

# Obsah

Předmluva.....	15
Seznam zkratk.....	21
1 Meteorologické procesy a jevy .....	25
1.1 Prostorové a časové měřítko meteorologických jevů.....	25
1.2 Mezinárodní klasifikace oblaků.....	30
1.2.1 Stručná historie klasifikace oblaků .....	31
1.2.2 Mezinárodní klasifikace oblaků v současnosti.....	33
1.3 Další typy rozdělení oblaků .....	39
2 Přehled dynamiky atmosféry středních zeměpisných šířek .....	41
2.1 Základní rovnice velkoprostorové dynamiky atmosféry.....	42
2.1.1 Pohybová rovnice v relativní souřadnicové soustavě .....	43
2.1.2 Hydrostatická aproximace .....	47
2.1.3 Pohybová rovnice v systému se zobecněnou vertikální souřadnicí.....	48
2.1.4 Geostrofická aproximace .....	50
2.1.5 Ageostrofické proudění.....	51
2.1.6 Termální vítr .....	52
2.1.7 Rovnice kontinuity.....	55
2.1.8 Uzavřený systém základních rovnic .....	57
2.2 Baroklinní instabilita .....	57
2.3 Kvazigeostrofická aproximace.....	61
2.3.1 Kvazigeostrofická forma základních vztahů dynamiky atmosféry .....	62
2.3.2 Kvazigeostrofická omega rovnice.....	64
2.3.3 Rovnice kvazigeostrofické potenciální vorticity, „PV thinking“ .....	65
2.4 Cirkulace mezosynoptického měřítká.....	71
2.4.1 Semigeostrofická aproximace .....	72
2.4.2 Oblačnost a srážky v mimotropické frontální cykloně.....	75
2.5 Planetární mezní vrstva atmosféry .....	77
2.5.1 Atmosférická turbulence.....	77
2.5.2 Boussinesqova aproximace.....	83
2.5.3 Poruchová forma základních dynamických rovnic .....	84

3	Přehled termodynamiky atmosféry .....	87
3.1	Složení vzduchu.....	88
3.2	Stavová rovnice vlhkého vzduchu .....	90
3.3	Charakteristiky vlhkosti.....	91
3.4	I. hlavní věta termodynamická a její důsledky.....	94
3.5	Adiabatický proces a potenciální teplota .....	97
3.6	Entropie, II. hlavní věta termodynamická.....	99
3.7	Rovnováha tří fází vody.....	102
3.8	Vzduch nasycený vodní párou .....	105
3.8.1	Latentní teplo .....	105
3.8.2	Clausiusova–Clapeyronova rovnice.....	106
3.9	Vliv křivosti povrchu a rozpustných příměsí na napětí nasycené vodní páry .....	109
3.9.1	Povrchové napětí vody.....	110
3.9.2	Vliv zakřivení povrchu na napětí nasycení, Kelvinova rovnice.....	111
3.9.3	Vliv rozpustných příměsí na napětí nasycení.....	113
3.10	Procesy vedoucí k nasycení vlhkého vzduchu .....	117
3.10.1	Nasycení vzduchu při izobarickém procesu.....	117
3.10.2	Nasycení vzduchu při adiabatické expanzi .....	119
3.10.3	Nasycení vzduchu při adiabaticko–izobarickém promíchávání .....	120
3.11	Vratný adiabatický a pseudoadiabatický proces .....	122
3.12	Konzervativní charakteristiky týkající se nasyceného vzduchu .....	126
3.13	Vertikální gradient teploty při adiabatických procesech.....	128
4	Mikrofyzika oblaků .....	131
4.1	Základní vlastnosti oblačných a srážkových elementů .....	134
4.1.1	Spektrum velikosti oblačných a srážkových částic .....	136
4.1.2	Spektrum velikosti oblačných kapek .....	139
4.1.3	Spektrum velikosti dešťových kapek .....	143
4.1.4	Tvar a koncentrace ledových krystalů .....	149
4.1.5	Rozdělení velikosti sněhových vloček .....	154
4.1.6	Základní vlastnosti krup.....	156
4.1.7	Pádová rychlost oblačných a srážkových částic.....	157
4.1.7.1	Pádová rychlost vodních kapek.....	158
4.1.7.2	Pádové rychlosti ledových částic .....	163
4.2	Mikrofyzikální procesy v kapalných oblacích .....	167
4.2.1	Nukleace oblačných kapek .....	168
4.2.2	Kondenzace a výpar.....	171
4.2.2.1	Růst kapky difuzí vodní páry .....	172
4.2.2.2	Nestacionární aspekty difuzního růstu kapek.....	180
4.2.3	Růst kapek koalescencí .....	183
4.2.3.1	Příprava oblačného prostředí na koalescenční růst .....	183
4.2.3.2	Růst kapek srážkami a koalescencí .....	185

