

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	SKLADOVÁNÍ A DOPRAVA SYPKÝCH HMOT	8
2.1	Potřeba takové práce, účel práce	8
2.2	Historické souvislosti	8
2.3	Stav vědy v této oblasti na území ČR a ve světě	8
2.4	Stav závazných předpisů pro konstrukci sil	9
3	LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT	10
3.1	Měřicí zařízení k měření úhlu vnitřního tření [36, 40, 47, 56, 66, 74, 79, 86, 94, 95, 105, 116, 119, 127, 133, 135, 144]	10
3.2	Smykové stroje LSH VŠB – TUO	11
3.2.1	Přímochařý smykový stroj	12
3.2.2	Rotacíni smykový stroj	12
4	MODELOVÁNÍ SYPKÝCH HMOT [43, 94, 71]	13
4.1	Modely hmoty	13
4.1.1	Partikulární látky s podlouhlými a plochými částicemi - destičkový model	13
4.1.2	Partikulární látky s částicemi různého tvaru a velikosti	13
4.1.3	Statistický model sypkých hmot	14
4.1.4	Model sypké hmoty tvořený kulíčkami [71, 94, 126]	15
4.1.5	Stav napjatosti partikulárních hmot, Mohrova kružnice [37, 39, 135]	17
4.2	Modely toku	19
4.2.1	Model potenciálního proudění v sypkých hmotách [104]	19
4.2.2	Kinematický model toku sypké hmoty Nedermann, Tüzün [123, 136]	21
4.2.3	Výtok tekutiny z nádoby [122]	23
4.2.4	Výtok podle Taubmanna a Luffa [107, 95]	23
4.2.5	Kvapilův model toku sypkých hmot	25
5	MECHANICKO – FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SYPKÝCH HMOT	30
5.1	Stavová rovnice sypké hmoty podle Roscoe [36, 37]	30
5.2	Měření úhlu vnějšího a vnitřního tření	31
5.2.1	Základní definice mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot	32
5.2.2	Stanovení, popis a grafické znázornění tokových vlastností	32
5.2.2.1	Smykové zkoušky ke stanovení úhlu vnějšího tření	33
5.2.2.2	Smykové zkoušky ke stanovení tokových vlastností	34
5.2.3	Toková funkce a tokové vlastnosti	36
5.2.4	Celkový popis vlastností sypkých hmot podle FEM 2582	40
5.3	Geometrická interpretace tokové funkce, závislost tokových funkcí na materiálových konstantách [78, 133, 135]	41
5.4	Energetická koncepce řešení tokových vlastností [94]	43
6	TEORIE POHYBU PARTIKULÁRNÍCH HMOT	46
6.1	Základní úvahy k sestavení modelu pístového a plášťového mechanismu toku	46
6.2	Pístový mechanismus toku [4]	49
6.2.1	Bilanční rovnice energií pro model pístového mechanismu toku	50
6.2.2	Diskuse řešení rovnice pístového mechanismu toku	51
6.3	Plášťový mechanismus toku [4]	52
6.3.1	Bilanční rovnice energií pro model plášťového mechanismu toku	53
6.3.2	Diskuse řešení rovnice plášťového mechanismu toku	55

6.4	Výtoková rychlost sypkých hmot	55
6.5	Shrnutí základních poznatků vyplývajících z pístového mechanismu toku a plášťového mechanismu toku granulačních hmot	56
6.5.1	Isolinie kinetického potenciálu za předpokladu platnosti Pascalova zákona (teoretický tvar isolinií kinetické energie)	57
6.5.2	Řešení za předpokladu platnosti Rankinova zákona	58
6.5.3	Řešení za předpokladu platnosti Jansenova zákona	60
6.5.4	Řešení s předpokladem obecného průběhu tlaku	62
6.5.5	Přehled tvarů tokových profilů	62
7	ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ I – JAKO MÍRA ZTRÁTOVÉ PRÁCE PŘI POHYBU GRANULÁRNÍ (SYPKÉ) HMOTY	72
7.1	Úvod	72
7.2	Vnitřní tření – pístový (první) mechanismus přesunu částic	73
7.2.1	Formy pohybu jednotlivých částic	74
7.2.2	Geometrická interpretace tření – pístový mechanismus toku	75
7.3	Specifikace dílčích mechanismů přesunu částic podle pístového (prvního) mechanismu toku	76
7.3.1	První typ přesunu částice pístovým mechanismem toku T_{11}	76
7.3.2	Druhý typ přesunu částice pístovým mechanismem toku T_{12}	77
