

OBSAH

1	Pôda ako súčasť systému pôda – rastlina – atmosféra (PRAT)	15
1.1	Hydrológia pôdy	15
1.1.1.	Koncepcné prístupy v hydrológii pôdy	18
1.2.	Pôda v systéme pôda – rastlina – atmosféra	20
1.3	Atmosféra	21
1.3.1	Vodná para	23
1.3.2	Kyslík	23
1.3.3	Oxid uhličitý	23
1.4	Porast	23
2	Základné fyzikálne vlastnosti pôdy	28
2.1	Pórovité prostredie, kapilárne pórovité prostredie a pôda. Aké sú medzi nimi rozdiely?	28
2.2	Pôda ako trojfázový systém	29
2.3	Pedogenéza	32
2.4	Textúra pôdy	33
2.4.1	Zrnitostná analýza pôd	34
2.5	Druh pôdy	37
2.6	Skelet v pôde	38
2.7	Ílové minerály	38
2.8	Štruktúra pôdy	39
2.9	Chemické a mineralogické vlastnosti pôd	41
3	Fyzikálne vlastnosti vody	42
3.1	Voda v pôde a pôdny roztok	44
3.2	Vzduch vo vode a jeho rozpustnosť	44
3.3	Hustota, stlačiteľnosť a rozťažnosť vody	45
3.4	Povrchové napätie vody	46
3.5	Viskozita vody	47
4	Javy na rozhraní voda – pevná fáza pôdy	49
4.1	Zmäčanie pevných látok tekutinami	49
4.2	Kapilarita	49
4.2.1	Pôda ako súbor kapilár	51
4.2.2	Výška kapilárneho výstupu	53
4.2.3	Zníženie tlaku pár vody v kapiláre nad meniskom	54
4.2.4	Kapilárne javy a ich význam pre retenciu vody v pôde	55
4.3	Adsorpcia vody pôdou	56

5	Vlhkosť pôdy a metódy jej merania	59
5.1	Kvantitatívne vyjadrenie vlhkosti pôdy	59
5.2	Meranie vlhkosti pôdy	61
5.2.1	Gravimetrická metóda merania vlhkosti	61
5.2.2	Metóda TDR	64
5.2.3	Metóda FDR	67
5.2.4	Neutrónová metóda merania vlhkosti pôdy	67
5.2.5	Kapacitná metóda merania vlhkosti pôdy	68
5.2.6	Odporová metóda merania vlhkosti pôdy	69
5.2.7	Geofyzikálne metódy merania vlhkosti	70
6	Potenciál vody v pôde a jeho meranie	72
6.1	Energia vody v pôde	72
6.2	Potenciál vody v kapilárne pórovitom prostredí (v pôde)	74
6.3	Používané formy vyjadrenia potenciálu vody v pôde	76
6.4	Zložky celkového potenciálu vody v pôde	77
6.4.1	Gravitačná zložka celkového potenciálu vody v pôde	77
6.4.2	Matričný (vlhkostný) potenciál vody v pôde	79
6.4.3	Pneumatický (tlakový) potenciál vody v pôde	79
6.5	Celkový potenciál vody v pôde	80
6.6	Meranie zložiek potenciálu vody v pôde	82
6.6.1	Piezometer	82
6.6.2	Tenziometer	83
7	Vlhkostná retenčná krivka	86
7.1	Hysteréza vlhkostnej retenčnej čiary	86
7.2	Hlavné vetvy vlhkostných retenčných kriviek	88
7.3	Vlhkostné retenčné krivky pôd a ich analytické vyjadrenie	92
7.4	Hydrolimity	93
7.5	Meranie vlhkostných retenčných kriviek	96
7.5.1	Podtlakové metódy	97
7.5.2	Pretlakové metódy	99
7.5.3	Kombinovaná metóda	101
7.5.4	Psychrometrická metóda	101
7.5.5	Adsorpčná a desorpčná metóda	103
7.6	Výpočet vlhkostnej retenčnej krivky z výsledkov meraní v pretlakovom zariadení	104
8	Prúdenie vody vo vodou nasýtenom, nedeformujúcom sa kapilárne pórovitom prostredí	107
8.1	Dve koncepcie kvantifikácie prúdenia vody vo vodou nasýtenom pórovitom prostredí	107
8.1.1	Darcyovský prístup	107
8.1.2	Modelové pórovité prostredie	108
8.2	Darcyho zákon	110

