

Podręcznik *Ciepłownictwo. Projektowanie kotłowni i ciepłowni* przedstawia całościowe spojrzenie na proces projektowania kotłowni i ciepłowni, ze szczególnym uwzględnieniem układów wysokoparametrowych. Jest skierowany przede wszystkim do studentów kierunków inżynieria środowiska i energetyka, może być również przydatny wszystkim, którzy w swojej praktyce zawodowej zajmują się zagadnieniami ogrzewnictwa, ciepłownictwa lub energetyki ciepłej.



**Dr hab. inż. Zbigniew Bagiński**

podstawową wiedzę z zakresu ciepłownictwa zdobywał na Politechnice Warszawskiej w trakcie zajęć z prof. Witoldem Kamlerem – pionierem ciepłownictwa w Polsce. Współpracował z wybitnymi praktykami, inż. Jerzym Zbierskim i inż. Januszem Domazerem – projektantami wielu ciepłowni i systemów ciepłowniczych w Wielkopolsce. Przez ponad 40 lat prowadził wykłady oraz ćwiczenia projektowe z przedmiotu ciepłownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Realizował projekty związane z modernizacją ciepłowni i systemów ciepłowniczych. Prowadził badania naukowe (często w skali technicznej) dotyczące ograniczenia uciążliwości pracy źródeł ciepła dla powietrza atmosferycznego, poszerzone o zagadnienia wpływu czynników antropogenicznych na jakość powietrza w aglomeracji miejskiej.



**Dr inż. Łukasz Amanowicz**

jest adiunktem na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Prowadzi ćwiczenia projektowe, a od 2017 roku również wykłady z przedmiotu ciepłownictwo i gazownictwo oraz ćwiczenia projektowe dotyczące systemów energetyki komunalnej. Autor monografii na temat powietrznych wielarurowych gruntuwymienników ciepła oraz współautor dwóch wydań skryptu do ćwiczeń laboratoryjnych z techniki ciepłej. Zajmuje się energooszczędnością w budownictwie, odzyskiem ciepła, nowoczesnymi systemami ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC) oraz ich współpracą z odnawialnymi źródłami energii (OZE). Prowadzi badania doświadczalne oraz symulacje CFD charakterystyk cieplno-przepływowych elementów systemu HVAC. Jest opiekunem Koła Naukowego Inżynierii Środowiska, organizującego m.in. Dzień Budownictwa Pasywnego i Energooszczędnego: [www.dbpie.put.poznan.pl](http://www.dbpie.put.poznan.pl).

ISBN 978-83-7775-519-8



9 788377 755198

Zbigniew Bagiński  
Łukasz Amanowicz

Ciepłownictwo. Projektowanie kotłowni i ciepłowni

Zbigniew Bagiński  
Łukasz Amanowicz

# Ciepłownictwo

## projektowanie kotłowni i ciepłowni



Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej

Zbigniew Bagiński  
Łukasz Amanowicz

# Ciepłownictwo

## Projektowanie kotłowni i ciepłowni



**Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej**

Recenzent  
PROF. DR HAB. INŻ. ROBERT SEKRET

Projekt okładki  
PIOTR WYRĘBAK

Redaktor  
DONATA GUMINIAK

Skład i łamanie tekstu  
ŁUKASZ AMANOWICZ

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

ISBN 978-83-7775-519-8

Wydanie I  
Copyright © by Politechnika Poznańska, Poznań 2018

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ  
ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań  
tel. +48 (61) 665 3516, faks +48 (61) 665 3583  
e-mail: office\_ed@put.poznan.pl  
www.ed.put.poznan.pl

Druk i oprawa: **PERFEKT DRUK**  
ul. Świerzawska 1, 60-321 Poznań  
tel. +48 (61) 8675 243



