

## OBSAH

OBSAH .....	3
SEZNAM SYMBOLŮ .....	10
<b>I. ÚVOD DOMECHANIKY TEKUTIN .....</b>	<b>16</b>
1. PŘEDMĚT MECHANIKY TEKUTIN .....	16
1.1. Historický vývoj .....	16
1.2. Základní členění předmětu .....	17
1.3. Metody řešení a základní pojmy .....	18
1.4. Prostory a souřadné systémy .....	20
a) Prostor absolutní .....	20
b) Prostor relativní .....	20
c) Souřadné systémy .....	20
1.5. Přehled sil působících na kapalinu .....	20
1) Hmotnostní (objemové) síly .....	21
a) Setrvačná síla .....	21
b) Tíhová síla .....	21
c) Hybnostní síla .....	22
2) Plošné síly .....	22
a) Tlaková síla .....	22
b) Třecí (tečná) síla .....	22
c) Kapilární (povrchová) síla .....	22
d) Kompresní (dynamická) síla .....	22
2. FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI KAPALIN .....	23
2.1. Stavové veličiny .....	23
a) Tlak .....	23
b) Teplota .....	23
c) Hustota a měrný objem .....	23
2.2. Měrná hmotnost (hustota) kapaliny .....	23
2.3. Stlačitelnost kapaliny .....	25
1) Součinitel objemové stlačitelnosti .....	25
2) Modul objemové pružnosti kapaliny .....	26
3) Rychlost zvuku .....	26
2.4. Teplotní roztažnost kapaliny .....	27
2.5. Napětí v kapalině .....	29
1) Napětí normálové (tlak) .....	29
a) Absolutní tlak .....	29
b) Atmosférický tlak .....	30
c) Napětí nasycených par .....	30
2) Třecí napětí, dynamická a kinematická viskozita kapaliny .....	30
2.6. Povrchové napětí .....	31
1) Kapilarita .....	33
2) Silové poměry na rozhraní tří látek .....	33
3) Chování dvou kapalin různých hustot .....	34

2.7.	Absorbce (pohlcování) plynu do kapaliny .....	35
2.8.	Tíhové zrychlení .....	35
2.9.	Nenewtonské kapaliny .....	36
1)	Kapaliny s časově nezávislými vlastnostmi .....	37
2)	Pseudoplastické kapaliny .....	37
a)	Binghamské kapaliny .....	37
b)	Dilatantní kapaliny .....	37
3)	Kapaliny s časově závislými vlastnostmi .....	37
a)	Tixotropní kapaliny .....	37
b)	Reopexní kapaliny .....	37
<b>II.</b>	<b>HYDROSTATIKA</b> .....	<b>38</b>
<b>3.</b>	<b>ZÁKLADNÍ ZÁKONY HYDROSTATIKY</b> .....	<b>38</b>
3.1.	Zákon o šíření tlaku v kapalině – Pascalův zákon .....	38
3.2.	Eulerova rovnice hydrostatiky .....	39
1)	Odvození obecné rovnice hydrostatiky .....	39
2)	Aplikace Eulerovy rovnice hydrostatiky .....	41
3.3.	Tlaková funkce a hladinové plochy .....	42
1)	Diferenciální rovnice tlakové funkce .....	42
2)	Hladinové plochy a tlakové hladiny .....	42
3.4.	Archimédův zákon .....	44
1)	Vztlak a plavání těles .....	44
2)	Rovnováha tělesa ponořeného ve dvou kapalinách .....	45
<b>4.</b>	<b>APLIKACE ZÁKONŮ HYDROSTATICKÉ ROVNOVÁHY</b> .....	<b>46</b>
4.1.	Hydrostatická rovnováha v absolutním prostoru .....	46
4.1.1.	Tlak v kapalině .....	46
1)	Nestlačitelná kapalina v klidu .....	46
a)	Tlakové hladiny pod dvěma kapalinami rozdílných hustot .....	47
b)	Určení tlakového rozdílu .....	48
2)	Stlačitelná kapalina v klidu .....	48
4.1.2.	Tlakové síly kapaliny na různé plochy .....	48
1)	Tlaková síla na vodorovnou rovinnou plochu .....	49
2)	Tlaková síla na šikmou (svislou) rovinnou plochu .....	49
3)	Tlakové síly na křivé plochy .....	52
a)	Grafická metoda .....	53
b)	Složková metoda .....	53
c)	Metoda náhradní plochy .....	54
4.2.	Hydrostatická rovnováha v relativním prostoru .....	55
4.2.1.	Přímočarý rovnoměrně zrychlený (zpožděný) pohyb .....	55
1)	Přímočarý pohyb ve vodorovné rovině .....	55
2)	Přímočarý pohyb po šikmé rovině .....	56
4.2.2.	Rovnoměrně otáčivý pohyb (N+K) .....	58
1)	Rotační pohyb kolem vodorovné osy .....	58
2)	Rotační pohyb kolem vodorovné osy .....	61

