

# OBSAH

PŘEDMLUVA.....	1
OBSAH.....	2
SYMBOLIKA .....	6
SEZNAM VYOBRAZENÍ.....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
1.1 ÚČEL A CÍL UČEBNÍHO TEXTU .....	11
1.2 HISTORICKÝ VÝVOJ A SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY .....	11
<b>2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY FYZIKÁLNÍHO A MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....	13
2.2 MATEMATICKÉ MODELY V HYDRODYNAMICE.....	14
2.2.1 Klasifikace hydrodynamických soustav.....	14
2.2.2 Postup při výběru vhodného matematického modelu pro řešení úloh vodního hospodářství.....	15
2.3 PŘÍMÉ A INVERZNÍ MODELOVÁNÍ.....	15
2.4 POČÁTEČNÍ A OKRAJOVÉ ÚLOHY .....	16
<b>3. ZÁKLADNÍ ROVNICE MECHANIKY KAPALIN.....</b>	<b>17</b>
3.1 ZÁKON ZACHOVÁNÍ HMOTNOSTI - ROVNICE KONTINUITY .....	17
3.2 ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI - ROVNICE HYBNOSTI.....	17
3.3 KONSTITUTIVNÍ VZTAHY.....	18
3.4 NAVIER-STOKESOVY ROVNICE A EULEROVY ROVNICE .....	19
3.5 ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE.....	20
<b>4. ZÁKLADY TEORIE STAVBY NUMERICKÝCH MODELŮ.....</b>	<b>21</b>
4.1 POSTUP PŘI TVORBĚ MATEMATICKÉHO A NUMERICKÉHO MODELU .....	21
4.2 ZÁKONY ZACHOVÁNÍ, STAVOVÉ ROVNICE, OKRAJOVÉ A POČÁTEČNÍ PODMÍNKY.....	22
4.3 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY .....	22
4.3.1 Základní předpoklady.....	22
4.3.2 Předpoklad stacionarity .....	23
4.3.3 Snížení rozměrovosti úlohy.....	23
4.3.4 Hydrologické a klimatické poměry .....	23
4.3.5 Tvar a rozměry náhradní oblasti.....	23
4.3.6 Vlastnosti kapaliny.....	24
4.3.7 Zanedbání dalších vlivů.....	24
4.4 PŘEHLED NUMERICKÝCH METOD .....	24
4.4.1 Metoda konečných diferencí.....	24
4.4.2 Metoda konečných prvků.....	27
4.5 ALGORITMIZACE PROBLÉMU A JEHO ZPROGRAMOVÁNÍ.....	30
4.6 KALIBRACE A VERIFIKACE MODELU .....	30
4.7 MOŽNOSTI PRAKTICKÉHO VYUŽITÍ MODELŮ .....	31

