

Wstęp

Wentylacja jest to wymiana powietrza, zwykle między pomieszczeniem a przestrzenią na zewnątrz. Prawidłowo działająca wentylacja jest niezbędna w pomieszczeniach, gdzie przebywają ludzie lub zwierzęta. Powietrze dopływające z zewnątrz zapewnia wymianę powietrza zużytego i zanieczyszczonego na świeże, które jest niezbędne do oddychania oraz do prawidłowej i bezpiecznej pracy urządzeń zużywających powietrze. Jest to ważne zwłaszcza w sytuacji dodatkowych zanieczyszczeń, takich jak dym papierosowy, opary substancji chemicznych, pyły itp. Można również mówić o wentylacji jako systemie zamkniętym, występującym np. w samolotach, gdzie zużyte powietrze jest filtrowane, a następnie wzbogacane tlenem; regulowana jest temperatura i wilgotność, a powietrze powraca do kabin.

Klimatyzacja to zespół procesów mających na celu utrzymanie zadanych warunków klimatycznych, czyli przede wszystkim odpowiedniej temperatury, wilgotności i prędkości powietrza, które zapewniają dogodne warunki pracy i funkcjonowania człowieka lub optymalne warunki dla określonego procesu przemysłowego, łącznie z wymianą powietrza w pomieszczeniu.

Niedostateczna wymiana powietrza może wywołać **syndrom chorego budynku** (SBS - ang. *Sick Building Syndrome*), czyli zespół dolegliwości występujących w określonym miejscu (np. w budynku, w którym się pracuje).

Przykre dolegliwości są związane przede wszystkim ze zbyt małym strumieniem powietrza zewnętrznego, docierającego do pomieszczenia oraz z jego złą jakością. Źródłem zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu mogą być organizmy żywe (np. produkty uboczne oddychania, pocenia się, grzyby, pleśnie), materiały budowlane i elementy wyposażenia wewnątrz (np. rozpuszczalniki, impregnaty drewna, związki emitowane przez farby malarskie), systemy wentylacji i klimatyzacji (np. mikroorganizmy żyjące w nieczyszczonych przewodach wentylacyjnych), powietrze zewnętrzne (np. zanieczyszczenia chemiczne powietrza w dużych aglomeracjach miejskich) albo samo użytkowanie pomieszczeń (np. palenie tytoniu).

Światowa Organizacja Zdrowia już w 1984 r. informowała, iż syndrom SBS występuje aż w 30% nowych i odnawianych budynkach na świecie.

Objawy SBS:

- bóle i zawroty głowy,
- omdlenia,

- mdłości,
- objawy przemęczenia,
- podrażnienie błon śluzowych,
- utrudnione oddychanie,
- inne dolegliwości.

Podręcznik niniejszy jest skierowany przede wszystkim do studentów wydziałów inżynierii środowiska uczelni technicznych, studentów innych wydziałów politechnik (architektury, budownictwa, energetyki) oraz akademii rolniczych, na których prowadzi się specjalności związane z projektowaniem instalacji wewnętrznych w budynkach oraz do inżynierów zajmujących się tematyką wentylacji i klimatyzacji.

Przedstawiono podstawy projektowania urządzeń wentylacji mechanicznej i klimatyzacji w budownictwie powszechnym i w obiektach przemysłowych. Począwszy od problemów związanych z jakością powietrza w pomieszczeniach i kształtowaniem mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń (rozdz. 1), poprzez elementarne zagadnienia właściwości powietrza wilgotnego i podstawowe przemiany tego powietrza, związane z jego uzdatnianiem na potrzeby wentylacji i klimatyzacji (rozdz. 2), w rozdziale 3. przedstawiono metodykę obliczeń strumieni powietrza wentylującego na podstawie bilansów ciepła jawnego, ciepła całkowitego i bilansu zanieczyszczeń.

Zagadnienia związane z właściwościami strug nawiewnych, systemami wentylacji pomieszczeń i organizacją wymiany powietrza w pomieszczeniach podano w rozdziale 4, omówiono również konstrukcje oraz zasady stosowania i doboru nawiewników.

Zagadnienia związane z budową, zasadami obliczania i doboru aparatów do uzdatniania powietrza dla wentylacji i klimatyzacji (filtrowanie powietrza, ogrzewanie, oziębianie, osuszanie i nawilżanie) przedstawiono w rozdziale 5. Omówiono także systemy odzysku ciepła z powietrza wywiewanego.

O wentylacji naturalnej pomieszczeń traktuje rozdział 6. Podano w nim ogólne zasady wymiany powietrza pomiędzy pomieszczeniem i jego otoczeniem, odbywającej się dzięki różnicy ciśnień wywołanej różnicą gęstości powietrza wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia oraz pod wpływem wiatru.