<b>III. HYDRODYNAMIKA</b>	62
<b>5. ZÁKLADNÍ ZÁKONY HYDRODYNAMIKY</b>	62
<b>5.1. Rozdělení proudění a základní pojmy</b>	62
<b>5.1.1. Rozdělení podle fyzikálních vlastností kapaliny</b>	62
1) Proudění ideální (dokonalé) kapaliny	62
a) Potenciální (nevířivé) proudění	62
b) Vířivé proudění	62
2) Proudění reálné (skutečné) kapaliny	63
a) Laminární proudění	63
b) Turbulentní proudění	63
<b>5.1.2. Rozdělení podle kinematických hledisek</b>	63
1) Podle uspořádání proudění v prostoru	63
a) Prostorové (třírozměrné) proudění	63
b) Rovinné (dvourozměrné) proudění	63
c) Jednorozměrné proudění	63
2) Podle rovnoměrnosti rychlosti v daném profilu	63
a) Rovnoměrné proudění	63
b) Nerovnoměrné proudění	64
3) Podle závislosti proudění na čase	64
a) Ustálené (stacionární) proudění	64
b) Neustálené (nestacionární) proudění	64
<b>5.2. Zákon o zachování hmoty – rovnice kontinuity</b>	64
1) Odvození obecné rovnice kontinuity – pro jednorozměrné proudění	65
2) Zjednodušené rovnice kontinuity	66
a) Rovnice pro tuhé potrubí	66
b) Rovnice pro ustálené proudění	66
c) Rovnice pro ustálené proudění nestlačitelné kapaliny	66
<b>5.3. Zákon o rovnováze sil při proudění</b>	67
1) Silová rovnováha pro skutečnou kapalinu	67
2) Eulerova rovnice hydrodynamiky – pro ideální kapalinu	67
a) Rovnice pro jednorozměrné proudění	67
b) Rovnice pro obecné prostorové proudění	68
<b>5.4. Zákon o zachování energie – Bernoulliovy rovnice</b>	70
1) Odvození obecné Bernoulliovy rovnice	70
2) Bernoulliova rovnice pro ideální kapalinu	71
3) Bernoulliova rovnice pro skutečnou kapalinu	72
<b>5.5. Věta o změně hybnosti – impulsová věta</b>	74
1) Síla od hybnosti – obecně	74
2) Silový účinek proudu na potrubí	75
3) Silový účinek proudu na desky v klidu	76
a) Proud působící kolmo na rovinnou desku	77
b) Šikmý nátok na rovinnou desku	77
c) Proud působící na rotační plochu (koreček)	77

<b>6.</b>	<b>VÝTOK KAPALIN A NESTACIONÁRNÍ PROUDĚNÍ</b>	78
<b>6.1.</b>	<b>Případy výtoku kapaliny z nádrží</b>	78
	1) Výtok kapaliny malým otvorem	78
	a) Malý otvor ve dně nádrže	78
	b) Malý otvor na stěně nádrže	79
	2) Vyprazdňování nádoby	80
	3) Výtok velkým otvorem ve stěně nádoby	81
	4) Výtok z nádrže dlouhým potrubím	82
	a) Určení výtokové rychlosti a průtoku	83
	b) Určení absolutního tlaku před uzavěrem	84
<b>6.2.</b>	<b>Neustálené proudění v potrubí</b>	85
	1) Nepružný hydraulický ráz	85
	a) Bernoulliho rovnice pro neustálené proudění	85
	b) Druhá rovnice kontinuity	87
	c) Doba rozběhu proudu kapaliny v potrubí	87
	d) Poměrné zvýšení tlaku	88
	2) Kmitavý pohyb kapaliny mezi dvěma nádržemi	89
<b>6.3.</b>	<b>Pružný hydraulický ráz</b>	92
	1) Odvození diferenciálních rovnic rázu	92
	2) Fyzikální význam diferenciálních rovnic rázu	95
	3) Úplný – totální ráz	98
	4) Částečný – řízený ráz	99
	5) Časový průběh rázu – příklad	100
<b>7.</b>	<b>HYDRAULICKÉ ODPORY V POTRUBNÍCH SYSTÉMECH</b>	102
<b>7.1.</b>	<b>Určení oblasti proudění</b>	102
	1) Reynoldsovo číslo a hydraulický průměr	102
	2) Absolutní a relativní drsnost potrubí	104
	3) Kriterijní diagram pro určení režimu turbulentního proudění	106
<b>7.2.</b>	<b>Ztráty třením po délce</b>	107
	1) Koeficient tření – přehled vztahů	107
	2) Ztrátový součinitel tření po délce	109
<b>7.3.</b>	<b>Místní – singulární ztráty</b>	109
	1) Přehled místních ztrát	110
	2) Součinitel místních ztrát	112
	a) Ztráty změnou průřezu	112
	b) Ztráty změnou směru	113
	c) Ztráty v uzavěrech	114
	d) Ztráty dělením (stékáním) proudu	114
<b>7.4.</b>	<b>Ztrátové konstanty</b>	116
	1) Základní ztrátové konstanty (ZZK)	117
	a) ZZK tření po délce	117
	b) ZZK místních ztrát	117
	2) Souhrnné ztrátové konstanty (SZK)	118
	3) Provozní ztrátové konstanty (PZK)	119
	4) Výsledné ztrátové konstanty (VZK)	120
	5) Princip superpozice ztrát	121

