .</b>	<b>237</b>
13.1. Uwarunkowania lokalizacyjne sieci ciepłowniczej i zasady ogólne . . . . .	237
13.2. Kształtowanie trasy i wysokości położenia sieci kanałowej . . . . .	244
13.3. Kształtowanie trasy i wysokości i położenia sieci nadziemnej . . . . .	245
13.4. Kształtowanie trasy i wysokości i położenia sieci preizolowanej. . . . .	246
13.5. Powiązanie preizolowanych sieci ciepłowniczych z sieciami nadziemnymi i kanałowymi . . . . .	250
<b>Rozdział 14. Projekt budowlany sieci ciepłowniczej – część cieplna i hydrauliczna . . . . .</b>	<b>253</b>
14.1. Dane wejściowe do projektu sieci ciepłowniczej . . . . .	254
14.1.1. Mapy do celów projektowych. . . . .	255
14.1.2. Badania geologiczne i hydrologiczne . . . . .	256
14.1.3. Wypis z rejestru własności gruntów . . . . .	258
14.1.4. Dokumenty organów architektoniczno-budowlanych . . . . .	259
14.1.5. Warunki techniczne przyłączenia do sieci ciepłowniczej. . . . .	260
14.1.6. Projekt lub bilans cieplny węzłów cieplnych w budynkach . . . . .	261
14.2. Opis techniczny do projektu budowlanego sieci ciepłowniczej. . . . .	262
14.3. Obliczenia projektowe . . . . .	264
14.4. Część rysunkowa projektu sieci ciepłowniczej . . . . .	265
14.5. Niezbędne uzgodnienia lokalizacyjne i merytoryczne z podmiotami zewnętrznymi . . . . .	271
14.6. Projekt techniczny sieci ciepłowniczej . . . . .	272
<b>Rozdział 15. Nadzór inwestorski nad budową sieci ciepłowniczej . . . . .</b>	<b>275</b>
15.1. Zakres działania inspektora nadzoru na budowie sieci ciepłowniczej . . . . .	275
15.1.1. Zapoznanie się z dokumentacją techniczną i jej merytoryczna ocena . . . . .	278
15.1.2. Ustalenia zasad współpracy z wykonawcą . . . . .	279
15.1.3. Bieżąca kontrola jakości wykonywanych robót . . . . .	279
15.1.4. Udział w próbach i odbiorach częściowych (robót zanikających). . . . .	280
15.1.5. Udział w niezbędnych badaniach . . . . .	280
15.1.6. Udział w odbiorze końcowym. . . . .	281

## SPIS TREŚCI

15.1.7. Potwierdzenie wykonanych robót i usunięcia wad . . . . .	282
15.1.8. Kontrola finansowa realizacji zadania . . . . .	282
15.2. Elementy robót przy wykonawstwie preizolowanej sieci ciepłowniczej wraz z zakresem czynności kontrolnych Inspektora Nadzoru . . . . .	283
15.2.1. Przekazanie i zagospodarowanie terenu budowy . . . . .	284
15.2.2. Składowanie materiałów . . . . .	285
15.2.3. Wytyczenie trasy sieci ciepłowniczej . . . . .	285
15.2.4. Rozbiórka nawierzchni . . . . .	286
15.2.5. Wykopy . . . . .	286
15.2.6. Podsypka . . . . .	287
15.2.7. Ułożenie rurociągów w wykopie . . . . .	287
15.2.8. Wykonanie stref kompensacyjnych . . . . .	287
15.2.9. Połączenia spawane rurociągów i ich badanie . . . . .	287
15.2.10. Montaż kompensatorów jednorazowych (opcjonalnie) . . . . .	290
15.2.11. Montaż armatury . . . . .	290
15.2.12. Montaż złączy rurociągów i badanie ich szczelności . . . . .	290
15.2.13. Przejścia przez przegrody budowlane . . . . .	291
15.2.14. Odcinkowa próba ciśnieniowa . . . . .	291
15.2.15. Podgrzew wstępny (opcjonalnie) . . . . .	291
15.2.16. Testy odcinkowe systemu alarmowego . . . . .	291
15.2.17. Płukanie rurociągów . . . . .	292
15.2.18. Wykonanie elementów konstrukcyjnych (opcjonalnie). . . . .	292
15.2.19. Przejścia w przeciskach i rurach ochronnych (opcjonalnie) . . . . .	292
15.2.20. Kompleksowe testy systemu alarmowego. . . . .	293
15.2.21. Geodezyjna inwentaryzacja powykonawcza . . . . .	293
15.2.22. Zasypanie wykopów i zagęszczenie gruntu . . . . .	293
15.2.23. Odtworzenie nawierzchni . . . . .	293
15.2.24. Odbiór końcowy i przekazanie do użytkowania. . . . .	294
<b>Bibliografia . . . . .</b>	<b>297</b>
<b>Załącznik. Programy kalkulacyjne . . . . .</b>	<b>303</b>
<b>Wykaz rysunków . . . . .</b>	<b>305</b>
<b>Wykaz tabel . . . . .</b>	<b>313</b>

## OD WYDAWCY

Oddajemy do rąk Czytelników książkę „**Wodne sieci ciepłownicze**” autorstwa dr. inż. Kazimierza Żarskiego – eksperta w dziedzinie ogrzewnictwa, ciepłownictwa i wentylacji, projektanta specjalizującego się w opracowaniach koncepcyjnych w ciepłownictwie, autora wielu prestiżowych projektów oraz komputerowych programów inżynierskich w dziedzinie ciepłownictwa i klimatyzacji.

Publikacja ma na celu przybliżenie zagadnień projektowania i nadzorowania budowy wodnych sieci ciepłowniczych

Pozycja wydawnicza jest adresowana do projektantów i inspektorów nadzoru zajmujących się projektowaniem i nadzorowaniem budowy sieci ciepłowniczej.

Książka ta może też być przydatna studentom inżynierii środowiska i infrastruktury obiektów budowlanych.

Praca składa się z 15 rozdziałów, zawiera 150 rysunków oraz 69 tabel.

Do książki dołączono załączniki w postaci arkuszy kalkulacyjnych i autorskich programów komputerowych wspomagających projektowanie wodnych sieci ciepłowniczych

## O AUTORZE



### DR INŻ. KAZIMIERZ ŻARSKI

Absolwent Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej (1972). Doktorat obronił na Politechnice Poznańskiej (1995). Specjalista w dziedzinie ogrzewnictwa, ciepłownictwa i wentylacji. Jeden z pionierów wprowadzenia w Polsce technologii rur preizolowanych w ciepłownictwie. Projektant z długoletnim doświadczeniem, specjalizujący się w opracowaniach koncepcyjnych w ciepłownictwie. Autor szeregu prestiżowych projektów (cztery rezydencje Prezydenta R.P.) oraz wielu komputerowych programów inżynierskich w dziedzinie ciepłownictwa i klimatyzacji.

Naukowo związany z Uniwersytetem Technologiczno-Przyrodniczym (dawniej Akademia Techniczno-Rolnicza, obecnie Politechnika) w Bydgoszczy oraz z Wyższą Szkołą Zarządzania Środowiskiem w Tucholi (w latach 2006–2008 Dziekan Wydziału Inżynieryjnego), a także w latach 2017–2020 – z Państwową Wyższą Szkołą Zawodową w Gnieźnie. Promotor ok. 600 prac dyplomowych. Autor ponad 220 publikacji naukowych, w tym kilkunastu podręczników i monografii, z których niektóre znalazły się w programach nauczania na wyższych uczelniach. Publikował w czasopiśmie krajowych i zagranicznych, uczestniczył w wielu konferencjach naukowych w Polsce i na świecie. W latach 2009–2016 recenzent „Journal of Cleaner Production” oraz czasopisma „Instal”. Prowadził wiele specjalistycznych szkoleń. Członek Sekcji Ciepłownictwa i Klimatyzacji Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk (2006–2020). Odznaczony Medalem Edukacji Narodowej.

# PRZEDMOWA

Pozycja wydawnicza „Wodne sieci ciepłownicze” stanowi w zamierzeniu kompendium wiedzy niezbędnej do projektowania i nadzorowania budowy wodnych sieci ciepłowniczych. Z uwagi zarówno na skromny stan prawny dotyczący tych zagadnień, jak i ze względu na zanik tradycji projektowania i wykonawstwa (dobra praktyka), autorowi wydaje się, że jest to pozycja potrzebna. W książce pominięto sieci pary, gdyż miejskie sieci parowych już nie ma, a układy przemysłowe stanowią przedmiot odmiennego zagadnienia. Sieć ciepłownicza (szerszym pojęciem jest „sieć ciepła”) jest budowlą (ustrojem budowlanym) w rozumieniu prawa budowlanego, dlatego też przy jej projektowaniu występują dwa aspekty: cieplno-hydrauliczny oraz wytrzymałościowy. Projekt sieci kanałowej lub nadziemnej jest opracowaniem dwubranżowym, zawiera część cieplno-hydrauliczną oraz część budowlaną, w której zawarte są obliczenia wytrzymałościowe i dobór elementów konstrukcji sieci. Sieci w tej technologii nie są obecnie projektowane (są wyjątki) – zastąpiła ją szeroko stosowana technologia rurociągów preizolowanych w systemie związanym (bonded). W sieciach preizolowanych klasy projektowej A i B, o średnicy rurociągu do 300 mm, obliczenia wytrzymałościowe mogą mieć charakter uproszczony i są zwykle wykonywane przez projektanta części cieplno-hydraulicznej. Sieci o większej średnicy (klasa C) wymagają sprawdzenia poziomu naprężeń w niewrażliwych miejscach konstrukcji za pomocą wyspecjalizowanych programów komputerowych. Metody uproszczone można w tym przypadku wykorzystać jako wstępne, do wyznaczenia trasy sieci. Te metody opisano w książce.

