

Spis treści

Przedmowa	9
1. Powietrze i zanieczyszczenia powietrza	13
1.1. Pojęcie stężenia substancji	13
1.1.1. Jednostki miar stężeń zanieczyszczeń powietrza	14
1.2. Podstawowe funkcje oraz skład powietrza czystego i suchego	18
1.2.1. Główne funkcje powietrza	18
1.2.2. Główne składniki	19
1.3. Pobieranie próbek gazów	21
1.3.1. Metoda aspiracyjna	21
1.3.2. Metoda izolacyjna	23
1.4. Szkodliwe oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza	24
1.5. Charakterystyka metod pomiarów zanieczyszczeń powietrza	25
1.5.1. Podział metod pomiarów zanieczyszczeń powietrza	25
1.5.2. Metody analizy chemicznej	27
1.5.3. Metody elektrochemiczne (elektrometryczne)	28
1.5.4. Metody fizyczne	33
1.5.5. Metody optyczne (spetrometryczne)	35
1.5.6. Chromatografia	41
1.6. Niektóre składniki i substancje zanieczyszczające powietrze	48
1.6.1. Tlenki węgla CO i CO ₂	48
1.6.2. Tlenki siarki SO ₂ i SO ₃	55
1.6.3. Tlenki azotu NO _x	56
1.6.4. Alkohol metylowy	59
1.6.5. Amoniak	59
1.6.6. Benzen i toluen	60
1.6.7. Chlorowodór	60
1.6.8. Cyjanowodór	60
1.6.9. Aldehydy	61
1.6.10. Izocyjany	62
1.6.11. Aceton	62
1.6.12. Ksyleny	62
1.6.13. Węglowodory	62
1.6.14. Freony i halony	63
1.6.15. Substancje toksyczne wydzielane z silników wysokoprężnych	63
Literatura	64
2. Aeromechaniczne podstawy wentylacji kopalń	66
2.1. Uwagi ogólne o przewietrzaniu kopalń	66

2.2. Parametry opisujące przepływ płynów	67
2.2.1. Wielkości opisujące właściwości płynów	67
2.2.2. Parametry fizyczne opisujące przepływ	70
2.2.3. Równania ciągłości i ruchu płynu w przepływach jednowymiarowych	72
2.2.4. Laminarny i turbulentny przepływ przez rurociąg, straty liniowe	77
2.3. Opór aerodynamiczny wyrobiska	91
2.3.1. Pojęcie oporu wyrobiska	91
2.3.2. Opory liniowe	94
2.3.3. Opory miejscowe	96
2.4. Teoria podobieństwa w zagadnieniach wentylacji	114
2.4.1. Podobieństwo zjawisk fizycznych	114
2.4.2. Analiza wymiarowa	116
2.4.3. Analiza rzędu wielkości składników w układzie równań opisujących przepływ	119
Literatura	121
3. Pomiar ciśnienia i różnicy ciśnień	122
3.1. Przyrządy do pomiaru ciśnienia oraz różnicy ciśnień	122
3.2. Pomiar straty naporu w przewodzie nachylonym	139
Literatura	142
4. Pomiar prędkości przepływu, strumieni objętości i masy	143
4.1. Pomiar objętości i gęstości płynów	143
4.2. Pomiary prędkości przepływu gazów	146
4.3. Pomiar strumienia objętości	152
Literatura	155
5. Energia i przemiany termodynamiczne	157
5.1. Przedmiot termodynamiki	157
5.1.1. Pojęcia wstępne	157
5.1.2. Układ termodynamiczny	157
5.1.3. Własności gazów doskonałych i półdoskonałych	159
5.2. Zasady termodynamiki	164
5.2.1. Pierwsza zasada termodynamiki	164
5.2.2. Druga zasada termodynamiki	168
5.3. Przemiany termodynamiczne gazu doskonałego	170
5.4. Przemiany przepływającego płynu (powietrza)	181
5.4.1. Pierwsza zasada termodynamiki dla przepływającego płynu	181
5.4.2. Pojęcie pracy maksymalnej	185
5.4.3. Egzergia	187
5.4.4. Prawo Gouya-Stodoli	189
5.4.5. Równość temperatur układu i otoczenia	191
Literatura	191

