

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Konstrukční návrh rotačního síta pro třídění
bypassových odprašků

Design of Rotary Screen for Bypass
Dusters Sorting

Student:

Bc. Marek Kuča

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Kuča**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem
Téma: **Konstrukční návrh rotačního síta pro třídění bypassových odprašků**
Design of Rotary Screen for Bypass Dusters Sorting
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete pro potřeby cementářských společností konstrukční řešení rotačního síta pro třídění bypassových odprašků s dopravní kapacitou linky 30 t/hod a velikostí ok třídících sít 8 a 15 mm.

V rámci vypracování diplomové práce proveďte:

1. Rešerši třídících zařízení a dopravovaného materiálu.
2. Určete velikost rotoru (průměr, délka) pro požadovanou dopravní kapacitu a předpokládaný poměr nadsítného / podsítného podílu.
3. Zvolte vhodný typ síta.
4. Proveďte potřebné technologické a pevnostní výpočty, návrh pohonu.
5. Vypracujte konstrukční řešení rotačního síta.
6. Navrhnete vhodné konstrukční materiály rotačního síta.

Seznam doporučené odborné literatury:


Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0043-8.
Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0493-X.
Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0963-X.
Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení IV. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0537-5.
ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

plné jméno autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Kuča

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hradčany 34

Radslavice, 751 11

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KUČA, M. *Konstrukční návrh rotačního síta pro třídění bypassových odprašků: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 59 s. Vedoucí práce: Slíva, A.

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh zařízení určeného k třídění bypassových odprašků. Zařízení je součástí systému vyprazdňování sila a jedná se o náhradu stávajícího hvězdicového tříděče. Tato náhrada má za úkol zkvalitnit koncové vlastnosti produktu. Parametry pro vypracování byly zadány firmou DSD-Dostál a.s., Dřevohostice. V rešeršní části jsou shrnuty základní druhy tříděčů a principy třídění sypkých hmot. Úvodní část dále pojednává o problematice vzniku tříděného materiálu, jeho využitelnosti a charakteristických vlastnostech. Výpočtová část je zaměřena na návrh rozměrů tříděče, volbu pohonu a pevnostní kontroly zvolených komponent. Součástí přílohy je výkresová dokumentace obsahující sestavný výkres tříděče a výrobní výkres bubnu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KUČA, M. *Design of Rotary Screen for Bypass Dusters: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2020, 59 p. Thesis head: Slíva, A.

This master thesis focuses on the design of equipment used for bypass dust sorting. The equipment is a part of the silo emptying system and it shall replace the existing star-shaped sorter. The purpose of this replacement is to improve the final properties of the product. Parameters and requirements were submitted by DSD-Dostál a.s., Dřevohostice. The research part summarizes basic types of sorters and the principles of the process used to sort powdery and bulk materials. The introductory part also deals with the issue of the origin of the sorted material, its usability and characteristic properties. The calculation part focuses on the design of the sorter dimensions, the selection of the driver and on the required strength of selected components. The annex includes assembly drawing of the sorter and drum production drawings.

Seznam použitých zkratk a značek

AISI	American Iron and Steel Institute	-
B	šířka ložiska	[m]
b	šířka pera	[m]
C	dynamická únosnost	[N]
C_0	statická únosnost	[N]
d_1	průměr otvoru ložiska	[m]
d_b	vnitřní průměr bubnu	[m]
d_ξ	průměr hřídele v místě pera	[m]
d_{max}	maximální velikost zrn ve tříděném materiálu	[m]
d_{SC}	délka úsečky SC	[m]
e	koeficient ložiska	[-]
F_1	zatěžující síla od hmotnosti pohonu	[N]
f_1	čepové tření	[-]
F_2	zatěžující síla od hmotnosti bubnu	[N]
f_2	součinitel tření mezi materiálem síta a tříděným materiálem	[-]
F_3	zatěžující síla od hmotnosti materiálu	[N]
f_3	součinitel tření čepu kladky	[-]
F_{ap}	přípustné axiální zatížení	[N]
F_p	síla na pero	[N]
F_{rAx}	reakce v podpoře A ve směru osy x	[N]
F_{rAy}	reakce v podpoře A ve směru osy y	[N]
F_{rAy}^{II}	radiální síla působící na jedno ložisko	[N]
F_{rBy}	reakce v podpoře B ve směru osy y	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
h_p	výška pera	[m]
i	převodový poměr	[-]
L_{10}	základní trvanlivost ložiska	[10 ⁶ ot]
L_{10h}	základní trvanlivost ložiska – hodiny	[hod]
l_b	délka bubnu	[m]
l_p	délka pera	[m]

M_1	moment potřebný pro překonání třecích sil v ložiscích	[N.m]
M_2	moment potřebný pro překonání třecích sil mezi tříděným materiálem a materiálem síta	[N.m]
M_3	moment potřebný na zdvihání tříděného materiálu	[N.m]
M_4	moment potřebný pro překonání valivého třecího odporu mezi bubnem a podporovými kladkami	[N.m]
M_5	moment potřebný pro překonání čepového tření v podporných kladkách bubnu	[N.m]
m_b	hmotnost bubnu	[kg]
M_C	součet momentů	[N.m]
M_k	kroutící moment	[N.m]
m_p	hmotnost pohonu	[kg]
m_Q	hmotnost materiálu v bubnu	[kg]
M_v	moment působící proti valení kola	[N.m]
n	otáčky bubnu	[s ⁻¹]
n_m	jmenovité otáčky motoru	[s ⁻¹]
n_v	výstupní otáčky	[s ⁻¹]
P	výkon pohonu	[W]
p'	exponent trvanlivosti, pro ložiska s čárovým stykem	[-]
P_0	ekvivalentní statické zatížení	[N]
p_{dov}	dovolený tlak	[MPa]
P_e	ekvivalentní dynamické zatížení	[N]
p_p	tlak pera na hřídél	[MPa]
PTFE	polytetrafluorethylen, teflon	-
Q	třídící výkon bubnového třídíče	[t.hod ⁻¹]
r_b	vnitřní poloměr bubnu	[m]
$r_{bvnější}$	vnější poloměr bubnu	[m]
$r_{\check{c}}$	poloměr čepu v ložiscích	[m]
$r_{\check{c}k}$	poloměr čepu kladky	[m]
RDF	Refused Derived Fuel	-
r_k	poloměr kladky	[m]

R_m	mez pevnosti	[MPa]
$r_{náhr}$	náhradní poloměr	[m]
$R_{p0,2}$	mez kluzu	[MPa]
S	zaplněná plocha tříděným materiálem na počátku bubnu	[m ²]
s	délka tětivy kruhové úseče	[m]
S_1	hodnota plochy pro úhel α_1	[m ²]
S_2	hodnota plochy pro úhel α_2	[m ²]
SRF	Solid Recovered Fuel	-
S_{SAB}	obsah trojúhelníku SAB	[m ²]
S_{SCB}	obsah trojúhelníku SCB	[m ²]
S_u	obsah kruhové úseče porovnávány	[m ²]
S_{u2}	obsah kruhové úseče výpočtový	[m ²]
S_v	obsah kruhové výseče	[m ²]
t	hloubka drážky pro pero v hřídeli	[m]
t_1	hloubka drážky pro pero v náboji	[m]
TAP	Tuhá Alternativní Paliva	-
v	výška těžiště náplně od středu bubnu	[m]
v_a	axiální postupná rychlost zrna	[m.s ⁻¹]
V_m	objem materiálu v bubnu	[m ³]
v_o	obvodová rychlost bubnu	[m.s ⁻¹]
W_k	modul průřezu v krutu	[m ³]
Y_0	koeficient pro statické zatížení	[-]
Y_1	koeficient pro radiální sílu	[-]
Y_2	koeficient pro axiální sílu	[-]
α	úhel kruhové výseče výpočtový	[rad]
α_1	dolní mez úhlu	[rad]
α_2	horní mez úhlu	[rad]
α_b	úhel sklonu síta	[°]
α_u	úhel kruhové výseče porovnávány	[rad]
γ	úhel dotyku kladek a bubnu	[°]
η	mechanická účinnost bubnu	[-]

η_m	účinnost elektromotoru	[-]
η_p	účinnost zvoleného pohonu	[-]
μ_0	součinitel nakypření materiálu	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_s	sypná hmotnost tříděného materiálu	[kg.m ⁻³]
ΣF_x	velikost složek sil ve směru osy x	[N]
ΣF_y	velikost složek sil ve směru osy y	[N]
ΣM_A	moment soustavy sil k bodu A	[N.m]
τ_{dovk}	dovolené napětí v krutu	[MPa]
τ_{dovs}	dovolené napětí ve střihu	[MPa]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]
τ_s	napětí ve střihu	[MPa]
ξ	rameno valivého odporu	[m]
Ψ_D	dynamický sypný úhel materiálu	[°]

Obsah

	strana
Seznam použitých zkratk a značek	7
Úvod.....	13
1 Třídění materiálu.....	14
1.1 Důvody třídění.....	15
2 Třídíče materiálu.....	15
2.1 Mechanické třídíče.....	15
2.1.1 Roštový třídíč	15
2.1.2 Hvězdicové třídící síto.....	16
2.1.3 Rotační třídíč	17
2.1.4 Vibrační třídíč	17
2.2 Pneumatické třídíče	18
2.3 Hydraulické třídíče	20
3 Mechanický třídíč materiálu rotační – popis hlavních částí	20
3.1 Rám.....	21
3.2 Těleso bubnu.....	22
3.3 Síto.....	22
3.4 Pohon.....	23
4 Bypassové odprašky	24
4.1 Chloridový bypass	25
4.2 Regenerace plynů.....	25
4.3 Charakteristické vlastnosti materiálu, mechanicko-fyzikální vlastnosti.....	25
5 Popis řešení diplomové práce	27
6 Schéma technologie	29
7 Konstrukční materiál rotačního síta	30
8 Volba typu síta	31
9 Technologické a pevnostní výpočty	32
9.1 Volba základních parametrů rotačního síta	32
9.2 Odvození výšky materiálu	33
9.3 Výpočet výkonu.....	38

9.4	Volba elektromotoru	45
9.5	Volba ložiskového uložení	46
9.6	Kontrola ložiska na axiální zatížení	46
9.7	Výpočet trvanlivosti ložiska	47
9.8	Kontrola pera	48
9.9	Kontrola průměru vstupního čepu	50
10	Technický popis zařízení	51
11	Realizované zařízení	53
	Závěr	55
	Seznam použitých zdrojů	56
	Seznam příloh	58

Úvod

Požadavek na třídění materiálu může vzniknout v jakékoliv fázi výrobního procesu. Tříděče materiálu mají v dopravních linkách sypkých hmot neodmyslitelné zastoupení a jejich úkolem je třídění materiálu podle velikosti částic, nebo podle druhu vstupujících materiálů.

Zadání diplomové práce bylo vyspecifikováno firmou DSD-Dostál a.s., Dřevohostice, která se zabývá projekční a výrobní činností v oblasti manipulace se sypkými hmotami.

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh rotačního tříděče, který bude součástí systému dopravy bypassových odprašků. Jedná se o tříděč, jehož úkolem bude třídění materiálu podle velikosti částic. V současnosti se v dané lince nachází již nevyhovující hvězdicový tříděč, jenž má být nahrazen. Důvodem náhrady stávajícího tříděče je navýšení dopravní kapacity linky a zvýšení požadavků na koncovou kvalitu produktu.

Požadavek na zhotovení tohoto zařízení byl zadán zákazníkem zabývajícím se výrobou stavebních hmot. Aby bylo možno zařízení využívat v reálném provozu, musí být splněny všechny zadané požadavky ze strany zákazníka.

1 Třídění materiálu

Požadavky na třídění materiálů vznikají ve všech fázích výrobního procesu. Hlediska třídění se mohou lišit. Nejčastějšími požadovanými hledisky je třídění materiálu dle velikosti částic, nebo dle druhu materiálu. Výběr konkrétního druhu tříděče závisí na vlastnostech a charakteru materiálu. Pro uspokojivé výsledky třídění je nutno správně stanovit velikost, rozměry a vhodnost typu stroje pro danou linku. Rozhodujícími vlastnostmi jsou zejména výstupní velikost tříděného materiálu a maximální dopravní kapacita stroje. Tyto hodnoty jsou individuální a závisí na požadavcích každého zákazníka. Podle druhu třídění rozdělujeme ve strojírenské praxi tříděče do tří skupin: [1]

Tabulka 1 Přehled postupů třídění [6]

Druh třídění	Princip třídění		Druhy zařízení
Mechanické	Založen na rozdílné velikosti zrn		Roštové tříděče Pevné rošty Pohyblivé rošty Výkyvné rošty Pásové rošty
			Sítové tříděče Se stejnosměrným pohybem síta (válnové, kuželové, hranolovité) Vibrační (s různým režimem kmitů)
Hydraulické	Založen na rozdílné sedimentační rychlosti ve vodě	Oddělování zrn podle soupádnosti	Hřeblové a šroubovicové tříděče Tříděče se vzestupným proudem Protiproudé tříděče
		Oddělování zrn odstředivými sílami	Hydrocyklóny
Pneumatické	Založen na rozdílné sedimentační rychlosti ve vzduchu		Vibrační tříděče Pulsační tříděče Odstředivé tříděče

1.1 Důvody třídění

Hlavním důvodem třídění materiálu je vytvoření přibližně stejné kvality, granulometrie a složení materiálu. Dalším z důvodů je odloučení nežádoucích částic v dopravovaném materiálu.

