



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MAGNETICKÝ SEPARÁTOR

MAGNETIC SEPARATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Lengál

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Jonák

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Zdeněk Lengál
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Martin Jonák
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Magnetický separátor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh magnetického separátoru pro separaci drobného průmyslového odpadu.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše obsahující přehled podobných zařízení a výrobců a popis funkce magnetického separátoru. Volba vhodného konstrukčního řešení.

Provedení funkčního a pevnostního výpočtu rámu dopravníku.

Nakreslení sestavného výkresu zařízení a vybraných detailních výkresů.

Seznam doporučené literatury:

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je provést rešerši obsahující přehled podobných zařízení a výrobců a popsat funkci magnetického separátoru. Dále obsahuje návrh konstrukčního řešení magnetického separátoru pro separaci drobného průmyslového odpadu. Podle zadaných parametrů byl proveden funkční výpočet a pevnostní výpočet rámu separátoru. Součástí této práce je výkresová dokumentace obsahující výkres sestavy a vybraných detailních výkresů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Magnetický separátor, třídění odpadu, konstrukce

ABSTRACT

The aim of this work is a search containing an overview of similar devices and manufacturers and to describe the function of the magnetic separator. It also contains a concept for the structural design of magnetic separator for separating small-sized industrial waste. According to specified parameters was performed functional calculation and strength calculation of separator frame. This work includes documentation drawings containing assembly drawing and selected detailed drawings.

KEYWORDS

Magnetic separator, waste separation, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LENGÁL, Z. Magnetický separátor. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Jonák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Jonáka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Zdeněk Lengál

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat mému vedoucímu této bakalářské práce Ing. Martinu Jonákovi za odborné vedení, rady a připomínky při vypracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za jejich podporu během celého mého studia.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Magnetické separátory	10
1.1 Nejčastější využití magnetického separátoru	10
1.2 Přehled zařízení sloužících pro separaci	10
1.3 Hlavní části pásového magnetického separátoru.....	15
2 Technická zpráva	21
2.1 Použité součásti	21
2.2 Zadané parametry	22
2.3 Tabulkové hodnoty	23
2.4 Zvolené parametry	23
2.5 Funkční výpočet	23
2.6 Pevnostní výpočet.....	32
Závěr	46
Použité informační zdroje	47
Seznam použitých zkratk a symbolů	49
Seznam příloh	52

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh magnetického separátoru, určeného pro třídění drobného průmyslového odpadu. Magnetická separace je proces, kdy působením magnetického pole magnetů dochází k oddělení feromagnetického materiálu od toho nemagnetického. Lze ji rozdělit na dva základní druhy, a to podle použitých magnetů. Používají se buď permanentní magnety, nebo elektromagnety, v této práci se však budeme zabývat pouze separátory s permanentními magnety. Výběr vhodného řešení závisí na pracovním prostředí, ve kterém bude magnetický separátor umístěn a podle požadavků tohoto prostředí se zvolí příslušné parametry, jako jsou rozměry, výkon, nebo volba vhodného magnetu. Přehled různých druhů magnetických separátorů je obsažen v této bakalářské práci.

Magnetické separátory mají široké uplatnění v průmyslu a jsou používány v různých jeho odvětvích. Nejvíce se však využívají v recyklačním průmyslu, protože odpadové hospodářství je v dnešní době velmi rozšířené a magnetické separátory zde umožňují získat z odpadu cenné kovy, které se poté mohou dále zpracovávat. Tím se šetří nejen peníze, ale i životní prostředí. Dalším využitím separátorů je ochrana jiných zařízení ve výrobním procesu, kde může tyto zařízení styk s feromagnetickými materiály poškodit, nebo i zničit. Třetím hlavním důvodem je pak separace odpadových kovových zbytků. To mohou být například odstřížky plechů, deformované podložky, šrouby, nýty, matice, hřebíky, špony atd. Materiálem s největším zastoupením ve feromagnetického odpadu je ocel, protože je to stále nejrozšířenější materiál nejen ve strojírenství.

Jak už bylo uvedeno výše, magnetické separátory mají široké využití, které je však vždy, podle konkrétních podmínek, specifické. Proto se v této práci budeme dále zabývat pouze magnetickým separátorem s permanentními magnety (anglicky „overbelt overband magnetic separator“) dále už jen „magnetický separátor“. Tyto separátory se často používají současně s pásovými dopravníky, nad které se separátory umísťují. Může to být jak podélně s dopravníkem, tak i kolmo na něj. Pro tuto bakalářskou práci jsem se rozhodl pro řešení závěsného magnetického separátoru s permanentními magnety. Zpracovávaným materiálem budou plastové třísky přiváděné pásovým dopravníkem.

Výsledkem práce je tedy konstrukční návrh a výkresová dokumentace magnetického separátoru určeného pro separaci feromagnetických částic obsažených v plastových třískách pro další zpracování.

1 MAGNETICKÉ SEPARÁTORY

Magnetické separátory se používají v různých druzích průmyslu pro oddělení feromagnetického materiálu od nemagnetického materiálu. Využívají k tomu magnetické pole permanentních magnetů, některé i elektromagnetického pole. Nejčastější použití magnetických separátorů je v recyklačním průmyslu, často se však také využívají pro ochranu ostatních zařízení, které by mohl kontakt s feromagnetickým materiálem poškodit.

1.1 NEJČASTĚJŠÍ VYUŽITÍ MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

Magnetické separátory se v průmyslu používají ze tří hlavních důvodů: [6]

OCHRANA OSTATNÍCH ZAŘÍZENÍ

Některé zařízení v technologickém procesu, jako jsou např. lisy, drtiče, či šnekové dopravníky mohou být citlivé na kontakt s feromagnetickým materiálem, proto se používá magnetických separátorů, aby byla tato zařízení chráněna, což může ušetřit nemalé materiální a finanční prostředky.

RECYKLACE ODPADU

Se stále se rozrůstající popularitou třídění odpadů je vhodné oddělit jednotlivé složky od sebe, tedy i feromagnetický materiál od ostatního odpadu a dále jej zpracovávat. V těchto centrech komunálního odpadu, nebo specializovaných sběrnách bývají instalovány do větších separačních celků, někdy dokonce i do celých separačních linek.

SPECIÁLNÍ ÚČELY

V dalších průmyslech, jako je farmaceutický, potravinářský, chemický apod. může být výskyt feromagnetického materiálu taktéž velmi nežádoucí jak pro vstupní suroviny, tak i pro finální výrobky.

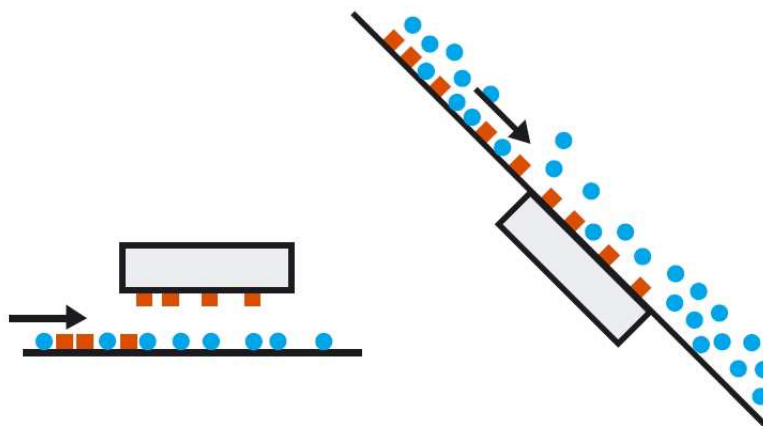
1.2 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ SLOUŽÍCÍCH PRO SEPARACI

1.2.1 DESKOVÉ SEPARÁTORY

Deskové magnetické separátory slouží k odstranění feromagnetických částic z materiálového toku na pásových dopravnících, vibračních podavačích, během volného pádu, v potrubních systémech (skluzové separátory) apod. Jsou tvořeny magnetickou deskou, která se umísťuje co nejbližše přepravovanému materiálu, aby bylo dosaženo účinné separace.

U deskových separátorů zavěšených nad pásovým dopravníkem jsou magnetické částice zachytávány spodní stranou desky, která je osazena permanentními magnety. Povrch desky, která přichází do kontaktu s magnetickými částicemi, má povrch vyrobený z nerezavějící oceli. Tyto separátory se používají tam, kde je výskyt feromagnetického materiálu jen občasný, neboť je nutné ruční čištění, které je však velmi jednoduché a účinné, případně je možné použít čistící extraktor.

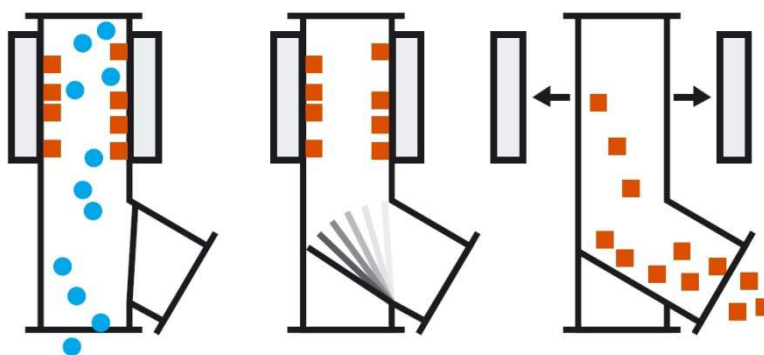
Pro zvýšení hloubky magnetického pole se používají velmi silné neodymové magnety, což umožňuje separaci i velmi drobných kovových částic. [6]



Obr. 1 Princip funkce deskového magnetického separátoru [6]

SKLUZOVÉ SEPARÁTORY

Tyto separátory se používají u potrubních systémů přepravujících různé druhy materiálu. Magnetický systém tvořený magnetickými deskami je uchycen na vnější straně potrubí, díky čemuž je vnitřní prostor potrubí volný, suroviny mohou volně proudit a nehrozí tak ucpání potrubí. [6]



Obr. 2 Princip funkce skluzového separátoru [6]

1.2.2 BUBNOVÉ SEPARÁTORY

Magnetické bubnové separátory, také nazývané válcové separátory, slouží k nepřetržité a automatické separaci feromagnetických částic z velkého množství suroviny, především ze sypkých hmot. Tyto suroviny jsou dopravovány na pásu, který obepíná magnetický separátor ve tvaru bubnu. Feromagnetický materiál je na páse přitáhnut k magnetickému bubnu a setrvá na něm až do doby, kdy se pás otočí na druhou stranu. Tím se dostane mimo působení magnetického pole a odpadne do záchytné nádoby. Nemagnetický materiál se od páse oddělí již hned za pásem. Výhodou těchto separátorů je, že nepotřebují téměř žádnou údržbu a je dosahováno velmi dlouhé životnosti. [6]

Bubnové separátory lze dále rozdělit na tři druhy dle konstrukce: [6]

BUBNOVÉ MAGNETY

Kolem magnetického sektoru s úhlem 180° se otáčí buben z nerezavějící oceli. Používají se za dopravníkovými pásy.