## Spis treści

<b>Przedmowa.....</b>	<b>7</b>
<b>CZĘŚĆ 1. WPROWADZENIE, ALGORYTM PROJEKTOWANIA, BILANS CIEPLNY .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Wprowadzenie do ciepłownictwa.....</b>	<b>11</b>
1.1. Kiedy i dlaczego stosuje się systemy ciepłownicze .....	11
1.2. Systemy zaopatrzenia w ciepło osiedli i miast.....	12
1.3. Podział systemów zaopatrzenia w ciepło .....	13
1.4. Społeczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty ciepłownictwa .....	19
1.5. Terminologia stosowana w ciepłownictwie .....	22
1.6. Energetyka ciepła w Polsce.....	24
1.7. Polecana literatura uzupełniająca.....	27
<b>2. Algorytm projektowania systemu ciepłowniczego .....</b>	<b>30</b>
2.1. System ciepłowniczy zdalczyny.....	30
2.2. Potrzeby ciepłe odbiorców oraz nośnik ciepła.....	31
2.3. Określenie podstawowych parametrów pracy źródła ciepła .....	32
2.4. Wybór źródła energii dla ciepłowni .....	34
2.5. Opracowanie wariantowej koncepcji projektowej .....	36
2.6. Opracowanie projektu sieci ciepłej .....	40
2.7. Węzły ciepłe.....	41
<b>3. Bilans ciepła systemu ciepłowniczego.....</b>	<b>44</b>
3.1. Wprowadzenie do bilansowania potrzeb ciepłych odbiorców .....	44
3.2. Przenikanie ciepła przez przegrody .....	49
3.2.1. Projektowa strata ciepła na podstawie normy <i>PN-EN 12831</i> .....	49
3.2.2. Zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o. – podejście klasyczne .....	51
3.2.3. Zmienność zapotrzebowania na ciepło na potrzeby c.o. w ciągu roku ..	52
3.2.4. Współczynniki przenikania ciepła na przestrzeni lat .....	54
3.3. Zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby wentylacji .....	55
3.3.1. Wprowadzenie .....	55
3.3.2. Bilans powietrza wentylacyjnego .....	56
3.3.3. Obliczenia na podstawie normy <i>PN-EN 12831</i> .....	61
3.3.4. Obliczenia w zależności od rodzaju wentylacji .....	62
3.3.5. Strategie wentylowania pomieszczeń .....	69

3.4. Zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) .....	70
3.4.1. Dobowa zmienność zapotrzebowania na c.w.u. ....	70
3.4.2. Obliczenia na podstawie zużycia jednostkowego (PN-B/92-01706) .....	75
3.4.3. Obliczenia na podstawie liczby punktów poboru (metoda Sandera) .....	81
3.4.4. Porównanie obu metod .....	84
3.4.5. Obliczenia na podstawie liczby znamionowej $N$ .....	86
3.4.6. Wpływ pojemności cieplnej systemu na wartość $Q_{c.w.u.}$ .....	89
3.4.7. Rekomendacje dotyczące uwzględnienia potrzeb c.w.u. w bilansie węzła cieplnego i ciepłowni .....	94
3.4.8. Zapewnienie c.w.u. w szkołach i urzędach .....	97
3.5. Wskaźniki zapotrzebowania na moc cieplną .....	98
3.6. Zapotrzebowanie na moc cieplną na potrzeby technologiczne .....	99
3.7. Straty ciepła w systemie ciepłowniczym .....	101
3.7.1. Źródła strat ciepła .....	101
3.7.2. Straty na podgrzanie ubytków wody w zładzie .....	102
3.7.3. Szacunkowa wartość strat ciepła .....	103
3.7.4. Straty w rzeczywistych stanach pracy systemu ciepłowniczego .....	104
3.8. Uporządkowany wykres potrzeb cieplnych – wykres kołowy .....	109
3.8.1. Cel sporządzania wykresu .....	109
3.8.2. Ćwiartka I .....	110
3.8.3. Ćwiartka II .....	113
3.8.4. Ćwiartki III i IV .....	115
3.9. Obliczanie rocznego zapotrzebowania na ciepło .....	116
3.9.1. Na podstawie wykresu kołowego .....	116
3.9.2. Zgodnie z metodologią sporządzania świadectw energetycznych (c.o.) .....	117
3.9.3. Zgodnie z metodologią sporządzania świadectw energetycznych (c.w.u.) .....	118
<b>Załącznik 1. Wskaźniki zapotrzebowania na ciepło .....</b>	<b>121</b>
Z.1.1. Wskaźniki zapotrzebowania na ciepło na użytek c.o. .... i wentylacji .....	121
Z.1.2. Wskaźniki zapotrzebowania na ciepło do przygotowania c.w.u. ....	123
<b>Literatura .....</b>	<b>126</b>
<b>CZĘŚĆ 2. PROJEKTOWANIE KOTŁOWNI I CIEPŁOWNI .....</b>	<b>131</b>
<b>4. Źródła ciepła .....</b>	<b>133</b>
4.1. Wstęp .....	133