2 Třídiče materiálu

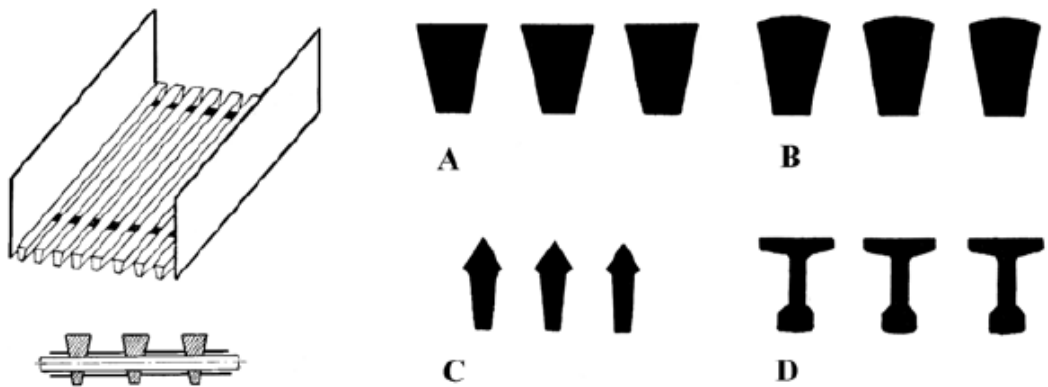
2.1 Mechanické třídiče

Principem mechanických třídičů je vytvoření tzv. nadsítné a podsítné složky materiálu, kdy nadsítnou částí materiálu bývají velké kusy materiálu, které v závislosti na své velikosti nedokázaly propadnout sítím. Podsítnou částí jsou částice splňující požadovaný rozměr.

Mechanické třídiče mohou být děleny na roštové a síťové. Konstrukce roštových třídičů bývají robustnější a jsou využívány zejména k třídění hrubozrnných a kusových materiálů, které by u sítí mohly zapříčinit zničení síta. Pro efektivnější pohyb materiálu po třídící ploše bývají rošty i síta nakloněna od vodorovné roviny. [2] [6]

2.1.1 Roštový třídič

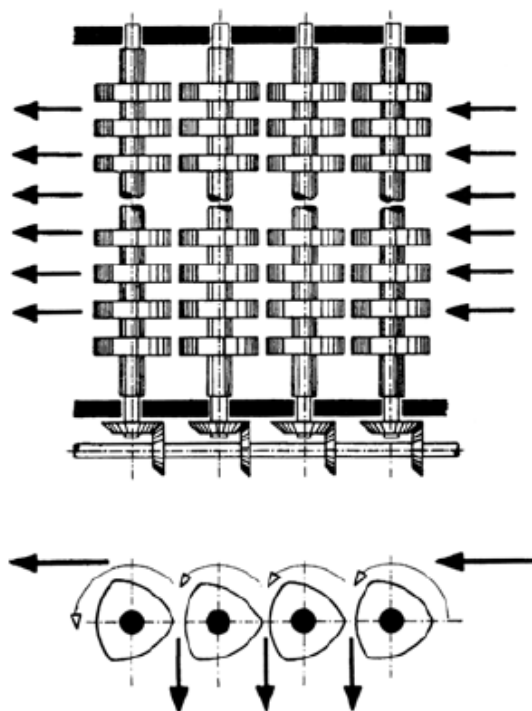
Roštové třídiče jsou používány v úpravnických linkách lomů a zpracovatelských systémech, kde vznikají požadavky na přetřídění hrubého materiálu před jeho další úpravou např. drcením, mletím nebo jiným zpracováním. Náklonem roštu lze navýšit výkon třídiče, v závislosti se zvětšováním úhlu třídiče dochází ke snížení účinnosti. Optimální sklon se pohybuje v rozmezí okolo 20 – 60 °. Vyšší hodnoty jsou využívány u třídičů nepohyblivých, kde se materiál přes rošty volně sype, u pohyblivých třídičů bývají voleny sklony nižší. Rošty bývají sestaveny z ocelových profilů, pásů nebo prutů, které jsou na koncích vzájemně svařeny. Velikost mezery mezi roštnicemi udává požadavek na maximální velikost vytříděných částic. Roštnice mohou mít různé tvary profilů, avšak nejpříznivější profil je ten, který se směrem dolů zužuje. Takovýto tvar zamezí ucpávání roštu většími kusy materiálu mezi roštnicemi. [2] [6]



Obrázek 1 Vlevo třídíč s pevnými rošty, vpravo příklad profilů roštnic [6]

2.1.2 Hvězdicové třídící síto

Hvězdicová síta slouží nejčastěji k třídění vlhkých a lepivých materiálů. Prioritou těchto třídíčů je velká dopravní kapacita vztahovaná na jednotku času. Principiálně se jedná o soustavu hřídelů, na kterých jsou nasazeny distanční trubky s třídícími hvězdicemi. Tyto hvězdice mohou být kovové, nebo gumové. Otáčející se hřídele s hvězdicemi dopravují částice, větší než rozteč hvězdic, ve směru toku materiálu a následně k výsypu nadsítné frakce. Menší částice propadnou pod hvězdice. Pohon stroje bývá zajištěn soustavou ozubených kol nebo řemenů. [1]



Obrázek 2 Princip hvězdicového třídíče [6]

2.1.3 Rotační třídič

Stejně jako síta hvězdicová mohou být rotační třídiče využity pro vlhké a lepkavé materiály. Splňují také požadavek na velkou hodinovou dopravní kapacitu. Principem třídění je posun materiálu uvnitř bubny, který rotuje kolem své osy, ta je skloněna od vodorovné roviny o předem daný úhel ve směru dopravy. Na plášti bubny je nainstalováno síto s oky nebo děrovaný plech, kterým propadává tříděný materiál – frakce podsítná. Částice s větším rozměrem než je velikost ok sítím nepropadnou a dopraví se směrem k výsypce, která se nachází na konci síta. Tato frakce se nazývá nadsítná. Velikost těchto otvorů se liší požadovaným stupněm třídění. Stroj s dvoububnovým provedením rotačních sít, jejichž velikosti otvorů jsou rozdílné, je schopen třidit materiál do tří výstupních frakcí. Dalším řešením pro docílení více výstupních frakcí může být kaskádovité uspořádání jednotlivých strojů za sebou. [1]



Obrázek 3 Rotační třídič [9]

2.1.4 Vibrační třídič

Tyto třídiče se využívají pro třídění sypkých a nelepivých materiálů bez obsažené vlhkosti. Splňují požadavek na velkou přesnost vytříděné frakce. Separace materiálu nastává propadnutím podsítné frakce otvory v sítu. Vibrační třídící síta mohou být využita k vytřídění velmi malých výstupních frakcí materiálu. Vícesíťové třídiče jsou využívány v případech, kdy je potřeba vytřidit více frakcí jedním zařízením. Třídící síta bývají zpravidla drátěná, z děrovaného plechu nebo z tahokovu. [1]



Obrázek 4 Vibrační třídící [4]

2.2 Pneumatické třídíče

Další kategorií jsou třídíče pneumatické. Princip pneumatických třídíčů spočívá v unášení jemně mletého materiálu proudem vzduchu k třídící komoře, kde se rozdělí do dvou frakcí. Rozhodujícími parametry pro roztržení materiálu jsou rychlost vzduchu, hmotnost, tvar a velikost částic, dále pak hustota tříděného materiálu. Výhodou tohoto druhu třídění je velmi vysoký dopravní výkon a poměrně nízká spotřeba energie. Pneumatické třídíče jsou součástí většiny mlecích okruhů. Odprášení transportního vzduchu je nezbytnou součástí těchto třídících systémů. [2]

Příkladem může být gravitační třídíč, kde se k třídění namísto výše uvedených principů využívá gravitační síla. Po přivedení materiálu do třídící komory pokračují lehké částice v přímém směru dále dopravní linkou a těžší částice, např. hrudky, nedomelky, kovové částice a další nežádoucí předměty, jsou z toku materiálu odloučeny vlivem gravitační síly. [2]



Obrázek 5 Pneumatický gravitační třídič v dopravní lince cementu

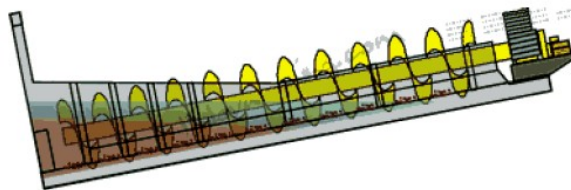


Obrázek 6 Vyříděné částice z okruhu surovinové mlýnice cementu

2.3 Hydraulické tříděče

Jsou založeny na podobném principu jako tříděče pneumatické. Směs rozemletého materiálu je rozmíchána v kapalině, čímž vznikne suspenze a díky rozdílné sedimentační rychlosti částic je tato suspenze rozdělena. Rychlost sedimentace závisí zejména na rozdílné hustotě kapaliny a částic tříděného materiálu. Dále sedimentaci ovlivňuje měrná hmotnost, geometrický tvar a rozměry částic. Důležitá je také viskozita suspenze. Voda v těchto tříděčích bývá recirkulována, proto se vyznačují nízkou měrnou spotřebou vody a energie. Pokud má být voda z okruhu vypuštěna, musí být zbavena suspendovaných částic např. filtrací v čističce odpadních vod, nebo sedimentací v kalových jímkách. [2]

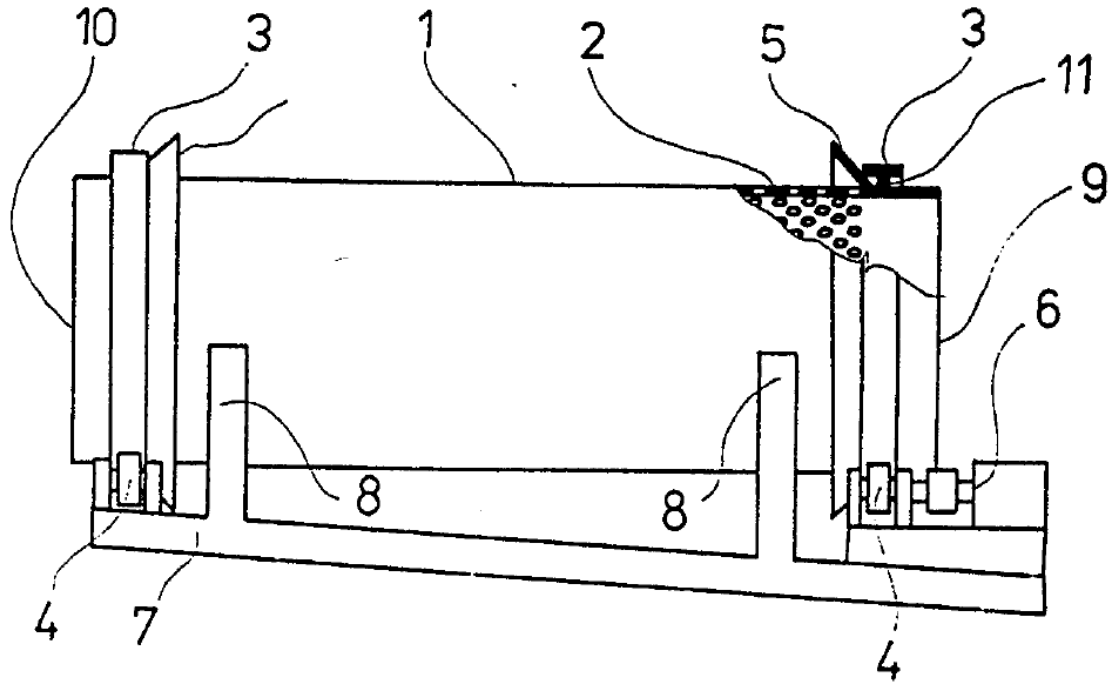
Příkladem může být spirálový tříděč, jehož základem je otáčející se šnek ve skloněném žlabu. Hrubé částice jsou po dně žlabu dopravovány vzhůru, kde přepadávají přes horní okraj. Jemné částice odcházejí přepadem do usazovací komory ve spodní části žlabu.



Obrázek 7 Spirálový tříděč [2]

3 Mechanický třídič materiálu rotační – popis hlavních částí

Rotační třídič slouží k třídění materiálu a odloučení cizích částí, příměsí nebo hrudek z dopravní trasy ve výsledném produktu, nebo naopak na vstupu do technologie. Výkonnost záleží na vlastnostech tříděného materiálu a na specifikaci třídění. Hlavní části rotačního třídiče jsou zřejmé z následujícího Obr. 8.



Obrázek 8 Části rotačního třídiče [10]

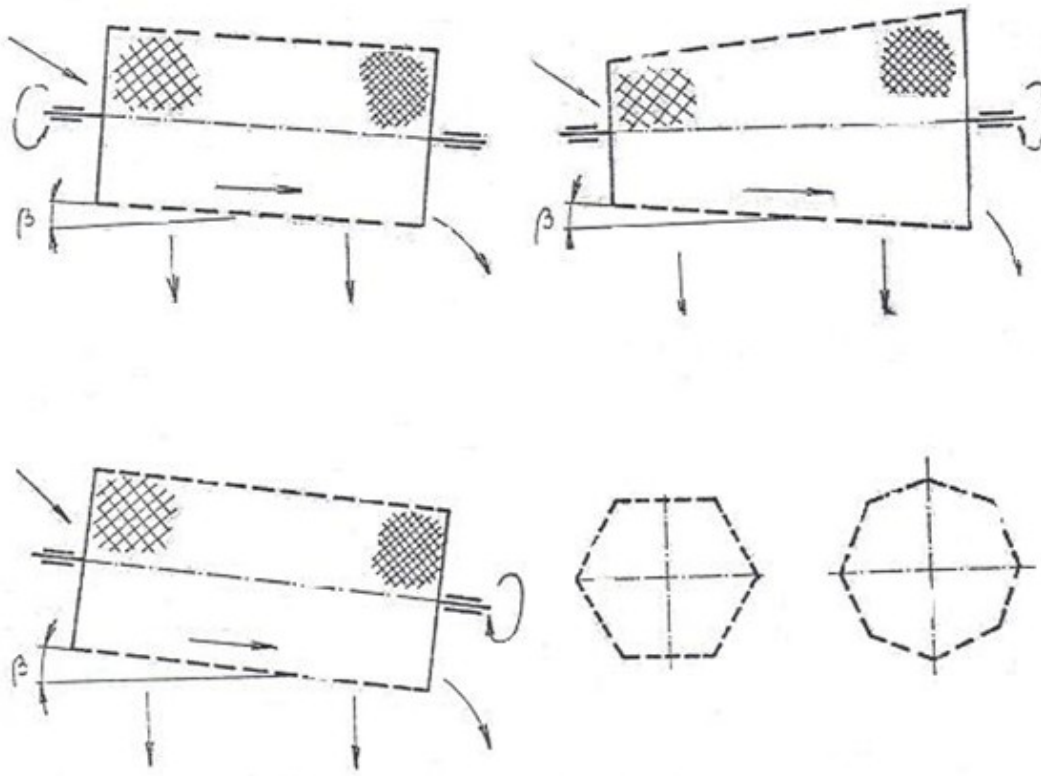
- | | |
|------------------|------------------------|
| 1. buben | 7. nosný rám |
| 2. třídící síto | 8. opěry |
| 3. pásnice bubnu | 9. násypné ústí bubnu |
| 4. nosná kola | 10. výsypné ústí bubnu |
| 5. límec | 11. stojna |
| 6. pohon | |

3.1 Rám

Rám třídiče představuje nosnou konstrukci pro uložení rotujícího bubnu, konzolu pro připojení pohonu a kotevní patky pro ukotvení stroje. Součástí je také násypná část pro vstup materiálu do síta a výsypky vytríděných frakcí. Pro třídění prašných materiálů může být rám třídiče opatřen odnímatelnými kryty, ty mohou pro usnadnění kontroly obsahovat nahlížecí otvory.

