

## Spis treści

<b>1. Wprowadzenie</b> .....	<b>1</b>
1.1 Klimat, klimatyzacja pomieszczeń, technika klimatyzacyjna.....	1
1.2 Wymagania stawiane technice klimatyzacyjnej.....	1
1.2.1 Uczucie komfortu i jakość powietrza w pomieszczeniu.....	2
1.2.2 Uczucie komfortu cieplnego.....	3
1.2.3 Uczucie komfortu nietermicznego.....	3
1.3 Wpływ klimatu na koncepcję obróbki powietrza i eksploatację instalacji klimatyzacyjnych.....	5
1.3.1 Redukcja obciążeń zewnętrznych lub ilości powietrza.....	5
1.3.2 Kształtowanie przepływu powietrza w pomieszczeniu.....	6
1.3.3 Wymagania w stosunku do obróbki powietrza.....	7
1.3.4 Wymagania w stosunku do regulacji.....	7
1.4 Normy, wytyczne, literatura, adresy.....	8
Literatura.....	9
<b>2. Podstawy meteorologiczne</b> .....	<b>11</b>
2.1 Wstęp.....	13
2.2 Pogoda, stan pogody, klimat.....	14
2.2.1 Pogoda.....	14
2.2.2 Stan pogody.....	15
2.2.3 Klimat.....	15
2.2.4 Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.....	17
2.3 Techniczne opracowywanie danych meteorologicznych.....	21
2.3.1 Klimatologia wartości średnich.....	21
2.3.2 Dane dotyczące częstości występowania stanów meteorologicznych.....	22
2.4 Elementy meteorologiczne.....	24
2.4.1 Barometryczne ciśnienie powietrza i gęstość powietrza zewnętrznego.....	24
2.4.2 Wiatr.....	26
2.4.3 Temperatura powietrza zewnętrznego.....	29
2.4.4 Wilgotność powietrza zewnętrznego.....	35
2.4.5 Natężenie promieniowania słonecznego.....	38
2.5 Techniczne opracowanie danych meteorologicznych.....	50
2.5.1 Korelacja elementów meteorologicznych.....	50
2.5.2 Stopniodni, stopniogodziny, gramodni i gramogodziny.....	51
2.5.3 Typowy rok meteorologiczny.....	54
2.5.4 Dane klimatyczne ważne dla celów praktycznych.....	55
Literatura.....	56
<b>3. Podstawy fizjologiczne</b> .....	<b>59</b>
3.1 Wprowadzenie.....	60
3.2 Bilans cieplny człowieka.....	60
3.2.1 Energetyczna przemiana materii.....	61
3.2.2 Regulacja temperatury ciała.....	61
3.2.3 Produkcja ciepła.....	63
3.2.4 Oddawanie ciepła.....	64
3.2.5 Odzież.....	69
3.3 Klimat cieplny pomieszczenia i uczucie komfortu.....	70
3.3.1 Odczuwanie temperatury przez człowieka.....	71
3.3.2 Uczucie komfortu.....	71

3.3.3	Wielkości wpływające na uczucie komfortu.....	74
3.3.3.1	Temperatura.....	75
3.3.3.2	Prędkość powietrza.....	82
3.3.3.3	Wilgotność powietrza.....	86
3.3.4	Metody pomiarowe.....	88
3.4	Jakościowe i ilościowe zapotrzebowanie powietrza przez człowieka.....	89
3.4.1	Oddychanie.....	89
3.4.2	Zapotrzebowanie na powietrze oraz minimalny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego.....	91
3.4.3	Zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniu przez gaz, pary, pyły oraz mikroorganizmy.....	96
3.5	Wpływ szumów, oświetlenia i elektryczności na klimat pomieszczeń.....	103
3.6	Wymagania higieniczne w stosunku do instalacji urządzeń klimatyzacyjnych i wentylacyjnych.....	105
3.6.1	Wymagania w stosunku do projektowania, produkcji i wykonania – zasysanie powietrza zewnętrznego.....	106
3.6.2	Wymagania w stosunku do eksploatacji i konserwacji.....	108
3.6.3	Sanitarne kontrole higieniczne.....	109
3.6.4	Inspekcje higieniczne (sanitarne).....	109
3.6.5	Szkolenie w zakresie higieny.....	111
	Literatura.....	111
<b>4.</b>	<b>Wymiana ciepła.....</b>	<b>113</b>
	Wstęp.....	118
4.1	Przewodzenie ciepła.....	119
4.1.1	Współczynnik przewodzenia ciepła.....	120
4.1.2	Stacjonarne przewodzenie ciepła.....	122
4.1.3	Przenikanie ciepła.....	122
4.1.4	Przenikanie ciepła przez żebra.....	132
4.1.5	Niestacjonarne przewodzenie ciepła.....	138
4.2	Konwekcja.....	149
4.2.1	Płyta z opływem wzdłużnym.....	150
4.2.2	Ciała opływane.....	154
4.2.3	Ciała złożone z płynem przepływającym.....	156
4.2.4	Konwekcja swobodna pojedynczych ciał.....	158
4.2.5	Konwekcja swobodna w warstwach.....	160
4.2.6	Kanały z przepływającym płynem.....	165
4.3	Wymiana ciepła przy zmianie stanu.....	173
4.3.1	Wymiana ciepła przy parowaniu.....	173
4.3.2	Skraplanie.....	178
4.4	Wymiana ciepła przez promieniowanie.....	182
4.4.1	Promieniowanie ciała doskonale czarnego.....	183
4.4.2	Promieniowanie ciała rzeczywistego.....	185
4.4.3	Prawo Kirchhoffa.....	185
4.4.4	Promieniowanie pomiędzy powierzchniami.....	186
4.4.5	Radiacyjny współczynnik przejmowania ciepła.....	189
4.4.6	Temperatura odczuwalna.....	193
4.5	Wymiana masy.....	196
4.5.1	Dyfuzja gazów i przejmowanie masy.....	196