6. Pomiar temperatury	193
6.1. Temperatura i metody jej pomiaru	193
6.2. Termometry nieelektryczne	195
6.3. Termometry elektryczne	198
6.4. Pirometry	208
6.5. Wzorcowanie termometrów, uwagi o pomiarach temperatury	214
Literatura	216
7. Psychrometria, pomiar wilgotności powietrza	217
7.1. Parametry psychrometryczne powietrza	217
7.2. Przemiany powietrza wilgotnego	227
7.3. Pomiar wilgotności powietrza	243
Literatura	248
8. Wymiana ciepła	250
8.1. Rodzaje wymiany ciepła	250
8.2. Przewodnictwo ciepłe	251
8.2.1. Bilans ciepła	251
8.2.2. Przewodnictwo ciepłe w stanie ustalonym	257
8.2.3. Przewodnictwo ciepłe w stanie nieustalonym	261
8.3. Przejmowanie ciepła	262
8.4. Promieniowanie ciepłe	266
8.5. Wymiana ciepła przy skraplaniu i wrzeniu	270
8.6. Wymienniki ciepła	272
8.7. Wymiana ciepła na zwilżonej powierzchni	278
Literatura	281
9. Struktura i rozwiązywanie sieci wentylacyjnej kopalni	282
9.1. Mapy, plany i schematy wentylacyjne	282
9.2. Opory połączeń szeregowych i równoległych	285
9.3. Sieci normalne i przekątne proste	286
9.3.1. Sieć normalna	286
9.3.2. Sieć przekątna prosta	288
9.4. Sposoby zapisu sieci wentylacyjnych	291
9.5. Obliczanie sieci wentylacyjnych	296
9.6. Zdjęcie depresyjne i schemat potencjalny Bystronia	307
9.6.1. Zdjęcie depresyjne	307
9.6.2. Potencjał aerodynamiczny według H. Bystronia	309
Literatura	318
10. Depresja naturalna	319
10.1. Pojęcie depresji naturalnej	319
10.2. Parametry powietrza w elementach sieci wentylacyjnej	322
10.3. Cykl wentylacyjny (oczko wentylacyjne)	331
10.4. Wpływ wilgotności	339
10.5. Depresja cieplna kopalni, przykład obliczeń	341
Literatura	345

11. Wentylatory	347
11.1. Charakterystyka wentylatorów	347
11.2. Zasada działania wentylatorów promieniowych (odśrodkowych)	350
11.3. Zasada działania wentylatorów osiowych	354
11.4. Bezwymiarowe wskaźniki charakterystyk wentylatora	358
11.5. Wpływ prędkości obrotowej, zmiany wymiarów i gęstości powietrza na parametry pracy wentylatorów	360
11.6. Moc wentylatorów, straty energii i sprawność	362
11.7. Wspólna praca kilku wentylatorów w kopalnianych sieciach wentylacyjnych	364
11.7.1. Elementy sieci wentylacyjnej	364
11.7.2. Współpraca wentylatorów połączonych szeregowo	366
11.7.3. Współpraca wentylatorów połączonych równolegle	370
11.8. Stateczność pracy wentylatorów	374
11.9. Sposoby regulacji wentylatorów	378
11.10. Urządzenia stacji wentylatora	382
11.11. Wentylator swobodny	386
11.12. Hałas urządzeń wentylacyjnych	386
Literatura	387
12. Przewietrzanie odrębne i recyrkulacja	389
12.1. Przepływ powietrza w lutniociągu	389
12.2. Temperatura powietrza w wyrobiskach ślepych, przewietrzanych odrębnie	395
12.3. Lutnia wirowa	399
12.4. Recyrkulacja	400
Literatura	404
13. Stany nieustalone przepływu powietrza	405
13.1. Procesy i zjawiska wywołujące stany nieustalone parametrów wentylacyjnych	405
13.2. Przepływy nieustalone w wyrobiskach kopalnianych i w sieci wentylacyjnej	406
13.2.1. Ogólne równania opisujące przepływ powietrza w wyrobiskach korytarzowych	406
13.2.2. Zatrzymanie i uruchomienie wentylatora w sieci jednooczkowej (jednocyklowej)	407
13.2.3. Przepływy nieustalone w sieci wyrobisk kopalnianych	410
13.3. Wpływ przewietrzania na stężenie metanu	416
13.4. Zmiany stężenia gazów spalinowych w wyrobiskach kopalnianych	421
13.5. Stany nieustalone w zrobach, wynikające ze zmian ciśnienia atmosferycznego	424
13.6. Przykład zjawiska gazodynamicznego spowodowanego wstrząsem i tąpnięciem	428
Literatura	432

