

Obsah

Předmluva	6
Seznam značek	7
1 Úvod	9
1.1 Tekutiny, jejich vlastnosti a zákony proudění	9
1.2 Zjednodušené fyzikální modely a zonální matematické modelování	13
1.3 Tenké smykové vrstvy TSV	16
2 Fyzikální, experimentální a matematické základy proudění v tenkých smykových vrstvách	18
2.1 Základní pojmy a představy	18
2.1.1 Typy proudění v TSV	18
2.1.2 Režim proudění a jeho vliv na ztráty	20
2.2 Příspěvek experimentální mechaniky tekutin k rozvoji nauky o TSV	22
2.2.1 Inspirace vizualizací proudění	22
2.2.2 Experimentální poznatky o TSV	23
2.3 Kvantitativní popis TSV	24
2.3.1 Rychlostní profil a tloušťka mezní vrstvy	24
2.3.2 Profil smykových napětí a třecí odpor	28
2.4 Matematický popis TSV	29
2.4.1 Výchozí rovnice	29
2.4.2 Úprava Navierových – Stokesových a Reynoldsových rovnic pro TSV	30
2.4.3 Transportní rovnice pro turbulenti mezní vrstvy	31
2.4.4 Rovnice zachování energie	31
2.4.5 Integrální vztahy	32
3 Laminární tenké smykové vrstvy (LTSV)	33
3.1 Úvod	33
3.2 Laminární proudění v trubicích a v kanálech	33
3.2.1 Jednoduchý smykový proud s nulovým tlakovým gradientem	33
3.2.2 Proudění Poiseuilleovo	33
3.2.3 Couetteovo proudění (s tlakovým gradientem)	34
3.2.4 Hagenovo – Poiseuilleovo proudění	35
3.2.5 Podobnostní řešení laminárního proudění v trubicích a v kanálech	36
3.2.6 Numerické metody	36
3.3 Laminární mezní vrstvy (LTV) na obtékaných tělesech	37
3.3.1 Fyzikální a matematický model	37
3.3.2 Stacionární obtékání rovinné desky paralelním potenciálním proudem	37
3.3.3 Laminární mezní vrstva na kolmo obtékaném rotačním válci	39
3.3.4 Některá další podobnostní řešení	40
3.3.5 Integrální metody výpočtu LMV	41
3.3.6 Numerické metody výpočtu LMV	43
3.3.7 Laminární mezní vrstvy s přidavnými vlivy	45
3.4 Volné smykové vrstvy	47
3.4.1 Definice a klasifikace volných smykových vrstev (VSV)	47
3.4.2 Směšovací vrstva	47
3.4.3 Paprsek	48
3.4.4 Úplav	48
4 Přejímové tenké smykové vrstvy	50
4.1 Základní pojmy	50
4.1.1 Definice přejímovu a vývoj bádání v oboru	50

4.1.2	Základní představy o přechodu v TSV	51
4.1.3	Vliv různých veličin na přechod v TSV	54
4.2	Přechod v přilehlé mezní vrstvě	55
4.2.1	Vstupní informace	55
4.2.2	Začátek přechodu a teorie stability	55
4.2.3	Experimentální ověření teorie stability při nízké Tu	58
4.2.4	Určení bodu přechodu z teorie stability a metodou e^N	59
4.2.5	Taylorova a Liepmannova hypotéza o přechodu	60
4.2.6	Začátek ořechodu (bod ZP) ze vztahů typu $f(Re_{\delta_2}, P, Tu)$	62
4.2.7	Konec přechodové oblasti	64
4.2.8	Průběh veličin v přechodové oblasti	67
4.3	Přechod v odtržené mezní vrstvě (separační bublina)	69
4.3.1	Modelování separační bubliny	69
4.3.2	Postup výpočtu separační bubliny	70
4.3.3	Vliv Re na separační bublinu	72
4.3.4	Společné znázornění přechodu v přilehlé a odtržené MV	75
4.4	Obrácený přechod a relaminarizace	76
4.5	Testovací experimenty	77
5	Turbulentní smykové vrstvy	78
5.1	Základní pojmy	78
5.1.1	Definice turbulence	78
5.1.2	Struktura turbulence	78
5.2	Modelování a simulace turbulence	79
5.2.1	Modely turbulence	79
5.2.2	Algebraické modely turbulence	80
5.2.3	Jednorovnicové modely	81
5.2.4	Dvourovnicové modely	82
5.2.5	Model Reynoldsova napětí (RSM)	83
5.2.6	Modelování malých vírů a simulování vírů velkých (LES)	83
5.2.7	Přímá numerická simulace N. – S. rovnic (DNS)	84
5.3	Turbulentní proudění v kanálech, v trubicích a v potrubí	84
5.3.1	Základní pojmy	84
5.3.2	Rychlostní profil	85
5.3.3	Třecí ztráty	87
5.3.4	Trubice a kanály nekruhového průřezu	90
5.4	Turbulentní mezní vrstvy	92
5.4.1	Klasifikace výpočtových metod	92
5.4.2	Integrální metody	93
5.4.3	Diferenciální metody	97
5.4.4	Experimentální ověření výpočtových metod	99
5.4.5	Komplikující vlivy	99
5.5	Volné smykové vrstvy (VSV)	103
5.5.1	Základní představy	103
5.5.2	Experimentální výsledky	106
5.5.3	Vztahy a podklady pro výpočet VSV	108
5.5.4	Integrální metody výpočtu	110
5.5.5	Podobnostní metody	111
5.5.6	Diferenciální metody	113
5.5.7	Přídavné komplikace	113
6	Experimenty v TSV a jejich výpočet metodami CFD	114
6.1	Měření TSV	114
6.1.1	Možnosti a metody měření	114
6.1.2	Měření TSV v kanálech	116

6.1.3	Měření MV na tělesech a ve VSV	116
6.1.4	Chyby měření	119
6.2	Výpočet TSV metodami CFD	119
6.2.1	Definice a princip CFD	119
6.2.2	Základní pojmy a prvky CFD	120
6.2.3	Volba numerické metody řešení soustavy diferenčních rovnic podle typu soustavy	121
6.2.4	Metody CFD v řešení úloh o proudění nevazkých i vazkých tekutin	121
6.2.5	Ověřování výsledků CFD testovacími experimenty	123
6.2.6	Současný SW	124
	Dodatek: Výpočet mezní vrstvy trojkomponentním modelem (3CM)	125
D.1	Výpočet laminární mezní vrstvy	125
D.2	Výpočet přechodové mezní vrstvy	126
D.3	Výpočet turbulentní mezní vrstvy	127
D.4	Stanovení součinitele odporu	128
	Použitá a doporučená literatura	131