---

4.2. Kotły tradycyjne jako źródła energii.....	133
4.2.1. Podstawowy podział kotłów ciepłowniczych .....	134
4.2.2. Charakterystyka przykładowych typów kotłów.....	135
4.2.3. Agregaty kogeneracyjne .....	142
4.3. Charakterystyka paliw stosowanych w ciepłowniach.....	144
4.4. Procesy spalania paliw w kotłach .....	147
4.4.1. Równania chemiczne procesów spalania.....	147
4.4.2. Wyznaczanie strumienia spalin .....	151
4.4.3. Warunki spalania zupełnego i całkowitego .....	152
4.4.4. Wskaźniki emisji CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O .....	154
4.4.5. Wskaźnik unosu SO <sub>2</sub> , korozja siarkowa niskotemperaturowa.....	156
4.4.6. Unos pyłu z procesów spalania paliw stałych.....	159
<b>5. Projekt ciepłowni .....</b>	<b>160</b>
5.1. Dobór źródła ciepła, wykres piłowy .....	160
5.2. Dobór palnika gazowego/olejowego .....	164
5.3. Schemat technologiczny ciepłowni – przykłady .....	172
5.3.1. Ciepłownia wodna z kotłami gazowymi pojemnościowymi .....	172
5.3.2. Ciepłownia wodna wysokoparametrowa z kotłami węglowymi przepływowymi .....	175
5.3.3. Ciepłownia wodna niskoparametrowa z kotłami gazowymi pojemnościowymi.....	178
5.3.4. Ciepłownia wodna wysokoparametrowa technologiczno-grzewcza z kotłami gazowymi.....	180
5.4. Układy regulacji strumienia ciepła w systemie ciepłowniczym .....	181
5.4.1. Rodzaje regulacji .....	181
5.4.2. Budowa wykresu regulacyjnego dla źródła ciepła.....	182
5.4.3. Wykresy regulacyjne z przykładowych systemów ciepłowniczych ....	188
5.4.4. Realizacja regulacji strumienia ciepła wysyłanego z ciepłowni .....	190
5.4.5. Dobór zaworów regulacyjnych.....	193
5.5. Zabezpieczenia pracy systemów ciepłowniczych .....	198
5.6. Linia ciśnień – wykres piezometryczny .....	199
5.6.1. Wartości ciśnień granicznych w systemie ciepłowniczym .....	199
5.6.2. Konstrukcja wykresu piezometrycznego .....	201
5.6.3. Lokalizacja pomp obiegowych .....	204
5.6.4. Wykres spadków ciśnień .....	205
5.6.5. Odczytywanie wartości nadciśnienia z wykresu.....	208
5.6.6. Obliczanie ciśnienia dopuszczalnego dla elementów systemu .....	210
5.6.7. Przykłady wykresów piezometrycznych .....	212
5.7. Układy uzupełniania wody i stabilizacji ciśnienia .....	223
5.7.1. Potrzeba uzupełniania ubytków wody i stabilizacji ciśnienia w zładzie .....	223
5.7.2. Schematy układów uzupełniania wody i stabilizacji ciśnienia .....	226