14. Metan i zagrożenie metanowe	434
14.1. Własności metanu	434
14.2. Występowanie metanu w skałach	435
14.3. Ruch metanu w skałach węglowych	443
14.3.1. Prawo Darcy'ego i równanie filtracji metanu	443
14.3.2. Uwalnianie metanu z węgla	450
14.3.3. Określenie zawartości gazu w skałach	451
14.4. Wyrzuty skał i gazów w kopalniach węgla	453
14.5. Sposoby ograniczania zagrożeń metanowych	455
14.6. Odmetanowanie	464
14.7. Zagrożenie gazowe na powierzchni likwidowanych kopalń	477
14.8. Metanomierze i eksplozymetry, monitorowanie zagrożenia metanowego	478
Literatura	484
15. Zapylenie powietrza	486
15.1. Pojęcie pyłu i zapylenia	486
15.2. Działanie pyłu na organizm człowieka	490
15.3. Ruch ziaren pyłu w powietrzu	496
15.4. Właściwości pyłów i ich określenie	508
15.5. Metody pomiaru zapylenia powietrza	516
15.5.1. Stężenie pyłu w powietrzu	516
15.5.2. Klasyfikacja pyłomierzy	517
15.6. Zapylenie powietrza kopalnianego	528
Literatura	533

Przedmowa

Wentylacja kopalń obejmuje zagadnienia przewietrzania i klimatyzacji, zwalczania pożarów i wybuchów podziemnych. Przewietrzanie i klimatyzacja kopalń określają zespół środków oraz czynności, które mają zapewnić skład oraz właściwości powietrza gwarantujące ochronę zdrowia i życia, zadowalające samopoczucie oraz wysoką sprawność fizyczną i psychiczną w miejscach pracy i przebywania ludzi. Skład powietrza kopalnianego zależy od składu powietrza atmosferycznego dopływającego do kopalni oraz od przebiegu procesów powodujących zmiany stężeń składników powietrza w wyrobiskach.

Rozwój wentylacji kopalń jest ściśle uwarunkowany kierunkami i skalą rozwoju górnictwa. Współcześnie charakteryzuje się ono wzrostem głębokości wybierania, dążeniem do jak największej koncentracji wydobywania oraz stałym rozwojem mechanizacji i automatyzacji procesów produkcyjnych. Czynniki te powodują pogorszenie warunków naturalnych i technicznych. Stwarzają trudne do rozwiązania problemy związane ze wzrostem ilości gazów wydzielających się ze skał, pochodzących z silników spalinowych oraz powstających przy odpalaniu ładunków wybuchowych. Następuje zwiększenie ilości ciepła przenoszonego od skał, silników, maszyn i urządzeń o dużej mocy, zlokalizowanych na niewielkiej przestrzeni wyrobisk kopalnianych. Wzrost zapylenia powietrza kopalnianego jest wynikiem mechanizacji procesów urabiania, ładowania i transportu urobku.

Przewietrzanie kopalni komplikuje się w stanach awaryjnych: w przypadku pożaru podziemnego, wybuchu lub wyrzutu gazów i skał. Z zagrożeniami tymi wiążą się zagadnienia zapobiegania ich powstawaniu, zabezpieczania załóg i majątku kopalni, w przypadku powstania pożaru, wybuchu lub wyrzutu oraz likwidacji ich skutków.

Wydane za granicą w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia podręczniki charakteryzują się bardziej wszechstronnym rozpatrywaniem zagadnień wentylacyjnych od pozycji wcześniejszych. Chodzi tu przede wszystkim o monografie:

J. Burrows (red.) 1982: *Environmental Engineering in South African Mines*. Mine Ventilation Society of South Africa, Cape Town.

M.J. McPherson 1992: *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Chapman & Hall, London.

H.L. Hartman, J.M. Mutmansky, R.V. Ramani, Y.J. Wang 1997: *Mine Ventilation and Air Conditioning*. John Wiley & Sons, inc., New York.