3.2 Těleso bubnu

Ve většině případů se jedná o svařovanou konstrukci opatřenou třídícím sítím. Tento celek je přes mechanický převod kroutícího momentu spojen s pohonnou jednotkou zařízení. Těleso bubnu může mít válcový, kuželový nebo mnohoúhelníkový tvar.

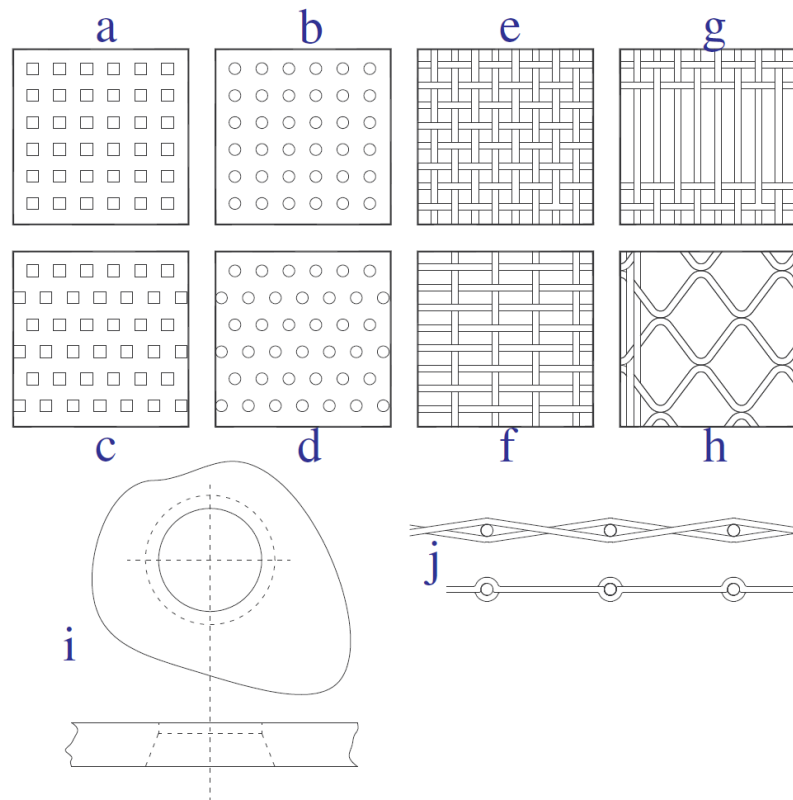


Obrázek 9 Tvary tělesa bubnu [22]

3.3 Síto

Obecně se síta třídící dají rozdělit do tří skupin.

- Děrované plechy s otvory (čtvercové, obdélníkové, kruhové)
- Drátěná síta s oky (čtvercové, obdélníkové)
- Drátěná síta s podlouhlými otvory bez příčných drátů nebo s nízkým počtem příčných drátů (harfová síta)



Obrázek 10 Typy sít [3]

- a) děrovaný plech se čtvercovými otvory
- b) děrovaný plech s kruhovými otvory
- c) děrovaný plech se čtvercovými otvory s přesazeným děrováním
- d) děrovaný plech s kruhovými otvory s přesazeným děrováním
- e) drátěné síto se čtvercovými otvory
- f) drátěné síto s obdélníkovými otvory
- g) harfové síto
- h) harfové síto se zvlněnými dráty
- i) kruhový otvor se zahloubením
- j) příklady zhotovení soustavy drátů

3.4 Pohon

Poháněcí jednotka rotačního bubnového třídíče může být realizována několika typy mechanických převodů krouťícího momentu z pohonu na otáčející se buben. Jedná se např. o převod třecími kladkami, řetězem, klínovým řemenem, ozubeným převodem anebo převod průběžnou hřídelí.

4 Bypassové odprašky

Bypassové odprašky vznikají jako vedlejší produkt při výrobě cementu. Jejich tvorba probíhá v cementárenské rotační peci při procesu vypalování surovinové moučky na slínek tzv. slinování.

V důsledku neustále se zvedající ceny fosilních paliv vzniká tlak na spalování alternativních paliv. Mezi tato paliva se řadí zejména tuhá alternativní paliva – TAP (někdy nazývaná anglickými zkratkami RDF – Refused Derived Fuel nebo SRF – Solid Recovered Fuel), pneumatiky, masokostní moučka apod. Díky vysokým teplotám je cementářská rotační pec může spalovat bez ohrožení kvality slínku a bez jakýchkoliv vlivů na životní prostředí. Pro tento provoz jsou ovšem nutné inovace výrobního procesu z hlediska úpravy složení plynů, které vznikají spalováním těchto paliv. V praxi bývá zařazován tzv. bypassový systém, který napomáhá k zamezení tvorby nálepků ve výměníku před pecí a v přechodovém kusu pece. Dále pak snižuje obsah chloridů v rotační peci. [5]



Obrázek 11 Rotační pec, výměník a bypassový systém – cementárna Mokrý [8]

4.1 Chloridový bypass

Pomocí chloridového bypassu bývá odtahováno asi 4 – 5 % pecních plynů včetně prachových částic, což vede ke snížení koncentrace chloridů v peci. Některé systémy mohou být designovány i na vyšší hodnoty např. okolo 7 %. Plyny s prachovými částicemi jsou odtahovány z přechodového kusu rotační pece, odkud dále pokračují do filtru. Plyny o teplotě cca 1000 – 1200 °C jsou šokově ochlazený studeným vzduchem, což způsobí prudké ochlazení a kondenzaci plynných částic, ty se nalepí na částice prachové. Plyny jsou dále ochlazovány až na 200 °C a tímto ochlazením se chloridy pevně spojí s prachovými částicemi. Filtr následně oddělí prachové částice od plynů. [5]

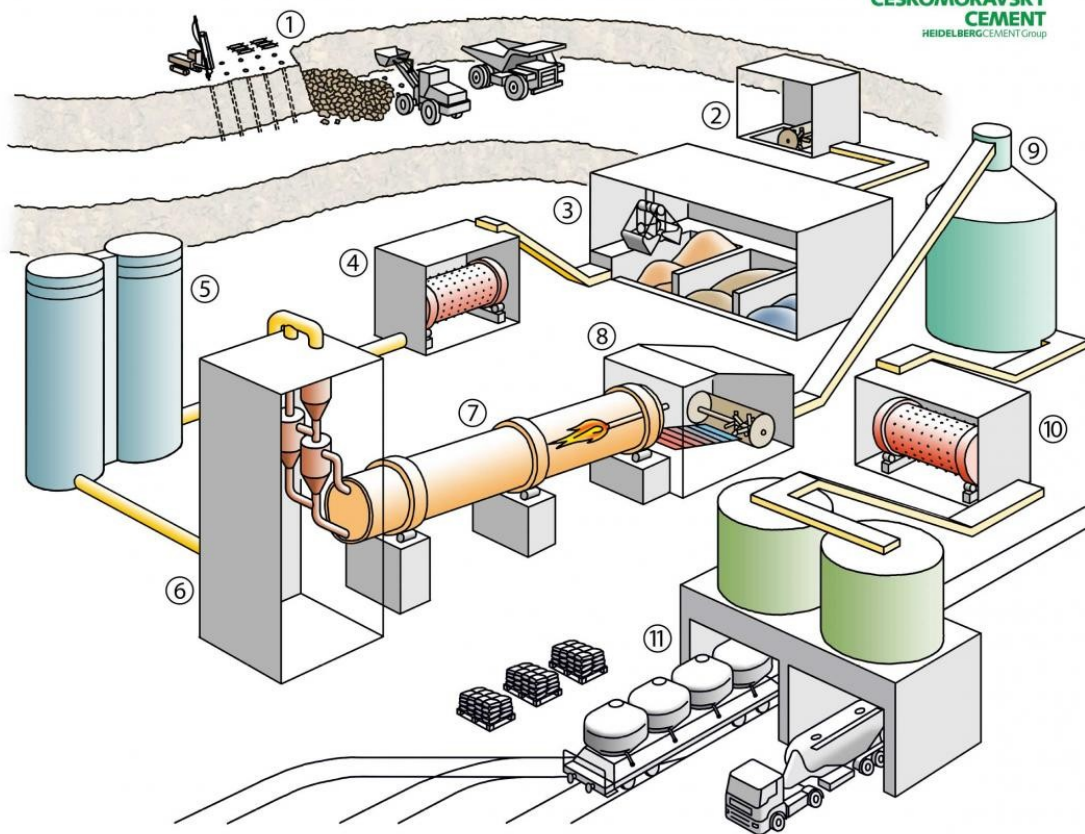
4.2 Regenerace plynů

Bypassové odprašky jsou přidávány do koncového produktu v předem daném množství tak, aby se nezneškodila kvalita cementu a byly dodrženy požadavky norem. Zkušenosti z cementárenské praxe udávají optimální hodnotu 0,1 % hmotnosti jemných bypassových odprašků v cementu. Plyny vzniklé po separaci prachových částic jsou ventilátorem odváděny do prostoru chladiče slínku. Při průchodu dopravní trasou klesá jejich teplota na 90 – 120 °C a následně jsou vešněny zpět do systému rotační pece. [5]

4.3 Charakteristické vlastnosti materiálu, mechanicko-fyzikální vlastnosti

Charakteristickou vlastností bypassových odprašků je vysoká lepivost ve vlhkém stavu, spékavost a poměrně vysoký sklon ke klenbování. Jedná se o hygroskopický, obtížně manipulovatelný materiál. Chemické složení je závislé na vlastnostech vstupní suroviny a druhu paliva. Bypassové odprašky obsahují vysoké procento chloru, obecně se cementárny v Evropě snaží držet na 8 % hodnoty obsahu Cl, v krajních případech se mohou hodnoty pohybovat až okolo 20 %. Odprašky dále obsahují také sloučeniny K_2O , Na_2O , SO_3 aj.

Součástí přílohy jsou výsledky průběhu měření mechanicko-fyzikálních vlastností bypassových odprašků.



Výroba cementu

- | | |
|--|--|
| ① Těžba surovin v lomu | ⑦ Výpal surovinové moučky v rotační peci na slínku |
| ② Primární drcení surovin | ⑧ Chlazení a drcení slínku |
| ③ Skladování surovin | ⑨ Skladování slínku v síle |
| ④ Společné mletí surovin na surovinovou moučku | ⑩ Mletí slínku na cement |
| ⑤ Homogenizace a skladování surovinové moučky | ⑪ Skladování a expedice cementu |
| ⑥ Předehřev surovinové moučky ve výměníku | |

Obrázek 12 Popis výrobního procesu v cementárně [7]

5 Popis řešení diplomové práce

Cílem řešení diplomové práce je konstrukční návrh rotačního síta pro třídění bypassových odprašků, které mohou obsahovat částice neshořeného paliva. Tento tříděč musí z materiálu vytřídit cizí předměty (plast, kov, papír, guma, sklo, plech apod.) o velikosti větší než 15 mm. Buben rotačního tříděče by měl splňovat požadavek na snadnou nahraditelnost tak, aby mohl být vyměněn za náhradní. Síto náhradního bubnu musí být schopno z materiálu vytřídit cizí předměty o velikosti větší než 8 mm. Tato síta se budou měnit v závislosti na požadovaném stupni třídění. Nové zařízení je včleněno do kompletní sestavy vypouštění síla a jedná se o náhradu stávajícího hvězdicového tříděče. Data pro vypracování diplomové práce byla zpracována do Tab. 2 a 3.