W rozdziale 1. podano wiadomości wstępne, w tym definicje i klasyfikację sieci pod różnymi aspektami, a także stan prawny w tej dyscyplinie technicznej. W kolejnym rozdziale opisano elementy budowy i wyposażenia kanałowych i nadziemnych sieci ciepłowniczych, w następnym – elementy sieci preizolowanej. Rozdział 4. i 5. zawiera podstawy teoretyczne przepływu ciepła i masy, rozdział 6. – podstawy obliczeń cieplnych i hydraulicznych. Pompownie sieciowe stanowią przedmiot rozdziału 7., powiązanie sieci ciepłowniczej ze źródłem – rozdziału 8. Zagadnienia strat ciepła omawia rozdział 9. Metodykę obliczeń wytrzymałościowych przedstawiają rozdziały 10. i 11. Systemy alarmowe zostały zaprezentowane w rozdziale 12. Dwa następne rozdziały dotyczą projektowania sieci ciepłowniczej w terenie zurbanizowanym. Rozdział 15. zawiera podstawowe wiadomości na temat nadzoru inwestorskiego nad budową sieci ciepłowniczej, w tym elementy robót i zasady odbioru częściowego i końcowego robót. Przytoczono także przykładowe warunki techniczne, jakie narzucają firmy ciepłownicze przy projektowaniu i wykonawstwie sieci ciepłowniczych w swoich rejonach działania.

## **PRZEDMOWA**

Adresatem książki są projektanci i inspektorzy nadzoru zajmujący się projektowaniem i nadzorowaniem budowy sieci ciepłowniczej.

Autor będzie wdzięczny Czytelnikom za wszelkie uwagi natury merytorycznej.

Kazimierz Żarski, styczeń 2025 r.

# ROZDZIAŁ 1

## Wiadomości ogólne

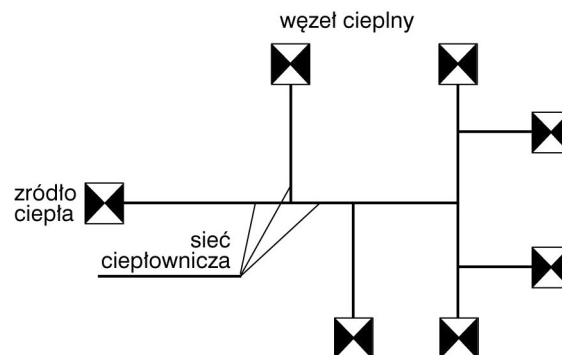
### 1.1. Scentralizowane systemy dostawy ciepła – podstawowe informacje i definicje

Scentralizowanym systemem dostawy ciepła, zwanym także scentralizowanym systemem ciepłowniczym [5, 6, W19], określa się system składający się ze:

- ♦ źródła ciepła,
- ♦ sieci ciepłowniczej,
- ♦ węzłów cieplnych.

Przykładowy schemat (jednokreskowy) scentralizowanego systemu dostawy ciepła pokazano na rysunku 1.1.

Rys. 1.1. Przykładowy schemat scentralizowanego systemu dostawy ciepła



**Indywidualny system dostawy ciepła** to system, w którym źródło ciepła jest zlokalizowane w obiekcie, do którego jest dostarczany nośnik ciepła.

**Źródłem ciepła** zarówno w systemie scentralizowanym, jak i indywidualnym, może być kotłownia lub centrala ciepła wyposażona np. w urządzenia do podgrzewania elektrycznego lub w pompy ciepła, a także inne źródła ciepła i energii, np. źródła geotermalne, układy kogeneracyjne, systemy ciepła odpadowego w przemyśle, ogniwa fotowoltaiczne (PV) i inne. Szczegółową klasyfikację kotłowni i źródeł ciepła podano w [26, 43].

**Sieć ciepłownicza** to zespół elementów i urządzeń służących do przekazywania ciepła ze źródła do węzłów cieplnych [P5, W19].

## ROZDZIAŁ 1

Sieci ciepłe mogą występować w miastach, w zakładach przemysłowych, obiektach o różnym przeznaczeniu, np. lotniskach, zakładach karnych, obiektach wojskowych.

Sieć ciepłą w miastach, stanowiącą element miejskiego systemu ciepłowniczego, nazywa się **siecią ciepłowniczą**.

**Węzeł cieplny** to zespół elementów i urządzeń łączących sieć ciepłą z instalacjami wewnątrz budynków lub obiektów. Zadaniem węzła cieplnego jest zmiana parametrów (temperatury i ciśnienia) nośnika ciepła, regulacja dostawy ciepła i pomiar zużycia ciepła, objętości nośnika ciepła pobranego z sieci ciepłej i innych parametrów. Szczegółową klasyfikację węzłów cieplnych podano w [17, 28]. Obiegi zasilane bezpośrednio z sieci ciepłowniczej nazywa się obiegami pierwotnymi, obiegi instalacyjne – wtórnymi.

W budynkach (obiektach) zasilanych z węzłów cieplnych znajdują się **instalacje odbiorcze**. Zadaniem scentralizowanych systemów dostawy ciepła jest dostarczenie do instalacji odbiorczych nośnika ciepła do celów:

- ◆ ogrzewania,
- ◆ przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- ◆ podgrzewania powietrza w układach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych,
- ◆ ogrzewania w procesach technologicznych (przemysł, baseny kąpielowe).

Większość dużych i średnich miast w Polsce ma scentralizowane systemy dostawy ciepła. Początki ich budowy przypadają przeważnie na lata 50. XX wieku [5], choć są również systemy wybudowane przed II wojną światową (np. w grupie budynków mieszkalnych dla pracowników I. G. Farben w Gorzowie Wlkp. – dawn. Landsberg). Systemy ciepłownicze w miastach w ciągu kilkudziesięciu lat były rozbudowywane, w miarę rozwoju urbanistycznego aglomeracji. Także w małych miastach (kilka lub kilkanaście tysięcy mieszkańców) rozwinęły się, choć nieco później – w latach 60., 70., i 80. scentralizowane systemy ciepłownicze, mimo że ich budowa nie zawsze byłaby uzasadniona ekonomicznie przy zastosowaniu przyjętych obecnie kryteriów oceny atrakcyjności ekonomicznej inwestycji. Miejskie systemy ciepłownicze budowano nawet w miastach o średniej gęstości cieplnej 40–50 kW/ha. Lata 1945–1980 XX w. były okresem gospodarki planowej, w której kryteria ekonomiczne nie były decydujące w ocenie przedsięwzięć inwestycyjnych. Planowano budowę ciepłowni ogrzewających aglomeracje miejskie odległe od źródła o kilkadziesiąt kilometrów, nierzadko ciepłownie o mocy planowanej znacznie przekraczającej rzeczywiste potrzeby ciepłe zasilanych obszarów. Po minionym okresie pozostały nie w pełni zrealizowane obiekty w rodzaju źródeł ciepła bez magistral ciepłowniczych lub sieci ciepłowniczych o znacznych średnicach, zasilających obecnie obszary o wielokrotnie mniejszym zapotrzebowaniu na moc ciepłą niż zapewnia przepustowość sieci. Jednym z elementów gospodarki planowej były tzw. opinie i decyzje koordynacyjne Wojewódzkich Komisji Planowania Gospodarczego, w których arbitralnie decydowano o sposobie rozwiązania gospodarki cieplnej w obiektach położonych na terenie miast i wsi. Głos decydujący w sprawie rozwiązań systemów ciepłowniczych miały Inspektoraty Gospodarki Paliwowo-Energetycznej, później Inspektoraty Gospodarki

# ROZDZIAŁ 2

## Elementy budowy i wyposażenia kanałowych i nadziemnych wodnych sieci ciepłowniczych

Rozdział ten ma w zasadzie charakter historyczny. Obecnie raczej nie buduje się nowych sieci nadziemnych i kanałowych, ale może wystąpić konieczność wykonania remontów, gdy istniejące sieci poprzedniej generacji niekoniecznie muszą być zastąpione sieciami preizolowanymi. Przedstawiono przykładowe rozwiązania elementów budowy i wyposażenia wodnych sieci ciepłowniczych. Obecnie, ze względu na łatwy dostęp do informacji technicznej (także przez Internet), nie ma potrzeby podawania kompletnych danych technicznych wyrobów. Autor zrezygnował także z prezentowania ilustracji elementów, których wygląd jest ogólnie znany, np. pomp, przyrządów kontrolno-pomiarowych, itp.

### 2.1. Przewody i armatura sieci ciepłowniczych

#### 2.1.1. Przewody

Norma PN-H-02650:1989, w której klasyfikowano rurociągi ciepłownicze, została wycofana i nie została zastąpiona analogicznym dokumentem. Można przyjąć, że obecne przewody sieci ciepłowniczej mieszczą się w zakresie parametrów: ciśnienia nominalnego do 25 barów i temperatury do 200°C.

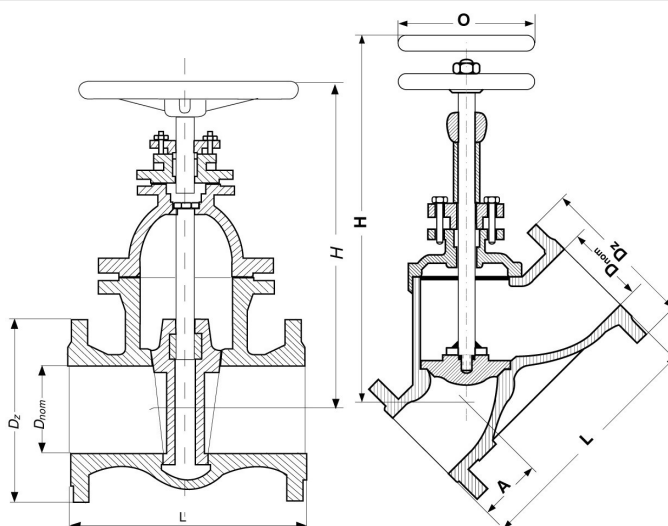
Ciśnienie nominalne w sieciach ciepłowniczych definiuje się jako ciśnienie robocze w temperaturze 200°C (przy zastosowaniu armatury stalowej lub staliwnej). Ciśnienie próbne przy ciśnieniu nominalnym 1 bar jest równe 2 bary, w zakresie ciśnienia 2.5÷25 barów i wynosi 1.5 wartości ciśnienia nominalnego. Przy zastosowaniu rur odpowiedniego producenta (także rur preizolowanych) należy zwrócić uwagę na wartość ciśnienia roboczego uwidocznioną w dokumencie dopuszczającym do obrotu. W dawnych wodnych sieciach ciepłowniczych były stosowane rury bez szwu ze stali R35, o wymiarach zgodnych z PN-H-74219 i PN-H-74225. Te normy są już wycofane.