4.5.2	Dyfuzja pary przez substancje stałe .....	202
4.5.3	Osadzanie się skroplin na powierzchniach wewnętrznych .....	204
4.5.4	Osadzanie się skroplin na elementach budowlanych pomieszczeń nieklimatyzowanych .....	204
4.5.5	Wyznaczanie wykraplania wilgoci pod względem przepływu wilgoci dla pomieszczeń klimatyzowanych .....	210
4.6	Właściwości fizyczne .....	222
	Literatura .....	236
<b>5.</b>	<b>Powietrze wilgotne - prawa i ich zastosowanie.....</b>	<b>239</b>
5.1	Wprowadzenie.....	240
5.2	Parametry powietrza wilgotnego.....	241
5.3	Wykres $h_{1+x}$ , $x$ dla powietrza wilgotnego według <i>Moliera</i> .....	248
5.4	Prawo zachowania masy oraz I zasada termodynamiki w technice klimatyzacyjnej i wentylacyjnej.....	249
5.4.1	Prawo zachowania masy .....	250
5.4.2	Pierwsza zasada termodynamiki dla układów otwartych.....	250
5.5	Parowanie (dyfuzyjne) .....	252
5.6	Wykres $t$ , $x$ według <i>Carrier</i> .....	255
5.7	Zmiany stanu powietrza wilgotnego w urządzeniach instalacji klimatyzacyjnej i wentylacyjnej.....	257
5.7.1	Komora mieszania.....	257
5.7.2	Nagrzewnica.....	259
5.7.3	Wentylator .....	261
5.7.4	Przeponowa chłodnica powietrza.....	262
5.7.5	Nawilżacz parowy.....	265
5.7.6	Nawilżacz dyszowy (komora zraszania).....	267
5.7.7	Wymienniki do odzysku ciepła .....	270
5.7.8	Filtr.....	272
	Literatura .....	273
<b>6.</b>	<b>Podstawy techniki chłodniczej .....</b>	<b>275</b>
6.1	Wprowadzenie.....	276
6.2	Chłodnie wyparne .....	276
6.2.1	Funkcja i budowa .....	276
6.2.2	Zmiany stanu powietrza oraz wody .....	279
6.3	Otwarte sorpcyjne agregaty chłodnicze .....	280
6.3.1	Funkcja i budowa urządzenia.....	280
6.3.2	Wielkości obliczeniowe .....	282
6.4	Sprężarkowe urządzenia chłodnicze .....	284
6.4.1	Wprowadzenie.....	284
6.4.2	Przegląd funkcji .....	285
6.4.3	Obieg <i>Carnota</i> .....	287
6.4.4	Procesy zachodzące w obiegu rzeczywistym.....	290
6.4.4.1	Obieg.....	290
6.4.4.2	Składniki instalacji.....	292
6.4.5	Czynniki chłodnicze.....	295
6.4.5.1	Początki i rozwój.....	295
6.4.5.2	Właściwości .....	295
6.4.5.3	Nomenklatura.....	298