Obrázek 13 Pohled na stávající hvězdicový tříděč

Tabulka 2 Vstupní data

Technická data		
Dopravní kapacita třídění	30	[t/hod]
Obsah cizích předmětů	0 – 10	[hm%]
Max. průměr zrna vstupní	60	[mm]
Průměr zrna výstupní –nadsítné	15 – 60	[mm]
Průměr zrna výstupní – podsítné	0 – 15	[mm]

Tabulka 3 Vlastnosti materiálu

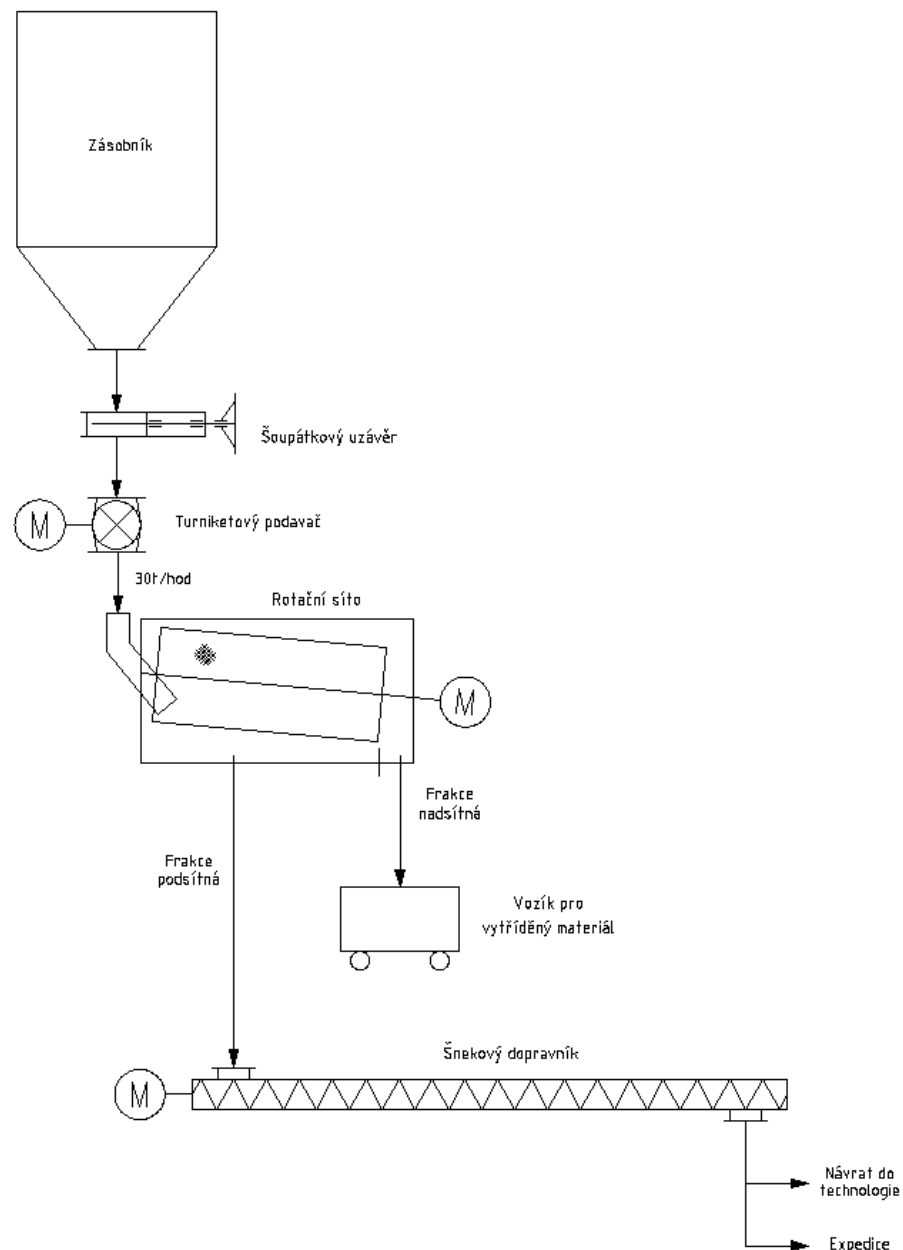
Tříděný materiál		
Typ materiálu	Bypassové odprašky	-
Sypná hmotnost	442	[kg/m ³]
Sypný úhel – statický	43,7	[°]
Sypný úhel – dynamický	29,8	[°]
Průměr zrna (10%)	4,05	[μm]
Průměr zrna (50%)	19,04	[μm]
Průměr zrna (90%)	99,78	[μm]
Průměrný průměr zrna	33,06	[μm]
Teplota	max. 150	[°C]
Abrazivita	ne	-
Lepivost	ve vlhkém stavu ano	-
Vlhkost	max. 1	[%]
Prostředí	nevýbušné	-



Obrázek 14 Makroskopický snímek materiálu

6 Schéma technologie

Schéma na Obr. 15 popisuje místo zařazení rotačního třídače v dopravní lince. Bypassové odprašky určené k třídění jsou skladovány v zásobníku, odkud jsou přes rotační turniketový podavač dávkovány do rotačního síta. V rotačním třídači se odloučí nežádoucí předměty a vzniknou tak dvě frakce. Nadsítná frakce obsahující hrubé nečistoty poputuje do skluzu, který materiál dopraví do bedny pro vytříděný materiál. Podsítná frakce bude skluzem a šnekovým dopravníkem dopravována k návratu do technologie, nebo do expedičních míst k dalšímu zpracování.



Obrázek 15 Schéma technologie

7 Konstrukční materiál rotačního síta

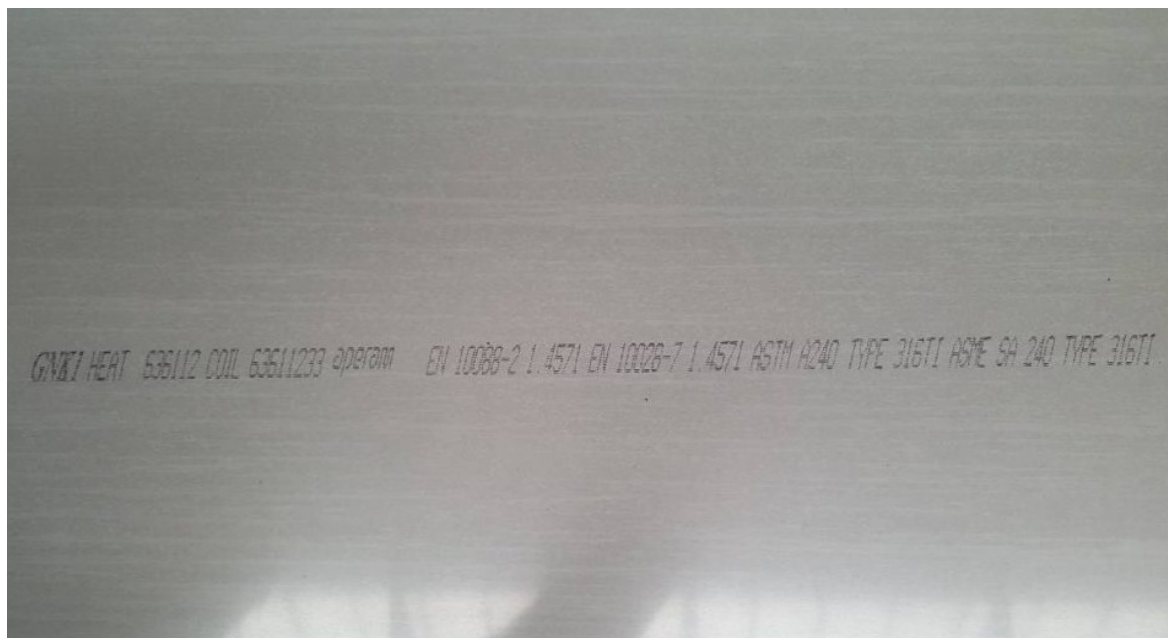
Vzhledem k vysokému obsahu chloru v tříděném materiálu volím nerezovou ocel s označením 1.4571. Ekvivalentními označeními jsou X6CrNiMoTi 17-12-2 a AISI 316Ti. Jedná se o chrom-niklovou austenitickou ocel stabilizovanou titanem a molybdenem vhodnou k použití v chemickém prostředí. Vyznačuje se vynikající odolností vůči kyselinám a přírodnímu prostředí. Vedle vysoké odolnosti vůči korozi má také vysokou pevnost v prostředí se zvýšenými teplotami. Je bez potíží svařitelná a lze ji zpracovávat stříháním, tvářením a obráběním.

Aplikace nerezové oceli 1.4571 je vhodná zejména v provozech se zvýšenou koncentrací chloridů, dále pak v chemickém, papírenském a pivovarském průmyslu. [14] [15]

Konečná povrchová úprava zařízení bude provedena mořením a pasivací.

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti nerezové oceli 1.4571 [14]

Mez pevnosti v tahu	R_m	520-690	[MPa]
Mez kluzu	$R_{p0,2min}$	220	[MPa]



Obrázek 16 Značení na nerezovém plechu [13]

8 Volba typu síta

Pro buben třídiče volím jednostranně hladké síto s čtvercovými oky. Tento druh síta je v praxi hojně využíván k třídění velkého množství sypkých materiálů a vyznačuje se dobrou ostrotí třídění. Oproti klasickým sítům s čtvercovými nebo obdélníkovými otvory je vazba drátů pevnější a je zaručena jejich poloha. Jednostranně hladká síta lze také používat jako podložné síto pod kovové technické tkaniny, nebo pod jemná drátěná síta.

Síto bude skruženo do tvaru válce tak, aby hladká strana byla nahoře. Hladká horní plocha třídícího síta zajistí stejnoměrné opotřebení, čímž se zvýší životnost síta.

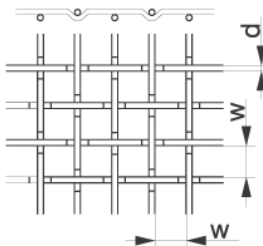
Jednostranně hladká síta jsou standardně vyráběny z vysoce odolné a otěruvzdorné pružinové oceli. Dalšími variantami je ocel tř. 11, nerezová ocel a pružinová nerez. Pro tento konkrétní konstrukční případ bude využita nerezová varianta. [11] [12]



Obrázek 17 Detail jednostranně hladkého síta [11]

Tabulka 5 Parametry síta

Velikost oka [mm]	Průměr drátu [mm]	Hmotnost [kg/m ²]	Volná plocha [%]
15	3	5,44	69,44
8	3	10,76	52,89



w - velikost oka
d - průměr drátu

Obrázek 18 Schéma skladby drátů [12]

9 Technologické a pevnostní výpočty

9.1 Volba základních parametrů rotačního síta

Pro výpočet základních parametrů vycházím z podnikové normy DSD-Dostál k výpočtu rotačního třídíče.

Vnitřní průměr bubnu

$$d_b = (12 \div 13) \cdot d_{max} \quad [m] \quad (1)$$

$$d_b = 13 \cdot 0,06$$

$$d_b = 0,78 \text{ m}$$

kde: $d_{max} = 0,06 \text{ m}$... maximální velikost zrn ve tříděném materiálu

Vypočtenou hodnotu vnitřního průměru bubnu zaokrouhluji na celé číslo $d_b = 0,8 \text{ m}$.

Délka bubnu

Podle zkušeností firmy DSD-Dostál je pro daný materiál dostačující $(2 \div 2,25) \cdot d_b$. Aby se tedy výroba bubnu třídíče nadměrně neprodrazila, bude pro výpočet použit vzorec (2)

$$l_b = (2 \div 2,25) \cdot d_b \quad [m] \quad (2)$$

$$l_b = 2,25 \cdot 0,8$$

$$l_b = 1,8 \text{ m}$$

Úhel sklonu síta

$$\alpha_b = 3 \div 5 \div 7 \quad [^\circ] \quad (3)$$

$$\alpha_b = 5^\circ$$

Otáčky bubnu

Rozmezí frekvence otáčení bubnu lze určit ze vzorce (4)

$$n = \frac{8}{\sqrt{r_b}} \div \frac{14}{\sqrt{r_b}} \quad [ot \cdot min^{-1}] \quad (4)$$

$$n = \frac{8}{\sqrt{0,4}} \div \frac{14}{\sqrt{0,4}}$$

$$n = 12,65 \div 22,14 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

kde: $r_b = 0,4 \text{ m}$... poloměr bubnu

Pro daný materiál volím zaokrouhlenou hodnotu frekvence otáčení z vypočteného rozmezí:

$$n = 20 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obvodová rychlost bubnu by se v praxi měla pohybovat v rozmezí $v_o = 0,5 \div 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jako zpětná kontrola správně zvolené hodnoty frekvence otáčení může posloužit vzorec pro výpočet obvodové rychlosti (5)

$$v_o = \frac{\pi \cdot d_b \cdot n}{60} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5)$$

$$v_o = \frac{\pi \cdot 0,8 \cdot 20}{60}$$

$$v_o = 0,84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Vypočtená hodnota obvodové rychlosti se nachází v daném rozmezí. Frekvence otáček bubnu je tedy vyhovující.

9.2 Odvození výšky materiálu

Axiální postupná rychlost zrna

$$v_a = \frac{\pi \cdot r_b \cdot n}{30} \cdot \tan(2 \cdot \alpha_b) \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

$$v_a = \frac{\pi \cdot 0,4 \cdot 20}{30} \cdot \tan(2 \cdot 5)$$

$$v_a = 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Zaplňená plocha materiálem na počátku bubnu

Výpočet zaplněné plochy na počátku bubnu lze provést úpravou vzorce pro třídící výkon bubnového třídiče (7)

$$Q = 3,6 \cdot S \cdot v_a \cdot \mu_0 \cdot \rho_S \quad [t \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (7)$$

$$S = \frac{Q}{3,6 \cdot v_a \cdot \mu_0 \cdot \rho_S} \quad [m^2]$$

$$S = \frac{30}{3,6 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 442}$$

$$S = 0,15954 \text{ m}^2$$

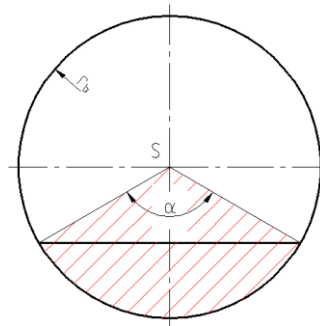
kde: $Q = 30 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$... výkon třídíče

$\mu_0 = 0,8$... součinitel nakypření materiálu volen z rozmezí $\mu_0 = 0,6 \div 0,8$
závislý na způsobu přivádění materiálu do rotačního síta

$\rho_S = 442 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$... sypná hmotnost tříděného materiálu

Objem materiálu v bubnu

Pro určení objemu materiálu v bubnu je nutno vycházet z předpokladu rozdílného průřezu materiálu. Tento průřez se bude zmenšovat ve směru pohybu materiálu. Aby bylo možno určit výsledný objem a následně i hmotnost náplně, musíme nejprve určit výšku materiálu na počátku bubnu. Výška bude odvozena pomocí vztahů pro kruhovou výseč.

