

KAZIMIERZ ŻARSKI

**KOLEKTORY
SŁONECZNE
I POMPY CIEPŁA
PROJEKTOWANIE
OBIEGÓW**

**+ programy
kalkulacyjne**

POLcen

**POLCEN
Warszawa 2026**

SPIS TREŚCI

Od Wydawcy	9
Przedmowa	11
Rozdział 1. Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł ciepła i energii w ciepłownictwie i ogrzewnictwie	13
1.1. Możliwości wykorzystania energii wewnętrznej gruntu	16
1.2. Możliwości wykorzystania energii wewnętrznej powietrza zewnętrznego	19
1.3. Możliwości wykorzystania energii słonecznej	21
Rozdział 2. Bilans cieplny obiektów ogrzewanych	27
2.1. Zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania.....	27
2.2. Zapotrzebowanie na moc cieplną do wentylacji	36
2.3. Zapotrzebowanie na moc cieplną do przygotowania ciepłej wody	37
2.4. Zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania basenu kąpielowego	40
Rozdział 3. Podstawy teoretyczne obliczeń strat ciśnienia w rurociągach	45
3.1. Właściwości fizyczne nośników ciepła.....	45
3.2. Miejscowe i liniowe straty ciśnienia przy przepływie nośnika ciepła	46
Rozdział 4. Sprawność i efektywność procesów przekazywania ciepła	51
4.1. Definicja sprawności i efektywności systemów przekazywania ciepła	51
4.2. Chwilowa i sezonowa sprawność i efektywność układów kolektorów słonecznych	57
4.3. Chwilowa i sezonowa sprawność i efektywność układów pomp ciepła.....	58

SPIS TREŚCI

Rozdział 5. Projektowanie central ciepłych z kolektorami słonecznymi	61
5.1. Bilans chwilowy, dobowy i roczny kolektora słonecznego	61
5.2. Stopień pokrycia zapotrzebowania na ciepłą wodę.....	65
5.3. Moc cieplna układu kolektorów słonecznych	69
5.4. Strumień masy nośnika ciepła w obiegach kolektorów słonecznych	71
5.5. Dobór wymiennika ciepła i zasobnika ciepłej wody	71
5.6. Dobór średnicy rurociągów i armatury, obliczenia hydrauliczne.....	74
5.7. Dobór pomp	75
5.8. Dobór elementów zabezpieczających przed wzrostem ciśnienia	76
5.9. Dobór izolacji cieplnej	83
5.10. Schemat ideowy i automatyczna regulacja parametrów centrali ciepła z kolektorami słonecznymi	83
5.11. Kompleksowe obliczenia układu kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody	88
Rozdział 6. Projektowanie central ciepłych z pompami ciepła	95
6.1. Moc cieplna układu zasilanego z pomp ciepła i dostosowanie parametrów pompy ciepła do parametrów instalacji	95
6.2. Moc katalogowa i moc projektowa pompy ciepła	102
6.2.1. Moc katalogowa i moc projektowa powietrznej pompy ciepła w układzie monowalentnym	104
6.2.2. Moc katalogowa i moc projektowa gruntowej pompy ciepła w układzie monowalentnym (autonomicznym).....	107
6.3. Dobór pompy ciepła przy współpracy z innymi źródłami ciepła i energii, rozdział mocy i produkcji ciepła	108
6.3.1. Powietrzna pompa ciepła z drugim źródłem	108
6.3.2. Gruntowa pompa ciepła z drugim źródłem	111
6.4. Dobór gruntowego wymiennika ciepła.....	117