6.4.6	Wykres $\log p, h (p, h)$ .....	298
6.4.6.1	Budowa .....	298
6.4.6.2	Obieg na wykresie $p, h$ .....	300
6.4.7	Wykresy dla czynników chłodniczych, tablice własności czynników chłodniczych .....	302
6.5	Absorpcyjne agregaty chłodnicze .....	327
6.5.1	Wprowadzenie .....	327
6.5.2	Funkcja .....	328
6.5.3	Obieg Carnota .....	330
6.5.4	Rzeczywiste agregaty chłodnicze .....	332
6.5.5	Wykres $\log p, 1/T$ .....	333
	Literatura .....	337
<b>7.</b>	<b>Podstawy przepływu płynów .....</b>	<b>339</b>
7.1	Wiadomości ogólne .....	340
7.2	Przepływ wolny od tarcia .....	341
7.2.1	Równanie ciągłości .....	342
7.2.2	Równanie energii (równanie Bernoulliego) .....	343
7.2.3	Ciśnienie całkowite, ciśnienie statyczne i dynamiczne .....	345
7.3	Zasada zachowania pędu .....	349
7.4	Przepływ z uwzględnieniem tarcia .....	350
7.4.1	Równanie energii dla przepływu z uwzględnieniem tarcia .....	351
7.4.2	Lepkość płynów .....	351
7.4.3	Prawo podobieństwa .....	352
7.4.4	Formy przepływu .....	354
7.4.5	Stopień turbulencji .....	358
7.4.6	Przepływ przy wlocie do rury i warstwa graniczna .....	359
7.5	Opory przepływu w kanałach .....	361
7.5.1	Opory przepływu w rurze prostej .....	362
7.5.1.1	Współczynnik tarcia w rurach $\lambda$ przy przepływie laminarnym .....	362
7.5.1.2	Współczynnik tarcia w rurach $\lambda$ przy przepływie turbulentnym .....	363
7.5.1.3	Wysokość chropowatości $k$ .....	365
7.5.2	Średnica hydrauliczna .....	367
7.5.3	Średnica równoważna .....	368
7.6	Opory miejscowe .....	370
7.6.1	Rozszerzenie przekroju poprzecznego (dyfuzor) .....	370
7.6.2	Zwężenie przekroju poprzecznego .....	374
7.6.3	Zmiany kierunku (łuki, kolana) .....	376
7.6.4	Rozgałęzienia rur .....	379
7.7	Pomiar przepływu .....	381
7.8	Przepływ powietrza w pomieszczeniu – wentylacja naturalna i mechaniczna .....	382
7.8.1	Wentylacja mieszana .....	386
7.8.1.1	Wprowadzenie oraz charakterystyczne właściwości strumieni powietrza .....	386
7.8.1.2	Efekt <i>Coandy</i> .....	399
7.8.1.3	Zapory i przeszkody zamontowane przy suficie .....	400
7.8.1.4	Otwory wywiewne .....	400
7.8.1.5	Przepływ w pomieszczeniach zamkniętych .....	401