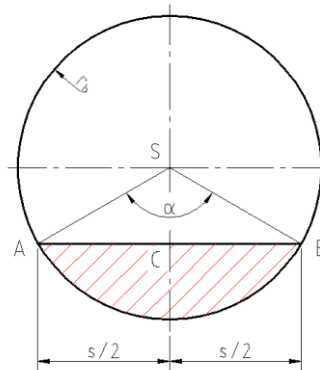


Obrázek 19 Výšeč materiálu v bubnu

Obsah kruhové výseče, dané úhlem α a poloměrem kružnice (bubnu) r_b je:

$$S_V = \frac{\pi \cdot r_b^2 \cdot \alpha}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2} \cdot r_b^2 \cdot \alpha$$

Aby bylo možné z tohoto vztahu určit obsah kruhové úseče, musíme od obsahu výseče odečíst obsah trojúhelníku SAB:



Obrázek 20 Úseč materiálu v bubnu

Z obrázku (20) je zřejmé, že:

$$\frac{s}{2} = r_b \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Obsah trojúhelníku SCB je:

$$S_{SCB} = \frac{s}{2} \cdot d_{SC}$$

Délka úsečky SC je:

$$d_{SC} = r_b \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Odtud už můžeme snadno psát obsah trojúhelníku SAB:

$$S_{SAB} = r_b \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_b \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Pomocí vzorce pro sinus dvojnásobného úhlu $\sin(2\alpha) = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$ můžeme vztah pro obsah trojúhelníku SAB přepsat do tvaru:

$$S_{SAB} = \frac{1}{2} \cdot r_b^2 \cdot \sin \alpha$$

Pro obsah kruhové úseče musíme odečíst obsah trojúhelníku SAB od obsahu kruhové výseče:

$$S_u = \frac{1}{2} \cdot r_b^2 \cdot \alpha - \left(\frac{1}{2} \cdot r_b^2 \cdot \sin \alpha \right)$$

Po konečné úpravě dostaneme vzorec pro výpočet kruhové úseče:

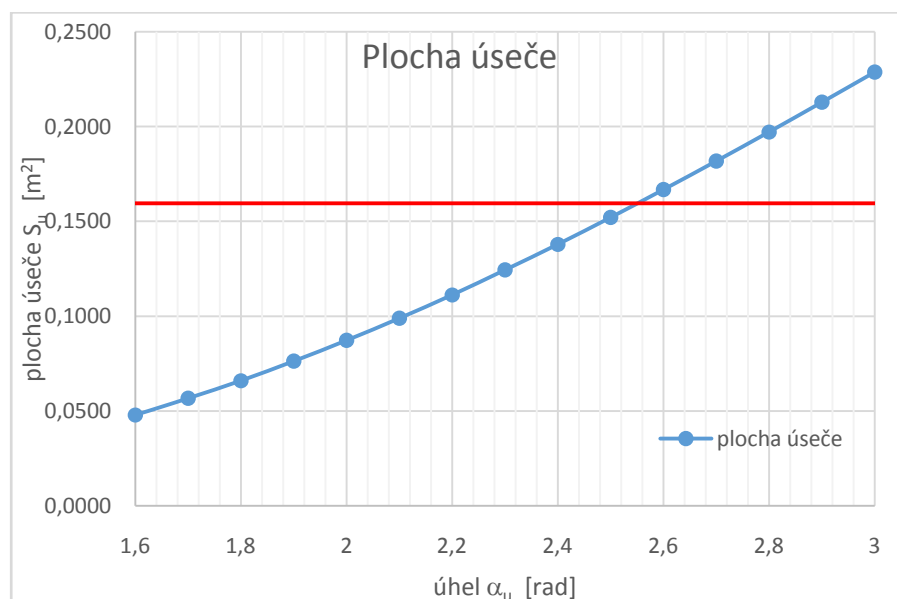
$$S_u = \frac{r_b^2}{2} \cdot (\alpha - \sin \alpha)$$

Z této rovnice je třeba stanovit hodnotu úhlu α_u , pro kterou zaplněná plocha S_u dosáhne požadované hodnoty. Tuto rovnici lze řešit numericky, iteračním postupem. Nejdříve stanovíme přibližnou hodnotu úhlu α_u , kterou pak můžeme podle našich požadavků dále zpřesňovat. Pokud zvolíme řadu hodnot úhlu α_u , bude možno vypočíst odpovídající plochu úseče podle vztahu (9)

Tabulka 6 Hodnoty plochy úseče k daným úhlům

α_u [rad]	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3
S_u [m ²]	0,0402	0,048	0,0567	0,066	0,0763	0,0873	0,0989	0,1113	0,1243

2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3
0,138	0,1521	0,1668	0,1818	0,1972	0,2129	0,2287	0,2447	0,2607	0,2766



Obrázek 21 Graf plochy úseče

Z grafu je zřejmé, že hodnota úhlu α_u , pro který se plocha úseče bude rovnat požadované hodnotě S_u , se bude nacházet v intervalu mezi 2,52 – 2,56. Označíme-li dolní mez úhlu α_u jako α_1 a jeho horní mez jako α_2 , potom těmto hodnotám úhlu odpovídají hodnoty ploch S_1 a S_2 . V prvním přiblížení bude při lineární interpolaci funkce nová hodnota úhlu α při prvním kroku (8):

$$\alpha = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \frac{(S - S_1)}{(S_2 - S_1)} \quad [rad] \quad (8)$$

$$\alpha = 2,52 + (2,56 - 2,52) \cdot \frac{(0,15954 - 0,155014)}{(0,160852 - 0,155014)}$$

$$\alpha = 2,551012 \text{ rad} = 146,2^\circ$$

kde: $\alpha_1 = 2,52 \text{ rad}$... dolní mez úhlu

$\alpha_2 = 2,56 \text{ rad}$... horní mez úhlu

$S_1 = 0,155014 \text{ m}^2$... odpovídající hodnota plochy pro úhel α_1

$S_2 = 0,160852 \text{ m}^2$... odpovídající hodnota plochy pro úhel α_2

Po dosazení tohoto úhlu zpětně do vzorce pro výpočet kruhové úseče (9) vypočteme požadovanou hodnotu

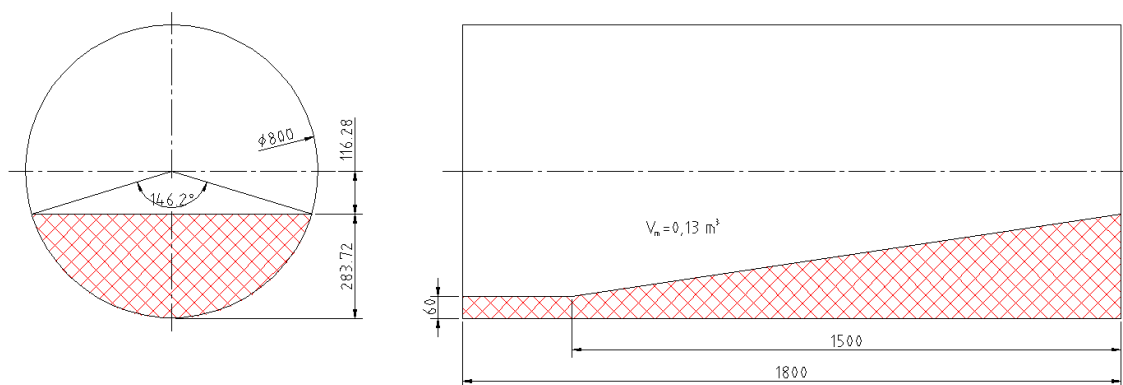
$$S_{u2} = \frac{r_b^2}{2} \cdot (\alpha - \sin \alpha) \quad [m^2] \quad (9)$$

$$S_{u2} = \frac{0,4^2}{2} \cdot (2,551012 - \sin 2,551012)$$

$$S_{u2} = 0,159534 \text{ m}^2$$

Tato hodnota se již při první iteraci shoduje s požadovanou hodnotou na čtyřech desetinných místech, což je pro tento účel dostatečně přesná hodnota.

Odečtem v CAD programu je nyní možno určit objem náplně.



Obrázek 22 Průřez materiálu v bubnu

Hmotnost materiálu v bubnu

$$m_Q = V_m \cdot \rho_s \quad [kg] \quad (10)$$

$$m_Q = 0,13 \cdot 442$$

$$m_Q = 57,46 \text{ kg}$$

9.3 Výpočet výkonu

Výpočet výkonu pohonu rotačního třídíče je možno určit z třecích momentů potřebných na překonání odporů v třídícím bubnu. Pro správné určení těchto momentů je nutno vyřešit reakce v podporách bubnu vzniklé od gravitačních sil pohonu, bubnu a náplně působících v jejich těžištích.

Vzhledem k vlastnostem tříděného materiálu bude buben třídíče na spodním konci uložen ve dvou ložiscích a na horním konci na třecích kladkách. Tento způsob uložení je ovšem staticky neurčitý a k výpočtu reakcí bude tedy nutné uvažovat pouze s jednou podporou (ložiskem) umístěnou ve středu původních vzdáleností ložisek. Reakční síla bude poté zpětně rozložena na obě ložiska.

Výpočet reakcí v podporách

Zatěžující síla od hmotnosti pohonu

$$F_1 = m_p \cdot g \quad [N] \quad (11)$$

$$F_1 = 83 \cdot 9,81$$

$$F_1 = 814,23 \text{ N}$$

kde: $m_p = 83 \text{ kg}$... hmotnost pohonu

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$... tíhové zrychlení

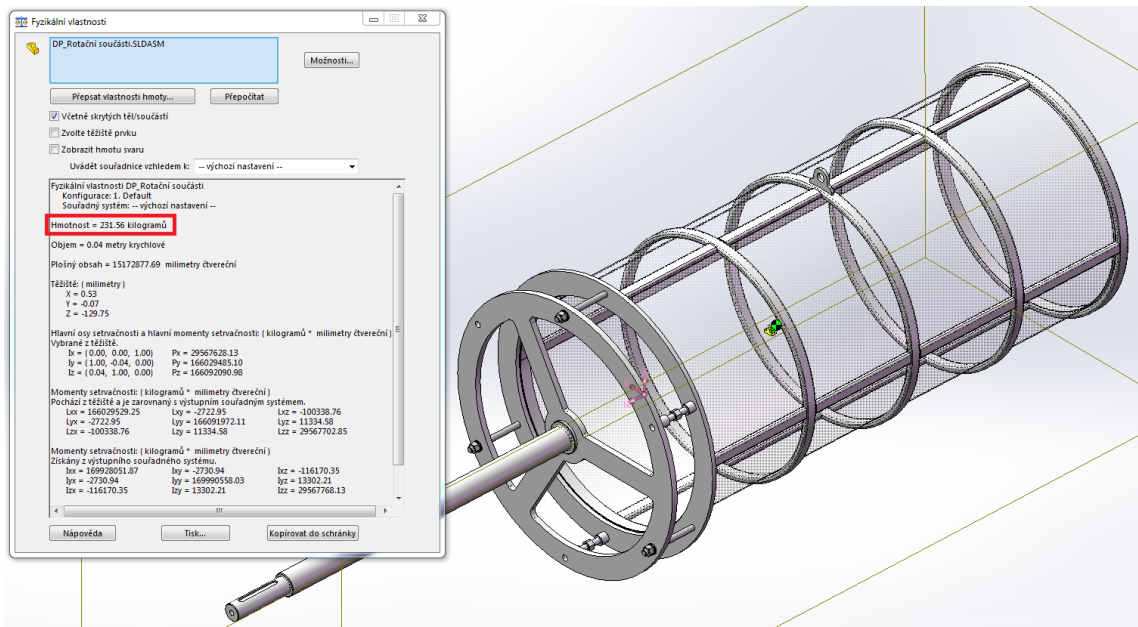
Zatěžující síla od hmotnosti bubnu

$$F_2 = m_b \cdot g \quad [N] \quad (12)$$

$$F_2 = 231,56 \cdot 9,81$$

$$F_2 = 2271,6 \text{ N}$$

kde: $m_b = 231,56 \text{ kg}$... hmotnost těžšího bubnu s okatostí síta 8x8 mm, odečtená ze 3D programu



Obrázek 23 Hmotnost bubnu

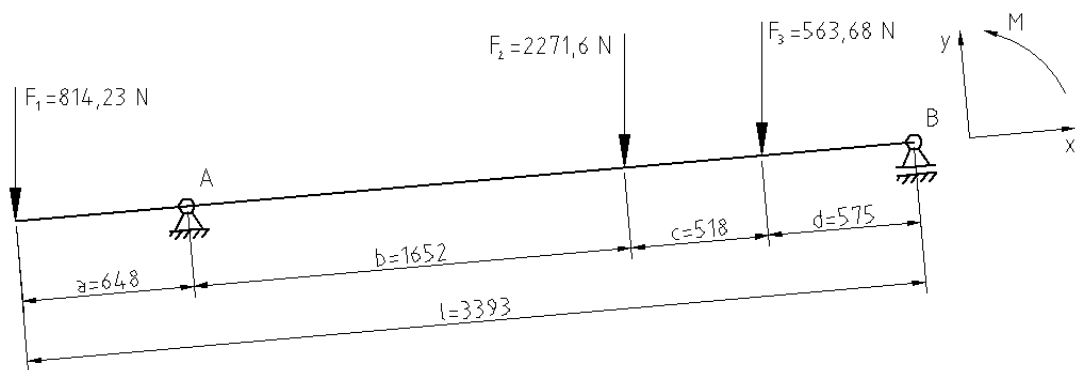
Zatěžující síla od hmotnosti materiálu

$$F_3 = m_Q \cdot g \quad [N] \quad (13)$$

$$F_3 = 57,46 \cdot 9,81$$

$$F_3 = 563,68 \text{ N}$$

Schéma zatížení je znázorněno na obrázku 24.