8.3	Makroskopická (darcyovská) a pórová (skutočná) rýchlosť prúdiacej vody	112
8.4	Rozdelenie tlakov pri prúdení vody cez rozdielne konfigurované meracie zariadenia	113
8.4.1	Horizontálne uložená vzorka pôdy	113
8.4.2	Vertikálne uložená vzorka pôdy	114
8.4.3	Vertikálne uložená vzorka pôdy, ak voda prúdi zdola nahor	114
8.5	Meranie hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy v laboratórnych podmienkach	115
8.5.1	Jednoduchá laboratórna metóda merania súčiniteľa hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy	117
8.6	Hydraulická vodivosť pôd a vlastnosti prostredia	119
8.6.1	Darcyovské a nedarcyovské prúdenie	120
8.6.2	Uzavretý vzduch v póroch	121
8.6.3	Teplota a nasýtená hydraulická vodivosť pôdy	121
8.6.4	Prúdenie vody cez vodou nasýtené prostredie zložené z viacerých vrstiev	122
8.7	Meranie hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy v terénnych podmienkach nad hladinou podzemnej vody	123
8.7.1	Meranie hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy nad hladinou podzemnej vody v nenasýtenej oblasti pôdy metódou plnenej sondy pri meniacom sa hydraulickom sklone	123
8.7.2	Meranie hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy nad hladinou podzemnej vody v nenasýtenej oblasti pôdy metódou plnenej sondy pri stálom hydraulickom sklone	124
8.8	Pedotransférne funkcie	125
9	Voda vo vodou nenasýtenej pôde	127
9.1	Rozdiely medzi prúdením vody vo vodou nasýtenej a vodou nenasýtenej pôde	127
9.2	Základné rovnice pohybu vody vo vodou nenasýtenej pôde	128
9.2.1	Darcyho – Buckinghamova rovnica	128
9.2.2	Rovnica neustáleného prúdenia vody vo vodou nenasýtenej pôde (rovnica Richardsa)	129
9.3	Prúdenie vody vo vodou nenasýtenej pôde: Základné vlastnosti a charakteristiky	131
9.4	Metódy merania a výpočtu hydraulickej vodivosti vodou nenasýtenej pôdy a funkčnej závislosti $k(h_w)$	135
9.4.1	Metódy merania hydraulickej vodivosti vodou nenasýtenej pôdy	136
9.4.2	Určenie hydraulickej vodivosti vodou nenasýtenej pôdy analýzou rozdelení profilov vlhkostí a matričných potenciálov vody v pôde	137
9.4.3	Metóda výpočtu funkčnej závislosti $k = f(h_w)$ z vlhkostnej	

	retenčnej krivky pôdy a z hydraulickej vodivosti vodou nasýtenej pôdy	139
9.5	Súčiniteľ difúzivity a pohyb vody pri malých vlhkostiach pôdy	140
9.6	Difúzia pár vody v pôde	142
10	Infiltrácia vody do pôdy	144
10.1	Infiltrácia vody do homogénnej pôdy	144
10.1.1	Základné charakteristiky infiltrácie	144
10.2	Infiltrácia vody do pôdy zo zrážok alebo zo závlahy postrekom	146
10.3	Infiltrácia z výtopy	147
10.4	Vplyv začiatkovej vlhkosti pôdy a intenzity zrážok na infiltráciu	150
10.5	Vplyv uzavretého vzduchu na infiltráciu	151
10.6	Rozdelenie vlhkosti v pôde počas infiltrácie	152
10.7	Výpočet charakteristík infiltrácie podľa Greena a Ampta	156
10.7.1	Horizontálna infiltrácia	158
10.7.2	Vertikálna infiltrácia z výtopy	160
10.7.3	Tlaková výška na čele infiltrácie	161
10.7.4	Výpočet času výtopy pri infiltrácii zo zrážok s využitím prístupu podľa Greena a Ampta	161
10.8	Empirické rovnice infiltračných kriviek	163
10.9	Analytické vyjadrenie neustálenej infiltrácie do homogénnej pôdy	165
10.10	Infiltrácia do nehomogénnej pôdy	169
10.10.1	Infiltrácia vody do pôdneho profilu, zloženého z vrstiev s rozdielnymi vlastnosťami	170
10.10.1.1	Vrstva pôdy s vyššou nasýtenou hydraulickou vodivosťou (hrubozrnná pôda) leží nad vrstvou s nižšou nasýtenou hydraulickou vodivosťou (jemnozrnná pôda)	171
10.10.1.2	Vrstva pôdy s nižšou nasýtenou hydraulickou vodivosťou (jemnozrnná pôda) leží nad vrstvou s vyššou nasýtenou hydraulickou vodivosťou (hrubozrnná pôda)	171
11	Redistribúcia vody v homogénnej pôde	174
11.1	Pohyb vody v pôde počas redistribúcie	175
11.2	Kvantitatívna analýza redistribúcie vody v pôde	177
12	Spolupôsobenie vodou nenasýtenej oblasti pôdy s podzemnou vodou	180
12.1	Určenie smerov prúdenia vody medzi podzemnou vodou a nenasýtenou oblasťou pôdy	181
12.2	Vertikálny výstup vody z podzemnej vody do pôdy	184
12.3	Prítok vody z podzemnej vody do pôdneho profilu vyjadrený empirickými rovnicami	187
12.4	Prítok vody z pôdy do podzemnej vody – vnútorná drenáž pôdy	188
12.5	Znižovanie hladiny podzemnej vody drenážou	190