SPIS TREŚCI

6.5. Strumień masy nośnika ciepła w obiegach centrali z pompami ciepła.....	123
6.6. Dobór zbiornika buforowego	132
6.7. Dobór wymiennika ciepła i zasobnika ciepłej wody	132
6.8. Dobór średnicy rurociągów i armatury	134
6.9. Dobór pomp	135
6.10. Dobór elementów zabezpieczających przed wzrostem ciśnienia	136
6.11. Dobór izolacji cieplnej.....	137
6.12. Schemat ideowy centrali ciepła z pompami ciepła.....	137
6.13. Kompleksowe obliczenia centrali z pompami ciepła.....	139
Rozdział 7. Efektywność ekonomiczna układów hybrydowych . . .	145
7.1. Efektywność ekonomiczna kotłowni z kolektorami słonecznymi	146
7.2. Efektywność ekonomiczna węzłów cieplnych z kolektorami słonecznymi.....	148
7.3. Efektywność ekonomiczna kotłowni z pompami ciepła.....	149
7.4. Efektywność ekonomiczna węzłów cieplnych z pompami ciepła	150
Rozdział 8. Projekt centrali cieplnej z kolektorami słonecznymi i pompami ciepła	153
8.1. Opis techniczny	154
8.2. Część rysunkowa	158
8.3. Przykładowy schemat ideowy centrali cieplnej z pompami ciepła i kolektorami słonecznymi	160
Załącznik. Programy kalkulacyjne	161
Bibliografia	163
Wykaz rysunków	167
Wykaz tabel	171

OD WYDAWCY

Oddajemy do rąk Czytelników książkę „**Kolektory słoneczne i pompy ciepła. Projektowanie obiegów**” 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 skupienie się na zasadach obliczeń i wymiarowania obiegów nośnika ciepła w centralach ciepłych z kolektorami słonecznymi i pompami ciepła.

Pozycja wydawnicza jest adresowana w głównej mierze do projektantów HVACR. Książka może też być przydatna studentom inżynierii środowiska i infrastruktury technicznej budownictwa wyższych uczelni

Praca składa się z 8 rozdziałów, zawiera 44 rysunki oraz 43 tabele.

Do książki dołączono załączniki w postaci arkuszy kalkulacyjnych i autorskich programów komputerowych wspomagających projektowanie central ciepła z kolektorami słonecznymi i pompami ciepła.

Link do pobrania programów:
<https://www.polcen24.pl/pl/n/7>

PRZEDMOWA

Pozycja wydawnicza „**Kolektory słoneczne i pompy ciepła. Projektowanie obiegów**” dotyczy dość wąskiego spectrum zagadnień technicznych. Jest to celowe zamierzenie autora, aby skupić się na zasadach obliczeń i wymiarowania obiegów nośnika ciepła w centralach ciepłych z kolektorami słonecznymi i pompami ciepła, pozostawiając Czytelnikowi możliwość korzystania z literatury omawiającej kompleksowe zagadnienia takie jak: wykorzystanie i efektywność zastosowania odnawialnych źródeł ciepła i energii, budowa pomp ciepła, termodynamika układów chłodniczych i charakterystyka czynników chłodniczych. Te zagadnienia uczyniłyby merytorycznie treść tej książki mniej czytelną. Potrzeba napisania tej pozycji wydawniczej wynikła z kilku przesłanek: z braku literatury dotyczącej stricte zasad projektowania cieplnego i hydraulicznego obiegów układu kolektorów słonecznych i pomp ciepła, z obecności na rynku układów technicznych obarczonych błędami, „przestarzałych” zasad obliczeń hydraulicznych przewodów, ale także z praktyki autora: współpracy ze szwedzkimi projektantami w latach 1995–2004. Ta współpraca, w połączeniu z „nauką na własnych błędach”, pozwoliła autorowi na zrozumienie idei projektowania układów wykorzystujących odnawialne źródła ciepła i energii, zwłaszcza układów pomp ciepła. Układy te mają specyficzne wymagania, które niespełnione prowadzą do nieprawidłowego działania urządzeń, ich przedwczesnego zużycia i do uzyskania niekorzystnych efektów ekonomicznych, przekładających się na wysokie koszty eksploatacji. W książce omówiono zasady sporządzania bilansu ciepła, zasady doboru mocy cieplnej układów i urządzeń, zasady wymiarowania zbiorników buforowych, wymienników ciepła, układu rurociągów i ich elementów oraz systemów zabezpieczenia przed wzrostem i spadkiem ciśnienia. Niewielka objętość pracy ma, w zamyśle autora, skłonić Czytelnika do przeczytania całej treści i nabrania przekonania, że układy odnawialnych źródeł ciepła i energii projektuje się odmiennie niż układy kotłowni i węzłów cieplnych.