<b>8.</b>	<b>POTENCIÁLNÍ PROUDĚNÍ IDEÁLNÍ KAPALINY</b> .....	123
<b>8.1.</b>	<b>Základní vztahy potenciálního proudění</b> .....	124
	1) Úhlová rychlost částice a rotor rychlosti .....	124
	2) Potenciál rychlosti .....	124
	3) Lagrangeův integrál .....	125
	4) Cirkulace vírového vlákna .....	126
<b>8.2.</b>	<b>Rovinné potenciální proudění</b> .....	128
	1) Potenciál rychlosti a proudová funkce .....	128
	2) Laplaceova diferenciální rovnice – rovnice kontinuity .....	129
	3) Komplexní potenciál .....	130
<b>8.3.</b>	<b>Základní druhy potenciálního rovinného proudění</b> .....	132
	1) Paralelní proud .....	132
	2) Zdroj a propad .....	133
	3) Potenciální vír .....	136
<b>8.4.</b>	<b>Skládání potenciálního proudění v rovině</b> .....	138
	1) Paralelní proud a zdroj – rovinné polotěleso .....	138
	2) Dvojice zdroje a propadu – dipól .....	140
	3) Propad a potenciální vír .....	141
	4) Obtékání kruhu paralelním proudem .....	143
	a) Proudění bez cirkulace .....	143
	b) Proudění s cirkulací .....	144
<b>9.</b>	<b>OBECNÉ PROUDĚNÍ KAPALINY</b> .....	146
<b>9.1.</b>	<b>Obecné proudění ideální kapaliny</b> .....	146
	1) Rovnice kontinuity .....	146
	2) Rovnováha měrných sil .....	147
	3) Integrál Eulerovy rovnice hydrodynamiky po proudnici .....	149
	4) Integrace sil v uzavřeném prostoru .....	150
	5) Vztlak na rovinný osamocený profil – věta Kutta-Žukovského .....	151
	6) Proudění v lopatkové mříži .....	153
<b>9.2.</b>	<b>Laminární proudění skutečné kapaliny</b> .....	156
	1) Odvození rychlostního profilu v kruhovém potrubí .....	156
	2) Ztráty třením po délce při laminárním proudění .....	158
	3) Navier-Stokesova rovnice .....	159
<b>9.3.</b>	<b>Speciální případy laminárního proudění</b> .....	161
	1) Vodorovné proudění mezi rovnoběžnými stěnami .....	161
	2) Stékání po svislé stěně .....	162
	3) Proudění ve válcové mezeře .....	164
	4) Proudění v klínové mezeře .....	164
<b>9.4.</b>	<b>Turbulentní proudění skutečné kapaliny</b> .....	165
	1) Turbulence a Reynoldsovy rovnice .....	166
	2) Odvození turbulentního rychlostního profilu .....	167
	3) Tloušťka laminární podvrstvy .....	169
	4) Nerovnoměrný rychlostní profil .....	169
<b>9.5.</b>	<b>Mezní vrstva</b> .....	171
	1) Laminární a turbulentní mezní vrstva .....	172
	2) Održení mezní vrstvy – úplav .....	173