BUBNOVÉ MAGNETY S KRYTOVÁNÍM

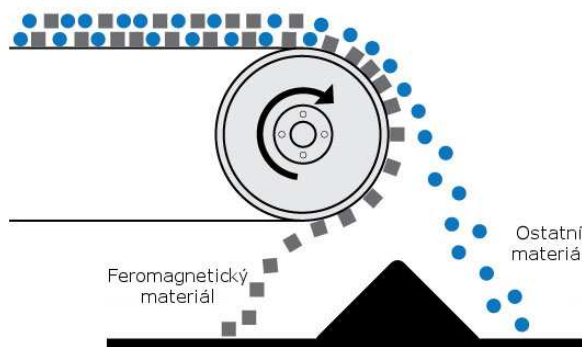
Jsou to bubnové magnety, které jsou navíc umístěné v krytu, mají vlastní pohon a v krytu jsou výstupy na odseparované částice a zbylou surovinu. Také se používají za dopravníkovými pásy, dále za potrubními systémy, skluzu apod.

MAGNETICKÉ HNACÍ VÁLCE

Na rozdíl od bubnových magnetů, magnetické hnací válce jsou tvořeny plným magnetickým sektorem s úhlem 360° . Díky této konstrukci se nasazují místo vratných bubnů pásových dopravníků.

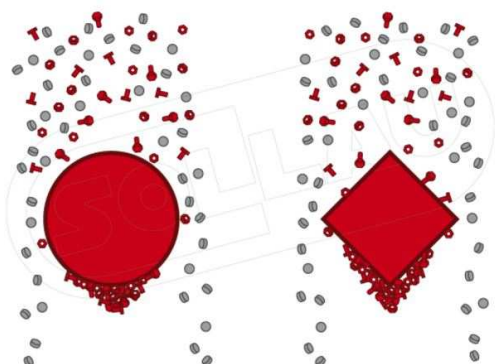
1.2.3 SEPARAČNÍ ROŠTY A TYČE

Jedná se o velmi výkonný systém separace využívající se pro oddělování jemných magnetických částic od sypkého materiálu. Separáčnící rošty se umísťují do stávajících násypek, skluzů a potrubí. Rozsah jejich použití je velmi široký, zejména v potravinářském, plastikářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. Rošt je složen z jednotlivých tyčí, které jsou tvořeny silnými neodymovými magnety. Pro snadnější údržbu a také ochranu před korozi a mechanickým poškozením jsou tyče vloženy v pouzdře z nerezové oceli AISI 304. V některých průmyslech, jako je potravinářský, nebo chemický, mohou být zpřísněné požadavky na hygienu, z tohoto důvodu může být obal tyčí vyroben z nerezavějící oceli 1.4404, jejichž povrch je navíc speciálně upraven, tzv. elektrolyticky leštěn.

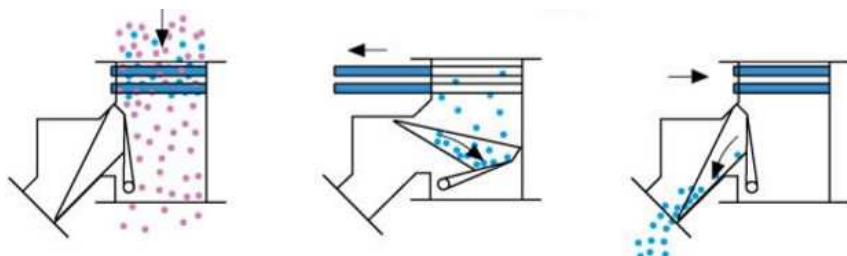


Obr. 3 Princip funkce bubnového separátoru - magnetického hnacího válce [7]

Výhodou těchto separátorů je jejich jednoduchost, spolehlivost, vysoká efektivita a jednoduchá údržba. Očištění lze provést jednoduše vytažením tyčí z pouzder a přichycený kovový materiál samovolně odpadne. [6]



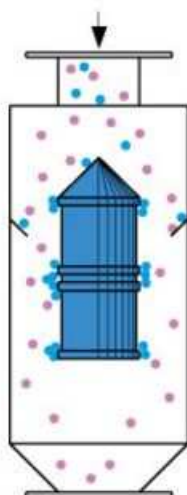
Obr. 4 Princip práce magnetické tyče [8]



Obr. 5 Princip činnosti magnetického roštu [9]

1.2.4 TRUBKOVÉ SEPARÁTORY

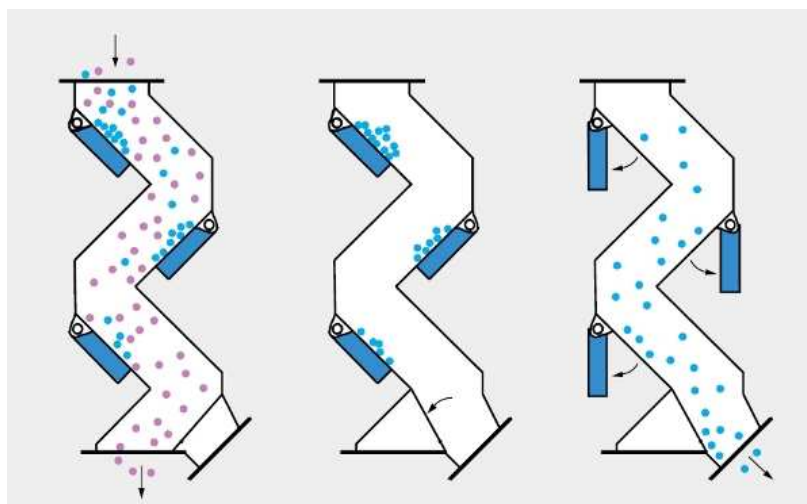
Trubkové magnetické separátory se využívají v potrubních systémech pro separaci menších feromagnetických částí z materiálového toku. V potrubí se umísťují buď doprostřed, nebo na konec potrubí a je nutné, aby byl snadno vyjmutelný kvůli očišťování magnetického jádra. Princip separace spočívá v umístění permanentního magnetického jádra do cesty proudící suroviny, která jej obtéká. Z tohoto důvodu jej lze použít pouze pro suchý a granulovaný materiál s dostatečně malými rozměry, aby se zabránilo ucpání separátoru velkými kusy. Vlhký a olejnatý materiál je nevhodný z důvodu možného postupného ucpání separátoru. Pro své vlastnosti je často využíván v potravinářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu a pro čištění plastů, krmiv a osiv. [6]



Obr. 6 - Trubkový magnetický separátor [9]

1.2.5 KASKÁDOVÉ SEPARÁTORY

Tento typ magnetických separátorů se je vhodný pro provozy, které zpracovávají velké množství sypkých materiálů. Permanentní magnety jsou kaskádově přichyceny na vnější části lomeného potrubí ve dvou, nebo třech stupních. Vyrábí se buď jako manuálně obsluhované, nebo jako automatické. Pro ulehčení čištění od zachycených kovových částí je možné do výstupu zařadit záklopku. Jejím otevřením se uzavře výstup vyčištěného materiálového toku a přichycené kovové části mohou po odklopení permanentních magnetů volně odejít do připraveného sběrného systému. [6]



Obr. 7 - Princip práce kaskádového separátoru [6]

1.2.6 ZÁVĚSNÉ SEPARÁTORY

Využití závěsných magnetických separátorů lze najít hlavně v odpadovém hospodářství při zpracování komunálního odpadu, dále při zpracování plastů, dřeva, nebo v těžebním průmyslu. Díky své konstrukci mají tyto separátory dostatečně hluboké magnetické pole, což jim umožňuje vytažovat feromagnetické nečistoty i z větších hloubek, např. při velké výšce materiálu na dopravním páse. Obvykle se tyto separátory instalují právě nad pásové dopravníky, které přepravují suroviny, z nichž je potřeba vytáhnout kovové nečistoty, které mohou být často velké a vážící i několik kilogramů. Pro větší průmyslové separace se osazují elektromagnetickým systémem, avšak v dnešní době se používají spíše separátory osazené permanentním magnetem. [6]

Závěsné separátory se dají rozdělit na dva základní druhy: [6]

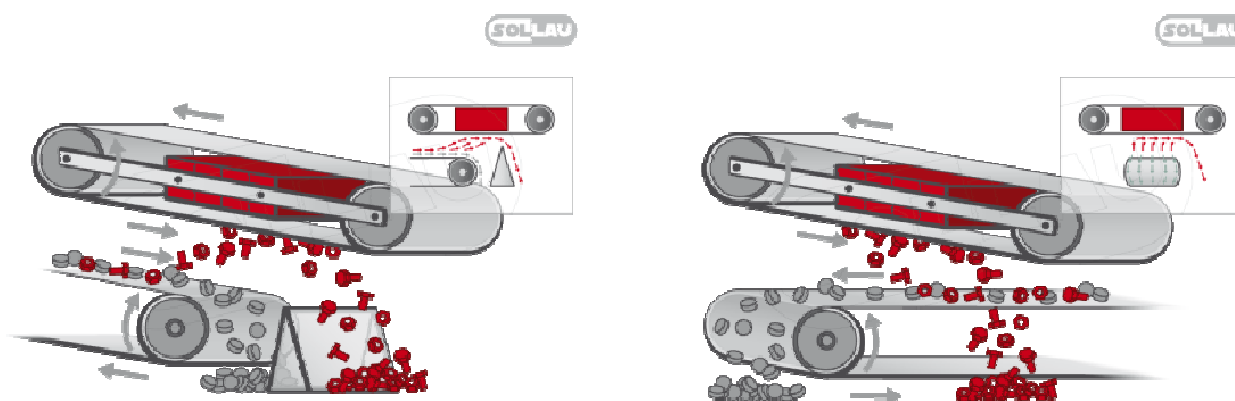
BLOKOVÉ MAGNETY

Jsou to jednoduché permanentní magnety osazené většinou feritovým magnetickým systémem. Tyto separátory je však nutné čistit ručně, proto jsou vhodné pro provozy s menším výskytem feromagnetického odpadu, kdy stačí čistit magnet jen občas v delších časových intervalech.