Podkreślenie w tytułach zagadnień inżynierii środowiska wyraża się znacznym wpływem na omawiane zagadnienia wentylacji kopalń wielu nie górniczych dziedzin wiedzy, nie tylko technicznych. Łączne omawianie problemów obejmujących pozornie

odległe zagadnienia wynika z faktu, że mają one wspólne podstawy aeromechaniczne, termodynamiczne, fizykochemiczne i aerometryczne. Prócz wymienionych dziedzin nauk technicznych w rozwiązywaniu zagadnień związanych z oddziaływaniem otoczenia, w tym przede wszystkim powietrza na organizm człowieka przebywającego w wyrobiskach górniczych, korzysta się z nauk medycznych: głównie toksykologii i fizjologii. Obecność zagadnień inżynierii środowiska nie odrywa uwagi od trudnych zagadnień przewietrzania i klimatyzacji oraz pożarów i wybuchów w kopalniach podziemnych, a pozwala na ich bardziej ogólne i gruntowne poznanie. Autor wprowadził ważne z punktu widzenia wentylacji kopalń zagadnienia inżynierii środowiska. Może jednak nie w takim zakresie, by miało to znaleźć wyraz w tytule pracy. Zastosowana metodyka wiąże się z szerszym niż w aerologii górniczej podejściem zarówno do teorii wentylacji kopalń jak też do zagadnień czysto praktycznych.

Warunkiem skuteczności działań zapewniających pożądany skład i właściwości powietrza, zapobieżenie niepożądanym i niebezpiecznym zjawiskom w powietrzu kopalnianym oraz zwalczanie zagrożeń nimi spowodowanych jest dokładne poznanie procesów będących przedmiotem wentylacji i klimatyzacji kopalń oraz pożarów i wybuchów podziemnych. Zamiarem autora było zebranie niezbędnych informacji w dziedzinie wentylacji kopalń oraz inżynierii środowiska, w zakresie dotyczącym składu i własności powietrza kopalnianego. Podręcznik adresowany jest przede wszystkim do studentów wydziałów górniczych oraz do inżynierów służb wentylacyjnych kopalń podziemnych.

Omawiając prace polskich specjalistów autor starał się zachować daleko posuniętą zgodność z najważniejszymi publikacjami oryginalnymi.

W pracy umieszczono wiele rozwiązanych przykładów. Dokładność obliczeń w wentylacji kopalń i zagadnieniach pokrewnych jest ograniczona, co wiąże się z techniką pomiarową w trudnym środowisku kopalnianym i z uproszczeniami w modelach rozpatrywanych procesów. Jednak w związku z wykorzystywaniem do wielu obliczeń komputera, a niekiedy stosowaniem metody kolejnych przybliżeń, wymagającej wysokiej dokładności samych wyliczeń numerycznych, podano większą liczbę cyfr, które należy traktować jako znaczące w sensie numerycznym.

Do licznych trudności, na jakie napotkał autor, należy brak w polskim środowisku specjalistów jednolitych definicji ważnych pojęć dotyczących przepływu powietrza w wyrobiskach kopalnianych. Innym zagadnieniem są częste zmiany przepisów związanych z zasadami prowadzenia robót górniczych i bezpieczeństwem pracy w górnictwie. Dążenie do zachowania przez pewien czas aktualności tekstu, który w zamiarze autora ma być pomocą dydaktyczną, zmusza do unikania odnoszenia się do konkretnych sformułowań przepisów.

Przygotowując materiały dydaktyczne i redagując niniejszą książkę autor korzystał z wiedzy i doświadczenia wielu osób pracującymi w uczelniach, w kopalniach i w zapleczu naukowym i technicznym górnictwa. Prowadzone dyskusje przyczyniły się do usunięcia zauważonych błędów i głębszego ujęcia wielu zagadnień. Dzięki

wnikliwym opiniom i krytycznym uwagom szczegółowym Panów Recenzentów Józefa Sułkowskiego i Wacława Trutwina treść książki na pewno zyskała na wartości. Pomocy o różnym charakterze udzielili również: Wiesław Augustyn, Jerzy Berger, Marek Borowski, Marian Branny, Jan Drenda, Kazimierz Jeleń, Stanisław Fortuna, Kazimierz Lebecki, Jolanta Marciniak-Kowalska, Jerzy Markiewicz, Anna Młynarczykowska, Jerzy Niewodniczański, Emil Nowak, Dariusz Obracaj, Jan Skowronek, Krzysztof Soroko, Andrzej Strumiński, Nikodem Szlązak, Tadeusz Szponder, Stanisław Trenczek, Michał Waligórski, Stanisław Wasilewski i inni. Autor składa wszystkim serdeczne podziękowanie.