Budowę i zasady działania podstawowych urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych omówiono szczegółowo w rozdziale 7. Przedstawiono metodykę analizy pracy urządzeń w ciągu całego roku, będącą podstawą do sformułowania założeń do ich automatycznej regulacji.

Zagadnienia związane z projektowaniem instalacji rozprowadzających powietrze, stratami ciśnienia i układami ciśnień w przewodach instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych zawiera rozdział 8.

Problemy automatycznej regulacji urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych podano w rozdziale 9. Omówiono budowę i działanie czujników, regulatorów, siłowników, zaworów i przepustnic regulacyjnych, w zakresie niezbędnym dla specjalistów używających tych urządzeń. Zwrócono szczególną uwagę na współpracę elementów regula-

cyjnych (zaworów i przepustnic) z obiektami regulacji (wymiennikami, siecią przewodów), pod kątem kształtowania parametrów powietrza w pomieszczeniach. Przedstawiono także podstawowe schematy regulacji urządzeń.

Zagadnienia związane ze specyficznymi problemami wentylowania pomieszczeń technologicznych podano w rozdziale 10. Omówiono wentylację ogólną wentylację lokalizującą zasady obliczania i konstruowania niektórych elementów instalacji. W rozdziale tym omówiono także bardziej szczegółowo zasady wentylowania wybranych rodzajów pomieszczeń technologicznych oraz zasady projektowania zasłon powietrznych.

W rozdziałach 11. i 12. przedstawiono budowę elementów urządzeń wentylacyjnych, począwszy od wentylatorów skończywszy na centralach klimatyzacyjnych. Podano zasady konstrukcji i lokalizacji czerpni oraz wyrzutni powietrza, podstawowych rodzajów kształtek stosowanych w przewodach instalacji wentylacyjnych, zasady wymiarowania tych elementów. Ze względu na nieco odmienne zasady instalowania i eksploatacji, aparaty wentylacyjne i klimatyzacyjne omówiono w osobnym rozdziale.

Elementarne zasady ograniczania hałasu i wibracji, wynikających z działania wentylatorów oraz przepływu powietrza w elementach instalacji wentylacyjnej podano w rozdziale 13. Rozdział 13. opracowany został wspólnie z dr inż. Sylwią Szczęśniak.

Zagadnienia omówione w tej książce są oparte na bogatym, lecz rozproszonym piśmiennictwie krajowym i obcojęzycznym oraz na doświadczeniach własnych autora. Cytowane przepisy prawne i normy są aktualne do momentu złożenia do druku.

W podręczniku pominięto dwa zagadnienia - oczyszczanie powietrza usuwanego do atmosfery oraz wentylację pożarową i oddymianie pomieszczeń i obiektów. Oba te tematy są szczegółowo omówione w dostępnej i aktualnej literaturze, np. Kabsch P., *Odpylanie i odpylacze. Mechanika aerozoli i odpylanie suche*, WNT, Warszawa 1992, Warych J., *Oczyszczanie gazów przemysłowych*, WNT 1994, Mizieliński B., *Systemy oddymiania budynków - wentylacja*, WNT Warszawa 1999.

Spis treści

Wstęp	
1. Zasady kształtowania mikroklimatu pomieszczeń	11
1.1. Mikroklimat pomieszczenia	11
1.2. O potrzebie wentylacji	11
1.3. Historia wentylacji	12
1.4. Źródła zanieczyszczeń i jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń	14
1.5. Addytywność źródeł zanieczyszczeń powietrza	21
1.6. Warunki komfortu cieplnego człowieka	22
1.7. Temperatura powietrza w strefie przebywania ludzi w pomieszczeniach	24
1.8. Wilgotność powietrza	27
1.9. Zakres komfortu na wykresie $i-x$	29
1.10. Prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi	30
1.11. Temperatura powierzchni otaczających i przegród budowlanych	32
1.12. Przewidywana Średnia Ocena (PMV)	33
1.13. Zakłócenia akustyczne (hałas)	34
1.14. Czystość powietrza	35
1.15. Świeżość powietrza	36
1.16. Stopień i rodzaj zjonizowania powietrza pomieszczenia	38
1.17. Oświetlenie i wystrój wnętrz (kolory przegród)	38
1.18. Wpływ zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu na zdrowie ludzi	38
1.19. Wnioski na przyszłość	39
1.20. Klasyfikacja systemów wentylacji	40
Literatura do rozdziału 1.	48
2. Właściwości powietrza wilgotnego	51
2.1. Parametry powietrza wilgotnego	52
2.2. Wykres $i-x$ (Molliera) dla powietrza wilgotnego	56
2.3. Parowanie wody z powierzchni i zmiany stanu powietrza przy jego kontakcie z wodą	65
2.4. Przemiany stanu powietrza przy wtrysku pary wodnej	70
2.5. Wykres psychrometryczny	71
Literatura do rozdziału 2.	73
3. Obliczanie strumienia powietrza wentylującego dla wentylacji ogólnej	75
3.1. Ogólne równanie wymiany powietrza	76
3.2. Obliczanie strumienia powietrza wentylującego w celu ograniczenia stężenia zanieczyszczeń gazowych	79
3.3. Obliczanie strumienia powietrza wentylującego w celu ograniczenia zawartości wilgoci w powietrzu pomieszczenia	85
3.4. Obliczanie strumienia powietrza na podstawie bilansu ciepła jawnego	86
3.5. Obliczanie strumienia powietrza na podstawie bilansu ciepła całkowitego	88
3.6. Obliczanie strumienia powietrza wentylującego na podstawie innych przesłanek	90

