

6.2.3.2.	Rayleighova-Bénárdova nestabilita.....	56
6.2.3.3.	Taylorova-Couettova nestabilita.....	57
6.2.3.4.	Görtlerova nestabilita .....	57
6.2.3.5.	Tollmienova-Schlichtingova nestabilita .....	58
6.2.3.6.	Úplavy za tělesy.....	58
6.2.3.7.	Další nestability .....	59
6.3.	Přechod do turbulence .....	59
6.3.1.	Přirozený přechod do turbulence.....	59
6.3.2.	Zkrácený přechod do turbulence .....	62
7.	Vyvinutá turbulence .....	64
7.1.	Statistický popis turbulence .....	65
7.1.1.	Spektrální charakteristiky.....	65
7.1.1.1.	Spektrum rychlosti.....	65
7.1.1.2.	Jednorozměrné spektrum .....	66
7.1.1.3.	Energetické a disipační spektrum .....	67
7.1.2.	Taylorova hypotéza.....	67
7.1.3.	Strukturní funkce.....	68
7.2.	Měřítka turbulence .....	69
7.2.1.	Kaskáda měřítek .....	69
7.2.2.	Definice měřítek turbulence .....	69
7.2.3.	Fraktální struktura měřítek .....	71
7.3.	Kolmogorovova teorie.....	72
7.3.1.	Spektra izotropní turbulence .....	74
7.3.2.	Energetická kaskáda a inverzní energetická kaskáda.....	77
7.3.3.	Vnitřní intermitence .....	78
7.3.4.	Formulace pro strukturní funkce .....	79
7.3.5.	Turbulentní difúze .....	80
7.4.	Dynamické systémy .....	80
8.	Příklady turbulentních proudů.....	83
8.1.	Mřížková turbulence .....	83
8.2.	Smykové proudy .....	84
9.	Modelování turbulence.....	89
9.1.	Přímá numerická simulace (DNS).....	90
9.2.	Metoda simulace velkých vírů (LES).....	91
9.3.	Metody modelování Reynoldsových rovnic (RANS).....	91
9.3.1.	Modely založené na turbulentní vazkosti.....	91
9.3.1.1.	Algebraické modely .....	92
9.3.1.2.	Modely obsahující transportní rovnice .....	92
9.3.2.	Modelování Reynoldsových napětí.....	93
10.	Fenomenologie turbulence .....	94
10.1.	Kinematika .....	94
10.2.	Víry.....	96
10.2.1.	Matematické modely vírů.....	96
10.2.2.	Biotův-Savartův zákon .....	99
10.2.3.	Interakce vírů.....	100
10.2.4.	Mechanismus generování vířivosti.....	102
10.2.5.	Další síly působící na vírové struktury .....	104
10.3.	Mechanismy samoudržování turbulentního proudění .....	104
10.3.1.	Koherentní struktury ve stěnových proudech.....	104
10.3.2.	Vlásečnicové víry .....	105

# Obsah

1. Použitá označení.....	6
2. Úvodem.....	7
3. Úvod do studia turbulence.....	8
3.1. Turbulence v kontextu moderní vědy.....	9
3.2. Proudící tekutina jako dynamický systém.....	10
3.2.1. Fraktální struktura.....	11
3.2.2. Deterministický chaos.....	12
3.2.3. Proces samoorganizace – koherentní struktury.....	16
3.3. Definice turbulence.....	18
3.4. Příklady turbulentních proudů.....	19
3.4.1. Mřížková turbulence.....	20
3.4.2. Volné smykové vrstvy.....	20
3.4.3. Mezní vrstvy.....	21
3.4.4. Úplavy.....	21
3.4.5. Sdílení tepla.....	22
3.4.6. Chemická turbulence.....	22
3.4.7. Hoření.....	23
4. Základní rovnice dynamiky tekutin.....	24
4.1. Základní předpoklady.....	24
4.2. Eulerův a Lagrangeův popis.....	25
4.3. Zákony zachování.....	26
4.3.1. Rovnice kontinuity.....	27
4.3.2. Zachování hybnosti.....	27
4.3.3. Navierovy-Stokesovy rovnice.....	29
4.3.3.1. Vlastnosti N-S rovnic.....	30
4.3.3.2. Symetrie N-S rovnic.....	30
4.3.3.3. Rovnice pro tlak.....	31
4.3.3.4. Formulace pro pole vířivosti.....	32
5. Rovnice turbulentního proudění.....	34
5.1. Reynoldsovy rovnice.....	34
5.1.1. Reynoldsova napětí.....	35
5.1.2. Možnosti řešení Reynoldsových rovnic.....	37
5.2. Energetická bilance.....	38
5.2.1. Energie středního proudu.....	39
5.2.2. Celková energie.....	40
5.2.3. Energie turbulence.....	41
5.2.4. Rychlost disipace energie.....	42
5.2.5. Střední vířivost.....	43
5.3. Hlavní problém turbulence.....	45
5.4. Bernoulliho rovnice.....	46
5.5. Transport pasivního skaláru.....	47
6. Vznik turbulence.....	48
6.1. Reynoldův experiment.....	48
6.2. Teorie stability.....	49
6.2.1. Stabilita nevazkého proudění.....	50
6.2.2. Stabilita vazkého proudění.....	53
6.2.3. Druhy hydrodynamické nestability.....	55
6.2.3.1. Kelvinova-Helmholtzova nestabilita.....	55

10.3.3.	Podélné pruhy nízké rychlosti a „bursting phenomenon“ .....	106
10.4.	Dynamika koherentních struktur .....	108
10.4.1.	Vznik koherentních struktur .....	108
10.4.2.	Regenerace koherentních struktur .....	110
11.	Literatura .....	112
11.1.	Literatura doporučená pro další studium .....	112
11.2.	Použitá literatura .....	112
11.3.	Zdroje obrazových materiálů .....	113
12.	Dodatky .....	114
12.1.	Vektorový počet .....	114
12.2.	Veličiny zaváděné v teorii turbulence .....	115
12.3.	Symetrie turbulentního proudění .....	115
12.4.	Statistické nástroje .....	116
12.4.1.	Středování .....	116
12.4.2.	Charakteristiky náhodného procesu .....	117
12.4.3.	Distribuční funkce a hustota pravděpodobnosti .....	117
12.4.4.	Některé typy náhodných rozdělení .....	118
12.4.5.	Statistické momenty .....	118
12.4.6.	Korelační funkce .....	119
12.4.7.	Spektra .....	120
12.4.8.	Waveletová transformace .....	122
12.4.9.	Vlastní ortogonální dekompozice .....	125
12.5.	Zákony podobnosti .....	126
12.6.	Stručná historie výzkumu turbulence .....	129