Obecnie stosuje się rury zgodne z normami zharmonizowanymi jak np. w wyciecznych OPEC Gdynia i w obowiązujących w innych miastach [21–24]:

– przy średnicy nominalnej od DN 15 do DN 100 włącznie – rury stalowe bez szwu wykonane ze stali:

## Elementy budowy i wyposażenia kanałowych i nadziemnych wodnych sieci ciepłowniczych

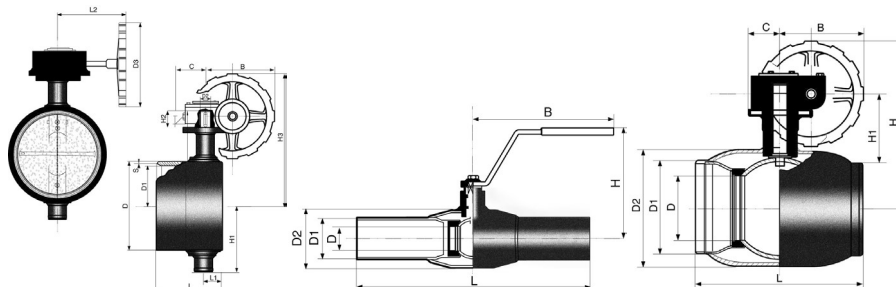
**Rys. 2.3.** Zawory i zasuwy odcinające według Katalogu Armatury Przemysłowej:  
a. zasuwa nr kat. 002, b. zawór skośny nr kat. 310



Zasuwy o dużej średnicy (Dn 500 i większe) były zaopatrywane w napęd mechaniczny, najczęściej elektryczny.

We współczesnych rozwiązaniach sieci nadziemnych i podziemnych kanałowych najczęściej są stosowane zawory (kurki) kulowe o połączeniach spawanych lub kołnierzowych albo przepustnice. Armatura odcinająca o większej średnicy (zależnie od producenta) może być wyposażona w obejście odciażające, przekładnię lub napęd elektryczny. Na rysunku 2.4 pokazano przykładowe rozwiązania współcześnie stosowanej armatury odcinającej w sieciach ciepłowniczych.

**Rys. 2.4.** Przykładowe rozwiązania armatury odcinającej współcześnie stosowanej w sieciach ciepłowniczych: a. zawór kulowy z końcówkami do spawania, b. zawór kulowy kołnierzowy z przekładnią, c. przepustnica z napędem elektrycznym [K4]



# ROZDZIAŁ 3

## Elementy budowy i wyposażenia preizolowanych wodnych sieci ciepłowniczych

Elementy preizolowanych systemów ciepłowniczych omówiono na podstawie oferty firmy Logstor Rør [K3]. W Polsce jest kilka firm oferujących kompletne systemy rur preizolowanych, ale oferta firm duńskich: I.C. Møller (w Polsce jako ABB Zamech) i Logstor Rør była pierwsza i stała się wzorem do opracowania rodzimych systemów. Wybór systemu (producenta) powinien leżeć w gestii przedsiębiorstwa ciepłowniczego, choć w przypadku inwestycji realizowanej w trybie zamówienia publicznego wyboru może dokonać inwestor przez zasugerowanie w specyfikacji konkretnych cech produktu. W rozdziale zilustrowano przykładowe elementy (nie wszystkie) i zamieszczono wyciągi z katalogu. Kompletną ofertę Czytelnik znajdzie w katalogu producenta [K5]. Z uwagi na zakończenie „ery” grupowych węzłów ciepłych sieci ciepłownicze z innych materiałów niż stal (miedź i PEX) praktycznie w Polsce nie są wykonywane. Sieci z tworzyw sztucznych są stosowane w małej skali, najczęściej w budownictwie jednorodzinnym. Czytelnika zainteresowanego sieciami ciepłowniczymi z miedzi i tworzyw sztucznych autor odsyła do katalogów producentów [K5].

### 3.1. Przewody i armatura preizolowanych sieci ciepłowniczych

#### 3.1.1. Przewody preizolowanych sieci ciepłowniczych

Podstawowym elementem systemu preizolowanych rurociągów ciepłowniczych jest rura przewodowa wraz z warstwą izolacji i płaszczem ochronnym. W większości przypadków stosuje się system związany, w którym warstwa izolacji jest ściśle zespolona z powierzchnią rury stalowej i płaszczem ochronnym. Pozwala to na przeniesienie naprężeń od wydłużenia ciepłego przewodów ciepłowniczych ze ścianki stalowej na zewnętrzną powierzchnię płaszcza izolacji i na grunt. W systemie ślizgowym warstwa izolacji może się swobodnie przemieszczać względem stalowej rury przewodowej, której wydłużenie nie jest hamowane siłą tarcia płaszcza izolacji o grunt.

Rura przewodowa do sieci ciepłowniczych jest wykonana ze stali węglowej St37 lub P235 (granica plastyczności 235 MPa), do sieci ciepłej wody użytkowej ze stali z powłoką cynkową, z miedzi lub z sieciowanego polietylenu (PEX). Standardowa

# ROZDZIAŁ 4

## Podstawy fizyczne przepływu nośnika ciepła

### 4.1. Właściwości fizyczne wody w ujęciu komputerowym

Do właściwości fizycznych wody mających znaczenie w obliczeniach hydraulicznych sieci ciepłowniczych należy: gęstość, lepkość i pojemność cieplna. Lepkość płynu charakteryzuje dynamiczny i kinematyczny współczynnik lepkości, pojemność cieplną – ciepło właściwe. W zagadnieniach związanych z przepływem ciepła ma jeszcze znaczenie przewodność cieplna i reprezentujący ją współczynnik przewodzenia ciepła. Właściwości fizyczne wody zmieniają się wraz z temperaturą, wpływ ciśnienia jest natomiast znikomy. Właściwości fizyczne wody do wspomnianych komputerowo obliczeń hydraulicznych sieci ciepłowniczych jest wygodnie przedstawić w postaci wzorów analitycznych. Popiel i Wojtkowiak [9] opracowali wiele formuł analitycznych do obliczeń właściwości fizycznych wody w funkcji temperatury. Poniżej podano wzory do obliczenia gęstości, ciepła właściwego, kinematycznego współczynnika lepkości i współczynnika przewodzenia ciepła w przedziale temperatury 0÷150°C.

We wzorach:  $t$  – temperatura [°C]

- Gęstość wody  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]

$$\rho = 999.732 + 0.07935t - 0.00857t^2 + 5.83 \cdot 10^{-5}t^3 - 2.677 \cdot 10^{-7}t^4 + 4.843 \cdot 10^{-10}t^5 \quad (4.1)$$

- Ciepło właściwe wody  $c_p$  [kJ/(kg K)],

$$c_p = 4.214 + 0.0022t + 4.21 \cdot 10^{-5}t^2 - 2.817 \cdot 10^{-7}t^3 + 8.4525 \cdot 10^{-10}t^4 \quad (4.2)$$

- Kinematyczny współczynnik lepkości wody  $\nu$  [m<sup>2</sup>/s],

$$\nu = \frac{1}{556406.7 + 19689.27t + 124.6096t^2 - 0.3783792t^3} \quad (4.3)$$

- Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [W/(m K)].

$$\lambda = 0.5678 + 0.0019355t - 9.857 \cdot 10^{-6}t^2 + 2.149 \cdot 10^{-8}t^3 - 4.5165 \cdot 10^{-11}t^4 \quad (4.4)$$

# ROZDZIAŁ 5

## Podstawy fizyczne przepływu ciepła

### 5.1. Równania przekazywania ciepła: przewodzenia, przejmowania i promieniowania

Strumień ciepła jest to ilość ciepła przekazana w jednostce czasu przez osłonę bilansową. Jest to pierwsza pochodna ilości ciepła względem czasu, wielkość skalarna.

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} \quad (5.1)$$

gdzie:

$\Phi$  – strumień ciepła [W],

$\tau$  – czas [s].

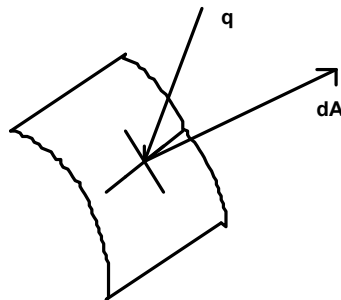
W warunkach uśrednionych lub ustalonych we wzorze (5.1) występują wielkości skończone: ciepła i czasu.

$$\Phi = \frac{Q}{\tau} \quad (5.2)$$

Oznaczenia jak wyżej.

**Gęstością strumienia ciepła** nazywamy pochodną strumienia ciepła względem powierzchni. Powierzchnia – ściśle biorąc, jej elementarny fragment – jest reprezentowana przez wektor normalny  $d\mathbf{A}$  (do niej prostopadły) – rysunek 5.1.

Rys. 5.1. Elementarna powierzchnia i gęstość strumienia ciepła



# ROZDZIAŁ 6

## Obliczenia cieplne i hydrauliczne sieci ciepłowniczej

### 6.1. Zasady wyznaczania bilansu cieplnego obszaru objętego zasięgiem sieci ciepłowniczej

Bilans cieplny węzła cieplnego w ogólności obejmuje następujące składowe zapotrzebowania na moc cieplną:

- ciepło do ogrzewania budynków,
- ciepło do przygotowania ciepłej wody,
- ciepło do ogrzewania powietrza wentylacyjnego,
- ciepło do celów technologicznych (np. baseny kąpielowe).

W szczególnych przypadkach składowe zapotrzebowania na moc cieplną łączą się – najczęściej do celów ogrzewania budynków i przygotowania ciepłej wody.