4.2.3.3 Srážková – kolizní – účinnost .....	186
4.2.3.4 Spojitý model koalescenčního růstu.....	188
4.2.3.5 Koncepční modely růstu kapek koalescencí .....	189
4.2.3.6 Stochastická koalescenční rovnice .....	192
4.2.4 Tříštění kapek .....	195
4.3 Mikrofyzika ledových a smíšených oblaků .....	198
4.3.1 Nukleace ledových krystalů .....	199
4.3.1.1 Homogenní nukleace ledu.....	199
4.3.1.2 Heterogenní nukleace ledu.....	200
4.3.2 Depozice a sublimace .....	204
4.3.3 Agregace krystalů, zachycování kapek krystalu ledu .....	209
4.3.4 Sekundární nukleace ledu – multiplikace ledových částic .....	211
4.3.5 Tání .....	215
4.4 Vývoj krup .....	216
4.4.1 Velikost, koncentrace a tvar krup .....	217
4.4.2 Mechanismus růstu a struktura krup .....	218
4.4.3 Tepelná bilance rostoucí kroupy .....	221
4.5 Matematické modelování mikrofyzikálních procesů .....	223
4.5.1 Parametrizace kapalných mikrofyziky .....	226
4.5.2 Parametrizace smíšené a ledové mikrofyziky .....	229
5 Konvekce v atmosféře .....	233
5.1 Vertikální teplotní zvrstvení atmosféry, statická stabilita .....	237
5.2 Kritéria vertikální stability v nasyceném vzduchu.....	242
5.3 Symetrická instabilita vzhledem k šikmým pohybům částice .....	246
5.4 Potenciální instabilita v atmosféře .....	252
5.5 Dynamika konvekčního oblaku .....	255
5.5.1 Pohybové rovnice v oblačném měřítku.....	256
5.5.2 Síla vztlaku .....	259
5.5.3 Perturbační tlak.....	260
5.5.4 Vtahování.....	263
5.5.5 Vorticita proudění oblačného měřítk.....	271
5.5.6 Horizontální vorticita v konvekčním oblaku a jeho okolí.....	273
5.5.7 Vývoj vertikální vorticity v konvekčním oblaku .....	274
5.6 Matematické modelování konvekčního oblaku .....	277
5.7 Globální charakteristiky konvekčního prostředí .....	281
6 Meteorologické radary .....	286
6.1 Historie radarových měření .....	287
6.2 Princip radarových měření.....	288
6.2.1 Radarová rovnice – radiolokační odrazivost.....	292
6.2.2 Vztah radarové odrazivosti a intenzity srážek.....	296
6.3 Objemová radarová měření – produkty radiolokační odrazivosti .....	297

