

Spis treści

Przedmowa	9
Rozdział 1. WSTĘP	11
1.1. Wprowadzenie	11
1.2. Podstawowe zagadnienie aerodynamiki	18
1.2.1. Zamknięty układ równań	19
1.2.2. Warunki brzegowe i początkowe	20
1.2.3. Stateczność rozwiązań	21
1.3. Atmosfera ziemska	23
1.3.1. Rozkład temperatury w atmosferze ziemskiej	23
1.4. Atmosfera wzorcowa	24
1.4.1. Rozkład ciśnienia i gęstości w atmosferze wzorcowej	24
1.4.2. Warstwa izotermiczna	25
1.4.3. Warstwa o liniowym spadku temperatury	26
1.4.4. Parametry atmosfery wzorcowej	26
1.5. Warstwa przyścienna	27
1.5.1. Wprowadzenie	27
1.5.2. Równania nieściśliwej warstwy przyściennej	28
1.5.3. Zależność całkowita dla warstwy przyściennej	31
1.5.4. Laminarna warstwa przyścienna na płaskiej płycie	32
1.5.5. Turbulentna i mieszana warstwa przyścienna na płaskiej płycie	35
1.5.5.1. Przejście laminarnej warstwy przyściennej w turbulentną	35
1.5.5.2. Turbulentna warstwa przyścienna na płaskiej płycie	35
1.5.5.3. Laminarno-turbulentna (mieszana) warstwa przyścienna na płaskiej płycie	38
1.5.5.4. Warstwa przyścienna na powierzchni szorstkiej	39
1.5.5.5. Warstwa przyścienna na powierzchni krzywoliniowej	40
Rozdział 2. ELEMENTY KINEMATYKI	43
2.1. Pojęcia podstawowe	43
2.1.1. Tor elementu płynu	43
2.1.2. Linia prądu	44
2.1.3. Linia wirowa	46

2.1.4. Natężenie (wydatek) przepływu	47
2.1.5. Pochodna substancjalna	48
2.1.6. Cyrkulacja prędkości – twierdzenie Stokesa	49
2.1.7. Twierdzenie Helmholtza	51
2.1.8. Prawo Biota–Savarta	52
2.2. Potencjalny przepływ nieściśliwy	54
2.2.1. Płaski nieściśliwy przepływ potencjalny	55
2.3. Przepływy elementarne i złożone	57
2.3.1. Przepływy elementarne	58
2.3.2. Przepływy złożone	67
2.3.3. Rozkład ciśnień na walcu kołowym przy opływie bezcyrkulacyjnym i cyrkulacyjnym	72
Rozdział 3. ZARYS AERODYNAMIKI PROFILU I PŁATA NOŚNEGO W USTALONYM POTENCJALNYM PRZEPŁYWIE NIEŚCIŚLIWYM	75
3.1. Profile lotnicze	75
3.1.1. Rodziny i serie popularnych profili	79
3.2. Charakterystyki geometryczne płata (skrzydeł)	84
3.3. Siła i moment powstające na profilu opływanym przez płyn nieściśliwy	86
3.4. Paradoks d'Alemberta	88
3.5. Twierdzenie Kutta–Żukowskiego	89
3.6. Metody odwzorowań konforemnych	91
3.7. Przykład wykorzystania odwzorowania konforemnego – profil Żukowskiego–Czapłygina	95
3.8. Siła nośna profilu Żukowskiego–Czapłygina	98
3.9. Charakterystyki aerodynamiczne profili lotniczych	103
3.10. Teoria płata. Wirowy model płata	112
3.11. Równanie wirowej linii nośnej i jego rozwiązanie	115
3.11.1. Zakres stosowalności teorii wirowej linii nośnej	119
3.11.2. Przykład rozwiązania zagadnienia teorii wirowej linii nośnej	119
3.11.3. Płat o najmniejszym oporze indukowanym	125
3.12. Metody zmniejszania oporu indukowanego skrzydeł	127
3.13. Doświadczalne charakterystyki aerodynamiczne skrzydeł	128
3.14. Przeliczanie charakterystyk skrzydeł na inne wydłużenie i obrys	129
3.15. Sposoby zwiększania siły nośnej skrzydeł	131