- Moc obliczeniowa do celów ogrzewania jest wyznaczana w warunkach obliczeniowych, przy temperaturze powietrza zewnętrznego w danej strefie klimatycznej. Niestety, po wycofaniu normy PN-EN 12831-3:2006: Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego [N22] i zastąpieniu jej normą PN-EN 12831-3:2017-08, Charakterystyka energetyczna budynków – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego – Część 3: Obciążenie domowych instalacji ciepłej wody użytkowej i charakterystyka zapotrzebowania, Moduł M8-2 [N23], nie ma obecnie podstaw prawnych do podziału terenu Polski na strefy klimatyczne. Zatem w dalszym ciągu zaleca się korzystanie z nieaktualnej normy PN-EN 12831-3:2006, która określa ekstremalną temperaturę powietrza zewnętrznego: w strefie I:  $-16^{\circ}\text{C}$ , w strefie II:  $-18^{\circ}\text{C}$ , w strefie III:  $-20^{\circ}\text{C}$ , w strefie IV:  $-22^{\circ}\text{C}$ , w strefie V:  $-24^{\circ}\text{C}$ . Mimo tendencji do ocieplenia klimatu zdarzają się okresy o niskiej temperaturze, chociaż o wiele rzadziej niż w przeszłości. Podział na strefy klimatyczne pokazano na rysunku 6.1.[W9]

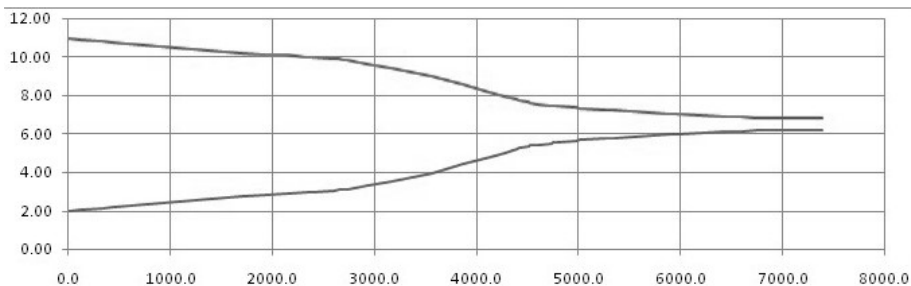
# ROZDZIAŁ 7

## Pompownie sieciowe

### 7.1. Dobór parametrów pompowni sieciowej

Konieczność zastosowania pompowni sieciowej wynika z układu ciśnienia w sieci ciepłowniczej. Pompownie występują w sieciach o znacznym zasięgu lub przy zróżnicowanej konfiguracji terenu. Na rysunku 7.1. pokazano przykładowy wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości bez pompowni [11]. Wymagana różnica dyspozycyjna ciśnienia w źródle powinna wynosić 9 barów. Istniejące pompy w źródle ciepła zapewniają różnicę ciśnienia 6 barów, stąd występuje deficyt ciśnienia 3 bary.

**Rys. 7.1.** Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości bez pompowni, oś pozioma – odległość [m], oś pionowa – ciśnienie [bary] [11]



Pompownia może być zlokalizowana w przewodzie zasilającym lub w przewodzie powrotnym, w miejscu, gdzie podwyższenie ciśnienia nie spowoduje inwersji wykresu i zostanie zachowana minimalna wartość ciśnienia dyspozycyjnego dla obiektów zasilanych za pompownią. Jeśli jest możliwość wyboru, wskazane jest umieszczenie pompowni w przewodzie powrotnym sieci ciepłowniczej.

Na rysunku 7.2. pokazano wykres ciśnienia z pompownią w przewodzie powrotnym. Pompownia powinna znajdować się jak najbliżej „końcówki” sieci, gdyż wówczas strumień objętości pompowanego nośnika jest najmniejszy, a także najmniejsza jest wielkość zużycia energii elektrycznej do napędu pomp. W programie obliczeń hydraulicznych sieci ciepłowniczej [CP1] można wprowadzić wielkość różnicy ciśnienia w pompowni, w pierwszym wierszu jest podana dyspozycyjna różnica ciśnienia za pompami. Przyjęto minimalną wartość 2 bary.

# ROZDZIAŁ 8

## Powiązanie sieci ciepłowniczej ze źródłem ciepła

Sieć ciepłownicza w obecnych warunkach charakteryzuje się elastycznym działaniem. Warunki obliczeniowe wyznaczają ekstremalne parametry działania sieci, ale w czasie eksploatacji mamy do czynienia ze zmiennym obrazem przepływu i ciśnienia. Zmiana przepływu i układu ciśnienia przebiega w cyklach dobowych (głównie wskutek znaczącej zmiany temperatury powietrza zewnętrznego, ale przede wszystkim przez zmianę zapotrzebowania na ciepłą wodę) oraz w cyklu rocznym przy zmianie temperatury powietrza zewnętrznego. Zmiana strumienia masy nośnika ciepła zachodzi znacząco w okresie o temperaturze powyżej punktu załamania wykresu regulacyjnego. Przepływ w sieci ciepłowniczej jest kształtowany przez położenie zaworów regulacyjnych (regulacji temperatury) w węzłach cieplnych. Zawory te „wyznaczają” strumień masy nośnika ciepła zgodny z aktualną wielkością zapotrzebowania na moc w sekcjach węzłów: głównie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody. Zawory regulacji różnicy ciśnienia, dzisiaj stanowiące rozwiązanie standardowe, ograniczają wielkość dyspozycyjnej różnicy ciśnienia w sieci do wymagań węzła cieplnego. Prawidłowe prowadzenie pracy sieci wymaga, aby źródło ciepła również charakteryzowało się elastycznością w dostosowaniu mocy cieplnej i strumienia nośnika ciepła do wielkości wymaganych przez sieć ciepłowniczą.

### 8.1. Optymalny schemat kotłowni współpracującej z siecią ciepłowniczą

Nowoczesne kotły (również węglowe) w źródłach ciepła powinny być wyposażone w regulację intensywności spalania. Wielkością regulowaną może być stała temperatura wody wypływającej z kotła, niezależna od temperatury wody wpływającej do kotła, albo ustalana w zależności od temperatury zewnętrznej moc cieplna kotła. Kotły węglowe wymagają stałego przepływu, a także niezbyt niskiej temperatury wody zasilającej kocioł. Te warunki mogą być spełnione wyłącznie w przypadku rozdzielania hydraulicznego obiegów kotłowni: obiegu kotłów, sieci ciepłowniczej, zimnego mieszania i gorącego mieszania. Obiegi są powiązane bezpośrednio, choć zdarzają się układy wymiennikowej transformacji strumienia ciepła. Optymalny schemat kotłowni z bezpośrednim połączeniem obiegów przedstawiono na rysunku 8.1.

# ROZDZIAŁ 9

## Straty ciepła i schłodzenie nośnika ciepła w sieci ciepłowniczej

### 9.1. Dobór grubości izolacji przewodów sieci ciepłowniczej

Zasady doboru grubości izolacji przewodów sieci ciepłowniczej kanałowej i nadziemnej podano w p. 2.5. w rozdziale 2. Sieci kanałowe i nadziemne są dziś rzadko budowane – dominującą technologią są preizolowane sieci ciepłownicze. Sieci te mają typowe rozwiązania grubości izolacji, w zależności od systemu w 1, 2 lub 3 szeregach wymiarowych. Decyzja o przyjętej grubości izolacji powinna należeć do przedsiębiorstwa ciepłowniczego, ale analizy opłacalności przyjęcia pogrubionej izolacji może dokonać projektant sieci ciepłowniczej.

### 9.2. Wspomagane komputerowo obliczenie chwilowych i sezonowych strat ciepła w sieci ciepłowniczej

Do obliczeń strat ciepła zastosowano program komputerowy [CP3, 27].

Obliczenia chwilowych strat mocy cieplnej i sezonowych strat ciepła wykonano za pomocą wzorów podanych w rozdziale 5.

Przyjęto następujące założenia:

- a. Pominięto opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni rurociągu ciepłowniczego (błąd poniżej 1%),
- b. Przyjęto współczynnik zwiększający do strat ciepła: sieci preizolowane: 1.10, nadziemne: 1.35, kanałowe: 1.25,
- c. Przedział temperatury powietrza zewnętrznego do obliczeń sezonowych strat ciepła: 4 K.

W przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego wyznaczono temperaturę nośnika ciepła: wody zasilającej i powrotnej, zgodnie z p. 6.8.

W tabeli 9.1. podano przykładowy wykres regulacyjny [CP4].

# ROZDZIAŁ 10

## Obliczenia wytrzymałościowe kanałowych i nadziemnych sieci ciepłowniczych

### 10.1. Wydłużenie cieplne przewodów kanałowej i nadziemnej sieci ciepłowniczej

Materiał przewodów ciepłowniczych sieci kanałowych i nadziemnych podlega wydłużeniu pod wpływem wzrostu temperatury. Wydłużenie odcinków sieci traktuje się jako wydłużenie **swobodne**, choć w rzeczywistości występują siły hamujące, np. reakcje elementów sprężystych lub siła tarcia na podporach przesuwnych. Wydłużenie prostego, swobodnego odcinka przewodu pod wpływem przyrostu temperatury można określić ze wzoru

$$\Delta l = \alpha l \Delta T \quad (10.1)$$

gdzie:

$\Delta l$  – wydłużenie prostego, swobodnego odcinka rurociągu [m],

$l$  – długość odcinka rurociągu [m],

$\Delta T$  – maksymalna różnica temperatury [K], najczęściej przyjmowana jako różnica najwyższej temperatury nośnika ciepła i temperatury montażu rurociągów,

$\alpha$  – współczynnik cieplnej rozszerzalności liniowej materiału przewodu [1/K].

Wydłużenie z przyczyn praktycznych wyraża się w milimetrach.

Współczynnik cieplnej rozszerzalności liniowej jest zależny od temperatury. Do celów obliczeń sieci ciepłowniczych przyjmuje się najczęściej wartość średnią w danym przedziale temperatury. W przypadku rur stalowych wartość współczynnika cieplnej rozszerzalności liniowej w przedziale temperatury 0–120°C można przyjąć jako  $1.2 \cdot 10^{-5}$  1/K. Współczynnik cieplnej rozszerzalności liniowej rur z innego materiału (miedź, tworzywa sztuczne) można przyjmować według danych producentów rur lub z tablic właściwości fizycznych.