<b>5. MODELOVÁNÍ IZOTERMICKÉHO USTÁLENÉHO POHYBU NESTLAČITELNÉ KAPALINY.....</b>	<b>32</b>
5.1 ÚVOD .....	32
5.2 ZÁKLADNÍ VZTAHY .....	33
5.2.1 Navier-Stokesovy rovnice .....	33
5.2.2 Reynoldsovo kritérium.....	34
5.2.3 Počítání s náhodnými veličinami .....	35
5.2.4 Střední hodnoty a fluktuace složek okamžitých rychlostí a tlaku .....	35
5.2.5 Reynoldsovy rovnice a Reynoldsovo napětí .....	35
5.3 TEORIE KASKÁDOVÉHO PŘENOSU ENERGIE .....	38
5.4 TURBULENTNÍ MODELY .....	38
5.4.1 Boussinesqovo pojetí.....	39
5.4.2 $k$ - $\epsilon$ model.....	40
5.4.3 Stěnová podmínka .....	41
5.5 MATEMATICKÁ FORMULACE PROUDĚNÍ VE 2D.....	42
5.5.1 Navier-Stokesovy rovnice a rovnice spojitosti ve 2D.....	42
5.5.2 Reynoldsovy rovnice a rovnice spojitosti ve 2D.....	42
5.5.3 $k$ - $\epsilon$ model ve 2D.....	43
5.6 DOSTUPNÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY .....	43
5.7 PRAKTICKÁ APLIKACE.....	44
5.7.1 Pre-processing .....	44
5.7.2 Řešení .....	45
5.7.3 Post-processing.....	46
<b>6. PROUDĚNÍ V TLAKOVÝCH SYSTÉMECH TRUBNÍCH SÍTÍ.....</b>	<b>47</b>
6.1 CÍLE A ÚČEL MODELOVÁNÍ.....	47
6.2 DATA POTŘEBNÁ PRO ŘEŠENÍ .....	47
6.3 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY .....	48
6.3.1 Snížení počtu odběrných míst .....	48
6.3.2 Časově nezávislé řešení.....	48
6.4 MATEMATICKÁ FORMULACE PROBLÉMU .....	48
6.4.1 Základní rovnice .....	48
6.4.2 Okrajové podmínky .....	49
6.5 MODELY USTÁLENÉHO TLAKOVÉHO PROUDĚNÍ V TRUBNÍCH SÍTÍCH .....	49
6.5.1 Základní pojmy teorie trubních sítí.....	49
6.5.2 Příklad sestavení nelineárních algebraických rovnic.....	51
6.5.3 Používané numerické metody.....	52
6.6 DOSTUPNÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY .....	53
6.7 PRAKTICKÁ APLIKACE.....	53
<b>7. PROUDĚNÍ VODY V SYSTÉMECH S VOLNOU HLADINOU .....</b>	<b>56</b>
7.1 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ ODPADNÍCH VOD VE STOKOVÝCH SÍTÍCH .....	56
7.1.1 Cíle a účel modelování.....	56
7.1.2 Matematický model .....	57
7.1.3 Počáteční a okrajové podmínky.....	62
7.1.4 Nestability při proudění v uzavřených profilech.....	63
7.1.5 Numerické řešení.....	64
7.1.5.1 Diskretizace topologie sítě.....	64
7.1.5.2 Diskretizace matematického modelu.....	65

7.1.6	Kritérium stability řešení.....	67
7.1.7	Kalibrace a verifikace.....	67
7.1.8	Dostupné programové prostředky.....	68
7.1.9	Praktická aplikace.....	69
7.2	MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ V SOUSTAVĚ VODOTEČÍ.....	73
7.2.1	Cíle a účel modelování.....	73
7.2.2	Zjednodušující předpoklady.....	73
7.2.3	Matematický model.....	73
7.2.4	Přehled numerických metod.....	75
7.2.4.1	Diskretizace soustavy vodotečí.....	75
7.2.4.2	Počáteční a okrajové podmínky.....	76
7.2.4.3	Diskretizace matematického modelu.....	76
7.2.5	Dostupné programové prostředky.....	80
7.2.6	Praktické aplikace.....	82
<b>8.</b>	<b>PROUDĚNÍ VODY V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>87</b>
8.1	METODY ŘEŠENÍ ÚLOH HYDRAULIKY PODZEMNÍ VODY.....	87
8.2	ČLENĚNÍ ÚLOH HYDRAULIKY PODZEMNÍ VODY.....	88
8.3	MATEMATICKÁ FORMULACE PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY.....	89
8.3.1	Darcyho vztah.....	89
8.3.2	Platnost Darcyho vztahu.....	90
8.3.3	Zákon zachování hmotnosti - rovnice spjitosti pro proudění podzemní vody.....	90
8.3.4	Filtrační proudění.....	91
8.3.5	Počáteční a okrajové podmínky.....	91
8.3.6	Formulace problému ustáleného tlakového proudění ve vertikální rovině.....	92
8.3.7	Formulace problému ustáleného proudění ve vertikální rovině s volnou hladinou.....	93
8.3.8	Dupuitův teorém.....	93
8.3.9	Zásobnost (jímatelnost, storativita) zvodněné vrstvy.....	94
8.3.10	Formulace problému neustáleného tlakového proudění v horizontální rovině.....	94
8.3.11	Formulace problému proudění v horizontální rovině s volnou hladinou.....	95
8.4	ANALOGIE.....	95
8.4.1	Formulace problému potenciálního proudění.....	95
8.4.2	Formulace problému vedení tepla.....	97
8.4.3	Analogie proudění podzemní vody, potenciálního proudění a vedení tepla ve 2D.....	97
8.5	DOSTUPNÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY.....	98
8.6	ŘEŠENÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY VE VERTIKÁLNÍ ROVINĚ POMOCÍ MKP.....	100
8.6.1	Formulace problému.....	100
8.6.2	Okrajové podmínky.....	100
8.6.3	Variační formulace.....	100
8.6.4	Aplikace metody konečných prvků (MKP).....	101
8.7	PRAKTICKÉ APLIKACE.....	105
8.7.1	Příklad výpočtu tlakového proudění podzemní vody v horizontální rovině metodou konečných prvků.....	105
8.7.2	Matematický model hydraulické ochrany podzemních vod v okolí Přerovských strojíren.....	109
<b>9.</b>	<b>NUMERICKÝ MODEL KVALITY VODY V SOUSTAVĚ VODOTEČÍ.....</b>	<b>113</b>
9.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	113
9.2	DATA POTŘEBNÁ PRO ŘEŠENÍ.....	115
9.3	ZJEDNODUŠENÍ POUŽITÁ PŘI ODVOZENÍ MATEMATICKÉHO MODELU KVALITY VODY V SOUSTAVĚ VODOTEČÍ.....	116
9.4	NĚKTERÉ SOUDOBÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY VHODNÉ PRO MODELOVÁNÍ VYBRANÝCH ÚLOH.....	116