PÁSOVÉ SEPARÁTORY

Pásové separátory jsou v podstatě blokové magnety doplněné o pásový dopravník, díky kterému probíhá čištění automaticky. Proto se používají tam, kde je výskyt feromagnetických nečistot masivní a ruční čištění by bylo neefektivní, nebo v plně automatizovaných provozech. Aby bylo čištění co nejefektivnější, je pás vybaven unašeči. Dopravní pás separátoru vynáší zachycené nečistoty do připravené sběrné nádoby, nebo na jiný dopravní systém.

Pásový separátor je možné umístit nad pásový dopravník dvěma způsoby. První způsob je, že pás dopravníku i separátoru je orientován stejně, tzn. rovnoběžně. Druhým způsobem se separátor zavěsí kolmo k dopravnímu pásu.



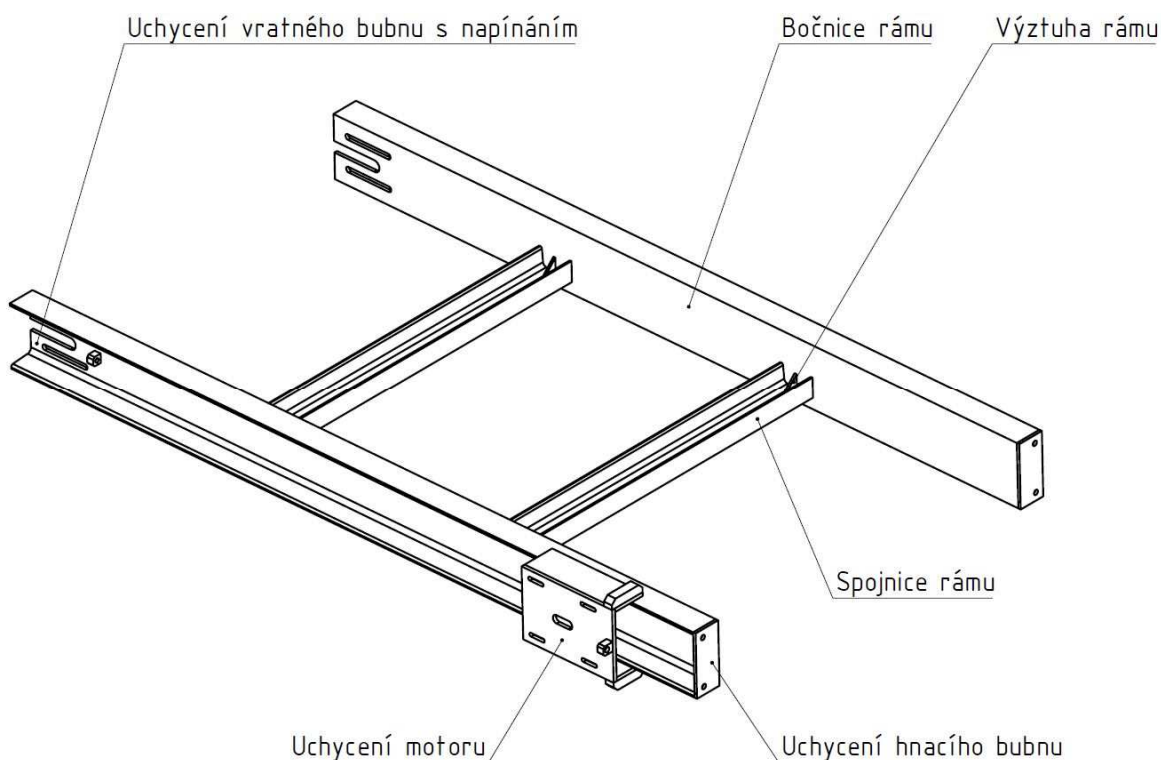
Obr. 8 - Pásový separátor rovnoběžně s dopravníkem [8] Obr. 9 - Pásový separátor kolmo k dopravníku [8]

1.3 HLAVNÍ ČÁSTI PÁSOVÉHO MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

V této kapitole se budu věnovat jednotlivým částem závěsného magnetického separátoru s permanentními magnety. Popíšeme si jejich konstrukci a uspořádání v separátoru.

1.3.1 RÁM

Pro konstrukci rámu separátoru se používají válcované profily tvaru U, nebo profilované plechy. Použití těchto plechů se pozitivně projevuje na celkové hmotnosti separátoru. Já jsem se však rozhodl použít válcovaných U profilů pro jejich jednoduchost a cenovou dostupnost.

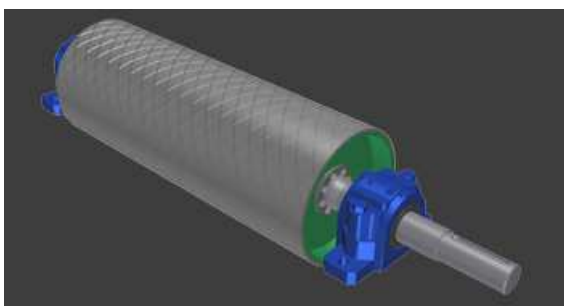


Obrázek 10 - Návrh konstrukce rámu separátoru

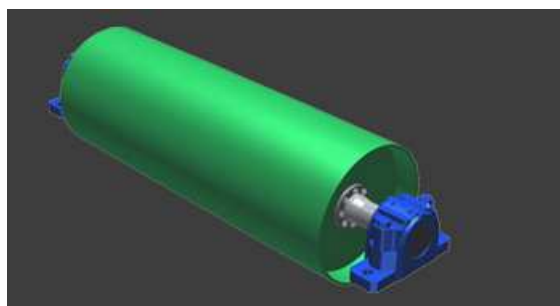
1.3.2 HNACÍ A VRATNÝ BUBEN

Uspořádání bubnů u tohoto magnetického separátoru je stejné, jako u pásového dopravníku, lze tedy použít bubny určené právě pro pásový dopravník. Systém se sestává ze dvou bubnů - hnacího a vratného. Hnací buben je poháněn motorem přes převodové ústrojí a zpravidla bývá na té straně separátoru, kde dochází k přepadávání odseparovaného materiálu. Vratný buben je na opačné straně, zajišťuje vracení pásu a také jeho napínání.

Výroba bubnů probíhá litím, nebo svařováním. Povrch pláště může být hladký, pro zvýšení smykového tření mezi pásem a bubnem se používá pogumovaného povrchu, případně se ještě opatří rýhováním. [2]



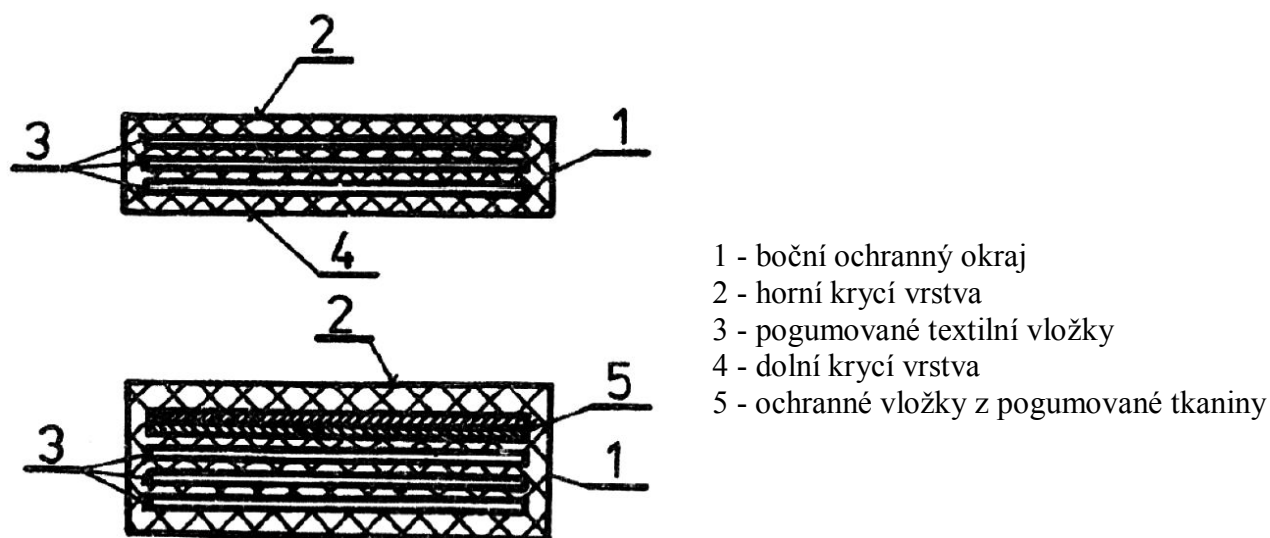
Obrázek 11 - Hnací buben s pogumovaným povrchem a rýhováním [10]