Przedział temperatury pracy rurociągu ciepłowniczego wyznacza, z jednej strony, maksymalna temperatura nośnika ciepła, z drugiej – minimalna temperatura montażu. Ta pierwsza jest podana przez dostawcę ciepła, drugą przyjmuje się równą 0°C. W niektórych systemach ciepłowniczych przedsiębiorstwo narzuca temperaturę spawania +10°C, ale **nie oznacza to temperatury montażu całości rurociągu**. Oczywiście

# ROZDZIAŁ 11

## Uprozczone obliczenia wytrzymałościowe preizolowanych sieci ciepłowniczych

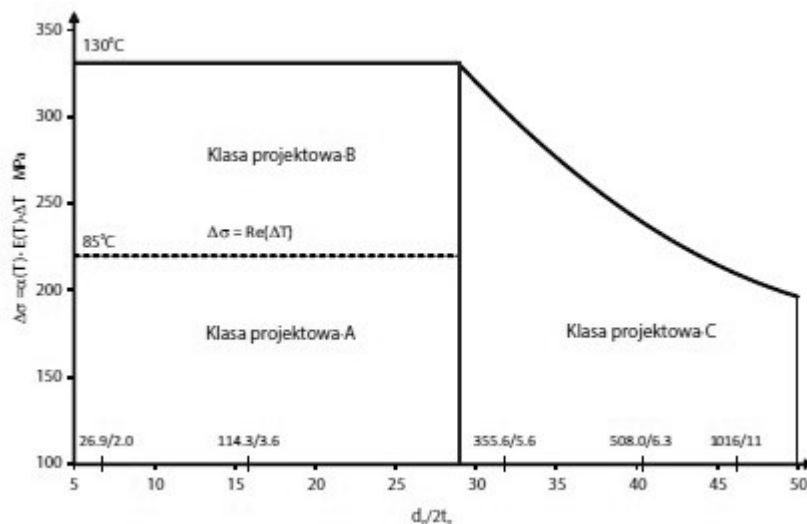
Projekt preizolowanej sieci ciepłowniczej obejmuje część cieplną, hydrauliczną oraz konstrukcyjną. Zgodnie z normą PN-EN 13941-1 [N5,N6] przewiduje się trzy klasy projektu pod względem wymiarowania konstrukcyjnego i wytrzymałościowego.

Klasa A. Rurociągi o średnicy do DN300, naprężenia osiowe do 214 MPa,

Klasa B. Rurociągi o średnicy do DN300, naprężenia osiowe do 327 MPa,

Klasa C. Rurociągi o średnicy od DN350, naprężenia osiowe do  $327 \div 190$  MPa, w zależności od średnicy rurociągu. Klasy projektu zilustrowano na rysunku 11.1. [N5, 14]

**Rys. 11.1.** Klasy projektu sieci preizolowanych [N5,7,8], oś pozioma – iloraz średnicy zewnętrznej i 2 grubości ścianki, oś pionowa – poziom dopuszczalnych naprężeń osiowych



# ROZDZIAŁ 12

## Systemy alarmowe preizolowanych sieci ciepłowniczych

W sieciach ciepłowniczych mają zastosowanie dwa rodzaje systemu alarmowego: system rezystancyjny, polegający na pomiarze oporu czynnego izolacji przewodu, oraz system impulsowy (impedancyjny), polegający na pomiarze oporu biernego związanego z pojemnością elektryczną ośrodka. Wyboru rodzaju systemu alarmowego powinno dokonać przedsiębiorstwo ciepłownicze. Autor nie podejmuje się dyskusji na temat wyższości któregoś z systemów. Zainteresowanych Czytelników odsyłam do artykułów Dwojaka [3], właściciela firmy zajmującej się profesjonalnie montażem, konserwacją i kontrolą systemów alarmowych sieci ciepłowniczych.

Generalną zasadą konstrukcji schematu alarmowego jest zachowanie **szeregowego** przepływu sygnału, od początku do zakończenia obwodu. W układaniu przewodów występują różnice, które opisano poniżej.

Schemat układu alarmowego stanowi nieodzowną część projektu sieci ciepłowniczej. Na schemacie powinny być uwidocznione współrzędne charakterystycznych punktów sieci: odgałęzień, redukcji, zakończeń ciągu głównego i odgałęzień, miejsc montażu armatury, zakończenia przyłączy w węzłach cieplnych. Projektant podaje wartości współrzędnych na podstawie dyspozycji projektowych, natomiast weryfikacji współrzędnych, na podstawie pomiaru lokalizatorem (reflektometrem), dokonuje wykonawca robót (wskazany nadzór inwestorski). Jakikolwiek zmiany przebiegu przewodów alarmowych wymagają zgody projektanta i przedsiębiorstwa ciepłowniczego.

### 12.1. Zasady budowy schematu ideowego rezystancyjnego systemu alarmowego

System alarmowy typu rezystancyjnego został opracowany przez niemiecką firmę BRANDES [W21]. System jest oparty na precyzyjnej porównawczej metodzie pomiaru oporu elektrycznego. Pozwala na wykrywanie wycieku wody w ich wczesnym stadium i lokalizację miejsc uszkodzeń. Wewnątrz rury i elementów preizolowanych w piance poliuretanowej w pozycji „za dziesięć drugą” są umieszczone dwa przewody:

- czujnikowy (niklowo-chromowy) w czerwonej perforowanej izolacji teflonowej,
- powrotny miedziany w zielonej izolacji teflonowej.

# ROZDZIAŁ 13

## Kształtowanie trasy i wysokości położenia sieci ciepłowniczej w terenie zurbanizowanym

### 13.1. Uwarunkowania lokalizacyjne sieci ciepłowniczej i zasady ogólne

Projekt sieci ciepłowniczej w najprostszym przypadku jest opracowaniem jednobranżowym. W opracowaniach o większym stopniu złożoności występuje dodatkowo część konstrukcyjna, czasem część elektroenergetyczna (jeżeli w sieciach ciepłowniczych występują elementy wymagające zasilania w energię elektryczną). Projekt konstrukcyjny, oprócz obliczeń statyczno-wytrzymałościowych sieci ciepłowniczej, może zawierać obliczenia i rysunki konstrukcyjne elementów sieci, takich jak komory ciepłownicze, studzienki, nisze kompensacyjne, nietypowe kanały, podpory i konstrukcje sieci nadziemnych, estakady, mostki, kładki dla pieszych, zabezpieczenia skarp itp. W niezbędnych przypadkach, zwłaszcza przy prowadzeniu sieci o znacznej średnicy w terenie zurbanizowanym, zachodzi konieczność wykonania projektu dróg dojazdowych i placów składowych elementów sieci. W terenie zurbanizowanym wykonuje się także projekt organizacji ruchu na czas wykonywania robót. Niezbędnym elementem projektu są, wynikające z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury, wytyczne do planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia (BIOZ) w czasie prowadzenia prac montażowych. Obowiązek opracowania planu BIOZ spoczywa na kierowniku budowy.

Sieć ciepłownicza może być projektowana jako część infrastruktury budowlanej, np. budynku lub zespołu budynków lub jako odrębny element infrastruktury. Jeżeli sieć ciepłownicza stanowi część opracowania urbanistycznego, wówczas decyzja o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu obejmuje wszystkie elementy kubaturowe i liniowe. Opracowuje się wówczas wspólny projekt zagospodarowania terenu, zawierający m.in. tzw. zbiorczą planszę uzbrojenia terenu. Przy projektowaniu sieci ciepłowniczej jako **samodzielnego** zadania inwestycyjnego opracowuje się projekt zagospodarowania terenu sieci ciepłowniczej, zgodny z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. z 2020 r. poz. 1609) [P7]. Opracowanie projektu powinno być poprzedzone uzyskaniem decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu lub wypisem z obowiązującego miejscowego planu zagospodarowania terenu (MPZT).

# ROZDZIAŁ 14

## Projekt budowlany sieci ciepłowniczej – część cieplna i hydrauliczna

Obowiązujące w Polsce prawo do niedawna nie wymagało opracowania dokumentacji mającej wiele stadiów, tak jak to było w przeszłości (do lat 80. XX w.). Wykonywane wcześniej stadia dokumentacji, koncepcja i założenia techniczno-ekonomiczne pozwalały na wczesne rozwiązanie spraw związanych z projektowaniem: kwestii lokalizacyjnych i własnościowych, ustanowienia pasów technicznych i dróg eksploatacyjnych, koordynacji z istniejącym zagospodarowaniem terenu, wreszcie określenie zakresu inwestycji, w tym towarzyszących i przybliżenie kosztów realizacji, czasem wskaźnikowo, czasem za pomocą dokładniejszego kosztorysu robót. Na etapie założeń techniczno-ekonomicznych były dokonywane wstępne uzgodnienia, np. z takimi organami jak Okręgowe Inspektoraty Gospodarki Energetycznej (wcześniej paliwowo-energetycznej), Wojewódzkie Komisje Planowania, przedsiębiorstwa ciepłownicze. Wykonywane w późniejszym czasie projekty mogły w pewnym stopniu zmieniać ustalenia poprzedniego stadium, ale raczej były to zmiany niewielkie. Założenia techniczno-ekonomiczne pozwalały spojrzeć na rozwiązania w ciepłownictwie w szerszej perspektywie, nawiązując do ogólnej koncepcji uciepłownienia miast i mniejszych miejscowości. Przed długie lata projekt budowlany i wykonawczy stanowiły jedynie stadium dokumentacji projektowej, stwarzając niekorzystne uwarunkowania, przyczyniające się paradoksalnie do wydłużenia czasu realizacji inwestycji. Ostatnie zmiany prawne przywróciły dwustadiowość w obszarze budownictwa mieszkaniowego, dominującego w „krajobrazie” inwestycji. Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o ułatwieniach w przygotowaniu i realizacji inwestycji mieszkaniowych oraz inwestycji towarzyszących (Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 9 lutego 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ułatwieniach w przygotowaniu i realizacji inwestycji mieszkaniowych oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U z 2024 r. poz. 195, Dz.U. z 2018 r. poz. 1496) [P4] przywróciła koncepcję urbanistyczno-architektoniczną jako fazę poprzedzającą projekt budowlany. Jest to rozwiązanie prawne ze wszech miar korzystne, zwłaszcza w czasach „stylu dowolnego” w działaniu deweloperów i inwestorów budownictwa mieszkaniowego. Fragment ustawy określa zakres koncepcji i podaje jej warunki wykonania:

„Art. 6. 1. Przygotowanie do realizacji inwestycji mieszkaniowej obejmuje sporządzenie koncepcji urbanistyczno-architektonicznej, uzasadniającej rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne inwestycji mieszkaniowej, z uwzględnieniem charakteru zabudowy miejscowości i okolicy, w której inwestycja mieszkaniowa ma być zlokalizowana.

# ROZDZIAŁ 15

## Nadzór inwestorski nad budową sieci ciepłowniczej

### 15.1. Zakres działania Inspektora nadzoru na budowie sieci ciepłowniczej

Zakres działania inspektora nadzoru inwestorskiego reguluje Prawo budowlane [P3]. Zarządzenie Ministra Budownictwa, Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej z dnia 4 maja 1987 r. w sprawie szczegółowych zasad działania inspektora nadzoru inwestorskiego jest nieaktualne ze względu na uchylenie podstawy prawnej (Prawa budowlanego). Zgodnie z Prawem budowlanym:

**Art. 17.** Uczestnikami procesu budowlanego, w rozumieniu ustawy, są:

- 1) inwestor;
- 2) inspektor nadzoru inwestorskiego;
- 3) projektant;
- 4) kierownik budowy lub kierownik robót.