Obrázek 24 Schéma zatížení – zatěžující síly

Sestavení rovnovážných rovnic

$$\sum F_x = 0 = F_{rAx} - F_1 \cdot \sin \alpha_b - F_2 \cdot \sin \alpha_b - F_3 \cdot \sin \alpha_b \rightarrow F_{rAx} \quad (14)$$

$$\sum F_y = 0 = F_{rAy} + F_{rBy} - F_1 \cdot \cos \alpha_b - F_2 \cdot \cos \alpha_b - F_3 \cdot \cos \alpha_b \rightarrow F_{rAy} \quad (15)$$

$$\sum M_A = 0 = F_1 \cdot \cos \alpha_b \cdot a - F_2 \cdot \cos \alpha_b \cdot b - F_3 \cdot \cos \alpha_b \cdot (b + c) + F_{rBy} \cdot (b + c + d) \rightarrow F_{rBy} \quad (16)$$

Výpočet reakce F_{rAx}

$$F_{rAx} = F_1 \cdot \sin \alpha_b + F_2 \cdot \sin \alpha_b + F_3 \cdot \sin \alpha_b \quad [N] \quad (17)$$

$$F_{rAx} = 814,23 \cdot \sin 5 + 2271,6 \cdot \sin 5 + 563,68 \cdot \sin 5$$

$$F_{rAx} = 318,08 \text{ N}$$

Výpočet reakce F_{rBy}

$$F_{rBy} = \frac{-F_1 \cdot \cos \alpha_b \cdot a + F_2 \cdot \cos \alpha_b \cdot b + F_3 \cdot \cos \alpha_b \cdot (b + c)}{(b + c + d)} \quad [N] \quad (18)$$

$$F_{rBy} =$$

$$= \frac{-814,23 \cdot \cos 5 \cdot 0,648 + 2271,6 \cdot \cos 5 \cdot 1,652 + 563,68 \cdot \cos 5 \cdot (1,652 + 0,518)}{(1,652 + 0,518 + 0,575)}$$

$$F_{rBy} = 1614,33 \text{ N}$$

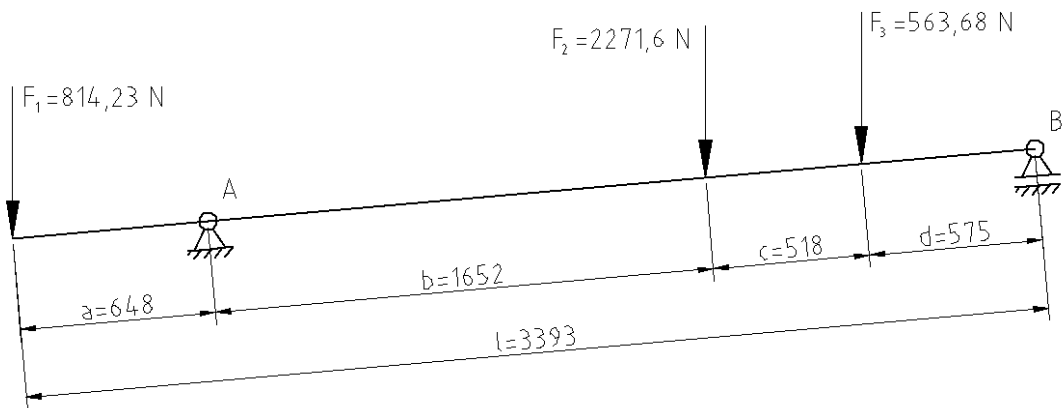
Výpočet reakce F_{rAy}

$$F_{rAy} = -F_{rBy} + F_1 \cdot \cos \alpha_b + F_2 \cdot \cos \alpha_b + F_3 \cdot \cos \alpha_b \quad [N] \quad (19)$$

$$F_{rAy} = -1614,33 + 814,23 \cdot \cos 5 + 2271,6 \cdot \cos 5 + 563,68 \cdot \cos 5$$

$$F_{rAy} = 2021,3 \text{ N}$$

Výsledné reakce v podporách jsou zřejmé z obrázku 25.



Obrázek 25 Schéma zatížení – výsledné reakce

Nyní je možno přejít k samotnému výpočtu třecích momentů.

Moment potřebný pro překonání třecích sil v ložisku

$$M_1 = f_1 \cdot r_{\xi} \cdot \frac{F_{rAy}}{2} \quad [N \cdot m] \quad (20)$$

$$M_1 = 0,1 \cdot 0,04 \cdot \frac{2021,3}{2}$$

$$M_1 = 4,04 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde: $f_1 = 0,1$... čepové tření

$r_{\xi} = 0,04 \text{ m}$... poloměr čepu v ložiscích

Moment potřebný pro překonání třecích sil mezi tříděným materiálem a materiálem síta

$$M_2 = f_2 \cdot \frac{d_b}{2} \cdot m_Q \cdot g \quad [N \cdot m] \quad (21)$$

$$M_2 = 0,9 \cdot \frac{0,8}{2} \cdot 57,46 \cdot 9,81$$

$$M_2 = 202,93 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde: $f_2 = 0,9$... součinitel tření mezi tříděným materiálem a materiálem síta, cement – ocel [19], výchozí hodnota byla určena na základě vysoké podobnosti mechanicko-fyzikálních vlastností s tříděným materiálem (bypassové odprašky)

Moment potřebný na zdvihání tříděného materiálu

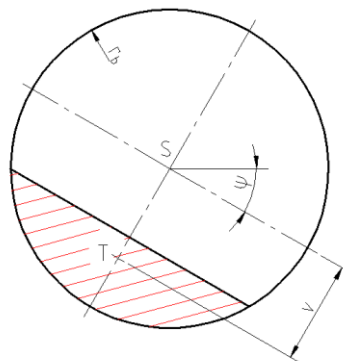
$$M_3 = m_Q \cdot g \cdot v \cdot \sin \Psi_D \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (22)$$

$$M_3 = m_Q \cdot 9,81 \cdot 0,28 \cdot \sin 29,8$$

$$M_3 = 78,44 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde: $v = 0,28 \text{ m}$... výška těžiště náplně od středu bubnu

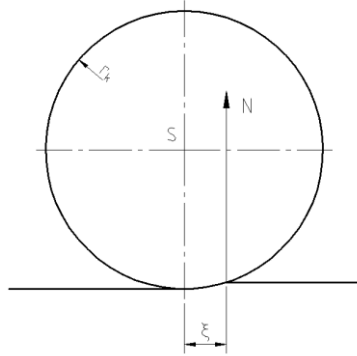
$\Psi_D = 29,8^\circ$... sypný úhel materiálu



Obrázek 26 Úseč materiálu v bubnu

Pro výpočet momentu potřebného pro překonání valivého třecího odporu mezi bubnem a podporovými kladkami je nutno provést odvození vztahu pro odpor valení kladek na kruhu.

Jestliže se kolo valí po rovině, dojde v důsledku "zaboření" kola do roviny k vychýlení normálové reakce N o rameno ξ . Vznikne tak moment M_v , který působí proti valení kola: $M_v = N \cdot \xi$.



Obrázek 27 Odpor valení kladek

Dále je nutno přihlédnout k tomu, že deformace kladky i kruhu bude větší, než při pohybu kladky po rovině a bude tedy větší i rameno ξ . Deformace, resp. rameno, by proto měla být zvětšena v poměru poloměru kladky a náhradního poloměru. Všechny tyto souvislosti byly zapracovány do vzorce (23)

Vzorec pro výpočet náhradního poloměru

$$r_{n\acute{a}hr} = \frac{r_{bvn\acute{e}jš\acute{i}} \cdot r_k}{r_{bvn\acute{e}jš\acute{i}} + r_k} \quad [m] \quad (23)$$

$$r_{n\acute{a}hr} = \frac{0,42 \cdot 0,026}{0,42 + 0,026}$$

$$r_{n\acute{a}hr} = 0,024 \text{ m}$$

kde: $r_{bvn\acute{e}jš\acute{i}} = 0,42 \text{ m}$... vnější poloměr bubnu

$r_k = 0,026 \text{ m}$... poloměr kladky

Moment potřebný pro překonání valivého třecího odporu mezi bubnem a podporovými kladkami

$$M_4 = \frac{F_{rBy}}{\cos \gamma} \cdot \xi \cdot \frac{r_k}{r_{n\acute{a}hr}} \quad [N \cdot m] \quad (24)$$

$$M_4 = \frac{1614,33}{\cos 26,65} \cdot 0,00005 \cdot \frac{0,026}{0,024}$$

$$M_4 = 0,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde: $\xi = 0,00005 \text{ m}$... hodnota ramene valivého odporu pro nekalenou ocel dle [18], str. 151, tab. 2.6

$\gamma = 26,65^\circ$... úhel dotyku kladek a bubnu

Moment potřebný pro překonání čepového tření v podporných kladkách bubnu

$$M_5 = f_3 \cdot r_{\check{c}k} \cdot F_{rBy} \quad [N \cdot m] \quad (25)$$

$$M_5 = 0,1 \cdot 0,01 \cdot 1614,33$$

$$M_5 = 1,61 \text{ N} \cdot \text{m}$$

kde: $f_3 = 0,1$... součinitel tření čepu kladky volen z rozmezí $f_3 = 0,05 \div 0,1$

$r_{\check{c}k} = 0,01 \text{ m}$... poloměr čepu kladky

Součet momentů potřebných na překonání odporů v třídícím bubnu

$$M_C = 2 \cdot M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 \quad [N \cdot m] \quad (26)$$

$$M_C = 2 \cdot 4,04 + 202,93 + 78,44 + 0,1 + 1,61$$

$$M_C = 291,16 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potřebný výkon pohonu

$$P = \frac{M_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_m} \quad [kW] \quad (27)$$

$$P = \frac{225,98 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{20}{60}}{1000 \cdot 0,7 \cdot 0,85}$$

$$P = 1,02 \text{ kW}$$

kde: $\eta = 0,7$... celková mechanická účinnost bubnu

$\eta_m = 0,85$... všeobecná účinnost elektromotorů

9.4 Volba elektromotoru

Pro pohon rotačního třídiče volím plochý převodový motor od výrobce SEW-EURODRIVE. Vypočtený výkon je $P=1,02$ kW, pro daný materiál by měl být volen pohon alespoň s dvojnásobnou rezervou. Volím tedy nejbližší vyšší standardizovanou hodnotu. Zvolený pohon konstrukční řady F..DR.. má přesné označení FA77GDRN100LS4. Montážní provedení pohonu je s dutou hřídelí. Parametry pohonu byly zpracovány do tabulky 7.

Tab. 7 Hlavní parametry pohonu [16]

Výkon motoru	P	2,2	[kW]
Jmenovité otáčky motoru	n_m	1450	$[\text{min}^{-1}]$
Převodový poměr	i	72,5	[-]
Výstupní otáčky	n_v	20	$[\text{min}^{-1}]$
Výstupní kroutící moment	M_k	1050	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
Účinnost	η_p	87,5	[%]

Pro plynulou regulaci otáček rotačního třídiče bude před motor zapojen frekvenční měnič. Ten umožní změnu otáček motoru a zajistí tak možnost regulace téměř od nuly až po potřebné jmenovité otáčky. Díky tomu lze docílit výrazně širšího rozsahu otáček, kdy kroutící moment zůstává beze změny. Tímto způsobem lze velice efektivně řídit rozběh elektromotoru. Frekvenční měnič umožňuje také plynulou změnu směru otáčení a ochranu proti přetížení. Pro tento konkrétní případ bude využit měnič od firmy ABB s označením ACS880-01-07A2-3, 2.2kW.



Obr. 28 Plochý převodový elektromotor SEW s dutou hřídelí[16]

9.5 Volba ložiskového uložení

Jak již bylo zmíněno při výpočtu třecích momentů, uložení bubnu třídiče bude realizováno pomocí dvojice ložisek ve spodní části třídiče a dvojice podpěrných kladek v horní části třídiče.

Volím ložiska soudečková s označením 22218 EK, která mají kuželovou díru a dvě řady valivých těles. Ložiska budou uložena v dělených ložiskových tělesech typu SNL 518-615. Dalšími komponenty pro sestavení ložiskového kompletu jsou distanční kroužky FRB 12.5/160, upínací pouzdro H 318 a těsnění ložiskového tělesa TSN 518 A. Sestava ložiskového domku byla vyspecifikována pomocí katalogu firmy SKF.

Tab. 8 Výpočtové součinitele ložiska [20]

Dynamická únosnost	C	325	[kN]
Statická únosnost	C ₀	375	[kN]
Koeficient pro statické zatížení	Y ₀	2,8	[-]
Koeficient	e	0,24	[-]
Koeficient pro radiální sílu	Y ₁	2,8	[-]
Koeficient pro axiální sílu	Y ₂	4,2	[-]
Exponent trvanlivosti, pro ložiska s čárovým stykem	p'	10/3	[-]

9.6 Kontrola ložiska na axiální zatížení

Přípustné axiální zatížení

$$F_{Ap} = 0,003 \cdot B \cdot d_1 \quad [kN] \quad (28)$$

$$F_{Ap} = 0,003 \cdot 40 \cdot 90$$

$$F_{Ap} = 10,8 \text{ kN} = 10\,800 \text{ N}$$

kde: $B = 40 \text{ mm}$... šířka ložiska

$d_1 = 90 \text{ mm}$... průměr otvoru ložiska

$$F_{rAx} \leq F_{Ap} \quad (29)$$

$$318,08 < 10\,800 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.7 Výpočet trvanlivosti ložiska

$$\frac{F_{rAx}}{F_{rAy}^{1l}} > e \quad (30)$$

$$\frac{0,32}{1,01} > e$$

$$0,31 > 0,24 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde: $F_{rAy}^{1l} = 1,01 \text{ kN}$... radiální síla působící na jedno ložisko

Výpočet ekvivalentního statického zatížení

$$P_0 = F_{rAy}^{1l} + Y_0 \cdot F_{rAx} \quad [\text{kN}] \quad (31)$$

$$P_e = 1,01 + 2,8 \cdot 0,32$$

$$P_e = 1,9 \text{ kN}$$

Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení

$$P_e = Y_1 \cdot F_{rAy}^{1l} + Y_2 \cdot F_{rAx} \quad [\text{kN}] \quad (32)$$

$$P_e = 2,8 \cdot 1,01 + 4,2 \cdot 0,32$$

$$P_e = 4,17 \text{ kN}$$

Základní trvanlivost ložiska 10^6

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_e}\right)^{p'} \quad [10^6 \text{ ot}] \quad (33)$$

$$L_{10} = \left(\frac{325}{4,17}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10} = 2\,029\,101,97 \cdot 10^6 \text{ ot}$$

Základní trvanlivost ložiska – hodiny

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P_e}\right)^{p'} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad [\text{hod}] \quad (34)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{325}{4,17}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 20}$$

$$L_{10h} = 1\,690\,918\,305 \text{ hod}$$

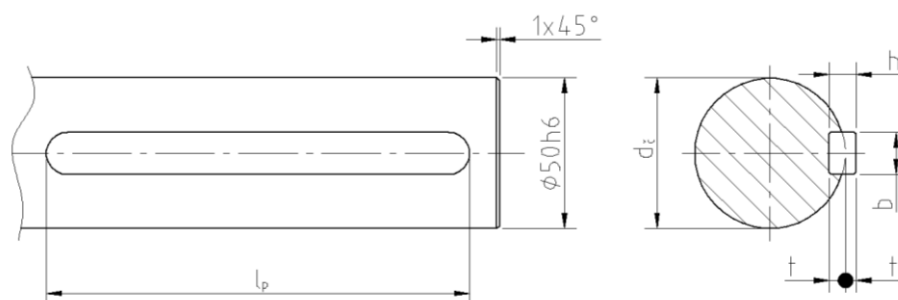
Trvanlivost ložiska splňuje požadavky a je vyhovující.