Obrázek 12 - Vratný buben [10]

1.3.3 DOPRAVNÍ PÁS

Dopravní pás je opásán kolem hnacího a vratného bubnu magnetického separátoru. Skládá se z nosné kostry tvořené textilními vložkami z bavlny, polyamidu, případně z jejich kombinací a je oboustranně chráněn gumovými krycími vrstvami z měkké pryže. Horní krycí vrstva má za účel chránit textilní kostru před abrazivními účinky materiálu, atmosférickými vlivy a případným jiným mechanickým poškozením, dolní krycí vrstva ji chrání před abrazivními účinky nosných válečků a bubnů. Tloušťka krycí vrstvy bývá zpravidla 1,5 až 2 mm, dolní 1,5 až 2 mm a bočních ochranných krajů 5 až 20 mm - podle dopravovaného materiálu. [2]



Obrázek 13 - Řez dopravním pásem [2]

Dle konstrukce se pásy dělí na:

- Kryté - textilní kostra je kryta ochrannými vrstvami gumy ze všech stran
- Řezané - vybavené pouze horní a dolní vrstvou gumy
- Nekryté - bez ochranných vrstev měkké gumy

Dopravní pásy se vyrábí celistvé a nespojené. Celistvé pásy jsou již při výrobě spojené vulkanizací na předepsanou délku, tj. na délku vnitřního obvodu pásu. Nespojené pásy mají oba konce volné a spojují se dodatečně až při montáži dopravníku buď vulkanizací za studena, za tepla, nebo mechanicky.

Dopravní pásy jsou vyráběny v normalizovaných šířkách 400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 a 2400 mm. [2]

1.3.4 MAGNET

Magnety jsou hlavní částí magnetických separátorů. Zajišťují samotné oddělení feromagnetických částí z toku materiálu. Pro magnetické separátory se v dnešní době díky jejich vyšší účinnosti používá nejčastěji permanentních magnetů, namísto starších elektromagnetů.

Permanentní magnety se podle materiálu dělí na: [12]

Feritové magnety

Feritové magnety obsahují přibližně 80% oxidu železa a 20% oxidu baria nebo stroncia. Vzhledem k tomu, že tyto suroviny jsou k dispozici ve velkých množstvích, také magnety z nich vyrobené jsou cenově příznivé. Tvarování se vykonává lisováním. Feritové magnety se vyrábí jako izotropní a anizotropní. Izotropní magnety mají ve všech směrech stejné magnetické hodnoty a magnetizace probíhá ve všech směrech. Anizotropní magnety jsou lisované v magnetickém poli a zachovávají si směr magnetizace.

Feritové magnety jsou tvrdé, křehké a choulostivé na rozbití. Opracování se nejčastěji vykonává broušením za pomoci diamantových nástrojů. Novou technikou je dělení vodním paprskem. Feritové magnety jsou odolné vůči vlivům počasí a neoxidují. Nejsou citlivé na odmagnetizování a za normálních podmínek si udržují permanentní magnetizmus. Jsou odolné vůči většině chemikálií a rozpouštědel.

Rozsah pracovních teplot je od -40°C do $+250^{\circ}\text{C}$.

Neodymové magnety

Neodymové magnety jsou v současnosti nejsilnějším typem magnetů s vynikajícími magnetickými vlastnostmi, jako je remanence (schopnost odolávat demagnetizačním polem) a energetická hustota. Patří do skupiny magnetů založených na bázi vzácných zemin (lanthanoidy). Jejich hlavní složkou je železo s příměsmi neodymu (Nd) a boru (B). Dalšími prvky, které se přidávají do finální slitiny jsou hlavně kobalt (Co), dysprosium (Dy) - tyto složky slouží k vylepšení magnetických vlastností a teplotní odolnosti magnetů.

Vyrábějí se lisováním v magnetickém poli a následným spékáním. Při vysoké vlhkosti vzduchu oxidují a proto se v závěrečné fázi výroby galvanizují - nejčastěji zinkem nebo niklem. Proto jsou vzhledově velmi pěkné, lesklé a hladké. Další možnosti povrchových úprav jsou například pozlacení, chromování, epoxidace, pasivace a mezi nejnovější technologie patří povlakování hliníkem a nitridem titánu.

Neodymové magnety jsou dodávány nejčastěji v anizotropním provedení. Provozní teplota je max. $+60$ až $+240^{\circ}\text{C}$ podle třídy materiálu.

SmCo magnety

Samarium-kobaltové magnety jsou druhým nejsilnějším typem permanentních magnetů po neodymech. Patří také k magnetickým vzácným zeminám (lanthanoidy). Hlavní složku tvoří samarium (Sm) a kobalt (Co). Tyto dvě hlavní složky můžou být v poměru 1:5 nebo 2:17, což určuje jejich výsledné magnetické vlastnosti a maximální pracovní teplotu.

Výroba sestává z lisování v magnetickém poli a následného spékání. SmCo je křehký a tvrdý materiál s vysokým energetickým produktem. Proto mohou být SmCo magnety menší než jsou feritové nebo AlNiCo magnety. Jsou dodávány pouze v anizotropním provedení. Magnetizované jsou výlučně v jednom směru. Tyto magnety jsou velmi odolné vůči působení demagnetizačního pole.

Nevýhodou SmCo magnetů je vysoký obsah kobaltu, což značně prodražuje konečnou cenu magnetu. Proto se využívají hlavně v aplikacích, kde je potřebné nasadit miniaturní magnet s vysokou energií a zároveň je v tom prostředí vysoká teplota. Provozní teplota je až do $+300^{\circ}\text{C}$. Nejsou odolné vůči anorganickým kyselinám a rozpouštědlům.

AlNiCo magnety

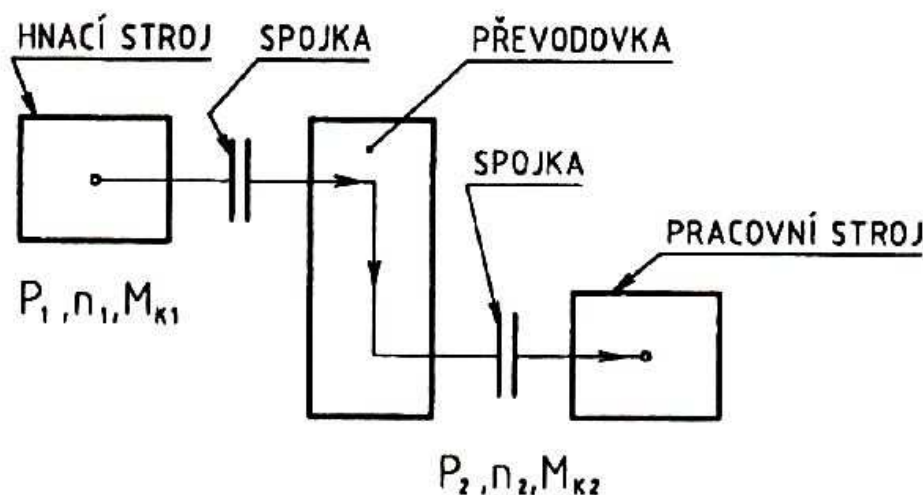
AlNiCo magnety jsou tvořeny směsí hliníku, niklu, kobaltu, železa, mědi a titanu. Vyrábějí se sléváním nebo spékáním. Magnetované mohou být pouze v axiálním směru.

Mají vysokou remanenci (zbytková magnetizace přetrvávající po odstranění magnetizujícího pole) avšak malou koercitivitu. To určuje velkou délku magnetizačního směru. Optimální poměr průměru magnetu k jeho délce je 1:4. Magnetické pole AlNiCo magnetů může být vlivem demagnetizace oslabené. AlNiCo je tvrdý materiál a opracovává se pouze broušením.

Provozní teplota je od -270°C do $+500^{\circ}\text{C}$. Mají vysokou odolnost vůči kyselinám a rozpouštědlům.

1.3.5 POHONNÉ A PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Pro přenos výkonu z motoru na stroj je nutné použít převodového ústrojí. Otáčky motoru totiž nebývají totožné s pracovními otáčkami stroje. Pokud se otáčková frekvence převádí do pomala, jedná se o reduktory. Pokud se převádí do rychla, tak se jedná o multiplikátory. Nejčastěji se používají převody mechanické.



Obrázek 14 - Blokové schéma převodu výkonu od motoru k pracovnímu stroji [3]

Mechanické převody se používají při přenosu točivého momentu z hnacího hřídele na hnaný. Točivý pohyb se přenáší tak, že se mění frekvence otáček a tím i kroutící momenty. Přenášený výkon by se teoreticky neměl změnit, ale kvůli ztrátám v převodu se sníží. Právě poměr výstupního a vstupního výkonu je základním parametrem převodu a nazývá se účinnost.

Základem pohonného ústrojí magnetického separátoru je podobně jako u většiny pásových dopravníků třífázový asynchronní elektromotor napájený z elektrické sítě, který generuje točivý moment. Ten je přenášen z hnací hřídele elektromotoru na další části ústrojí.

U mechanických převodů se k přenosu sil a pohybů z hnacího hřídele na hnaný používá kol, která jsou spojena buď přímo (přímé, kontaktní spojení), nebo nepřímo (ohebným členem). V obou případech může být spojení třecí (silové) nebo tvarové. [2]

2 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Pro tuto bakalářskou práci jsem zvolil závěsný pásový separátor s permanentními magnety. Materiálem k separaci bude odpad z třískového obrábění plastu, ve kterém je předpoklad výskytu nežádoucího feromagnetického materiálu maximálně 5%. Separátor bude zavěšený kolmo nad dopravníkem s odpadem a hmotnostní dopravní výkon plastového odpadu bude $5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.1 POUŽITÉ SOUČÁSTI

2.1.1 RÁM

Rám separátoru bude svařovaný z válcovaných profilů tvaru U, vyrobených z materiálu 11 375 (S 235JR), který je vhodný ke svařování [4]. Rám bude složený ze bočnic, což jsou dva rovnoběžné profily U, které budou svařeny dalšími dvěma na ně kolmými menšími U profily, které jsou spojnicemi rámu. V těchto spojnicích budou vyvrtané díry, do kterých se pomocí silentbloků přichytí permanentní magnety a dále budou vyztuženy plechovými výztuhami. Na bočnicích rámu budou umístěna domečková ložiska a na levé bočnici bude přivařena deska pro uchycení motoru.