Adresatami tej książki są w głównej mierze projektanci HVACR, ale mogą być nimi również studenci wydziałów inżynierii środowiska i infrastruktury technicznej budownictwa wyższych uczelni. Autor będzie wdzięczny za wszelkie nadesłane przez Czytelników uwagi i sugestie merytoryczne.

Kazimierz Żarski, sierpień 2025

ROZDZIAŁ 1

Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł ciepła i energii w ciepłownictwie i ogrzewnictwie

Pojęcia „alternatywnych” lub „niekonwencjonalnych” źródeł energii wyszły obecnie z użycia. Właściwym podziałem jest podział na nieodnawialne i odnawialne źródła ciepła i energii. W źródłach odnawialnych jest zgromadzona energia wewnętrzna lub energia promieniowania, która może zostać zamieniona na ciepło lub energię. W odniesieniu do potrzeb grzewczych budynków prawidłowy jest termin: *ciepło z odnawialnych źródeł energii*, a nie *energia odnawialna*.

Atrakcyjność zastosowania odnawialnych źródeł energii do ogrzewania lub przygotowania ciepłej wody zależy w dużym stopniu od kosztu urządzeń przetwarzających energię, który dziś jeszcze jest wyższy niż koszt urządzeń do pozyskania ciepła ze źródeł nieodnawialnych. Do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody w warunkach krajowych mogą być wykorzystane następujące źródła energii:

- woda gruntowa,
- wody głębinowe (energia geotermalna),
- wody powierzchniowe,
- wody technologiczne,
- powietrze wentylacyjne (wywiewane),
- ścieki,
- biomasa,
- biogaz,
- **grunt,**
- **powietrze zewnętrzne,**
- promieniowanie słoneczne.

Promieniowanie słoneczne i energia wewnętrzna gruntu oraz powietrza zewnętrznego zostaną omówione szczegółowo w kolejnych podrozdziałach. Poniżej w skrócie omówiono możliwości pozyskania ciepła z innych źródeł.

- Ciepło zawarte w wodzie gruntowej można wykorzystać bezpośrednio, przez ujęcie wody w jednej studni i odprowadzenie w drugiej lub pośrednio przez zanurzenie w wodzie wymiennika z czynnikiem pośredniczącym. Przy temperaturze wody co najmniej 8°C można strumień wody bezpośrednio skierować do parownika pompy ciepła bez czynnika pośredniczącego. Pozwala to na osiągnięcie



ROZDZIAŁ 2

Bilans cieplny obiektów ogrzewanych

Podstawą do doboru mocy układu ogrzewania, przygotowania ciepłej wody, wentylacji lub technologii basenu kąpielowego jest sporządzenie bilansu ciepła. W obliczeniach wyznacza się maksymalną moc cieplną źródła: np. kolektorów słonecznych, pompy ciepła albo układów hybrydowych.

2.1. Zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania

Bilans zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzewania budynków powinien być sporządzony przy założeniach zgodnych z ostatnią edycją normy PN-EN 12831:2017 [N6]. Obliczenia zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzewania budynków według edycji ww. normy z roku 2006 [N5] **nie odpowiada dzisiejszym standardom ochrony cieplnej budynków i prowadzi do znacznie zawyżonej wielkości mocy cieplnej, która nie występuje w rzeczywistości.**

- Temperaturę pomieszczeń ogrzewanych przyjmuje się zgodnie z Warunkami Technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [P3]. Podano ją w tabeli 2.1. wraz z wartościami wynikającymi z dobrej praktyki (zalecenia autora).