7.3.3	Třetí typ přesunu částice pístovým mechanismem toku T_{13}	78
7.3.4	Čtvrtý typ přesunu částice pístovým mechanismem toku T_{14}	79
7.3.5	Pátý typ přesunu částice pístovým mechanismem toku T_{15}	80
7.4	Přehled typů přesunu částice pístovým mechanismem toku	81
7.5	Hodnota tření pro pístový mechanismus toku	82
7.5.1	Pravděpodobná a střední hodnota vnitřního tření pístovým mechanismem toku pro $k_{1,E} (0,1)$	82
7.5.2	Mezní hodnoty úhlu vnitřního tření pístového mechanismu toku	83
7.6	Závěr	83
8	ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ II – PLÁŠŤOVÝ MECHANISMUS TOKU	86
8.1	Úvod	86
8.2	Vnitřní tření – plášťový mechanismus přesunu částic	88
8.2.1	Formy pohybu jednotlivých částic při plášťovém mechanismu toku	88
8.2.2	Geometrická interpretace tření – plášťový mechanismus toku	89
8.3	Geometrická interpretace tření pro plášťový mechanismus toku	90
8.3.1	První situace pro plášťový mechanismus toku T_{21}	91
8.3.2	Druhá situace pro plášťový mechanismus toku T_{22}	92
8.3.3	Třetí situace pro plášťový mechanismus toku T_{23}	93
8.3.4	Čtvrtá situace pro plášťový mechanismus toku T_{24}	94
8.3.5	Pátá situace pro plášťový mechanismus toku T_{25}	95
8.3.6	Šestá situace pro plášťový mechanismus toku T_{26}	95
8.3.7	Tabulka 2 – Plášťový (druhý) mechanismus toku – ztrátová práce a koeficient tření	96
8.4	Hodnota tření pro plášťový mechanismus toku	97
8.4.1	Pravděpodobná a střední hodnota vnitřního tření plášťovým mechanismem toku pro $K_{2,E} (0,1)$	97
8.4.2	Mezní hodnoty úhlu vnitřního tření plášťového mechanismu toku	98
8.5	Závěr	99
9	ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ PŘI POHYBU SYPKÝCH HMOT III	103
9.1	Úvod	103
9.2	Vnitřní tření a stavba hmoty – poloha sypkých hmot a aplikovatelnost klasických modelů	106
9.2.1	Teoretické východisko pro řešení úkolu	107
9.2.2	Dnešní stav	108
9.2.3	Cílový stav	109

9.3	Verifikace modelu úhlu vnitřního tření sypkých hmot	110
9.3.1	Střední hodnota úhlu vnitřního tření	111
9.3.2	Geometrická stavba vzorků cukru	111
9.3.3	Geometrická struktura stavby hmoty – granulometrický obraz	113
9.3.4	Měření úhlu vnitřního tření na smykovém stroji	113
9.4	Závěr	114
10	SKUPENSTVÍ SYPKÁ (GRANULÁRNÍ) HMOTA	119
10.1	Úvod	119
10.2	Ideální sypká hmota	120
10.3	Postavení granulárních hmot mezi ostatními hmotami	122
10.3.1	Granulární hmoty a jiná skupenství	122
10.3.2	Energetická náročnost toku granulárních hmot	123
10.3.3	Základní skupenství a průběh tlaků (svislých σ_1 a vodorovných σ_2)	124
10.3.4	Základní skupenství a výška tokových profilů	126
10.4	Jednotná podstata zákonitostí platicích pro všechna skupenství	127
10.4.1	Ideální sypká hmota	127
10.4.2	Ideální tekutina	128
10.4.3	Ideální pevná hmota	128
10.5	Závěr	128
10.5.1	Ideální formy skupenství	128
10.5.1.1	Ideální fluid (tekutina, plyn), úhel vnitřního tření $\varphi = 0^\circ$	128
10.5.1.2	Ideální sypká hmota, úhel vnitřního tření $\varphi = 30^\circ$	128
10.5.1.3	Ideální (idealizovaná) pevná hmota, úhel vnitřního tření $\varphi = 90^\circ$	128
10.5.2	Míra vnitřních ztrátových prací pro $\varphi \in (0^\circ; 90^\circ)$	129
10.5.3	Průběh tlaků v přístušném skupenství	129
10.5.4	Velikost a tvar tokových profilů	129
10.6	Shrnutí dílčích poznatků a důsledky při chápání stavby sypké hmoty	129
11	IDEÁLNÍ SYPKÁ HMOTA	133
11.1	Úvod	133
11.2	Matematicko-fyzikální popis ideální sypké hmoty	134
11.2.1	Výchozí úvaha o pohybu částic – bilance sil	134