12.5.1	Drenážna rovnica pre ustálené prúdenie podzemnej vody medzi drénmi	191
12.5.2	Drenážna rovnica pre neustálené prúdenie podzemnej vody medzi drénmi	193
12.6	Drenážna pórovitosť a súčiniteľ nedostatku nasýtenia	194
12.7	Riziko zasolenia pôdy podzemnou vodou a závlahou	196
13	Vyparovanie vody v prírode	198
13.1	Transport vody v systéme pôda – rastlina – atmosféra (PRAT)	198
13.2	Vyparovanie ako fyzikálny proces	200
13.2.1	Vyparovanie vody	201
13.2.2	Základné charakteristiky vyparovania vody	201
13.2.3	Vyparovanie vody z vodnej hladiny a z pôdy	203
13.3	Transport vody v pôde počas vyparovania	206
13.3.1	Výpočet pohybu vody v pôde počas vyparovania z neporastenej pôdy	207
13.4	Transpirácia	208
13.4.1	Kvantifikácia pohybu vody v pôde počas transpirácie	209
13.4.2	Funkcia rozdelenia intenzít odberu vody koreňmi rastlín $S(z, t)$	210
13.4.3	Rozdelenie odberu vody koreňmi rastlín z meraní v poľných podmienkach	213
13.5	Metódy určovania evapotranspirácie	215
13.5.1	Metóda výpočtu evapotranspirácie z rovnice bilancie energie vyparujúceho povrchu	216
13.5.2	Výpočet evapotranspirácie z mokrého povrchu: Penmanova rovnica	218
13.6	Výpočet potenciálnej evapotranspirácie porastov	222
13.6.1	Výpočet evapotranspirácie: Penmanova – Monteithova rovnica	223
13.7	Referenčná evapotranspirácia a evapotranspirácia porastov (metóda FAO)	225
13.7.1	Referenčná evapotranspirácia	225
13.7.2	Evapotranspirácia porastov	226
13.8	Výpočet aktuálnej evapotranspirácie z hodnôt potenciálnej evapotranspirácie	227
13.9	Výpočet štruktúry potenciálnej evapotranspirácie	228
13.10	Denné a ročné priebehy evapotranspirácie a jej zložiek	229
13.11	Výpočet evapotranspirácie metódou pulzácií (eddy correlation method)	232
13.12	Výpočet potenciálnej evapotranspirácie empirickými rovnicami	232
13.12.1	Rovnica Linacreho	233
13.12.2	Rovnica Ivanova	233
13.12.3	Rovnica Tichomirova	234
13.13	Vyparovanie na území Slovenska	234

14	Transport roztokov v pórovitom prostredí a v pôde	237
14.1	Spôsoby vyjadrenia množstva rozpustenej látky vo vode	237
14.2	Transport rozpustených látok v pôde	239
14.2.1	Prúdenie (konvekcia)	239
14.2.2	Difúzia	239
14.2.3	Hydrodynamická disperzia	240
14.3	Rovnica transportu roztoku v pôde	242
14.4	Pécletovo číslo a identifikácia mechanizmov transportu rozpustených látok	244
14.5	Výtokové a prienikové krivky roztoku	245
14.5.1	Výtoková krivka roztoku	245
14.5.2	Prieniková krivka roztoku	247
15	Bilancia vody a energie v krajine a vodný režim pôdy	251
15.1	Bilancia vody v pôde	251
15.2	Rovnice bilancie vody a energie a hydrologický cyklus	253
15.3	Režim vody v krajine	253
15.4	Režim vody v pôde a jeho diagnostika	255
15.4.1	Klasifikácia režimu vody v pôde	255
15.4.1.1	Hydrologická klasifikácia režimu vody v pôde	255
15.5	Diagnostika režimu vody v pôde a produkcia biomasy	256
16	Napučiavajúce a zmrašťujúce sa pôdy	259
16.1	Merný objem a merný povrch výsušných puklín	261
16.2	Tvorba a kinetika výsušných puklín	262
16.3	Vplyv napučievania alebo zmrašťovania pôd na pohyb vody v pôde	264
16.4	Infiltrácia vody do pôdy s puklinami	265
17	Skeletnaté pôdy	268
17.1	Klasifikácia skeletnatých pôd	269
17.2	Výskyt pôd s obsahom skeletu	269
17.3	Vlastnosti skeletnatých pôd	270
17.3.1	Reprezentatívny elementárny objem skeletnatej pôdy	270
17.3.2	Odber neporušených vzoriek skeletnatej pôdy	271
17.3.3	Fyzikálne charakteristiky skeletnatej pôdy	271
17.3.3.1	Skeletnatosť pôdy	272
17.3.3.2	Objemová hmotnosť skeletnatej pôdy	273
17.3.3.3	Pórovitosť skeletnatej pôdy	273
17.4	Hydrofyzikálne charakteristiky skeletnatej pôdy	274
17.4.1	Objemová vlhkosť skeletnatej pôdy	274
17.4.2	Retencia skeletnatej pôdy	274
17.4.3	Hydraulická vodivosť skeletnatej pôdy	276
17.5	Meranie obsahu vody v skeletnatej pôde	278
17.6	Pohyb vody v skeletnatej pôde	279
17.7	Modelovanie pohybu vody v skeletnatej pôde	279