**Art. 18.** Obowiązki inwestora

2. Inwestor może ustanowić inspektora nadzoru inwestorskiego na budowie.

3. Inwestor może zobowiązać projektanta do sprawowania nadzoru autorskiego.

**Art. 19** 1. Organ administracji architektoniczno-budowlanej może w decyzji o pozwoleniu na budowę nałożyć na inwestora obowiązek ustanowienia inspektora nadzoru inwestorskiego, a także obowiązek zapewnienia nadzoru autorskiego, w przypadkach uzasadnionych wysokim stopniem skomplikowania obiektu lub robót budowlanych bądź przewidywanym wpływem na środowisko.

2. Minister właściwy do spraw budownictwa, planowania i zagospodarowania przestrzennego oraz mieszkalnictwa określi, w drodze rozporządzenia, rodzaje obiektów budowlanych, przy których realizacji jest wymagane ustanowienie inspektora nadzoru inwestorskiego, oraz listę obiektów budowlanych i kryteria techniczne, jakimi powinien kierować się organ administracji architektoniczno-budowlanej podczas nakładania na inwestora obowiązku ustanowienia inspektora nadzoru inwestorskiego.

**Art. 24.** 1. Łączenie funkcji kierownika budowy i inspektora nadzoru inwestorskiego nie jest dopuszczalne.

2. Przepisy ust. 1 oraz art. 22 i art. 23 stosuje się odpowiednio do kierownika robót.

**Art. 25** Do podstawowych obowiązków inspektora nadzoru inwestorskiego należy:

# ZAŁĄCZNIK

## Programy kalkulacyjne

Spis programów komputerowych

- CP1 Siec\_cieplna – obliczenia hydrauliczne sieci ciepłej
- CP2 Siec\_pomp – obliczenia hydrauliczne sieci ciepłej z układem pompowni sieciowych
- CP3 Straty\_SC – obliczenia strat ciepła w sieci ciepłej
- CP4 Wykres\_reg – wykres regulacyjny sieci ciepłej
- CP5 Logstor\_600 – uproszczone obliczenia wytrzymałościowe preizolowanej sieci ciepłej
- CP6 Sily – obliczenia sił działających w układach sieci nadziemnych i kanałowych
- CP6 Akumulator – dobór zasobnika do układów kogeneracyjnych

# WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 1. 1.	Przykładowy schemat scentralizowanego systemu dostawy ciepła . . .	15
Rys. 1.2.	Schemat jedнопrzewodowej sieci ciepłej z otwartym zbiornikiem akumulacyjnym. . . . .	21
Rys. 1.3.	Schemat dwuprzewodowej sieci ciepłej (ciepłowniczej). . . . .	22
Rys. 1.4.	Schemat dwuprzewodowej sieci ciepłej wody . . . . .	22
Rys. 1.5.	Schemat trójprzewodowej sieci ciepłej. . . . .	23
Rys. 1.6.	Schemat czteroprzewodowej sieci ciepłej. . . . .	23
Rys. 1.7.	Schematyczne przekroje sieci ciepłej kanałowej. Kanały nieprzechodnie, półprzechodnie i przechodnie . . . . .	24
Rys. 1.8.	Sieć ciepła na podporach wysokich i niskich . . . . .	25
Rys. 1.9.	Klasyfikacja sieci ciepłowniczych ze względu na ułożenie i sposób budowy . . . . .	26
Rys. 1.10.	Schemat sieci ciepłych o różnym układzie geometrycznym. . . . .	27
Rys. 2.1.	Łuki gładkie [W6] . . . . .	37
Rys. 2.2.	Łuki segmentowe [W24]. . . . .	38
Rys. 2.3.	Zawory i zasuwki odcinające według Katalogu Armatury Przemysłowej. . . . .	39
Rys. 2.4.	Przykładowe rozwiązania armatury odcinającej wspólnie stosowanej w sieciach ciepłowniczych. . . . .	39
Rys. 2.5.	Odpowietrzenie rurociągów wodnej sieci ciepłowniczej. . . . .	40
Rys. 2.6.	Odwodnienie rurociągów wodnej sieci ciepłowniczej. . . . .	41
Rys. 2.7.	Przykładowe rozwiązania obejścia obiegowego w wodnej sieci ciepłowniczej . . . . .	43
Rys. 2.8.	Przykładowe rozwiązania podpór przesuwnych, sztywne i rolkowe . . . . .	47
Rys. 2.9.	Przykładowe rozwiązanie swobodnego zawieszenia przewodów nadziemnej sieci ciepłowniczej . . . . .	48
Rys. 2.10.	Przykładowe rozwiązania podpór stałych A, B, D . . . . .	49

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 2.11.	Przykłady różnego rodzaju konstrukcji kanałów ciepłowniczych	51
Rys. 2.12.	Podpora nadziemnej sieci ciepłowniczej	51
Rys. 2.13.	Estakada sieci ciepłowniczej [W16]	52
Rys. 2.14.	Konstrukcja podpory stałej [W15]	52
Rys. 2.15.	Nisze kompensatorów [W12]	53
Rys. 2.16.	Studzienka do odwodnienia sieci ciepłowniczej [W13]	54
Rys. 2.17.	Komora ciepłownicza – rzut poziomy [1]	55
Rys. 2.18.	Komora ciepłownicza [17]	55
Rys. 2.19.	Schematy jednokreskowe układów samokompensacji	57
Rys. 2.20.	Wydłużki U-kształtowe	58
Rys. 2.21.	Wydłużka mieszkowa (kompensator mieszkowy) [W29]	58
Rys. 2.22.	Izolacja cieplna rurociągu ciepłowniczego	63
Rys. 3.1.	Prosta, preizolowana rura ciepłownicza [K3]	66
Rys. 3.2.	Rura fabrycznie gięta [K3]	67
Rys. 3.3.	Mufy łączące. mufa zgrzewana [K3]	68
Rys. 3.4.	Mufy łączące. mufa termokurczliwa [K3]	68
Rys. 3.5.	Załamania rurociągów preizolowanej sieci ciepłowniczej 90° i 45° [K3]	69
Rys. 3.6.	Odgałęzienia w preizolowanej sieci ciepłowniczej, prostopadłe i równoległe [K3]	69
Rys. 3.7.	Elementy wejścia przewodu ciepłowniczego do budynku [K3]	70
Rys. 3.8.	Mufa końcowa [K3]	70
Rys. 3.9.	Zwężka prefabrykowana [K3]	70
Rys. 3.10.	Zawory odcinające [K3]	71
Rys. 3.11.	Przykład montażu zaworów odcinających w sieci preizolowanej [W11]	71
Rys. 3.12.	Przykład montażu zaworów odcinających w sieci preizolowanej [W11]	72

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 3.13.	Odpowietrzenie/odwodnienie preizolowanej sieci ciepłowniczej [K3] .....	73
Rys. 3.14.	Schematy jednokreskowe układów samokompensacji .....	74
Rys. 3.15.	Kompensator jednorazowy o średnicy DN32-DN600 [K3] .....	74
Rys. 3.16.	Prefabrykowany punkt stały [K3] .....	75
Rys. 3.17.	Przykładowy schemat układu alarmowego w preizolowanej sieci ciepłowniczej[K3] .....	76
Rys. 3.18.	Wybrane elementy układu alarmowego systemu Logstor Ror: lokalizator i przewody [K3] .....	76
Rys. 4.1.	Elementarny sześcián płynu [41] .....	80
Rys. 4.2.	Równanie ciągłości w ruchu ustalonym odniesione do dwóch przekrojów kontrolnych [41] .....	82
Rys. 4.3.	Równanie ciągłości w węzłach [41] .....	82
Rys. 4.4.	Przepływ płynu między dwoma przekrojami kontrolnymi [41] .....	86
Rys. 4.5.	Przykładowy schemat obliczeniowy promieniowej sieci ciepłowniczej .....	90
Rys. 4.6.	Przykładowy schemat obliczeniowy pierścieniowej sieci ciepłowniczej .....	91
Rys. 4.7.	Schemat pojedynczego pierścienia sieci .....	92
Rys. 4.8.	Schemat zastępczy struktury z pierścieniami o wspólnych gałęziach. .	94
Rys. 5.1.	Elementarna powierzchnia i gęstość strumienia ciepła. ....	95
Rys. 5.2.	Bilans ciepła elementu ciała o objętości $dV$ .....	96
Rys. 5.3.	Przewodzenie ciepła w ścianie wielowarstwowej [33] .....	98
Rys. 5.4.	Przewodzenie ciepła w ścianie cylindrycznej [42] .....	99
Rys. 5.5.	Wzajemne położenie ciał wymieniających ciepło przez promieniowanie [42] .....	106
Rys. 5.6.	Proste przypadki wzajemnego położenia ciał wymieniających ciepło przez promieniowanie [42] .....	107