Tab. 2.1. Temperatura pomieszczeń ogrzewanych według [P3] i zalecana przez autora

Przestrzeń ogrzewana	Temperatura powietrza według [P3] [°C]	Temperatura powietrza zalecana przez autora [°C]
Przestrzeń mieszkalna, biurowa, WC	20	20..23
Łazienki z natryskami	24	24..25
Hotele	20	20..22
Sale widowiskowe bez szatni	16	18..19
Sale sportowe, siłownie	16	18..19
Galerie handlowe	16	19
Hipermarkety (sala sprzedaży)	16	18..19
Hipermarkety (magazyn)	12	12..16
Baseny kąpielowe	24	30..32
Garaże indywidualne	5	8..12
Garaże zbiorowe	5	5..8



ROZDZIAŁ 2

	brutto	zyski wewn.	efektywne	względne
t_e	Φ	Φ_{z1}	Φ_{ef}	Φ_{ef}/Φ_o
-2	3.37	0.60	2.77	0.46
-1	3.22	0.60	2.62	0.44
0	3.07	0.60	2.47	0.41
1	2.93	0.60	2.33	0.39
2	2.78	0.60	2.18	0.36
3	2.63	0.60	2.03	0.34
4	2.49	0.60	1.89	0.31
5	2.34	0.60	1.74	0.29
6	2.20	0.60	1.60	0.27
7	2.05	0.60	1.45	0.24
8	1.90	0.60	1.30	0.22
9	1.76	0.60	1.16	0.19
10	1.61	0.60	1.01	0.17
11	1.46	0.60	0.86	0.14
12	1.32	0.60	0.72	0.12
13	1.17	0.60	0.57	0.10
14	1.02	0.60	0.42	0.07
15	0.88	0.60	0.28	0.05
16	0.73	0.60	0.13	0.02

Z rysunku 2.4. można odczytać, że względne obciążenie cieplne budynku w okresie o temperaturze zewnętrznej powyżej 7°C jest mniejsze niż 25%. Jest to istotne przy doborze pompy ciepła.

2.2. Zapotrzebowanie na moc cieplną do wentylacji

Zapotrzebowanie na moc cieplną do podgrzania powietrza wentylacyjnego należy określić ze wzoru

$$\Phi_w = V(t_n - t_e)c_p(1 - \eta_{oc})(1 - \eta_{GWC}) \quad (2.8)$$

gdzie:

Φ_w – zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzania powietrza wentylacyjnego [kW],

V – strumień objętości powietrza wentylacyjnego [m³/s],

t_n – temperatura powietrza nawiewanego [°C],

t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C],

c_p – ciepło właściwe powietrza odniesione do objętości, równe 1.2 W/(m³ K),

η_{oc} – sprawność temperaturowa gruntowego wymiennika ciepła odniesiona do temperatury powietrza wewnętrznego w warunkach obliczeniowych.

Bilans cieplny obiektów ogrzewanych

Sprawność odzyskiwania ciepła zależy od przyjętego sposobu zabezpieczenia wymiennika do odzyskiwania ciepła przed obniżeniem temperatury powierzchni (zamrożeniem). Jeżeli jest zastosowane obejście wymiennika ON/OFF, wówczas sprawność należy przyjąć 0, jeżeli jest to płynne obejście, sprawność w warunkach najniższej temperatury powietrza zewnętrznego. Na terenie Polski jest to przedział $0.5 \div 0.6$, w zależności od strefy klimatycznej [CP12].

Zapotrzebowanie na moc cieplną do wentylacji jest wprost proporcjonalne do różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej. W instalacji wentylacyjnej należy założyć działanie nagrzewnicy poniżej temperatury zewnętrznej ok. 18°C , stąd minimalne zapotrzebowanie na moc cieplną stanowi ok. 5% zapotrzebowania obliczeniowego. Jest to istotne w systemach grzewczych z pompami ciepła.