17.8	Návrh komplexnejších postupov modelovania pohybu vody v skeletnatej pôde	280
17.9	Príklad použitia meraných charakteristík skeletnatej pôdy pri návrhu vstupných parametrov deterministického modelu pohybu vody	280
17.9.1	Výsledky modelovania pohybu vody v skeletnatej pôde	283
18	Pôdy so zníženou hydrofilnosťou (hydrofóbne pôdy)	286
18.1	Hydrofóbnosť pôd a jej identifikácia	286
18.2	Charakteristiky hydrofóbnosti pôdy	287
18.2.1.	Veľkosť hydrofóbnosti pôdy	287
18.2.2	Stálosť hydrofóbnosti pôdy	288
18.3	Hydrofóbne látky v pôde	288
18.4	Vplyv charakteristík pôdy na hydrofóbnosť pôdy	289
18.5	Vplyv hydrofóbnosti na hydrologické procesy v pôde	290
19	Vzduch v pôde a jeho dynamika	292
19.1	Zloženie vzduchu v pôde	293
19.2	Pohyb vzduchu v pôde	294
19.2.1	Prúdenie vzduchu v pôde	295
19.2.2	Difúzia vzduchu v pôde	296
19.3	Pohyb kyslíka v pôde ku koreňom rastlín	297
20	Teplota pôdy a transport tepla a vody v pôde	301
20.1	Teplota pôdy	301
20.1.1	Teplotný režim pôdy	301
20.2	Transport tepla v pôde	303
20.2.1	Transport tepla v pôde vedením	304
20.3	Tepelná kapacita pôdy	306
20.4	Tepelná vodivosť pôdy	307
20.5	Transport vody v pôde v neizotermických podmienkach	309
20.5.1	Vplyv teploty na vlastnosti vody	311
20.5.1.1	Vplyv teploty na hustotu vody	311
20.5.1.2	Vplyv teploty na viskozitu vody	311
20.5.1.3	Vplyv teploty na povrchové napätie vody	311
20.5.2	Vplyv teploty na hydrofyzikálne charakteristiky pôdy	312
20.5.2.1	Hydraulická vodivosť vodou nasýtenej pôdy a teplota	312
20.5.2.2	Vlhkostné retenčné krivky a ich závislosť od teploty	313
20.5.3	Vplyv teploty a neizotermických podmienok na dynamiku vody v pôde	314
21	Modelovanie transportu vody a rozpustených látok v pôde	317
21.1	Riadiace rovnice popisujúce pohyb vody a transport rozpustených látok	318

21.2	Charakteristiky prostredia vstupujúce do modelu	319
21.3	Hlavné výstupy z modelu	319
21.4	Rovnica bilancie vody v pôde	320
21.5	Riešenie riadiacej rovnice matematického modelu	320
21.5.1	Začiatkové a okrajové podmienky	321
21.6	Modelovanie pohybu vody v heterogénnych pôdach	322
21.7	Model duálnej pórovitosti (Dual-Porosity Model)	323
21.8	Model duálnej priepustnosti (Dual-Permeability Model)	324
21.9	Problematika kalibrácie, verifikácie a validácie deterministických modelov pohybu vody v pôde	326
21.10	Prehľad niektorých modelov používaných u nás a v zahraničí	327
21.11	Súčasný trendy v oblasti matematického modelovania vo vadóznej zóne pôdy	332
22	Významné osobnosti hydrológie pôdy	335