Sestava magnetů svojí hmotností působí na rám statickým zatěžujícím účinkem tvořící spojitě liniové zatížení. Předpokládám spojitě liniové zatížení každé spojnice rámu $F_{q1} = 1500 \text{ N}$, dohromady tedy $F_q = 3000 \text{ N}$.

Zvolené U - profily dle [1]:

2x U80/B ČSN 42 5570 - 11 375.0

2x U140/B ČSN 42 5570 - 11 375.0

Délka spojnice rámu $L_U = 800 \text{ mm}$

2.1.2 HNACÍ A VRATNÝ BUBEN

Hnací i vratný buben jsem volil od firmy GTK s.r.o. [10]. Bubny jsou svařeny s hřídelí. Napínání dopravního pásu je realizováno dvojicí napínacích šroubů.

Průměr bubnu $D_b = 240 \text{ mm}$

Délka pláště bubnu $L_b = 754 \text{ mm}$

Šířka dopravního pásu $B_p = 750 \text{ mm}$

Hmotnost bubnu $m_B = 32,7 \text{ kg}$

2.1.3 MAGNET

Magnety volím neodymové NdFeB dle [13]. K rámu jsou magnety přichyceny silentbloky, volené dle [14]

Délka magnetu	$L_m = 1250 \text{ mm}$
Šířka magnetu	$B_m = 7 \times 100 \text{ mm}$
Výška magnetu	$h_m = 35 \text{ mm}$
Počet magnetů	$i_m = 7 \text{ ks}$
Hmotnost jednoho magnetu	$m_m = 32,8 \text{ kg}$
Celková hmotnost magnetů	$m_{mcelk} = 229,6 \text{ kg}$

2.1.4 DOPRAVNÍ PÁS

Dopravní pás volím pryžový pro všeobecné použití dle [11] s unašeči.

Tloušťka pásu	$t_p = 6,8 \text{ mm}$
Hmotnost pásu	$m_p = 5,85 \text{ kg/m}$
Šířka pásu	$B_p = 650 \text{ mm}$
Síla krycí vrstvy	3+2 mm
Počet vložek	2
Pevnost pásu	$R_{mp} = 250 \text{ N/mm}$
Označení	EP 250/2 - 650 / 3+2 / Y

2.2 ZADANÉ PARAMETRY

Dopravní rychlost	$v = 2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Průměr bubnu	$D_b = 240 \text{ mm}$
Účinnost převodu	$\eta = 0,96$
Vzdálenost mezi osami bubnů	$L_s = 1650 \text{ mm}$
Hmotnostní dopravní výkon plastu na pásovém dopravníku	$I_{mplast} = 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

2.3 TABULKOVÉ HODNOTY

Objemová hmotnost oceli	$\rho_{ocel} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Objemová hmotnost plastu	$\rho_{plast} = 1250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Tíhové zrychlení	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel sklonu pásu	$k_p = 1$
Eulerovo číslo	$e = 2,718281$
Modul pružnosti oceli v tahu	$E = 207000 \text{ MPa}$
Globální součinitel tření	$f_g = 0,02$
Mez kluzu pro ocel 11 600	$R_{e1} = 325 \text{ MPa}$

2.4 ZVOLENÉ PARAMETRY

Zvolený průměrný tah v pásu na bubnu	$F_{pm} = 1000 \text{ N}$
Navrhovaný průměr hřídele v ložisku	$d_0 = 25 \text{ mm}$
Navrhovaný převodový poměr	$i = 3$
Možný vektorový součet tahů v pásu na bubnu	$F_T = 2500 \text{ N}$

2.5 FUNKČNÍ VÝPOČET

2.5.1 OBJEMOVÝ A HMOTNOSTNÍ VÝKON MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU

Hmotnostní dopravní výkon pásového dopravníku používaného k odvádění odpadu z třískového obrábění plastu je $I_{m_{plast}} = 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. V tomto množství je předpokládán výskyt feromagnetického odpadu maximálně 5%.

HMOTNOSTNÍ DOPRAVNÍ VÝKON I_m [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

$$I_m = I_{m_{plast}} \cdot 0,05$$

$$I_m = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

(1)

Kde: $I_{m_{plast}}$ – hmotnostní dopravní výkon plastu na pásovém dopravníku [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

OBJEMOVÝ DOPRAVNÍ VÝKON I_v [$m^3 \cdot s^{-1}$]

$$I_v = \frac{I_m}{\rho_{ocel}} \quad (2)$$

$$I_v = \frac{0,25}{7801} = 3,21 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$$

Kde: I_m – hmotnostní dopravní výkon [$kg \cdot s^{-1}$]

ρ_{ocel} – objemová hmotnost oceli [$kg \cdot m^{-3}$]

2.5.2 HLAVNÍ ODPORY**HMOTNOST JEDNOHO METRU DOPRAVNÍHO PÁSU q_B [$kg \cdot m^{-3}$]**

$$q_B = m_p \cdot B_p \quad (3)$$

$$q_B = 5,85 \cdot 0,65 = 3,80 kg \cdot m^{-1}$$

Kde: m_p – hmotnost dopravního pásu [$kg \cdot m^{-2}$]

B_p – šířka dopravního pásu [m]

UŽITEČNÁ ŠÍŘKA DOPRAVNÍHO PÁSU b_p [mm]

$$b_p = (0,9 \cdot B_p) - 0,05 \quad (4)$$

$$b_p = (0,9 \cdot 0,65) - 0,05 = 0,54 m$$

HMOTNOST DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU NA JEDEN METR PÁSU q_G [$kg \cdot m^{-1}$]

$$q_G = \frac{I_m}{v} \quad (5)$$

$$q_G = \frac{0,25}{2,3} = 0,11 kg \cdot m^{-1}$$

Kde: v – dopravní rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

HLAVNÍ ODPORY F_H [N]

$$F_H = f_G \cdot L_s \cdot g \cdot (2 \cdot q_G + q_B) \quad (6)$$

$$F_H = 0,02 \cdot 1,65 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot 0,11 + 3,80) = 1,30 N$$

Kde: f_G – globální součinitel tření [–]

L_s – vzdálenost mezi osami bubnů [m]

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

2.5.3 VEDLEJŠÍ ODPORY**ODPORY SETRVAČNÝCH SIL V MÍSTĚ NAKLÁDÁNÍ A V OBLASTI URYCHLOVÁNÍ F_{bA} [N]**

$$F_{bA} = I_v \cdot \rho_{ocel} \cdot (v - v_0) \quad (7)$$

$$F_{bA} = 3,205 \cdot 10^{-5} \cdot 7801 \cdot (2,3 - 0) = 0,58 N$$

Kde: v_0 – složka rychlosti dopravované hmoty ve směru pohybu pásu [$m \cdot s^{-1}$]

ODPOR OHYBU PÁSŮ NA BUBNECH F_l [N]

$$F_l = 9 \cdot B_p \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{F_{pm}}{B_p} \right) \cdot \frac{t_p}{D_B} \quad (8)$$

$$F_l = 9 \cdot 0,65 \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{1000}{0,65} \right) \cdot \frac{0,0068}{0,24} = 25,78 N$$

Kde F_{pm} – zvolený průměrný tah v pásu na bubnu [N]

t_p – tloušťka dopravního pásu [m]

D_B – průměr bubnu [m]

ODPOR V LOŽISKÁCH HANANÉHO BUBNU F_t [N]

$$F_t = 0,005 \cdot F_T \cdot \frac{d_0}{D_B} \quad (9)$$

$$F_t = 0,005 \cdot 2500 \cdot \frac{0,025}{0,24} = 1,30 N$$

Kde: F_T – možný vektorový součet tahů v pásu na bubnu [N]

d_0 – navrhovaný průměr hřídele v ložisku [m]

VEDLEJŠÍ ODPORY F_N [N]

$$F_N = F_{bA} + F_l + F_t$$

$$F_N = 0,58 + 25,78 + 1,30 = 27,66N$$

(10)

2.5.4 NÁVRH POHONNÉHO A PŘEVODOVÉHO ÚSTROJÍ

OBVODOVÁ HNACÍ SÍLA DLE ISO 5048 F_U [N]

$$F_U = F_H + F_N$$

$$F_U = 1,30 + 27,66 = 28,96N$$

(11)

MAXIMÁLNÍ OBVODOVÁ SÍLA F_{Umax} [N]

$$F_{Umax} = F_U \cdot \xi$$

$$F_{Umax} = 28,96 \cdot 1,5 = 42,63N$$

(12)

Kde: ξ – součinitel rozběhu [–]

→ volím dle [15]

POTŘEBNÝ PROVOZNÍ VÝKON POHONU MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU P [W]

$$P = F_U \cdot v$$

$$P = 28,421 \cdot 2,3 = 65,368W$$

(13)

POŽADOVANÝ PROVOZNÍ VÝKON POHONU MAGNETICKÉHO SEPARÁTORU P [W]

$$P' = \frac{P}{\eta}$$

$$P' = \frac{65,368}{0,96} = 68,09W$$

(14)

Kde: η – účinnost převodu [–]

OTÁČKY BUBNU PRO ZADANOU DOPRAVNÍ RYCHLOST n_B [min^{-1}]

$$v = n_B \cdot \pi \cdot (D_B + 2 \cdot t_p) \rightarrow n_B = \frac{v}{\pi \cdot (D_B + 2 \cdot t_p)} \quad (15)$$

$$n_B = \frac{2,3}{\pi \cdot (0,24 + 2 \cdot 0,0068)} = 2,89 \text{ s}^{-1} = 173,4 \text{ min}^{-1}$$

PŘIBLIŽNÉ OTÁČKY ELEKTROMOTORU n'_{MOT} [s^{-1}]

$$i = \frac{n'_{MOT}}{n_B} \rightarrow n'_{MOT} = i \cdot n_B \quad (16)$$

$$n'_{MOT} = 3 \cdot 2,89 = 8,67 \text{ s}^{-1} = 520,2 \text{ min}^{-1}$$

Kde: i – navrhovaný převodový poměr [–]

ZVOLENÉ POHONNÉ A PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Motor pro pohon pásového dopravníku magnetického separátoru volím třífázový asynchronní značky Siemens s označením 1LA7090-8 [16]. Přenos výkonu z hřídele elektromotoru na hřídel hnacího bubnu bude realizován řemenem.