---

5.7.3. Dobór parametrów pracy pomp uzupełniających i stabilizujących .....	236
5.7.4. Warunki stosowania różnych konfiguracji pomp uzupełniających i stabilizujących .....	243
5.7.5. Zestawy uzupełniająco-stabilizujące .....	246
<b>5.8. Dobór pomp .....</b>	<b>252</b>
5.8.1. Pompy dawniej i obecnie .....	252
5.8.2. Charakterystyka instalacji, pompy, punkt pracy .....	253
5.8.3. Regulacja dławieniowa .....	255
5.8.4. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej .....	258
5.8.5. Tryby pracy pompy w regulacji prędkości obrotowej .....	258
5.8.6. Tryb stałej charakterystyki .....	259
5.8.7. Tryb stałościśnieniowy .....	260
5.8.8. Tryb proporcjonalny .....	262
5.8.9. Dobór pomp obiegowych .....	263
5.8.10. Charakterystyki pomp uzupełniających i stabilizujących .....	265
<b>5.9. Uzdatnianie wody .....</b>	<b>266</b>
5.9.1. Wpływ jakości wody na system ciepłowniczy .....	266
5.9.2. Korozja .....	269
5.9.3. Kamień kotłowy .....	273
5.9.4. Wymagania stawiane wodzie kotłowej .....	274
5.9.5. Koagulacja i flokulacja .....	277
5.9.6. Zmiękczenie wody .....	278
5.9.7. Odgazowywanie wody .....	287
5.9.8. Zbiornik wody uzupełniającej .....	300
<b>5.10. Wymagania wobec pomieszczeń kotłowni .....</b>	<b>301</b>
5.10.1. Kotłownie na paliwa stałe, niskoparametrowe .....	301
5.10.2. Kotłownie na paliwa gazowe lżejsze od powietrza .....	304
5.10.3. Kotłownie na paliwa gazowe cięższe od powietrza .....	305
5.10.4. Kotłownie olejowe .....	306
<b>Załącznik 2. Zdjęcia wybranych elementów ciepłowni .....</b>	<b>307</b>
Z.2.1. Kotły i osprzęt .....	307
Z.2.2. Palnik .....	309
Z.2.3. Układ utrzymania minimalnej temperaturę wody powrotnej .....	311
Z.2.4. Ścieżka gazowa i olejowa .....	312
Z.2.5. Regulacja i sterowanie .....	314
Z.2.6. Inne elementy kotłowni i ciepłowni .....	318
<b>Literatura .....</b>	<b>332</b>



## Przedmowa

Podręcznik *Ciepłownictwo. Projektowanie kotłowni i ciepłowni* jest skierowany przede wszystkim do studentów, którzy w ramach kierunku inżynieria środowiska uczestniczą w wykładach, ćwiczeniach i zajęciach projektowych z zakresu ciepłownictwa i central ciepłych, ale może być przydatny również wszystkim, którzy w swojej praktyce zawodowej zajmują się zagadnieniami ogrzewnictwa, ciepłownictwa lub energetyki cieplnej. Przedstawione treści odwołują się do podstawowej wiedzy z zakresu techniki cieplnej i mechaniki płynów. Opisowy sposób prezentacji zagadnień, liczne rysunki, przykłady i pogłębione komentarze umożliwiają poprawne przeprowadzenie obliczeń oraz lepsze zrozumienie założeń, zalet i ograniczeń stosowanej metodyki projektowania. Duży nacisk położono na wyjaśnienie funkcjonowania systemu ciepłowniczego w okresie całego roku, z uwzględnieniem zagadnień regulacji, sterowania, automatyki i współpracy poszczególnych elementów systemu.

Podręcznik obejmuje, obok rozdziałów prezentujących ogólne spojrzenie na zagadnienia ciepłownictwa i systemów ciepłowniczych, bilansowanie ciepłe systemu oraz projektowanie ciepłowni. Omawiając bilans cieplny systemu, przedstawiono różne metody wyznaczania zróżnicowanych potrzeb ciepłych budynków mieszkalnych i obiektów użyteczności publicznej, ze szczególnym uwzględnieniem przyjmowanych założeń i zalecanego zakresu stosowalności. Oprócz algorytmu obliczeń mocy szczytowej w tzw. warunkach normatywnych omówiono funkcjonowanie źródeł ciepła w okresie całorocznej pracy, podkreślając wpływ warunków eksploatacji na dobór źródeł z wykorzystaniem tzw. wykresu kołowego i piłowego.

Jako konieczne wprowadzenie do projektowania ciepłowni przedstawiono charakterystykę wybranych typów kotłów oraz zachodzących w nich procesów, mających wpływ na warunki eksploatacji urządzeń, a także na wartości emitowanych zanieczyszczeń powietrza.

Dla różnych typów ciepłowni omówiono schematy technologiczne, wykresy linii ciśnień, wykresy regulacyjne, a także układy zabezpieczeń oraz zagadnienia regulacji i sterowania poszczególnymi elementami systemu oraz współpracy między nimi.

W podręczniku wykorzystano m.in. materiały z wykładów z przedmiotu ciepłownictwo prowadzonego do roku 2015 przez dra hab. inż. Zbigniewa Bagińskiego na kierunku inżynieria środowiska Politechniki Poznańskiej.