3.7. Bilans ciepła w pomieszczeniu	93
3.7.1. Zyski ciepła od nasłonecznienia	95
3.7.2. Zyski ciepła od nasłonecznienia przez przegrody nieprzezroczyste	100
3.7.3. Zyski ciepła od nasłonecznienia przez przegrody przezroczyste	110
3.7.4. Akumulacja ciepła w przegrodach budowlanych	116
3.7.5. Obliczenia zacienienia przegród zewnętrznych	117
3.7.6. Zyski ciepła od ludzi	118
3.7.7. Zyski ciepła od technologii	121
3.7.8. Zyski ciepła od oświetlenia elektrycznego i wyposażenia technicznego pomieszczeń	125
Literatura do rozdziału 3	130
4. Organizowanie wymiany powietrza w pomieszczeniu	131
4.1. Właściwości strug powietrza nawiewanego	132
4.2. Strugi izotermiczne	134
4.3. Strugi nieizotermiczne	144
4.4. Organizacja wymiany powietrza w pomieszczeniu	158
4.5. Skuteczność wentylacji i sprawność wymiany powietrza	170
4.6. Nawiewniki	174
4.6.1. Wybór nawiewników	177
4.6.2. Kratki nawiewne	177
4.6.3. Nawiewniki szczelinowe	184
4.6.4. Nawiewniki wirowe	185
4.6.5. Anemostaty i inne nawiewniki sufitowe	187
4.6.6. Stropy perforowane	193
4.6.7. Nawiewniki montowane w strefie przebywania ludzi	196
4.6.8. Nawiewniki waporowe	200
4.6.9. Otwory wywiewne	202
Literatura do rozdziału 4	207
5. Uzdatanianie powietrza	209
5.1. Ogrzewanie powietrza	210
5.2. Oziębianie i osuszanie powietrza	220
5.3. Nawilżanie powietrza	231
5.4. Oczyszczanie powietrza przed wprowadzeniem do pomieszczenia	253
5.5. Odzysk energii z powietrza usuwanego z pomieszczenia przez urządzenia wentylacyjne	266
5.6. Osuszanie powietrza	286
5.7. Wybór systemu uzdatniania powietrza	304
Literatura do rozdziału 5	307
6. Wentylacja naturalna	311
6.1. Przepływ powietrza przez pomieszczenie w wyniku różnicy temperatury	312
6.2. Działanie wiatru na budynki	315
6.3. Infiltracja	319
6.4. Projektowanie wentylacji naturalnej	322
6.5. Wywietrzniki	328
6.6. Praktyczne zalecenia w projektowaniu systemów wentylacji naturalnej	330
Literatura do rozdziału 6	333
7. Mechaniczna wentylacja ogólna	335
7.1. Urządzenia wentylacji mechanicznej z otwartym przepływem powietrza	335
7.1.1. Urządzenia wentylacyjne	336
7.1.2. Urządzenia wentylacyjne spełniające funkcję grzewczą pomieszczenia w okresie zimnym	337