7.8.2	Wentylacja wyporowa .....	408
7.8.3	Wentylacja źródłowa (miejscowa) .....	409
7.8.4	Skuteczność wentylacji .....	418
7.8.4.1	Sprawność wymiany powietrza .....	419
7.8.4.2	Efektywność wentylacji .....	421
7.8.4.3	Metody pomiarowe .....	422
7.8.5	Numeryczne obliczanie przepływu powietrza w pomieszczeniu.....	423
	Literatura .....	427
<b>8.</b>	<b>Podstawy akustyki .....</b>	<b>431</b>
8.1	Wprowadzenie.....	432
8.2	Podstawy fizyczne oraz definicje .....	432
8.2.1	Powstawanie dźwięku .....	432
8.2.2	Częstotliwość oraz amplituda ciśnienia akustycznego .....	434
8.2.3	Moc akustyczna i natężenie akustyczne.....	435
8.3	Tworzenie i dodawanie poziomów hałasu .....	439
8.4	Analiza szumów .....	444
8.4.1	Pasma oktauwowe i tercjowe .....	444
8.4.2	Głośność.....	446
8.4.3	Krzywe graniczne .....	448
8.4.4	Szumy impulsowe .....	450
8.4.5	Poziom uśredniony (norma DIN 45 641).....	451
8.4.6	Poziom oceny (norma DIN 45 645).....	451
8.5	Dopuszczalne poziomy akustyczne (wymagania w stosunku do „pomieszczeń wymagających ochrony”).....	452
8.6	Wpływ pomieszczenia.....	455
8.6.1	Pomieszczenie quasi-sześcienne .....	457
8.6.2	Pomieszczenie płaskie i pomieszczenie długie.....	464
8.7	Izolacja akustyczna .....	466
8.7.1	Izolacja dźwięku w powietrzu.....	467
8.7.2	Szacowany wskaźnik izolacyjności akustycznej $R'_w$ .....	469
8.7.3	Normowana różnica poziomu akustycznego .....	480
8.7.4	Różnica poziomu w szybie .....	480
8.8	Podsumowanie .....	481
	Literatura .....	481
<b>9.</b>	<b>Podstawy oczyszczania powietrza .....</b>	<b>483</b>
9.1	Informacje wstępne .....	483
9.2	Pył i jego zachowanie.....	485
9.2.1	Pojęcia podstawowe .....	485
9.2.2	Wyznaczanie rozdrobnienia .....	487
9.2.3	Prawo opadania cząstek pyłu .....	488
9.3	Oddzielanie pyłu w filtrach powietrza .....	490
9.4	Filtry powietrza dla ogólnej techniki klimatyzacyjnej i wentylacyjnej.....	493
9.4.1	Wymagania.....	493
9.4.2	Sprawdzenie filtra oraz podział na klasy według normy DIN EN 779 [8] .....	496
9.4.2.1	Aktualny stan unormowania, opis przebiegu sprawdzenia filtra.....	496
9.4.2.2	Wielkości oraz ich definicje .....	499
9.5	Wysokosprawne filtry powietrza.....	502
9.5.1	Wstęp.....	502

9.5.2	Teoria filtrów .....	502
9.5.3	Sprawdzenie filtra oraz podział na klasy według normy DIN EN 1822-1 .....	504
9.5.4	Różnice ciśnienia .....	507
9.6	Elektrofiltry powietrza .....	507
9.7	Filtry adsorpcyjne gazu .....	509
9.7.1	Wstęp .....	509
9.7.2	Rodzaje budowy i wielkości znamionowe .....	510
9.7.3	Okres użytkowania .....	511
9.8	Przykłady wykonania .....	512
9.8.1	Filtry powietrza dla ogólnej techniki klimatyzacyjnej i wentylacyjnej. ....	512
9.8.1.1	Elementy filtrujące powietrze .....	512
9.8.1.2	Filtry kieszeniowe .....	513
9.8.2	Wysokosprawne filtry powietrza .....	514
9.8.3	Filtry adsorpcyjne gazu .....	515
	Literatura .....	515
<b>10</b>	<b>Technika regulacji instalacji klimatyzacyjnej .....</b>	<b>517</b>
10.1	Podstawy, definicje .....	517
10.2	Obiekty regulowane .....	519
10.2.1	Zachowanie statyczne .....	519
10.2.2	Zachowanie dynamiczne .....	521
10.3	Regulator .....	523
10.3.1	Regulator ciągły .....	523
10.3.2	Regulator nieciągły .....	526
10.3.3	Specjalne wymagania w stosunku do regulatorów dla instalacji klimatyzacyjnej .....	527
10.3.4	Technika DDC .....	530
10.4	Optymalizacja regulatora .....	533
10.4.1	Nastawy regulacyjne wg metod <i>Chien, Hronesa i Reswicka</i> .....	533
10.4.2	Nastawy regulacyjne wg metod <i>Zieglera i Nicholasa</i> .....	534
10.5	Stabilność obwodów regulacyjnych .....	535
10.5.1	Wpływ zachowania dynamicznego .....	536
10.5.2	Wpływ zachowania statycznego .....	537
10.5.3	Obliczanie zaworów .....	539
10.5.4	Wpływ zachowania statycznego i dynamicznego na stabilność obwodu regulacyjnego .....	545
10.6	Przykłady regulacji temperatury .....	547
10.6.1	Instalacja z recyrkulacją powietrza obiegowego i regulacją kaskadową .....	549
10.6.2	Instalacja w eksploatacji VVS z ciągłym sterowaniem wentylatorów .....	551
10.7	Przykłady regulacji temperatury i wilgotności .....	553
10.7.1	Instalacja klimatyzacyjna z komorą zraszania powietrza .....	554
10.7.2	Instalacja z nawilżaczem parowym .....	558
	Literatura .....	561
<b>11.</b>	<b>Tablice dla pary wodnej i powietrza wilgotnego .....</b>	<b>563</b>
	Literatura .....	563