6.4	Vzhled základních typů oblačnosti při radarovém pozorování.....	299
6.4.1	Konvekční oblačnost.....	299
6.4.2	Vrstevnatá oblačnost.....	299
6.4.3	Nemeteorologické cíle .....	300
6.5	Radarová detekce srážek.....	301
6.6	Data dopplerovských rychlostí .....	302
6.6.1	Dopplerovské dilema .....	304
6.6.2	Vyhodnocení vertikálních profilů větru.....	305
6.6.3	Meteorologická interpretace radiálních rychlostí.....	308
6.7	Polarimetrická radarová měření.....	309
7	Informace z meteorologických družic .....	313
7.1	Historie a princip .....	313
7.2	Základní kategorie družic používaných v meteorologii a jejich přístrojové vybavení.....	315
7.2.1	Radiometr AVHRR polárních družic NOAA/POES a METOP .....	316
7.2.2	Radiometr MODIS polárních družic Terra a Aqua.....	317
7.2.3	Radiometr SEVIRI geostacionárních družic MSG .....	317
7.2.4	Další přístrojové vybavení meteorologických družic.....	319
7.3	Základy multispektrální interpretace družicových dat.....	320
7.3.1	Terminologie a členění spektrálních pásem.....	320
7.3.2	Základní vztahy fyziky záření.....	324
7.3.3	Odražené (rozptýlené) sluneční záření a tepelné vyzařování zemského povrchu a atmosféry.....	326
7.3.4	Základní multispektrální vlastnosti oblačnosti – odrazivost, propustnost, emisivita, jasová teplota.....	330
7.3.4.1	Odrazivost a propustnost oblačnosti .....	331
7.3.4.2	Emisivita, jasová teplota .....	331
7.3.4.3	Mikrofyzikální vlastnosti H <sub>2</sub> O a její multispektrální vlastnosti.....	333
7.3.4.4	Odrazivost a emisivita v pásmu 3,5 až 4 μm.....	335
7.3.5	Multispektrální charakteristiky základních typů oblačnosti.....	339
7.3.5.1	Nízká vrstevnatá oblačnost, mlhy .....	339
7.3.5.2	Mělká (nízká) konvekční oblačnost .....	340
7.3.5.3	Stratocumulus .....	342
7.3.5.4	Orografické vlny na nízké oblačnosti .....	342
7.3.5.5	Oblačnost středního patra.....	343
7.3.5.6	Cirovitá oblačnost .....	343
7.3.5.7	Vertikálně mohutná konvekční oblačnost.....	344
7.3.5.8	Frontální oblačnost.....	344
7.3.5.9	Zasněžený terén .....	345
7.3.5.10	Odraz slunečního záření na vodní hladině .....	345
7.3.5.11	Tropické cyklony (hurikány, cyklony, tajfuny).....	346

7.4 Družicová pozorování konvekčních bouří a jejich systémů.....	347
7.4.1 Morfologie HHO konvekčních bouří.....	347
7.4.2 Vztah mezi jasovou teplotou a výškou HHO.....	349
7.4.3 Multispektrální pozorování a mikrofyzikální vlastnosti HHO konvekčních bouří.....	353
7.4.4 Vztah mezi družicovým vzhledem bouří a jejich vnitřní strukturou.....	355
<b>8 Systémy detekce a lokalizace blesků.....</b>	<b>358</b>
8.1 Blesky.....	358
8.2 Pozemní detekce – detekční sítě blesků.....	360
8.3 Vizualizace dat detekce blesků.....	363
8.4 Detekce pomocí družic.....	364
<b>9 Vrstevnatá a orografická oblačnost.....</b>	<b>367</b>
9.1 Mlha.....	368
9.1.1 Fyzika radiační mlhy.....	371
9.1.2 Údolní mlhy.....	372
9.2 Vrstevnaté nesrážkové oblaky.....	374
9.3 Nimbostratus.....	375
9.3.1 Srážky z nimbostratu.....	376
9.3.2 Mikrofyzikální pozorování.....	380
9.3.3 Úloha konvekce při vývoji ledových částic v nimbostratu.....	381
9.3.3.1 Nimbostratus s mělkou konvekcí v horních vrstvách.....	382
9.3.3.2 Nimbostratus spojený s hlubokou konvekcí.....	385
9.3.4 Vliv radiačních procesů a turbulentního promíchávání na vývoj Ns.....	389
9.4 Orografické oblaky.....	390
9.4.1 Nesrážková orografická oblačnost.....	393
9.4.1.1 Dvourozměrný popis proudění přes hřeben.....	394
9.4.1.2 Proudění kolem izolovaného horského vrcholu.....	402
9.4.2 Orografické srážky.....	405
9.4.2.1 Orografické zesílení srážek nad kopcovitým terénem.....	405
9.4.2.2 Kondenzace při proudění do svahu.....	406
9.4.2.3 Orograficky vyvolaná srážková konvekce.....	407
9.4.2.4 Matematické modelování orografických srážek.....	409
<b>10 Konvekční oblačnost.....</b>	<b>411</b>
10.1 Srážkové konvekční oblaky – konvekční bouře.....	414
10.1.1 Základní kategorie konvekčních bouří.....	415
10.1.2 Jednoduchá konvekční cela.....	416
10.1.3 Multicelární bouře.....	420
10.1.3.1 Uspořádané multicelární bouře.....	421
10.1.3.2 Šíření multicelárního systému.....	424
10.1.3.3 Gust fronta.....	426