Výkon elektromotoru $P_{MOT} = 0,37 \text{ kW}$

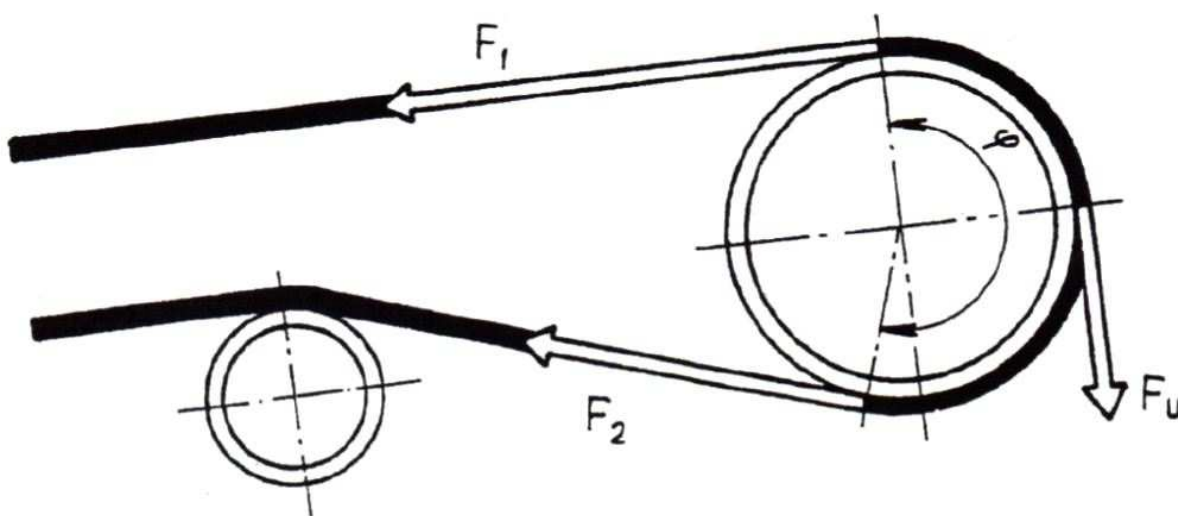
Otáčky hřídele elektromotoru $n_{MOT} = 675 \text{ min}^{-1}$



Obrázek 15 - Elektromotor Siemens řady 1LA7 [16]

2.5.5 TAHOVÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ V PÁSU A PŘENOS OBVODOVÉ HNACÍ SÍLY

Aby magnetický separátor plnil svou funkci správně, je nutné, aby tahy v pásu splňovaly dvě podmínky. Obvodové hnací síly z poháněného bubnu musejí být na pás přenášeny třením bez prokluzu a zároveň tah v pásu musí být dostatečný, aby nedocházelo k příliš velkému průvěsu mezi dvěma válečkovými stolicemi. Výpočet byl proveden podle ČSN ISO 5048 [15].



Obrázek 16 - Tahové síly v pásu [15]

PŘENOS OBVODOVÉ HNACÍ SÍLY NA POHÁNĚCÍM BUBNU $F_{2,min}$ [N]

$$F_{2,min} \geq F_{U,max} \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \varphi} - 1} \right) \quad (17)$$

$$F_{2,min} \geq 42,63 \cdot \left(\frac{1}{e^{0,35 \cdot 2,7925} - 1} \right) = 25,72 \text{ N}$$

Kde: φ – úhel opásání poháněcího bubnu [rad] → volím dle [15]

μ – součinitel tření mezi řemenicí a řemenem [–] → volím dle [15]

NEJVĚTŠÍ TAHOVÁ SÍLA V TAŽNÉ VĚTVI ŘEMENE F_{MAX} [N]

$$F_{MAX} \approx F_1 \approx F_U \cdot \xi \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \varphi} - 1} + 1 \right) \quad (18)$$

$$F_{MAX} \approx F_1 \approx 28,42 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{1}{e^{0,35 \cdot 2,7925} - 1} + 1 \right) = 68,35N$$

Kde: ξ – součinitel rozběhu [–] → volím dle [15]

SKUTEČNÝ TAH PÁSU F_{sk} [N]

Pro zajištění toho, aby pás neprokluzoval zvýší se hodnota napínací síly F_1 o 10%.

$$F_{sk} = F_1 \cdot 1,1 \quad (19)$$

$$F_{sk} = 68,35 \cdot 1,1 = 75,19N$$

KONTROLA PEVNOSTI PÁSU

$$R_{mp} \cdot B_p \geq F_{MAX} \quad (20)$$

$$315 \cdot 650 \geq 75,19$$

$$204750 \geq 75,19$$

Kde: R_{mp} – pevnost dopravního pásu [$N \cdot mm^{-1}$] → volím dle [11]

Podmínka je splněna, takže navržený pás vyhovuje.

2.5.6 NÁVRH ŘEMENOVÉHO PŘEVODU**SKUTEČNÝ PŘEVODOVÝ POMĚR i_{skut} [–]**

$$i_{skut} = \frac{n_{MOT}}{n_B} \quad (21)$$

$$i_{skut} = \frac{675}{173,4} = 3,89$$

PRŮMĚR VELKÉ ŘEMENICE D_p [mm]

$$D_p = d_p \cdot (1 - \nu) \cdot i_{skut} \quad (22)$$

$$D_p = 50 \cdot (1 - 0,02) \cdot 3,89 = 190,61 \text{ mm}$$

Dle [1] volím $D_p = 190 \text{ mm}$

Kde: d_p – průměr malé řemenice [–] → volím dle [1]

ν – relativní skluz [–] → volím dle [1]

PŘEDBĚŽNÁ OSOVÁ VZDÁLENOST ŘEMENOVÉHO PŘEVODU A' [mm]

$$0,7 \cdot (D_p + d_p) < A' < 2 \cdot (D_p + d_p) \quad (23)$$

$$0,7 \cdot (190,61 + 50) < A' < 2 \cdot (190,61 + 50)$$

$$168,42 \text{ mm} < A' < 481,22 \text{ mm}$$

→ volím $A' = 300 \text{ mm}$

ÚHEL OPÁSÁNÍ MALÉ ŘEMENICE α [°]

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{D_p - d_p}{2 \cdot A'} \rightarrow \alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2 \cdot A'} \right) \quad (24)$$

$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{190,61 - 50}{2 \cdot 300} \right) = 152^\circ 54' \doteq 160^\circ$$

ÚHEL SKLONU ŘEMENE γ [°]

$$\gamma = \frac{180^\circ - \alpha}{2} \quad (25)$$

$$\gamma = \frac{180^\circ - 160^\circ}{2} = 10^\circ$$

VÝPOČTOVÁ DÉLKA ŘEMENE L'_p [mm]

$$L'_p = 2 \cdot A' \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_p + d_p) + \frac{\pi - \gamma}{180^\circ} \cdot (D_p - d_p) \quad (26)$$

$$L'_p = 2 \cdot 300 \cdot \sin \frac{160^\circ}{2} + \frac{\pi}{2} \cdot (190,61 + 50) + \left(\frac{\pi - 10^\circ}{180^\circ} \right) \cdot (190,61 - 50) = 963,48 \text{ mm}$$

ZVOLENÁ DÁLKA ŘEMENE L_p [mm]

$$L_p = 1000 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{volím dle [1]}$$

KOEFICIENT ŘEMENOVÉHO PŘEVODU p [mm]

$$p = 0,25 \cdot L_p - 0,125 \cdot \pi \cdot (D_p + d_p) \quad (27)$$

$$p = 0,25 \cdot 1000 - 0,125 \cdot \pi \cdot (190,61 + 50) = 155,51 \text{ mm}$$

KOEFICIENT ŘEMENOVÉHO PŘEVODU q [mm]

$$q = 0,125 \cdot (D_p - d_p)^2 \quad (28)$$

$$q = 0,125 \cdot (190,61 - 50)^2 = 2471,40 \text{ mm}$$

SKUTEČNÁ OSOVÁ VZDÁLENOST ŘEMENIC A [mm]

$$A = p + \sqrt{p^2 - q} \quad (29)$$

$$A = 155,51 + \sqrt{155,51^2 - 2471,40} = 302,86 \text{ mm}$$

POČET ŘEMENŮ K [-]

$$K = \frac{P_{MOT} \cdot c_p}{P_j \cdot c_\alpha \cdot c_L \cdot c_K} \quad (30)$$

$$K = \frac{370 \cdot 1,4}{300 \cdot 0,95 \cdot 1,08 \cdot 0,95} = 1,77$$

\rightarrow volím $K = 2$

Kde: c_α – součinitel úhlu opásání [-] \rightarrow volím dle [1]