9.8 Kontrola pera

Podle průměru čepu hřídele jsem zvolil pero 14P9x9x140 ČSN 02 2562. Rozměrové parametry byly zpracovány do tabulky 9. Kontrola byla provedena dle [21].

Tab. 9 Rozměry těsného pera [17]

Šířka pera	b	14	[mm]
Výška pera	h_p	9	[mm]
Hloubka pera v hřídeli	t	5,5	[mm]
Hloubka pera v náboji	t_1	3,5	[mm]
Délka pera	l_p	140	[mm]



Obr. 29 Rozměrový náčrt pera

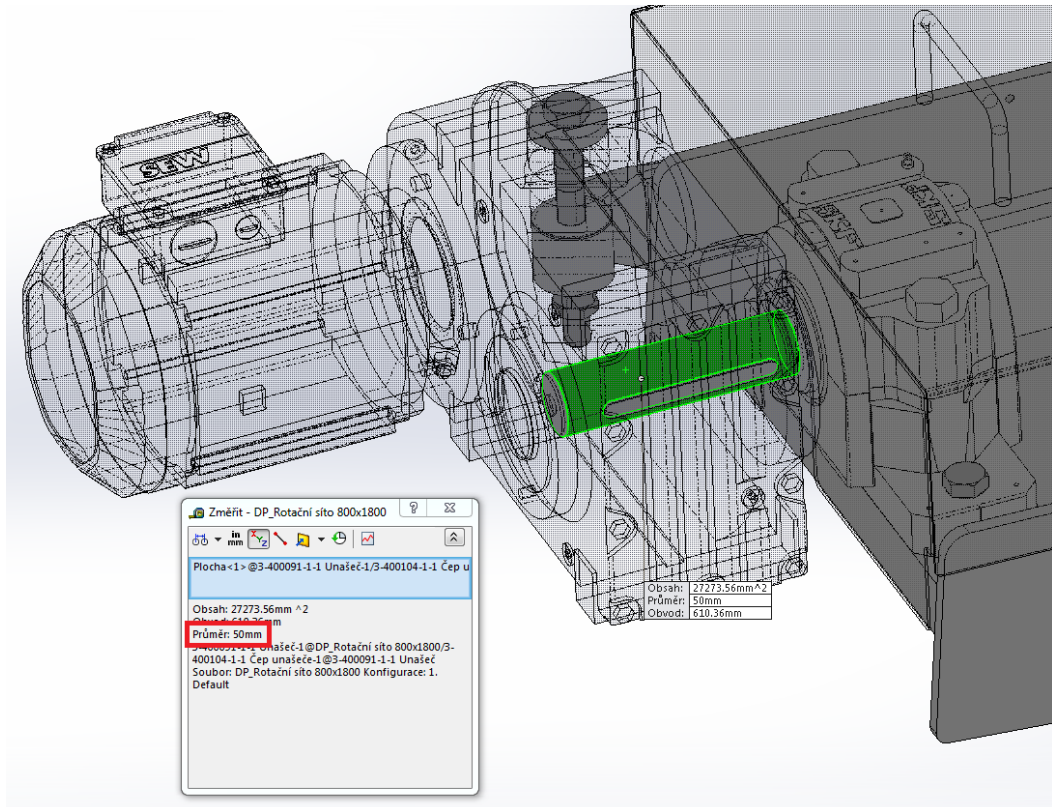
Síla působící na pero

$$F_p = \frac{M_k}{\frac{d_\xi}{2}} \quad [N] \quad (35)$$

$$F_p = \frac{1\,050\,000}{\frac{50}{2}}$$

$$F_p = 42\,000 \text{ N}$$

kde: $d_\xi = 50 \text{ mm}$... průměr čepu



Obr. 30 Čep hřídele

Kontrola na otláčení

$$p_p = \frac{F_p}{t \cdot l_p} \quad [MPa] \quad (36)$$

$$p_p = \frac{42\,000}{5,5 \cdot 160}$$

$$p_p = 54,54 \text{ MPa}$$

Vypočtenou hodnotu porovnám s dovoleným tlakem $p_{dov} = 80 \text{ MPa}$ dle [21], str. 98.

$$p_p \leq p_{dov} \quad (37)$$

$$54,54 < 80 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola na sřih

$$\tau_s = \frac{F_p}{b \cdot l_p} \quad [MPa] \quad (38)$$

$$\tau_s = \frac{42\,000}{14 \cdot 140}$$

$$\tau_s = 21,43 \text{ MPa}$$

Vypočtenou hodnotu porovná s dovoleným napětím ve stříhu $\tau_{dovs} = 30 \text{ MPa}$ dle [21], str. 98.

$$\tau_s \leq \tau_{dovs} \quad (39)$$

$$21,43 < 30 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

9.9 Kontrola průměru vstupního čepu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_c^3}{16}} \quad [MPa] \quad (40)$$

$$\tau_k = \frac{1\,050\,000}{\frac{\pi \cdot 50^3}{16}}$$

$$\tau_k = 42,78 \text{ MPa}$$

$$\tau_k \leq \tau_{dovk} \quad (41)$$

$$42,78 < 80 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

10 Technický popis zařízení

Rotační třídič slouží k třídění suchých i sypkých, jemně i hrubozrnných včetně kusovitých materiálů. Jedná se o účelový stroj, určený pro tuto funkci a konkrétní materiál. Vzhledem k hermetizaci všech vstupů a výstupů lze zpracovávat i velmi prašné materiály.

V závislosti na vlastnostech tříděného materiálu je zařízení zhotoveno z nerezové oceli.

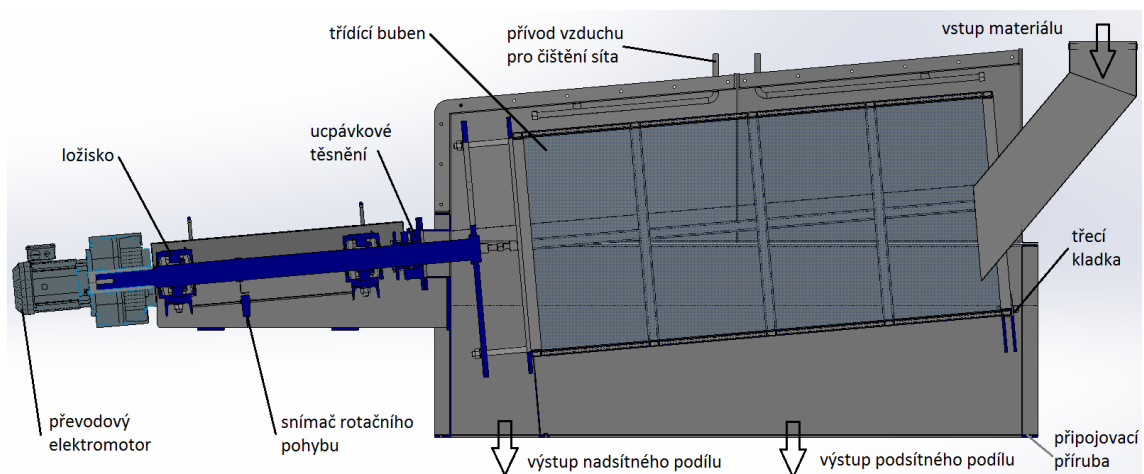
Zařízení sestává ze spodního dílu, odnímatelných krytů a třídícího bubnu. Spodní díl tvoří základnu pro celek třídiče. K tomuto dílu jsou dále připojeny kotevní patky stroje, konzola pro ložiska a konzoly pro kladky. Odnímatelné kryty jsou po celé své délce opatřeny nahlížecími otvory sloužícími ke kontrole a případnému čištění vlastního síta.

K automatickému čištění je do krytů instalována dvojice vzduchových vedení pro ofouknutí síta od prachových nálepků.

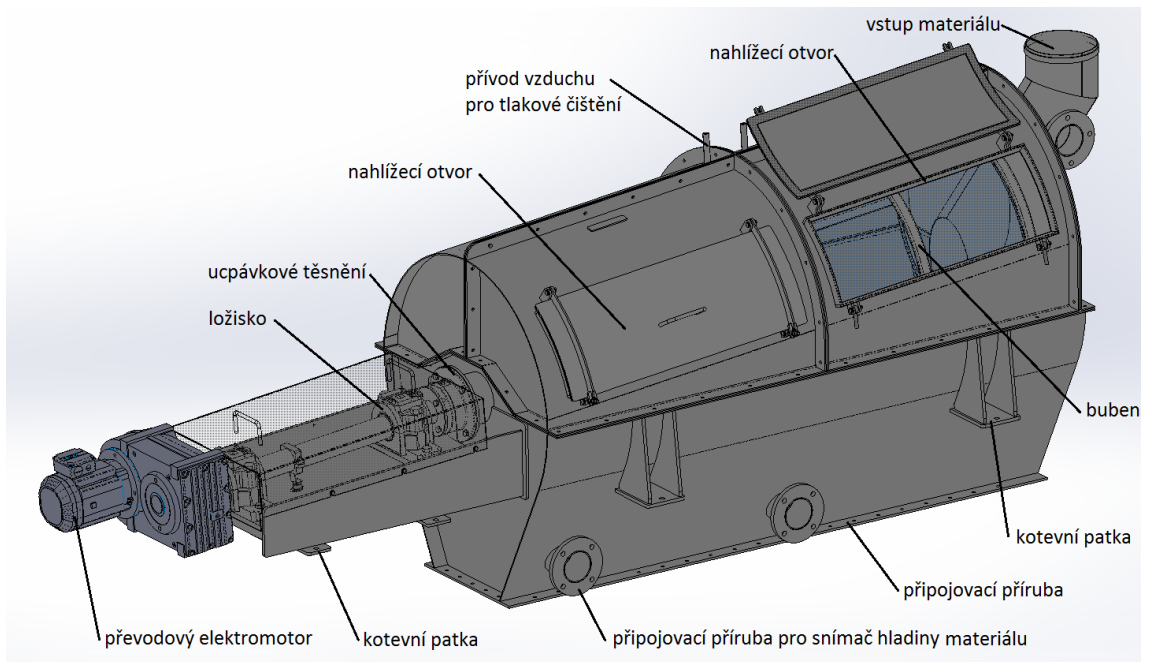
Ve spodní části se nachází připojovací hrdla pro dvojici rotačních snímačů, které indikují výšku materiálu v jednotlivých komorách (nadsítná a podsítná). Další hrdlo pro snímač hladiny se nachází ve vstupním skluzu do rotačního síta.

K těsnění rotačního třídiče a ucpávky je využita těsnicí šňůra TEMAPACK s označením 5100 o velikosti 6x6 mm. Jedná se o čtvercovou pletenou šňůru z PTFE příze s PTFE impregnací, která je vhodná pro použití do 280 °C. Pro těsnění nahlížecích otvorů jsou využity samolepící silikonové pásy s teplotní odolností do 230 °C.

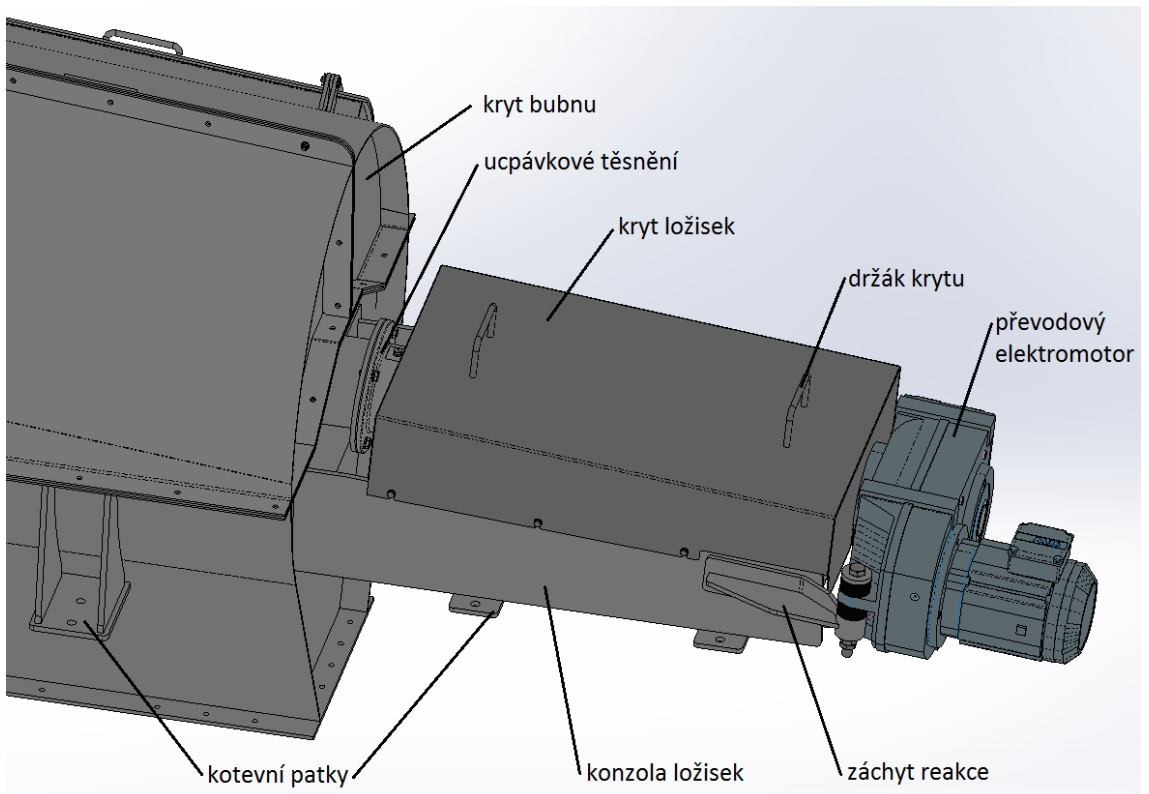
Třídič nerezového provedení se zvolenými druhy těsnění odolá zadaným teplotám do 150 °C.