<b>9.6. Obtékání těles</b> .....	174
1) Třecí a tlakový odpor .....	174
2) Obtékání válce s cirkulací proudu – vztlková síla .....	177
3) Aerodynamické vlastnosti letadlových křídel .....	179
a) Geometrické charakteristiky profilu .....	179
b) Odpor, vztlak a klopný moment křídla .....	180
c) Polární diagram .....	181
<b>10. PROUDĚNÍ V HYDRAULICKÝCH STROJÍCH</b> .....	182
<b>10.1. Proudění v relativním prostoru oběžného kola (OK)</b> .....	182
1) Rychlostní diagramy pro OK .....	182
2) Bernoulliho rovnice pro rotující kanál .....	183
3) Eulerovy energetické rovnice .....	184
a) Eulerova turbinová rovnice .....	184
b) Eulerova čerpadlová rovnice .....	184
4) Přetlak OK vodních turbín .....	185
5) Moment rotujícího kanálu OK .....	185
<b>10.2. Energetické stroje – vodní turbíny</b> .....	186
<b>10.2.1. Energetické a provozní parametry</b> .....	187
1) Výkon a účinnost vodních turbín .....	187
2) Měrné energie HS .....	188
a) Geodetická měrná energie .....	188
b) Čistá (užitečná) měrná energie .....	188
c) Sací měrná energie .....	190
3) Frekvence otáčení – otáčky soustrojí .....	191
<b>10.2.2. Přetlakové (reakční) vodní turbíny</b> .....	192
1) Kaplanovy turbíny .....	192
2) Francisovy turbíny .....	193
<b>10.2.3. Rovnotlaké (akční) vodní turbíny</b> .....	194
<b>10.3. Pracovní stroje – čerpadla</b> .....	196
<b>10.3.1. Hydrostatická – objemová čerpadla</b> .....	197
1) Pistové čerpadlo jednočinné(PČ) .....	197
2) Tlakové poměry na pístu čerpadla .....	197
<b>10.3.2. Hydrodynamická – lopatková čerpadla</b> .....	200
1) Rozdělení lopatkových čerpadel .....	200
2) Měrná energie čerpadla .....	202
3) Ztráty a celková účinnost čerpadla .....	203

<b>IV. EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM</b> .....	204
<b>11. MĚŘENÍ HYDRAULICKÝCH VELIČIN</b> .....	204
<b>11.1. Základní členění měřících metod</b> .....	204
1) Měřicí přístroje .....	204
2) Automatický měřicí systém (AMS) .....	205
<b>11.2. Způsoby měření hydraulických veličin</b> .....	206
1) Měření tlaku .....	206
2) Měření rychlosti proudění .....	208
3) Měření průtoku .....	209
<b>11.3. Modelové zkoušky hydraulických strojů (HS)</b> .....	212
1) Schéma zkušebního okruhu .....	212
2) Určení základních parametrů .....	213
a) Přehled měřených veličin .....	213
b) Vypočtené (určené) parametry z měřených veličin .....	214
<b>11.4. Nejistoty měření</b> .....	216
1) Systematické relativní a absolutní nejistoty měřených veličin .....	216
2) Nejistota určení dopočítávaných veličin .....	217
<b>12. TEORIE HYDRAULICKÉ PODOBNOSTI</b> .....	219
<b>12.1. Úplná mechanická podobnost</b> .....	219
1) Geometrická podobnost .....	220
2) Kinematická podobnost .....	220
3) Dynamická podobnost .....	221
4) Odvození některých podobnostních čísel .....	222
<b>12.2. Základní podobnostní čísla v oboru HS</b> .....	224
1) Aplikace Navier-Stokesovy rovnice .....	224
2) Reynoldsovo číslo – vliv měřítka .....	225
3) Froudeovo číslo .....	225
4) Eulerovo číslo .....	226
5) Strouhalovo číslo .....	226
<b>12.3. Kritéria podobnosti</b> .....	227
1) Jednotkové parametry .....	227
2) Charakteristické koeficienty .....	228
3) Rychloběžnost hydraulických strojů .....	229
<b>12.4. Charakteristiky vodních turbín</b> .....	231
1) Energetické (účinnostní) charakteristiky .....	231
2) Návrh prototypu VT z její účinnostní charakteristiky .....	233
3) Čtyřkvadrantová charakteristika .....	233
<b>12.5. Charakteristiky lopatkových (hydrodynamických) čerpadel</b> .....	235
1) Afinní vztahy .....	235
2) Základní typy charakteristik lopatkových čerpadel .....	236
3) Modelové akumulární čerpadlo .....	237
<b>LITERATURA</b> .....	238