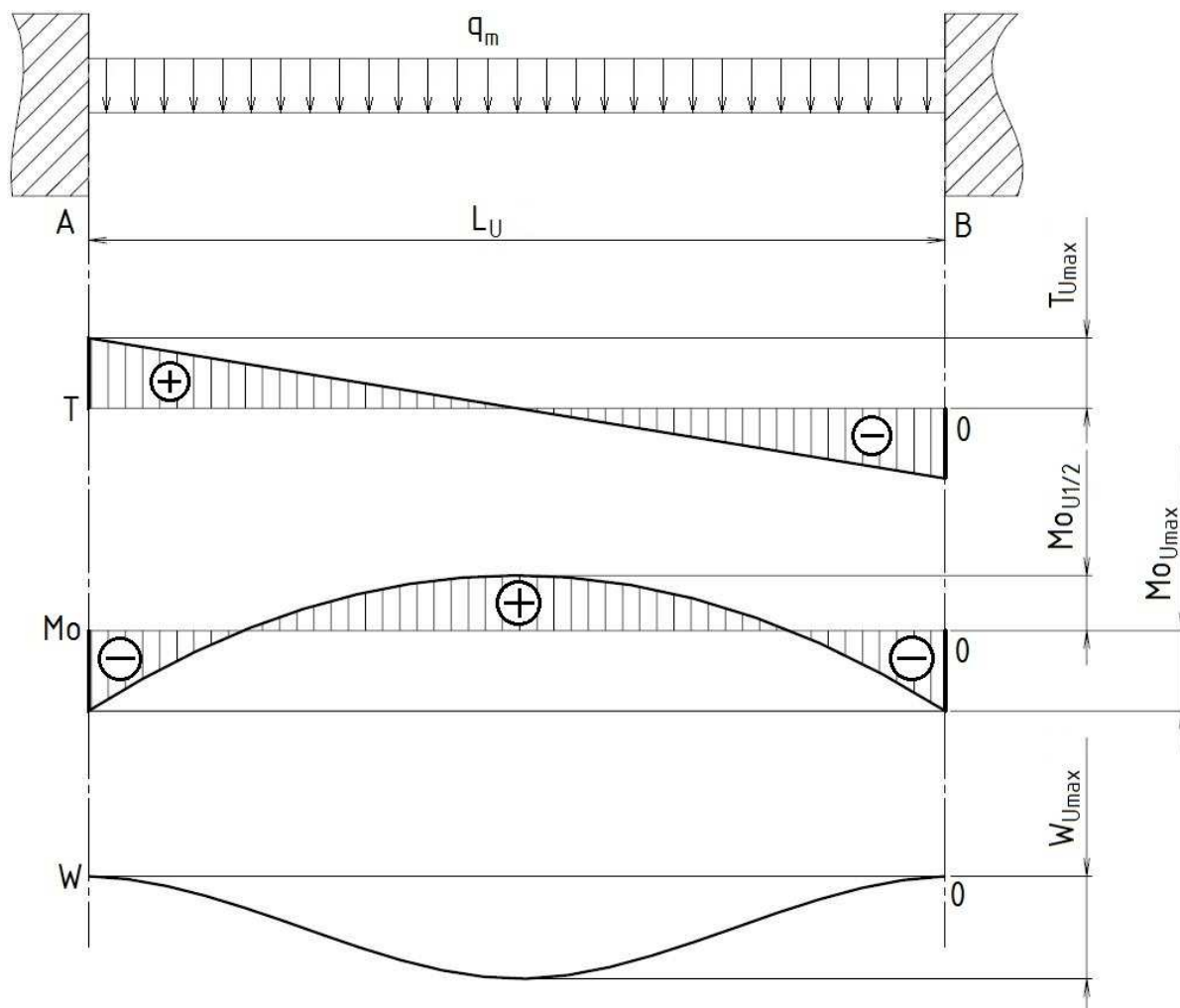
c_p – součinitel dynamičnosti zařízení a pracovního režimu [-] \rightarrow volím dle [1]

c_L – součinitel vlivu délky řemene [-] → volím dle [1]

c_K – součinitel počtu řemenů v převodu [-] → volím dle [1]

P_j – jmenovitý výkon převodu [W] → volím dle [1]

2.6 PEVNOSTNÍ VÝPOČET



Obrázek 17 - VVÚ od spojitého liniového zatížení

2.6.1 PEVNOSTNÍ KONTROLA RÁMU**SPOJITÉ LINIOVÉ ZATÍŽENÍ OD SESTAVY MAGNETŮ PŮSOBÍCÍ NA SPOJNICI U $q_m [N \cdot m^{-1}]$**

$$q_m = \frac{F_q}{L_U} \quad (31)$$

$$q_m = \frac{3000}{0,8} = 3750 N \cdot m^{-1}$$

Kde: F_q – síla od spojitého liniového zatížení [N] L_U – délka spojnice U [m]**MAXIMÁLNÍ POSOUVAJÍCÍ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA SPOJNICI U $T_{Umax} [N]$**

$$T_{Umax} = T_A = -T_B = \frac{q_m \cdot L_U}{2} \quad (32)$$

$$T_{Umax} = T_A = T_B = \frac{3750 \cdot 0,8}{2} = 1500 N$$

MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA SPOJNICI U $Mo_{Umax} [N \cdot m]$

$$Mo_{Umax} = M_A = M_B = \frac{q_m \cdot L_U^2}{12} \quad (33)$$

$$Mo_{Umax} = M_A = M_B = \frac{3750 \cdot 0,8^2}{12} = 200 N \cdot m$$

OHYBOVÝ MOMENT PŮSOBÍCÍ UPROSTŘED SPOJNICE U $Mo_{U1/2} [N \cdot m]$

$$Mo_{U1/2} = \frac{q_m \cdot L_U^2}{24} \quad (34)$$

$$Mo_{U1/2} = \frac{3750 \cdot 0,8^2}{24} = 100 N \cdot m$$

OHYBOVÉ NAPĚTÍ V RÁMU σ_{oU} [MPa]

$$\sigma_{oU} = \frac{M_{oU \max} \cdot \alpha_{oU}}{W_{oU}} \quad (35)$$

$$\sigma_{oU} = \frac{200000 \cdot 1,3}{6360} = 40,88 \text{ MPa}$$

Kde: α_{oU} – součinitel koncentrace napětí v ohybu [–]

W_{oU} – modul průřezu v ohybu pro U 80 [mm^3] → volím dle [1]

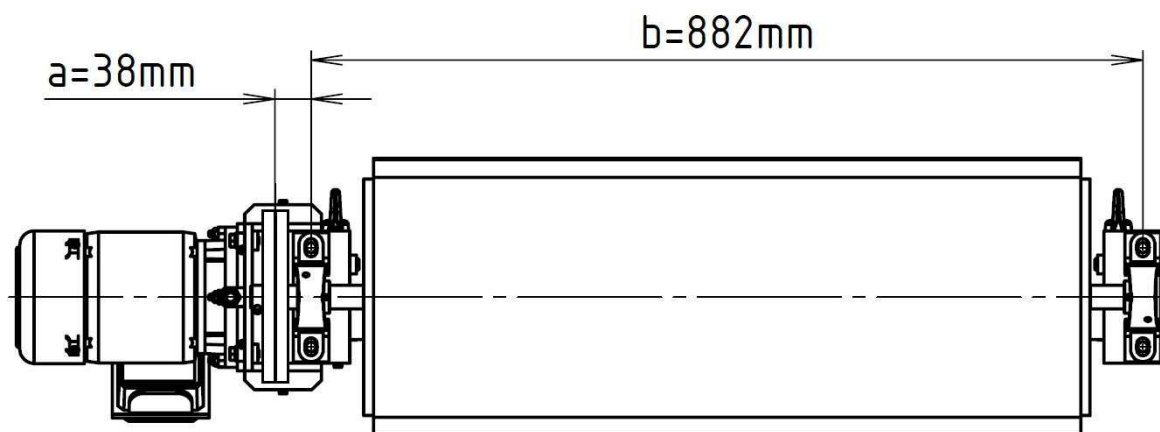
MAXIMÁLNÍ PRŮHYB RÁMU

$$W_{U \max} = \frac{q_m \cdot L_U^4}{384 \cdot E \cdot J_U} \quad (36)$$

$$W_{U \max} = \frac{3,75 \cdot 800^4}{384 \cdot 207 \cdot 10^3 \cdot 194000} = 0,0996 \text{ mm}$$

Kde: E – modul pružnosti oceli v tahu [MPa]

J_U – kvadratický moment v ohybu pro U 80 [mm^4] → volím dle [1]

2.6.2 PEVNOSTNÍ KONTROLA HŘÍDELE HNACÍHO BUBNU

Obrázek 18 - Schéma magnetického separátoru

SÍLA OD VLASTNÍ HMOTNOSTI BUBNU F_{BG} [N]

$$F_{BG} = m_B \cdot g \quad (37)$$

$$F_{BG} = 32,7 \cdot 9,81 = 320,79 N$$

Kde: g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

OBVODOVÁ RYCHLOST MALÉ ŘEMENICE v_{rem} [$m \cdot s^{-1}$]

$$v_{rem} = \frac{n_{MOT} \cdot d_p}{19100} \quad [1] \quad (38)$$

$$v_{rem} = \frac{675 \cdot 50}{19100} = 1,77 m \cdot s^{-1}$$

OBVODOVÁ SÍLA F [N]