11.2.2	Definice a matematická analýza modelu ideální sypké hmoty	135
11.2.3	Definice Ideální sypké hmoty	137
11.3	Důkaz platnosti a specifikace vlastností modelu ideální sypké hmoty	138
11.3.1	Fyzikální realizace ideální sypké hmoty	138
11.3.2	Verifikace modelu srovnáním s výsledky měření na přímočarém smykovém stroji podle Jenikeho	139
11.3.3	Geometrický model ideální sypké hmoty	141
11.3.4	Matematický model ideální sypké hmoty – vlastnosti	141
11.4	Technické interpretace a aplikace vlastností ideální sypké hmoty	142
11.4.1	Účinnost toku sypkých hmot jako funkce součinu $F(\varphi) = f(\varphi) \cdot k(\varphi)$	142
11.4.2	Průběh tlaků v sypkých hmotách jako funkce součinu $F(\varphi) = f \cdot k$	143
11.4.3	Výška tokových profilů nad výpustným otvorem jako funkce součinu $F(\varphi) = f \cdot k$	144
11.5	Závěr	145
11.5.1	Obecné závěry vyplývající z existence ideální sypké hmoty	145
11.5.2	Aplikace modelů ideálně sypké hmoty	146
11.5.2.1	Poloha modelu ideální sypké hmoty mezi ostatními ideálními modely hmoty	146
11.5.2.2	Test správnosti navržení inženýrských děl a optimalizace konstrukce	146
11.5.2.3	Definice nového skupenství	146
12	ÚHEL ENERGETICKÉHO SPÁDU – TLAKOVÁ ŠPIČKA PŘI TOKU SYPKÝCH HMOT	149

12.1	Úvod	150
12.2	Kinetický stav jednotlivých částic v průběhu přibližování se k výpustnému otvoru (nebo vzdalování se od výpustného otvoru)	151
12.2.1	Specifikace možných kinetických stavů částic	151
12.2.2	Definice pojmu - energetický spád:	152
12.2.3	Popis zón s charakteristickým pohybem částic	152
12.3	Fáze pohybu částice při výtoku – specifikace pojmu energetický spád pro jednotlivé zóny:	154
12.4	Aplikace	156
12.4.1	Zhušťování sypké hmoty nad výpustným otvorem	156
12.4.2	Tlaková špička v zóně 4.	159
12.5	Závěr	160
12.5.1	Tlaková špička v oblasti vzniku plášťového mechanismu toku, zóna 4	161
12.5.2	Zhušťování materiálu v oblasti vzniku plášťového mechanismu toku 4	161
12.5.3	Poruchy toku v oblasti vzniku plášťového mechanismu toku 4	161
12.5.4	Rozvolnění sypké hmoty v zóně rozvinutého plášťového mechanismu toku 5	162
13	LOGISTIKA V SYPKÝCH HMOTÁCH I – SPECIFIKACE VÝCHOZÍCH OTÁZEK	165
13.1	Úvod	165
13.1.1	Firma zabývající se monotónní výrobou jednoho typu dopravníku	165
13.1.2	Firma vyrábějící sortiment výrobků zaměřených na určitý typ technologií, nebo sypkých hmot – dopravníky, technologická zařízení, obslužná zařízení	166
13.1.3	Firma zaměřená na dodávky investičních celků	166
13.2	Logistika v sypkých hmotách z hlediska sypké hmoty a dílčích parametrů	166
13.3	Všeobecná optimalizace volby zařízení	168
13.3.1	Volba typu a principu dopravníků sypkých hmot jako funkce úhlu vnitřního tření $F(\varphi)$	169
13.3.2	Volba typu a optimalizace funkce uzavřeného zásobníku v závislosti na stavu sypké hmoty $f(\varphi)$	169
13.3.3	Volba typu otevřené skládky v závislosti na stavu sypké hmoty $F(\varphi)$	170
13.4	Vlivy na změny úhlu vnitřního tření	171
13.5	Závěr	171
14	LOGISTIKA SYPKÝCH HMOT II – SPECIFIKACE VÝCHOZÍCH ÚKOLŮ	174
14.1	Úvod	174
14.2	Statická a dynamická klenba	175
14.2.1	Statická klenba	175
14.2.2	Dynamická klenba	175
14.2.3	Grafické znázornění průběhů funkčních závislostí	176
14.2.4	Modelování statické a dynamické klenby pro řešení praktických úloh	177
14.3	Řešení kontrakční části zásobníku	178
14.3.1	Vztah kontrakčního prvku a následné dopravy	178
14.3.2	Řešení kontrakčního úseku aplikací pasivního prvku	179
14.3.3	Numerický příklad výpočtu polohy dynamické klenby	180
14.4	Závěr	181
15	ZÁVĚR	184