2.3. Zapotrzebowanie na moc cieplną do przygotowania ciepłej wody

Zapotrzebowanie na ciepłą wodę należy określić w różnych jednostkach czasu jako:

- średnie godzinowe, m_{srh} , kg/h,
- maksymalne 20-minutowe, m_{20} , kg/h,
- chwilowe, q , kg/s (dm^3/s).

- Średnie godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę oblicza się ze wzoru

$$m_{\text{srh}} = \frac{m_{\text{d}}}{24} \quad (2.9)$$

gdzie:

m_{d} – maksymalne dobowe zapotrzebowanie na c.w. [kg/d].

- Maksymalne 20-minutowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę oblicza się ze wzoru

$$m_{20} = m_{\text{srh}} \cdot N_{20} \quad (2.10)$$

gdzie:

m_{20} – maksymalne 20-minutowe zapotrzebowanie na c.w. [kg/h],

N_{20} – współczynnik 20-minutowej nierównomierności zapotrzebowania na c.w. określony ze wzoru [11]

$$N_{20} = 10.96(LM)^{-0.231} \quad (2.11)$$

LM – liczba **mieszkań**

Do obliczeń sekcji c.w. ze stabilizatorem temperatury jest przyjmowane **20-minutowe** zapotrzebowanie, do obliczeń obwodu wspólnego, przy funkcji priorytetu c.w., zapotrzebowanie **średnie godzinowe** [11].



ROZDZIAŁ 3

Podstawy teoretyczne obliczeń strat ciśnienia w rurociągach

3.1. Właściwości fizyczne nośników ciepła

W układach kolektorów słonecznych lub pomp ciepła medium grzewczym może być woda, lub wodny roztwór glikolu propylenowego o stężeniu 25÷35%. Glikol etylenowy obecnie nie jest używany ze względu na właściwości fizyczne (jest silnie toksyczny i palny). Stężenie glikolu musi odpowiadać warunkom zewnętrznym ze względu na zamarzanie, ale niekoniecznie ekstremalnej temperaturze powietrza zewnętrznego, jeśli nie wystąpi przypadek zatrzymania przepływu na dłuższy czas przy niskiej temperaturze. Rurociągi układów kolektorów słonecznych są narażone na dłuższe zatrzymanie przepływu, rurociągi układów pompy ciepła w znacznie mniejszym stopniu. Spośród właściwości fizycznych nośnika ciepła w zagadnieniach wymiany ciepła i masy mają znaczenie: gęstość, lepkość, przewodność cieplna i pojemność cieplna. Odpowiednie wielkości fizyczne je określające to: gęstość (ρ), kinematyczny współczynnik lepkości (ν), współczynnik przewodzenia ciepła (λ) i ciepło właściwe (c_p). W tabeli 3.1. zestawiono wzory do określenia właściwości fizycznych wody i roztworu glikolu propylenowego (GP%) przy różnym stężeniu w funkcji temperatury [9, CP13].

Tab. 3.1. Właściwości fizyczne wody i roztworu glikolu propylenowego przy różnym stężeniu w funkcji temperatury [CP13](liczby w zapisie „komputerowym”)

ρ	
woda	$=999.732+0.07935t-0.00857t^2+5.83E-05t^3-2.677E-07t^4+4.843E-10t^5$
GP25%	$=-4E-09t^4+3E-07t^3-0.003t^2-0.5122t+1039.1$
GP30%	$=1E-11t^6-3E-09t^5+2E-07t^4-1E-07t^3-0.0034t^2-0.4643t+1034.7$
GP35%	$=4E-12t^6-6E-10t^5+4E-09t^4+2E-06t^3-0.003t^2-0.5132t+1039.1$
ν	
woda	$=1/(556406.7+19689.27t+124.6096t^2-0.3783792t^3)$
GP25%	$=1/(4E-07t^6-7E-05t^5-0.0012t^4+0.8996t^3+118.93t^2+6080.5t+114246)$
GP30%	$=1/(0.0000002t^6-0.00003t^5-0.0033t^4+0.8477t^3+134.87t^2+7340.5t+145233)$
GP35%	$=1/(0.0000002t^6-0.00004t^5-0.0024t^4+0.8703t^3+120.8t^2+6131.7t+115142)$