Obrázek 31 3D řez třídičem



Obrázek 32 3D pohled na třidič

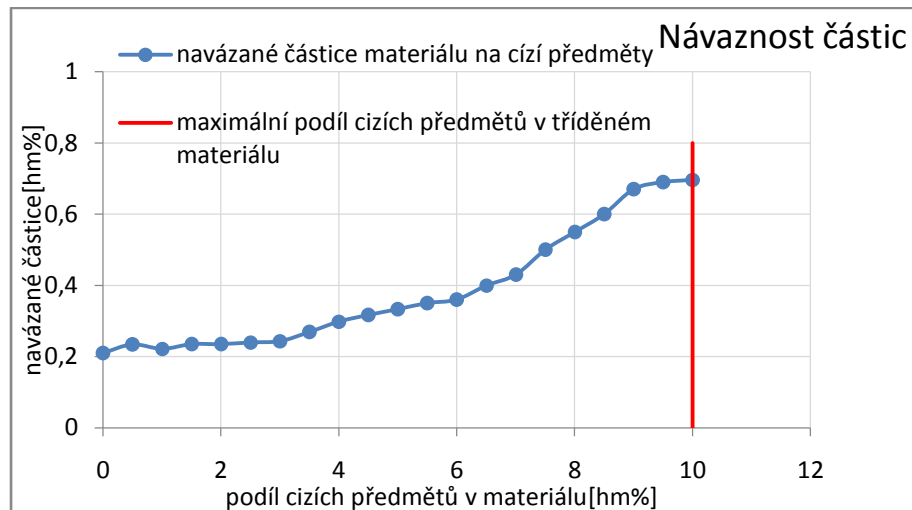


Obrázek 33 3D detail uchycení pohonu

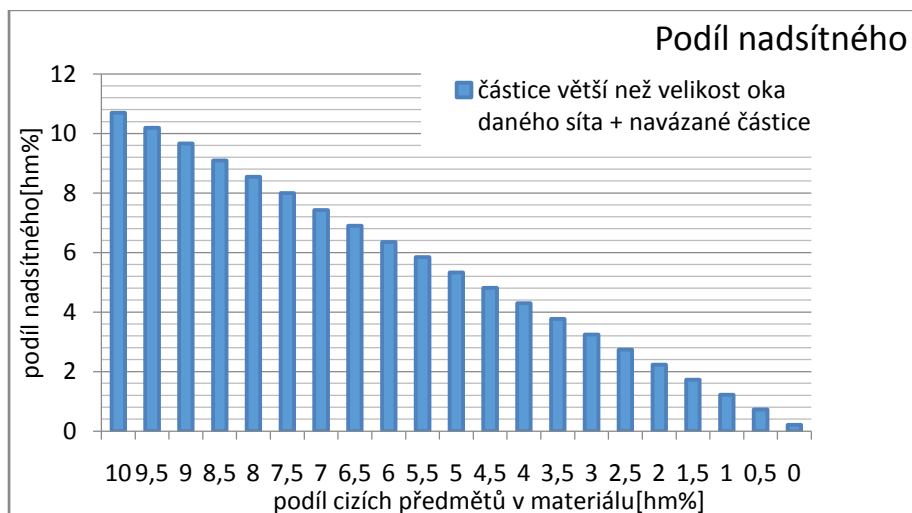
11 Realizované zařízení

Před zhotovením koncového výrobku byl vyroben zmenšený model třídícího bubnu v poměru 1:2, který měl ověřit správnost zvoleného síta a navržených rozměrů. Při zkoušce na zmenšeném modelu bubnu bylo zjištěno, že zvolený typ síta a rozměry třídícího bubnu jsou pro daný materiál vyhovující.

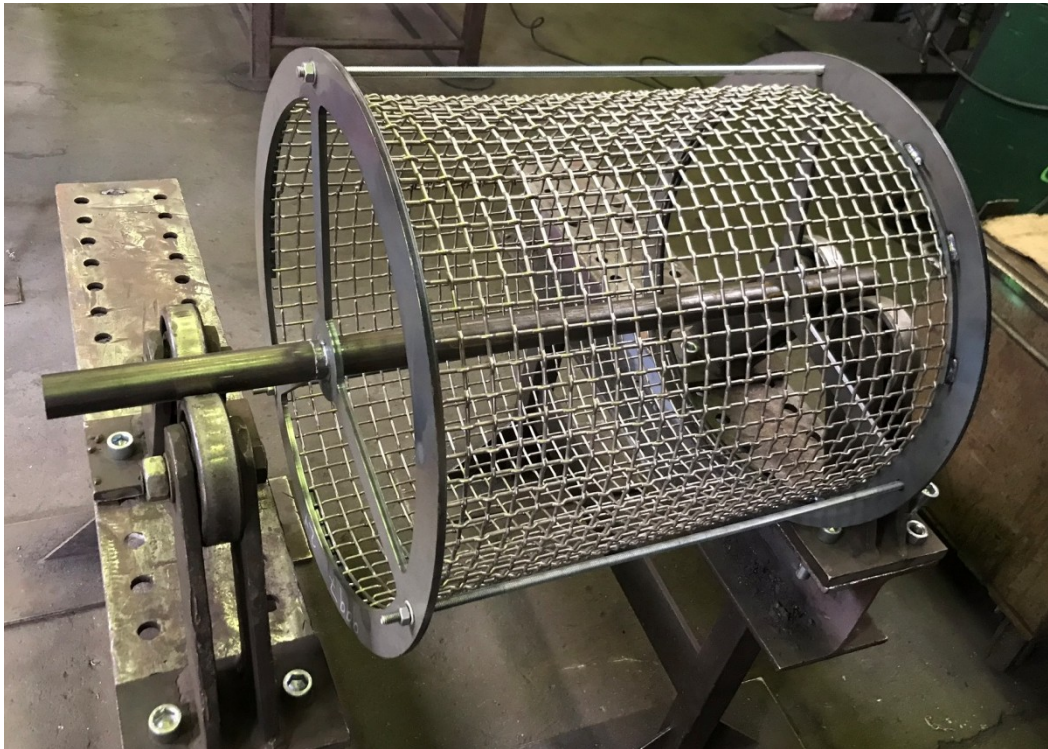
Dalšími zkoumanými parametry byl podíl nadsítné a podsítné složky materiálu. I když při zkoušce zmenšeného modelu nebylo možné nasimulovat požadovanou hodinovou kapacitu třídící linky bylo průkazné, že při třídění část materiálu, která by měla být frakcí podsítnou, zůstává připojena na frakci nadsítné. To je zapříčiněno mechanicko-fyzikálními vlastnostmi tříděného materiálu. Bylo provedeno několik sérií měření, jejichž výsledky jsou zřejmé z Obr. 34 a 35.



Obrázek 34 Graf návaznosti částic na nadsítnou složku



Obrázek 35 Graf nadsítného podílu



Obrázek 36 Zmenšený prototyp bubnu



Obrázek 37 Zkouška třídění ve zmenšeném prototypu bubnu

Závěr

Cílem diplomové práce byl konstrukční návrh rotačního třídíče, který je součástí systému dopravy bypassových odprašků. Úvod práce byl zaměřen na shrnutí druhů třídíčů užívaných v současnosti k třídění sypkých, jemně a hrubozrnných, nebo i kusovitých materiálů. Dále jsou uvedeny druhy třídění a principy, na jakých je funkčnost zařízení založena. V závěru úvodní části je shrnuta problematika vzniku tříděného materiálu, jeho využitelnost a charakteristické vlastnosti.

Následující kapitoly objasňují řešení diplomové práce spolu s cílem řešení, zadaná data pro vypracování a popis vlastností tříděného materiálu. Po těchto informacích navazuje schéma a popis technologie, do které má být zařízení včleněno.

Výpočtová část je soustředěna na návrh základních parametrů rotačního třídíče. Z návrhu základních parametrů jsem přešel k návrhu pohonu třídíče, který je jedním z dalších hlavních bodů diplomové práce. K výpočtu výkonu třídíče bylo nutné nejprve určit složky axiálního a radiálního zatížení v podporách bubnu třídíče. Samotný výpočet výkonu rotačního třídíče probíhal pomocí určování jednotlivých momentů potřebných pro překonání odporů vznikajících při rozběhu a chodu zařízení. Pro pohon rotačního třídíče jsem zvolil plochý převodový elektromotor od firmy SEW-EURODRIVE s výkonem 2,2 kW. Pro plynulý rozběh a regulaci otáček rotačního třídíče bude motor napojen na frekvenční měnič. Důležitým bodem diplomové práce je také návrh uložení třídícího bubnu. Z důvodu možného sklonu k lepivosti materiálu bude třídíč uložen na dvojici třecích kladek v oblasti vstupu materiálu a ve dvojici ložisek na opačné straně bubnu.

Konstrukční materiál třídíče byl volen s ohledem na prostředí, ve kterém se třídíč nachází a na typ tříděného materiálu. Na základě těchto souvislostí jsem zvolil nerezovou ocel s označením 1.4571.

Typem síta třídíče jsem zvolil jednostranně hladké síto se čtvercovými oky.

Těsnění třídíče bylo voleno v souladu s požadavky na zadané teploty tak, aby třídíč odolával provozním teplotám do 150 °C.

Závěr práce obsahuje technický popis zařízení, obrázky 3D modelu včetně popisu komponent rotačního třídíče a popis zkoušky třídění na zmenšeném modelu bubnu.

Výkresovou dokumentaci jsem zhotovil v programech SOLIDWORKS Premium 2015 a AutoCAD LT 2012.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Třidiče. DEOS Technology s.r.o. [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.deostech.cz/separatory-tridice/tridice>
- [2] RICHTER, Miroslav a Otakar SÖHNEL. Průmyslové technologie III: stroje a zařízení chemického průmyslu : [procesy, stroje a zařízení]. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2012. ISBN 978-80-7414-472-1.
- [3] ŠTASTNÍK, Stanislav. Těžba, lomařství a úpravnictví: Úpravnictví nerostných surovin [online]. Brno, 2005 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BJ53-Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20%28M%29/Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20-%20upravnictvi%20nerostnych%20surovin.pdf>
- [4] *Vibrační třidiče* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://abranova.cz/vibracni-tridice>
- [5] LAFARGE CEMENT JOURNAL: Chloridový bypass zdokonalí řízení pece [online]. Lafarge Cement, a. s., Čížkovice, 2011, 8(2/2011) [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3741609-Journal-lafarge-cement-2-2011.html>
- [6] FRIES, Jiří. Stroje pro zpracování odpadu [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2020-03-04]. ISBN 978-80-248-1511-4.
- [7] *Výroba cementu* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/vyroba>
- [8] Zkušenosti s bypassem plynů pecní linky. Českomoravský cement a.s., nást. spol., závod Mokrý. [online]. , 2 str. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18660823-Zkusenosti-s-bypassem-plynu-pecni-linky-ceskomoravsky-cement-a-s-nast-spol-zavod-mokra.html>
- [9] Rotační síto. <https://www.indiamart.com/proddetail/rotary-screen-15333516155.html> [online]. [cit. 2020-03-16].
- [10] BIČÁNEK, Bedřich, Sáva KUBÍN a ing. Libor ODSTRČIL. Bubnový třidič. ČSSR. Patentový spis 263112 B1. Uděleno 29.12.1988.
- [11] *Drátěné síto jednostranně hladké se čtvercovými nebo obdélníkovými oky* [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://screenservis.cz/products/dratene-sito-jednostranne-hladke-se-ctvercovymi-nebo-obdelnikovymi-oky/>

- [12] *Jednostranně hladká síta se čtvercovými nebo obdélníkovými oky* [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://www.sikr.eu/sortiment/dratena-sita/jednostrane-hladka-se-ctvercovymi-nebo-obdelnikovymi-oky.htm>
- [13] *Nerezové plechy* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://www.ak1324.cz/nerezove-plechy/#>
- [14] *Nerezová ocel 1.4571* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14571.html>
- [15] *Specifikace nerezových materiálů* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
- [16] *Ploché převodové motory* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyroby/prevodove_motory/standardni_prevodove_motory/ploche_prevodove_motory_fdr/ploche_prevodove_motory_fdr.html
- [17] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.,: *Strojnické tabulky*. Praha: ALBRA, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [18] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 12. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1968. Řada strojírenské literatury.
- [19] *Výpočet dopravního řetězu* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.retezy-vam.com/images/PDF/vypocet_dopravniho_retezu.pdf
- [20] *SKF ložiska: Hlavní katalog 6000 CS*. 2007.
- [21] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. ISBN 978-248-1290-8
- [22] ČSN 72 9301. *Třídíče: Názvosloví*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1978.

Seznam příloh

- Příloha A: Sestavný výkres rotačního třídiče – KUC0249-DP-RS-001
- Příloha B: Sestavný výkres bubnu - KUC0249-DP-RS-002
- Příloha C: Sestavný výkres unašeče - KUC0249-DP-RS-003
- Příloha D: Převodový elektromotor SEW
- Příloha E: Výstup měření materiálu rotační smykovou zkouškou

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce prof. Ing. Aleši Slívovi, Ph.D. za odbornou pomoc, rady a připomínky při zpracování diplomové práce. Dále děkuji firmě DSD-Dostál za možnost zpracování této diplomové práce a poskytnutí podkladů k vypracování.