7.1.3.	Działanie systemu automatycznej regulacji w urządzeniu wentylacyjnym z obiegiem powietrza	339
7.1.4.	Konstrukcja wykresu $t-t_e$	340
7.1.5.	Działanie systemu zabezpieczenia nagrzewnicy przed zamarzaniem	345
7.2.	Urządzenie klimatyzacji komfortu	347
7.2.1.	Działanie automatycznej regulacji temperatury powietrza w urządzeniu klimatyzacji komfortu	348
7.2.2.	Urządzenia klimatyzacji komfortu z obiegiem powietrza	348
7.3.	Urządzenia dwuprzewodowe o zmiennej temperaturze powietrza nawiewanego	353
7.4.	Urządzenia strefowe	356
7.5.	Urządzenia klimatyzacyjne o zmiennym strumieniu powietrza wentylującego	358
7.5.1.	Zasada działania urządzeń o zmiennym strumieniu powietrza wentylującego	359
7.5.2.	Zastosowanie systemów o zmiennym strumieniu powietrza wentylującego	363
7.5.3.	Nawiewniki w systemach ze zmiennym strumieniem powietrza wentylującego	365
7.5.4.	Projektowanie przewodów w systemach VAV	366
7.6.	Urządzenia klimatyzacyjne z rozdzielonym uzdatnianiem powietrza	367
7.6.1.	Indukcyjne systemy klimatyzacyjne	367
7.6.2.	Urządzenie klimatyzacyjne z klimakonwektorami wentylatorowymi i z centralnym przygotowaniem powietrza zewnętrznego	370
7.6.3.	Urządzenia klimatyzacyjne z wentylokonwektorami z indywidualnym zasysaniem powietrza zewnętrznego	373
7.6.4.	Urządzenia klimatyzacyjne z wentylokonwektorami bez dostawy powietrza zewnętrznego	375
7.6.5.	Sufity i belki chłodzące	375
7.6.6.	Grawitacyjne chłodzenie powietrzne [15]	382
7.7.	Wentylacja miejscowa	383
	Literatura do rozdziału 7.	384
8.	Przepływ powietrza w przewodach wentylacyjnych	387
8.1.	Opory tarcia	389
8.2.	Opory miejscowe	393
8.3.	Rozkład ciśnień w przewodach wentylacyjnych	408
8.4.	Projektowanie sieci przewodów wentylacyjnych	412
	Literatura do rozdziału 8.	417
9.	Automatyczna regulacja urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych	419
9.1.	Wprowadzenie	419
9.2.	Czujniki	423
9.3.	Regulatory	430
9.4.	Siłowniki	438
9.5.	Zawory i przepustnice	441
9.6.	Podstawowe schematy regulacji	461
	Literatura do rozdziału 9.	470
10.	Wentylacja pomieszczeń technologicznych	473
10.1.	Systemy wentylacji mechanicznej w halach technologicznych	475
10.2.	Wentylacja ogólna	476
10.3.	Wentylacja lokalizująca	478
10.3.1.	Obudowy całkowite	479
10.3.2.	Obudowy częściowe	482
10.3.3.	Digestoria	482
10.3.4.	Ssawki	483
10.3.5.	Okapy	491

10.3.6. Okapy nad źródłami o dużej emisji ciepła	495
10.3.7. Zasady projektowania ssawek	500
10.3.8. Wymiarowanie kanałów wywiewnych	501
10.3.9. Straty ciśnienia w odciągach miejscowych	502
10.3.10. Oczyszczanie powietrza przed usunięciem do atmosfery	505
10.3.11. Zalecenia projektowe	506
10.4. Wentylacja zakładów mechanicznej obróbki drewna	508
10.5. Wentylacja zakładów chemicznego przygotowania i pokrywania powierzchni metalowych	524
10.6. Wentylacja laboratoriów	539
10.7. Wentylacja kuchni	554
10.8. Wentylacja pomieszczeń o dominujących zyskach wilgoci	574
10.9. Zasłony powietrzne	591
Literatura do rozdziału 10	610
11. Aparaty wentylacyjne i klimatyzacyjne	613
11.1. Aparaty grzewcze	614
11.2. Aparaty grzewczo-wentylacyjne	614
11.3. Aparaty chłodzące, wentylacyjno-chłodzące i wentylacyjno-chłodząco-ogrzewające	620
Literatura do rozdziału 11	630
12. Elementy urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych	631
12.1. Wentylatory	632
12.2. Przewody wentylacyjne	648
12.3. Kształtki wentylacyjne	653
12.4. Czerpnie i wyrzutnie	669
12.5. Otwory kontrolne	678
12.6. Przepustnice, klapy zwrotne i klapy pożarowe	679
12.7. Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne	691
Literatura do rozdziału 12	707
13. Akustyka i wibroizolacja w urządzeniach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych	709
13.1. Pojęcia podstawowe [3, 4, 10]	709
13.2. Źródła hałasu w urządzeniach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych	712
13.3. Tłumienie naturalne w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych	717
13.4. Tłumiki hałasu w instalacjach wentylacyjnych	727
13.5. Przykład obliczeń akustycznych instalacji wentylacyjnej wraz z doбором tłumika	729
13.6. Tłumienie drgań mechanicznych	733
13.7. Wibroizolacja	734
13.8. Rodzaje wibroizolatorów	744
13.9. Ramy podporowe	749
13.10. Fundamenty blokowe	750
Literatura do rozdziału 13	751
Załączniki	753