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 5.7.	Schemat wymiany ciepła w przypadku nadziemnej sieci ciepłowniczej .....	<b>111</b>
Rys. 5.8.	Schemat wymiany ciepła w przypadku podziemnej kanałowej sieci ciepłowniczej .....	<b>112</b>
Rys. 5.9.	Schemat wymiany ciepła w przypadku podziemnej preizolowanej sieci ciepłowniczej .....	<b>114</b>
Rys. 6.1.	Podział na strefy klimatyczne .....	<b>118</b>
Rys. 6.2.	Schemat obliczeniowy sieci promieniowej .....	<b>125</b>
Rys. 6.3.	Schemat pierścienia do przykładu obliczeniowego .....	<b>130</b>
Rys. 6.4.	Wykres ciśnienia w magistrali W1-K .....	<b>133</b>
Rys. 6.5.	Model magistrali ciepłowniczej [44] .....	<b>134</b>
Rys. 6.6.	Konfiguracja terenu w otoczeniu sieci ciepłowniczej [44] .....	<b>134</b>
Rys. 6.7.	Wykres ciśnienia w magistrali ciepłowniczej przy obliczeniowym strumieniu masy nośnika ciepła .....	<b>135</b>
Rys. 6.8.	Wykres ciśnienia w magistrali ciepłowniczej przy wybranych wartościach współczynnika korekcyjnego do przepływu nośnika ciepła .....	<b>135</b>
Rys. 6.9.	Przykładowy wykres ciśnienia w magistralnej sieci ciepłowniczej w warunkach obliczeniowych i dynamicznych przy stałej różnicy ciśnienia w źródle [28] .....	<b>136</b>
Rys. 6.10.	Przykładowy wykres ciśnienia w magistralnej sieci ciepłowniczej w warunkach obliczeniowych i dynamicznych przy regulowanej różnicy ciśnienia w źródle ciepła [28] .....	<b>137</b>
Rys. 6.11.	Sposób wyznaczenia nadwyżki ciśnienia i wielkości regulowanej dyspozycyjnej różnicy ciśnienia w odgałęzieniu sieci położonym w pobliżu źródła ciepła .....	<b>138</b>
Rys. 6.12.	Schemat układu regulacji różnicy ciśnienia w odgałęzieniu sieci ciepłowniczej przy zastosowaniu zaworów bezpośredniego działania .....	<b>138</b>
Rys. 6.13.	Schemat układu regulacji różnicy ciśnienia w odgałęzieniu sieci ciepłowniczej przy zastosowaniu zaworów z siłownikiem elektrycznym .....	<b>139</b>
Rys. 6.14.	Zawór regulacji różnicy ciśnienia bezpośredniego działania [K2] .....	<b>139</b>

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 6.15.	Zawór regulacyjny z siłownikiem elektrycznym [K2] .....	140
Rys. 6.16.	Przebieg rzeczywistej i tłumionej temperatury powietrza zewnętrznego [°C].....	146
Rys. 6.17.	Względny strumień masy wody sieciowej przy regulacji ilościowej w budynku o zapotrzebowaniu na moc cieplną 95 kW .....	147
Rys. 6.18.	Temperatura powrotna wody sieciowej przy regulacji ilościowej w budynku o zapotrzebowaniu na moc cieplną 95 kW .....	148
Rys. 6.19.	Opcje doboru wymiennika w sekcji ogrzewania .....	149
Rys. 6.20.	Opcje doboru wymiennika w sekcji przygotowania ciepłej wody ....	150
Rys. 7.1.	Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości bez pompowni. ....	153
Rys. 7.2.	Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości z pompownią w przewodzie powrotnym. ....	154
Rys. 7.3.	Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości z pompownią w przewodzie powrotnym. ....	155
Rys. 7.4.	Wykres ciśnienia w sieci ciepłowniczej w mieście średniej wielkości z pompownią w przewodzie powrotnym. ....	155
Rys. 7.5.	Przykładowa charakterystyka pompy w pompowni sieciowej [K7]. ..	156
Rys. 7.6.	Wygląd zewnętrzny pompy [K7]. ....	156
Rys. 7.7.	Schemat ideowy pompowni sieciowej .....	157
Rys. 7.8.	Włączenie pompowni w przewodzie powrotnym do pracy, fazy.....	159
Rys. 7.9.	Włączenie pompowni w przewodzie zasilającym do pracy, fazy.....	159
Rys. 7.10.	Przykładowy rzut pomieszczenia pompowni sieciowej [13] .....	160
Rys. 8.1.	Optymalny schemat kotłowni z bezpośrednim połączeniem obiegów [28]. ....	164
Rys. 8.2.	Schemat ideowy typowego bloku ciepłowniczego z lat 50. i 60. XX w [18] .....	165
Rys. 8.3.	Schemat połączenia sieci ciepłej z blokiem ciepłowniczym za pośrednictwem ciśnieniowego zbiornika buforowego [28] .....	166

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 8.4.	Schemat połączenia sieci ciepłej z blokiem ciepłowniczym za pośrednictwem beczniennowego zbiornika buforowego . . . . .	167
Rys. 8.5.	Stan wypełnienia zasobnika ciepła w godzinach doby . . . . .	169
Rys. 9.1.	Wskaźnik strat ciepła w 3 wariantach grubości izolacji sieci ciepłowniczej [oprac. autora] . . . . .	186
Rys. 9.2.	Straty ciepła w 3 wariantach temperatury powrotu w odniesieniu do wariantu 1. . . . .	187
Rys. 9.3.	Straty ciepła w 3 wariantach temperatury wody zasilającej w odniesieniu do wariantu 1. . . . .	188
Rys. 10.1.	Przykładowa dyspozycja podpór stałych nadziemnego rurociągu ciepłowniczego . . . . .	193
Rys. 10.2.	Układ kompensacji naturalnej „L” – prostokątny i o kącie rozwartym [W10] . . . . .	194
Rys. 10.3.	Układ kompensacji naturalnej „Z” [W10] . . . . .	195
Rys. 10.4.	Układ kompensacji naturalnej „Z” do przykładu obliczeniowego . . . . .	196
Rys. 10.5.	Układ kompensacji z wydłużką U-kształtowaną . . . . .	198
Rys. 11.1.	Klasy projektu sieci preizolowanych [N5, 7, 8]. . . . .	207
Rys. 11.2.	Oznaczenia wymiarów do wzoru (11.1) [8] . . . . .	209
Rys. 11.3.	Rozkład naprężeń w rurociągu o długości mniejszej niż 2 długości tarcia . . . . .	212
Rys. 11.4.	Rozkład naprężeń w rurociągu o długości większej niż $2L_F$ i mniejszej niż $2L_{F120}$ . . . . .	212
Rys. 11.5.	Rozkład naprężeń w rurociągu o długości większej niż $2L_F$ i mniejszej niż $2L_{F120}$ . . . . .	213
Rys. 11.6.	Rozkład naprężeń w rurociągu o długości $2L_F$ przy dopuszczalnych naprężeniach 270 MPa . . . . .	213
Rys. 11.7.	Rozkład naprężeń w rurociągu o długości większej niż $2L_{F120}$ . . . . .	214
Rys. 11.8.	Rozkład naprężeń w rurociągu powrotnym o dowolnej długości . . . . .	214
Rys. 11.9.	Rozkład naprężeń przy podgrzewie wstępnym . . . . .	218

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 11.10.	Rozkład naprężeń przy podgrzewie wstępnym do średniej temperatury z maksymalnej i minimalnej .....	219
Rys. 11.11.	Rozkład naprężeń przy zastosowaniu kompensatorów jednorazowych .....	220
Rys. 11.12.	Szerokość strefy kompensacji wydłużenia cieplnego według [7] .....	222
Rys. 11.13.	Przykładowe obliczenia szerokości stref kompensacji, średnica DN100 [7,CP6].....	224
Rys. 11.14.	Sposób ułożenia warstw pianek kompensacyjnych [7] .....	224
Rys. 11.15.	Graniczna suma przemieszczenia ramion załamania pod kątem innym niż 90° [7] .....	225
Rys. 11.16.	Obliczenie kompensacji „L” w terenie szkód górniczych [CP6] .....	226
Rys. 11.17.	Przypadki zastosowania rzeczywistych punktów stałych [40] .....	226
Rys. 11.18.	Obliczenie siły działającej na punkt stały [CP6] .....	227
Rys. 12.1.	Sposób połączenia przewodów alarmowych systemu rezystancyjnego przewodów w odgałęzieniu [W21].....	230
Rys. 12.2.	Sposób połączenia przewodów w systemie rezystancyjnym przy zasilaniu grupy węzłów cieplnych [W21] .....	231
Rys. 12.3.	Przykładowy schemat systemu rezystancyjnego nadzoru sieci ciepłowniczej [W25] .....	231
Rys. 12.4.	Przykładowy schemat systemu rezystancyjnego nadzoru sieci ciepłowniczej [W21] .....	232
Rys. 12.5.	Zakończenia obwodów rezystancyjnych i detektor sygnału [W21]... ..	233
Rys. 12.6.	Sposób budowy schematu impulsowego systemu alarmowego [7]... ..	234
Rys. 12.7.	Elementy zakończeniowe, detektor i lokalizatory systemu impulsowego [7].....	234
Rys. 12.8.	Przykładowy schemat instalacji alarmowej w systemie impulsowym [W21] .....	235
Rys. 13.1.	Dyspozycje wykopu pod rurociągi preizolowane według PN-EN 13941[N6, 7].....	249
Rys. 13.2.	Odgałęzienie boczne od sieci kanałowej .....	250

## WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 13.3.	Przedłużenie kierunku sieci kanałowej cz. 1 .....	<b>250</b>
Rys. 13.4.	Przedłużenie kierunku sieci kanałowej cz. 2 .....	<b>251</b>
Rys. 13.5.	Połączenie sieci preizolowanej z siecią nadziemną .....	<b>251</b>
Rys. 14.1.	Przekrój geologiczny gruntu [W8] .....	<b>256</b>
Rys. 14.2.	Przejście sieci ciepłowniczej pod ciekim wodnym pod poziomem wód gruntowych [46] .....	<b>258</b>
Rys. 14.3.	Fragment projektu zagospodarowania terenu sieci ciepłowniczej (plan trasy) [47] .....	<b>265</b>
Rys. 14.4.	Schemat montażowy preizolowanej sieci ciepłowniczej [47] .....	<b>266</b>
Rys. 14.5.	Fragment przykładowego profilu podłużnego sieci ciepłowniczej [47] ..	<b>267</b>
Rys. 14.6.	Położenie przewodów preizolowanych w wykopie [W12] .....	<b>268</b>
Rys. 14.7.	Przejście w rurach ochronnym pod jezdnią [W12] .....	<b>268</b>
Rys. 14.8.	Przejście w rurze ochronnej nad rzeką [W12] .....	<b>269</b>
Rys. 14.9.	Przykładowy schemat instalacji alarmowej (system impulsowy) [47] ..	<b>270</b>