10.1.4	Supercelární bouře.....	430
10.1.4.1	Vývoj koncepčního modelu supercely .....	434
10.1.4.2	Vznik rotace v supercele .....	437
10.1.4.3	Šíření a štěpení supercely .....	437
10.2	Nebezpečné jevy spojené s průběhem konvekčních bouří.....	443
10.2.1	Přívalové konvekční srážky, kroupy.....	444
10.2.1.1	Oblačné procesy ovlivňující vysoké úhrny přívalových srážek .....	445
10.2.1.2	Procesy ovlivňující trvání srážky .....	446
10.2.1.3	Konvekční systémy vyvolávající přívalové srážky .....	450
10.2.1.4	Vývoj krup v konvekční bouři .....	451
10.2.2	Downburst – Microburst.....	454
10.2.3	Tornádo .....	459
10.2.3.1	Historie výzkumu a dokumentace tornád v Evropě a v ČR.....	464
10.2.3.2	Typy tornáda .....	465
10.2.4	Vnitřní struktura a dynamika tornáda .....	468
10.3	Mezosynoptické konvekční systémy mírných zeměpisných šířek.....	472
10.3.1	Základní charakteristiky MCS.....	474
10.3.2	Squall line s připojenou vrstevnatou oblačností .....	477
11	Oblaky horního patra.....	481
11.1	Základní charakteristiky cirovité oblačnosti .....	483
11.2	Cirrus uncinus.....	485
11.3	Výtok ledové oblačnosti z oblaků Cb .....	488
11.4	Cirovité oblaky v tenké vrstvě vzdálené od zdroje vzniku .....	490
12	Kvantitativní odhad srážek z distančních měření .....	495
12.1	Stanovení srážek z radarových měření.....	495
12.1.1	Kalibrace a stabilita radaru .....	495
12.1.2	Eliminace nemeteorologických cílů .....	496
12.1.3	Optimální radarový produkt pro odhad srážek .....	496
12.1.4	Optimální Z–R-vztah.....	498
12.1.5	Korekce radarových odhadů pomocí srážkoměrných dat.....	498
12.1.5.1	Následné statistické korekce .....	499
12.1.5.2	Kombinovaný odhad z radarů a srážkoměrů .....	499
12.2	Stanovení srážek z družicových měření.....	501
13	Předpověď srážek .....	506
13.1	Metody nowcastingu.....	507
13.2	Kvantitativní předpověď srážek.....	510
14	Umělé zásahy do vývoje oblaků .....	513
14.1	Historie .....	514
14.2	Základní koncepce a hodnocení umělých zásahů do vývoje oblaků.....	515

14.2.1 Stimulace srážkových procesů v oblaku .....	515
14.2.2 Hodnocení experimentů zaměřených na zvýšení srážek z konvekční oblačnosti.....	519
14.2.3 Rozpouštění oblaků.....	526
14.2.4 Potlačení vývoje krup .....	527
14.3 Shrnutí současného stavu modifikace oblaků .....	531
Seznam citované literatury .....	539
Rejstřík .....	565