Rozdział 4. ZARYS TEORII PROFILU I PŁATA W PODDŹWIĘKOWYM PRZEPŁYWIE ŚCISLIWYM	139
4.1. Równanie Bernoulliego dla gazów i przedziały jego stosowania	139
4.2. Krytyczna liczba Macha	143
4.3. Linearyzacja równania potencjału prędkości	146
4.4. Ścisły poddźwiękowy opływ cienkiego profilu	149
4.5. Określenie zależności $Ma_{kr} = f([p_{min}]_{śc})$	151
4.6. Nadkrytyczny opływ profilu i skrzydeł	154
4.7. Opór na profilu i płacie w opływie nadkrytycznym – opór falowy	158
4.8. Skrzydła skośne	160
4.8.1. Skrzydła o małym wydłużeniu	167
4.8.2. Wady skrzydeł skośnych	168
Rozdział 5. PRZEPŁYWY NADDŹWIĘKOWE	171
5.1. Wiadomości wstępne	171
5.1.1. Równanie stanu gazu	171
5.1.2. Pierwsza i druga zasada termodynamiki. Entropia i entalpia	171
5.1.3. Rozchodzenie się małych zaburzeń w gazie. Prędkość dźwięku	174
5.2. Podstawowe zależności między parametrami w przepływie izentropowym	179
5.3. Płaski ustalony potencjalny przepływ naddźwiękowy	179
5.3.1. Podstawowe równanie różniczkowe płaskiego naddźwiękowego przepływu potencjalnego	180
5.4. Charakterystyki w płaszczyźnie przepływu gazu (w płaszczyźnie fizycznej)	181
5.5. Charakterystyki w płaszczyźnie hodografu prędkości	183
5.6. Elipsa izentropowa prędkości – elipsa Busemanna	188
5.7. Naddźwiękowy opływ naroża wypukłego. Fala rozrzedzeniowa	189
5.8. Fale uderzeniowe	193
5.8.1. Powstawanie fal uderzeniowych	193
5.8.1.1. Powstawanie fali uderzeniowej w wyniku nakładania się fal ciśnienia	193
5.8.1.2. Powstawanie fali uderzeniowej przy płaskim naddźwiękowym opływie naroża wklęsłego	195
5.8.2. Prostopadła fala uderzeniowa	195
5.8.3. Skośna fala uderzeniowa	203
5.9. Biegunowa uderzeniowa	207

Rozdział 6. PODSTAWY AERODYNAMIKI PROFILU I SKRZYDEŁ W PRZEPŁYWIE NADDŹWIĘKOWYM	211
6.1. Zlinearyzowany naddźwiękowy opływ rozrzedzeniowy i zgęszczeniowy wzdłuż sztywnej ścianki	211
6.2. Zlinearyzowany naddźwiękowy opływ płaskiej płytki	214
6.3. Uproszczony naddźwiękowy opływ cienkiego naddźwiękowego profilu pod małym kątem natarcia	215
6.4. Przybliżony naddźwiękowy opływ cienkiego naddźwiękowego profilu pod małym kątem natarcia	219
6.5. Naddźwiękowy opływ skrzydeł skośnych	227
Rozdział 7. NADDŹWIĘKOWE PRZEPŁYWY ZŁOŻONE	233
7.1. Odbicie i interferencja fal uderzeniowych i fal rozrzedzeniowych	233
7.1.1. Interferencja fal uderzeniowych i fal rozrzedzeniowych z uwzględnieniem warstwy przyściennej	239
7.2. Geometryczna dysza naddźwiękowa – dysza de Laval’a	246
7.3. Dysze naddźwiękowe	250
7.4. Projektowanie dyszy naddźwiękowej	252
7.4.1. Projektowanie płaskiej geometrycznej dyszy naddźwiękowej (dyszy de Laval’a)	253
7.4.2. Strumień swobodny wypływający z dyszy naddźwiękowej	257
7.5. Naddźwiękowe opływy przestrzenne	260
7.5.1. Naddźwiękowy opływ stożka kołowego	260
7.5.2. Naddźwiękowy opływ brył obrotowych	267
7.5.3. Naddźwiękowy opływ samolotów i samolotów kosmicznych. Wykorzystanie fal uderzeniowych do wytwarzania siły nośnej	269
Rozdział 8. AERODYNAMIKA SAMOLOTÓW	273
8.1. Układy aerodynamiczne samolotów	273
8.2. Układy sterowania samolotem	277
8.3. Interferencja aerodynamiczna	283
8.4. Biegunowa samolotu dla zakresu nieściśliwego (metoda NASA)	287
8.5. Bariera dźwięku i bariera cieplna	291
8.5.1. Bariera dźwięku	291
8.5.2. Bariera cieplna	294

8.6.	Biegunowa samolotu w całym zakresie liczb Macha	297
8.6.1.	Algorytm uproszczonej metody obliczania biegunowej samolotu w całym zakresie liczb Macha	300
8.7.	Samoloty o podwyższonej manewrowości (zwrotności)	311
8.8.	Skrzydła pasmowe	311
8.8.1.	Właściwości skrzydeł pasmowych	313
8.8.2.	Opływ okołodźwiękowy	316
8.8.3.	Opływ naddźwiękowy	316
8.8.4.	Ocena właściwości aerodynamicznych skrzydeł pasmowych i ich wykorzystanie	318
8.8.5.	Skrzydła ostrołukowe	322
8.9.	Siła nośna kadłuba samolotu	323
8.10.	Samoloty supermanewrowe	327
8.11.	Systemy aktywnego i adaptacyjnego sterowania lotem	330
8.11.1.	Systemy aktywnego sterowania lotem	330
8.11.2.	Niekonwencjonalne formy ruchu samolotu z wykorzystaniem systemów aktywnego sterowania siłami aerodynamicznymi	331
8.11.3.	Układy odciążenia skrzydła podczas wykonywania manewrów	342
8.11.4.	Układy przeciwdziałania turbulencji atmosfery	344
8.11.5.	Adaptacyjne systemy sterowania lotem	348
	Literatura	355