ROZDZIAŁ 4

Sprawność i efektywność procesów przekazywania ciepła

4.1. Definicja sprawności i efektywności systemów przekazywania ciepła

W przyrodzie i w technice nie istnieją procesy (przemiany, cykle lub obiegi) idealne. Pojęcia te wymagają zdefiniowania [8, 10]:

- **Układ termodynamiczny**

Układ termodynamiczny to wydzielona część Wszechświata, oddzielona od otoczenia osłoną termodynamiczną. Układem termodynamicznym jest np. gaz zgromadzony w parowniku pompy ciepła. Oddzielenie może być całkowite (układ zamknięty) lub częściowe (układ otwarty). Zamknięcie lub otwarcie układu termodynamicznego dotyczy przepływu masy i przepływu ciepła. W technice nie istnieją idealne układy zamknięte.

- **Stan termodynamiczny**

Stan termodynamiczny to punkt przestrzeni stanu określony za pomocą tzw. parametrów stanu: ciśnienia, temperatury, gęstości, energii wewnętrznej, entropii, entalpii. Stanu termodynamicznego nie określają właściwości fizyczne inne niż gęstość (objętość właściwa). Parametry stanu są niezależne lub zależne. Np. jeśli jest określone ciśnienie i temperatura gazu (doskonałego), to inne parametry są parametrami zależnymi.

- **Przemiana termodynamiczna**

Przemiana termodynamiczna polega na zmianie stanu układu pomiędzy dowolnie przyjętymi stanami: początkowym i końcowym.

- **Cykl przemian termodynamicznych (cykl termodynamiczny)**

Cykl termodynamiczny stanowi ciąg następujących po sobie n przemian termodynamicznych, w których parametry (parametry stanu) wyjściowe (końcowe) przemiany j są parametrami wejściowymi (początkowymi) przemiany $j+1$. Parametry wyjściowe ostatniej przemiany **nie muszą** być parametrami wejściowymi pierwszej przemiany. Przemianom składowym może podlegać **różna masa** czynnika termodynamicznego.





ROZDZIAŁ 5

Projektowanie central ciepłych z kolektorami słonecznymi

Kolektory słoneczne na terenie Polski są stosowane głównie do przygotowania ciepłej wody użytkowej, rzadziej do ogrzewania pomieszczeń lub wody w basenie kąpielowym. Kolektory słoneczne są też korzystnym elementem układu gruntowej pompy ciepła – podgrzewają nośnik ciepła w obiegu wymiennika gruntowego, regenerując wymiennik w okresach nasłonecznienia w chłodnym okresie roku. Zasady obliczeń ciepłych są w każdym przypadku takie same. Dokładnie omówiono zasady projektowania układu kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody. Dołączone programy kalkulacyjne pozwalają na projektowanie innych układów, np. do podgrzewania wody w basenach kąpielowych.

5.1. Bilans chwilowy, dobowy i roczny kolektora słonecznego

Na rysunku 5.1. pokazano widok kolektora płaskiego i kolektora próżniowego. Szczegóły budowy kolektorów słonecznych Czytelnik znajdzie w bogatej ofercie producentów w Internecie. Różnica między kolektorami sprowadza się do ceny i do sprawności pozyskiwania energii słonecznej. W tabeli 5.1. i 5.2. podano przykładowe dane kolektora słonecznego: płaskiego i próżniowego.

Rys. 5.1. Kolektor płaski i próżniowy [K1, W15]