## WYKAZ TABEL

Tab. 1.1.	Generacje sieci ciepłowniczych [4] . . . . .	19
Tab. 1.2.	Ustawy i rozporządzenia dotyczące problematyki sieci ciepłowniczych . . . . .	29
Tab. 1.3.	Normy zharmonizowane dotyczące problematyki sieci ciepłowniczych (wyróżniono normy w polskiej wersji językowej) . . . . .	30
Tab. 1.4.	Normy krajowe dotyczące problematyki sieci ciepłowniczych . . . . .	32
Tab. 2.1.	Wymiary rur stalowych według PN-EN 10217 [N17] . . . . .	35
Tab. 2.2.	Wymiary rur stalowych według wycofanych norm PN-H-74219 i PN-H-74225 . . . . .	36
Tab. 2.3.	Przykładowe wymiary łuków gładkich [W6] . . . . .	37
Tab. 2.4.	Średnica odpowietrzenia wodnej sieci ciepłowniczej . . . . .	41
Tab. 2.5.	Orientacyjna średnica odwodnienia wodnej sieci ciepłowniczej [5.6]. .	42
Tab. 2.6.	Orientacyjna średnica obejścia obiegowego wodnej sieci ciepłowniczej . . . . .	42
Tab. 2.7.	Odległości między podparciami rur wodnej sieci ciepłowniczej [5] . . .	46
Tab. 2.8.	Wartości maksymalnej siły osiowej w zależności od typu podpory stałej i średnicy rurociągu. . . . .	50
Tab. 2.9.	Odległości między podporami stałymi [m], maksymalne ciśnienie robocze 16 barów [5] . . . . .	50
Tab. 2.10.	Minimalne odległości przewodów i armatury od elementów obudowy komory ciepłowniczej . . . . .	56
Tab. 2.11.	Obliczenie temperatury zewnętrznej powierzchni płaszcza w sieci nadziemnej . . . . .	60
Tab. 2.12.	Minimalna grubość warstwy izolacji właściwej przewodów sieci ciepłowniczych w podziemnych kanałach nieprzechodnych i w budynkach (wg PN-B-02421:2000 [N12]) . . . . .	61
Tab. 2.13.	Minimalna grubość warstwy izolacji właściwej przewodów nadziemnych sieci ciepłowniczych (wg PN-B-02421:2000 [N12]). . . .	62

## WYKAZ TABEL

Tab. 3.1.	Przykładowe dane rur prostych (seria 1) [K3] .....	66
Tab. 3.2.	Przykładowe dane rur giętych fabrycznie [K3] .....	67
Tab. 4.1.	Wspomagane komputerowo obliczenie właściwości fizycznych wody ..	80
Tab. 4.2.	Przykładowe obliczenie współczynnika oporu liniowego .....	88
Tab. 4.3.	Współczynnik oporów miejscowych w sieciach ciepłowniczych .....	89
Tab. 6.1.	Fragment przykładowego zestawienia mocy cieplnej w miejskim systemie ciepłowniczym .....	119
Tab. 6.2.	Współczynnik korekcyjny do mocy systemu ciepłowniczego w funkcji strumienia masy nośnika ciepła .....	119
Tab. 6.3.	Wyciąg z obliczeń wymiennikowego węzła cieplnego [28]. .....	124
Tab. 6.4.	Dane węzłów cieplnych .....	126
Tab. 6.5.	Dane odcinków sieci .....	126
Tab. 6.6.	Szablon obliczeniowy strat ciśnienia sieci ciepłowniczej .....	127
Tab. 6.7.	Obliczenia magistrali W1-K. ....	128
Tab. 6.8.	Identyfikacja ścieżek grafu (#N/D – zakończenie ścieżki, nie znaleziono kolejnego punktu) .....	129
Tab. 6.9.	Straty ciśnienia w ścieżce grafu .....	129
Tab. 6.10.	Nadwyżka regulacyjna ciśnienia w ścieżce grafu .....	129
Tab. 6.11.	Dane do obliczenia pierścienia sieci ciepłowniczej .....	131
Tab. 6.12.	Obliczenia pierścienia sieci ciepłowniczej .....	132
Tab. 6.13.	Dane do wykresu ciśnienia w magistrali W1-K. ....	133
Tab. 6.14.	Wyniki sprawdzenia warunków kawitacji w zależności od ciśnienia przed i za zaworem regulacyjnym, przy współczynniku kawitacji zaworu 0.6 i 0.3 [28]. ....	141
Tab. 6.15.	Temperatura wody zasilającej i powrotnej [°C] w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego w sieci ciepłowniczej .....	145
Tab. 6.16.	Względny strumień masy nośnika ciepła do celów ogrzewania w zależności od temperatury wody zasilającej w systemie ciepłowniczym, zapotrzebowanie na moc cieplną budynku 95 kW. ...	152

Tab. 8.1.	Dobowy profil zapotrzebowania na moc ciepłą systemu ciepłowniczego .....	167
Tab. 8.2.	Obliczenie pojemności zasobnika ciepła w elektrociepłowni. ....	168
Tab. 9.1.	Przykładowy wykres regulacyjny do obliczeń strat ciepła sieci ciepłowniczej [CP4] .....	172
Tab. 9.2.	Przykładowa częstość występowania temperatury powietrza zewnętrznego [W1]. ....	172
Tab. 9.3.	Obliczenie strat ciepła w odcinku sieci kanałowej [ CP3] .....	173
Tab. 9.4.	Straty ciepła w odcinku sieci kanałowej przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego $-10^{\circ}\text{C}$ [CP3] .....	174
Tab. 9.5.	Zestawienie strat mocy cieplnej w przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego [CP3] .....	175
Tab. 9.6.	Zestawienie długości i parametrów sieci kanałowej [CP3] .....	176
Tab. 9.7.	Zestawienie strat ciepła w sieci kanałowej [CP3] .....	177
Tab. 9.8.	Obliczenie strat ciepła w odcinku sieci nadziemnej przy obliczeniowej temperaturze zewnętrznej [CP3] .....	177
Tab. 9.9.	Straty ciepła w odcinku sieci kanałowej przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego $-2^{\circ}\text{C}$ [CP3] .....	178
Tab. 9.10.	Zestawienie strat mocy cieplnej w przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego (sieć nadziemna) [CP3] .....	179
Tab. 9.11.	Zestawienie długości i parametrów sieci nadziemnej [CP3] .....	180
Tab. 9.12.	Zestawienie strat ciepła w sieci nadziemnej .....	180
Tab. 9.13.	Obliczenie strat ciepła w odcinku sieci preizolowanej j przy obliczeniowej temperaturze zewnętrznej [CP3] .....	181
Tab. 9.14.	Straty ciepła w odcinku sieci preizolowanej przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego $-2^{\circ}\text{C}$ [CP3] .....	181
Tab. 9.15.	Zestawienie strat mocy cieplnej w przedziałach temperatury powietrza zewnętrznego (sieć preizolowana) [CP3] .....	182
Tab. 9.16.	Zestawienie długości i parametrów sieci preizolowanej [CP3] .....	183
Tab. 9.17.	Zestawienie strat ciepła w sieci preizolowanej [CP3] .....	183
Tab. 9.18.	Zestawienie strat ciepła w systemie ciepłowniczym [CP3] .....	184

## WYKAZ TABEL

Tab. 9.19.	Dane systemu ciepłowniczego .....	<b>184</b>
Tab. 9.20.	Wskaźniki strat ciepła w systemie ciepłowniczym [CP3] .....	<b>184</b>
Tab. 9.21.	Zestawienie długości sieci preizolowanej do przykładu .....	<b>185</b>
Tab. 9.22.	Parametry systemu .....	<b>185</b>
Tab. 9.23	Porównanie strat ciepła w systemie w 3 wariantach grubości izolacji. . .	<b>185</b>
Tab. 9.24.	Porównanie strat ciepła w systemie w 3 wariantach temperatury wody powrotnej .....	<b>187</b>
Tab. 9.25.	Porównanie strat ciepła w systemie w 3 wariantach temperatury wody zasilającej .....	<b>188</b>
Tab. 9.26.	Obliczenie schłodzenia wody w nadziemnej sieci ciepłowniczej [CP2] ..	<b>189</b>
Tab. 9.27	Obliczenie schłodzenia wody w preizolowanej sieci ciepłowniczej . . .	<b>190</b>
Tab. 9.28.	Obliczenie schłodzenia wody w kanałowej sieci ciepłowniczej [CP2] . . .	<b>190</b>
Tab. 10.1.	Dane do doboru kompensatora mieszkowego [W29]. . . . .	<b>199</b>
Tab. 10.2.	Obliczenie siły od ciśnienia w rurociągu .....	<b>203</b>
Tab. 10.3.	Obliczenie siły od ciężaru i siły tarcia [CP5] .....	<b>203</b>
Tab. 10.4.	Obliczenie siły parcia wiatru [CP5] .....	<b>204</b>
Tab. 10.5.	Obliczenie siły reakcji elementu kompensacji [CP5]. . . . .	<b>204</b>
Tab. 10.6.	Wartości maksymalnej siły osiowej w zależności od typu podpory stałej i średnicy rurociągu. . . . .	<b>205</b>
Tab. 11.1	Przykładowa proporcja sił działających na rurociąg w gruncie. . . . .	<b>209</b>
Tab. 11.2.	Obliczenie długości tarcia w rurociągu preizolowanym [7, CP6] . . . .	<b>211</b>
Tab. 11.3.	Obliczenie długości tarcia przy naprężeniach dopuszczalnych 300 MPa .....	<b>212</b>
Tab. 11.4.	Obliczenie wydłużenia cieplnego przewodu [CP6] .....	<b>215</b>
Tab. 11.5.	Obliczenia parametrów podgrzewu wstępnego [CP6] .....	<b>218</b>
Tab. 11.6.	Obliczenia parametrów systemu kompensatorów jednorazowych [CP6] .....	<b>220</b>
Tab. 11.7.	Wartości współczynników do wzoru (11.13) .....	<b>223</b>
Tab. 11.8.	Blok oporowy punktów stałych [7]. . . . .	<b>227</b>

## WYKAZ TABEL

Tab. 13.1.	Odległości sieci ciepłowniczej od innych elementów zagospodarowania i urządzenia terenu w zbliżeniach i skrzyżowaniach . . . . .	<b>242</b>
Tab. 13.2.	Minimalne odległości sieci ciepłowniczych od uzbrojenia i budynków . .	<b>243</b>
Tab. 13.3.	Parametry rur giętych fabrycznie przy maksymalnych naprężeniach osiowych 190 MPa [7] . . . . .	<b>247</b>
Tab. 13.4.	Minimalny promień gięcia rur na budowie przy naprężeniach osiowych poniżej 190 MPa [7] . . . . .	<b>248</b>
Tab. 13.5.	Maksymalny kąt ukosowania rur preizolowanych przy naprężeniach osiowych poniżej 190 MPa [7] . . . . .	<b>248</b>
Tab. 14.1.	Symbole oznaczenia gruntów [W14] . . . . .	<b>257</b>