9.5	MATEMATICKÁ FORMULACE PROBLÉMU .....	117
9.5.1	Základní bilanční rovnice .....	117
9.5.2	Okrajové a počáteční podmínky .....	117
9.6	MODEL POUŽÍVANÉ PRO STACIONÁRNÍ BILANČNÍ POSOUZENÍ KVALITY VODY V ŘÍČNÍ SÍTI .....	118
9.6.1	Matematická formulace .....	118
9.6.2	Numerické řešení metodou konečných diferencí .....	118
9.6.3	Příklad řešení pro bilanci BSK <sub>5</sub> .....	119
9.6.4	Praktický příklad řešení .....	121
9.7	NESTACIONÁRNÍ ÚLOHA TRANSPORTU A DISPERZE LÁTKY V SYSTÉMU VODOTEČÍ .....	123
9.7.1	Předpoklady řešení úlohy .....	123
9.7.2	Matematická formulace úlohy .....	123
9.7.3	Řešení úlohy .....	124
9.7.4	Variační formulace problému .....	124
9.7.5	Numerické řešení úlohy .....	125
9.7.6	Aplikace navržené metody na soustavu vodotečí .....	126
9.7.7	Praktický příklad .....	127
10.	<b>PŘÍMÉ A INVERZNÍ MODELOVÁNÍ</b> .....	130
10.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....	130
10.2	ÚLOHA PŘÍMÁ .....	130
10.2.1	Variační formulace úlohy .....	131
10.2.2	Vyjádření integrálů $I_{1,k}$ , $I_{2,k}$ a $I_{3,k}$ .....	133
10.2.2.1	Křivkový integrál $I_{1,k}$ .....	133
10.2.2.2	Vyjádření dvojných integrálů $I_{2,k}$ a $I_{3,k}$ .....	135
10.2.2.3	Transformace vektoru $\delta_k'$ na $\delta_k$ a $q'_{nk}$ na $q_{nk}$ příslušných křivkovému integrálu .....	138
10.2.2.4	Numerická integrace .....	140
10.2.3	Sestavení globální matice soustavy a globálního vektoru pravých stran .....	141
10.2.4	Kalibrace modelu .....	145
10.2.5	Verifikace modelu .....	145
10.3	ÚLOHA INVERZNÍ .....	145
11.	<b>LITERATURA</b> .....	149
12.	<b>ANGLICKO-ČESKÝ SLOVNÍK VYBRANÝCH ODBORNÝCH VÝRAZŮ</b> .....	152
	<b>DODATEK A : KLASIFIKACE PARCIÁLNÍCH DIFERENCIÁLNÍCH ROVNIC</b> .....	177
	<b>DODATEK B : ZPŮSOBY ZÁPISU DIFERENCIÁLNÍCH ROVNIC A DALŠÍ MATEMATICKÉ</b> .....	
	<b>KONVENCE</b> .....	179
	<b>DODATEK C : ÚPLNÁ LAGRANGEOVSKÁ DERIVACE</b> .....	181
	<b>DODATEK D : MATICOVÉ OPERACE</b> .....	183
	<b>DODATEK E : METODY ŘEŠENÍ SOUSTAV LINEÁRNÍCH ROVNIC</b> .....	184