$$F = \frac{102 \cdot P_{MOT} \cdot g}{v_{rem}} \quad [1] \quad (39)$$

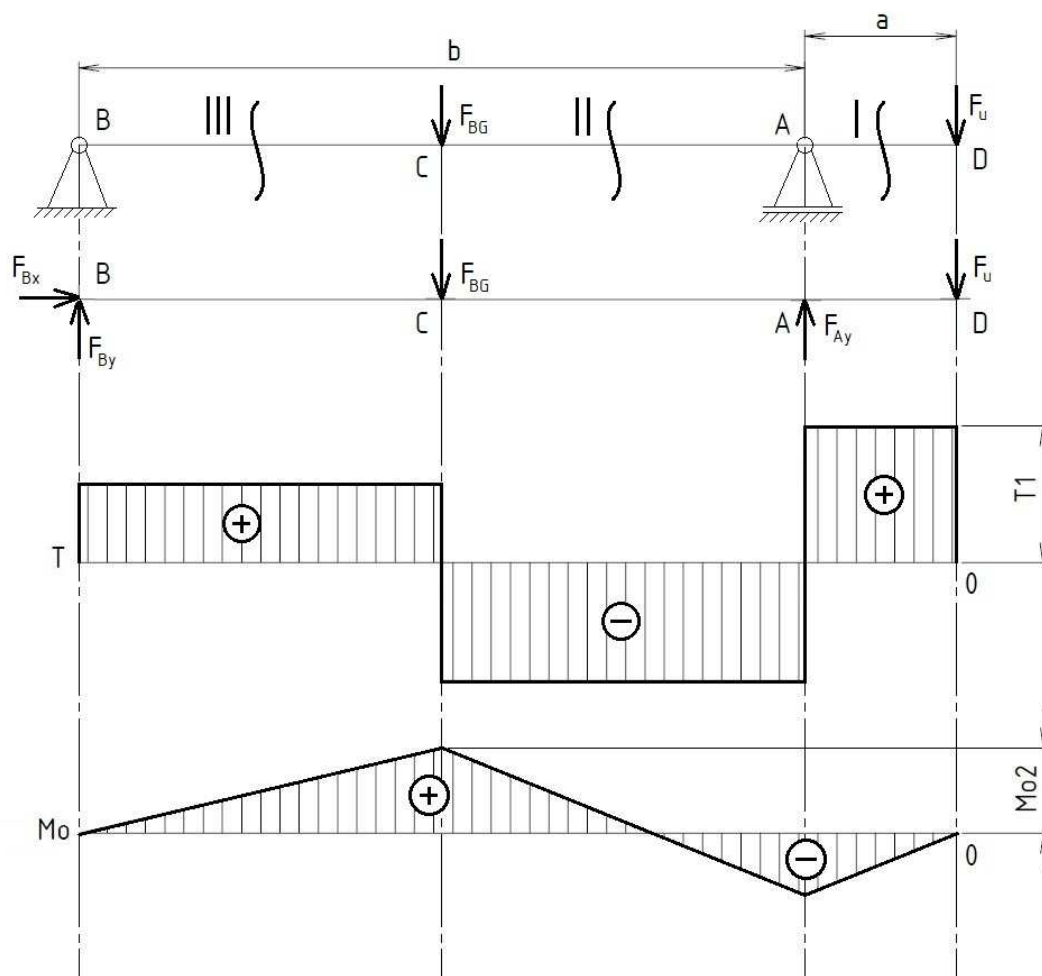
$$F = \frac{102 \cdot 0,37 \cdot 9,81}{1,77} = 209,17 N$$

SÍLA OD ŘEMENOVÉHO PŘEVODU PŮSOBÍCÍ NA HŘÍDEL BUBNU F_u [N]

$$F_u = (1,5 \div 2) \cdot F \quad (40)$$

$$F_u = 2 \cdot 209,17 = 418,34 N$$

REAKCE V LOŽISKÁCH



Obrázek 19 - VVÚ hřídele hnacího bubnu

SUMA SIL V OSE X $\sum F_X$

$$\sum F_X = 0 : F_{Bx} = 0$$

(41)

Kde: F_{Bx} – axiální síla v ložisku B [N]SUMA SIL V OSE Y $\sum F_Y$

$$\sum F_Y = 0 : F_{By} - F_{BG} - F_u + F_{Ay} = 0$$

$$F_{By} = F_{BG} - F_{Ay} + F_u$$

(42)

$$F_{By} = 320,79 - 596,76 + 418,34 = 142,37 \text{ N}$$

Kde: F_{By} – radiální síla v ložisku B [N] F_{Ay} – radiální síla v ložisku A [N]

SUMA MOMENTŮ K BODU B $\sum M_B$

$$\sum M_B = 0 : (F_{Ay} \cdot b) - F_u \cdot (a + b) - F_{BG} \cdot \frac{b}{2} = 0$$

$$F_{Ay} = \frac{F_{BG} \cdot \frac{b}{2} + F_u \cdot (a + b)}{b} \quad (43)$$

$$F_{Ay} = \frac{320,79 \cdot \frac{882}{2} + 418,34 \cdot (38 + 882)}{882} = 596,76 N$$

Kde: a – vzdálenost mezi osou ložiska a řemenicí [m]

b – vzdálenost mezi osami ložisek [m]

POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 1 T_1 [N]

$$\sum F_{Y1} = 0 : T_1 - F_u = 0 \quad (44)$$

$$T_1 = F_u = 418,34 N$$

OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 1 Mo_1 [N · m]

$$x_1 \in \langle 0, a \rangle$$

$$\sum M_i = 0 : Mo_1 + F_u \cdot x_1 = 0 \quad (45)$$

$$Mo_1 = -F_u \cdot x_1 = -418,34 \cdot 0,082 = -34,30 N \cdot m$$

Kde: a – vzdálenost mezi osou ložiska a řemenicí [m]

POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 2 T_2 [N]

$$\sum F_{Y2} = 0 : T_2 + F_{Ay} - F_u = 0 \quad (46)$$

$$T_2 = F_u - F_{Ay} = 418,34 - 596,76 = -178,42 N$$

OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 2 M_{o_2} [$N \cdot m$]

$$x_2 \in \left\langle 0, \frac{b}{2} \right\rangle$$

$$\sum M_{i_2} = 0: Mo_2 - F_{Ay} - F_u \cdot \left(a + \frac{b}{2} \right) = 0 \quad (47)$$

$$Mo_2 = F_{Ay} \cdot x_2 - F_u \cdot (a + x_2)$$

$$Mo_2 = 596,76 \cdot \frac{0,882}{2} - 418,34 \cdot \left(0,038 + \frac{0,882}{2} \right) = 62,79 N \cdot m$$

Kde: b – vzdálenost mezi osami ložisek [m]

POSOUVAJÍCÍ SÍLA V ŘEZU 3 T_3 [N]

$$\sum F_{Y3} = 0: T_3 + F_{Ay} - F_u - F_{BG} = 0$$

$$T_3 = F_{BG} + F_u - F_{Ay} \quad (48)$$

$$T_3 = 320,79 + 418,34 - 596,76 = 142,37 N$$

OHYBOVÝ MOMENT V ŘEZU 3 M_{o_3} [$N \cdot m$]

$$x_3 \in \left\langle 0, \frac{b}{2} \right\rangle$$

$$\sum M_{i_3} = 0: Mo_3 + F_{BG} \cdot x_3 - F_{Ay} \cdot \left(\frac{b}{2} + x_3 \right) + F_u \cdot \left(a + \frac{b}{2} + x_3 \right) = 0$$

$$Mo_3 = F_{Ay} \cdot \left(\frac{b}{2} + x_3 \right) - F_u \cdot \left(a + \frac{b}{2} + x_3 \right) - F_{BG} \cdot x_3$$

$$Mo_3 = 596,76 \cdot \left(\frac{0,882}{2} + \frac{0,882}{2} \right) - 418,34 \cdot \left(0,038 + \frac{0,882}{2} + \frac{0,882}{2} \right) - 320,79 \cdot \frac{0,882}{2} = 0 N \cdot m \quad (49)$$

KROUTÍCÍ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA BUBEN M_{kB} [$N \cdot m$]

$$M_{kB} = \frac{P_{MOT} \cdot D_B}{2 \cdot v} \quad (50)$$

$$M_{kB} = \frac{370 \cdot 0,24}{2 \cdot 2,3} = 19,30 N \cdot m$$

2.6.3 URČENÍ MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU HŘÍDELE DLE HMH d'_{min} [mm]

Hřídel bude vyrobený z oceli 11 600, která byla zvolena dle [4]

$$\begin{aligned} \frac{R_e}{k_n} = \sigma_{RED} &= \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{\left(\frac{M_o \cdot \alpha_\sigma}{W_o}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{M_k \cdot \alpha_\tau}{W_k}\right)^2} \\ \sigma_{RED} &= \sqrt{\left(\frac{32 \cdot M_{o2} \cdot \alpha_{\sigma 1}}{\pi \cdot d'_{min}{}^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{16 \cdot M_{kB} \cdot \alpha_{\tau 1}}{\pi \cdot d'_{min}{}^3}\right)^2} \rightarrow d'_{min} \\ d'_{min} &= \sqrt[6]{\frac{k_n^2 \cdot (1024 \cdot M_{o2}^2 \cdot \alpha_{\sigma 1}^2 + 768 \cdot M_{kB}^2 \cdot \alpha_{\tau 1}^2)}{\pi^2 \cdot R_{e1}^2}} \\ d'_{min} &= \sqrt[6]{\frac{2^2 \cdot (1024 \cdot 62,79^2 \cdot 1,6^2 + 768 \cdot 19,3^2 \cdot 3^2)}{\pi^2 \cdot (325 \cdot 10^6)^2}} = 0,0192m = 19,2mm \end{aligned} \quad (51)$$

Volím minimální průměr hřídele bubnu $d_{min} = 25 \text{ mm}$

Kde: M_o – ohybový moment [MPa]

M_k – krouticí moment [MPa]

M_{kB} – krouticí moment působící na bubnu [N.m]

R_e – mez kluzu [MPa]

R_{e1} – mez kluzu pro ocel 11 600 [MPa]

k_n – návrhový součinitel [-] \rightarrow volím dle [1]

α_σ – součinitel koncentrace napětí pro ohyb [-]

$\alpha_{\sigma 1}$ – součinitel koncentrace napětí pro ohyb v řezu 1 [-] \rightarrow volím dle [1],[3]

α_τ – součinitel koncentrace napětí pro krut [-]

$\alpha_{\tau 1}$ – součinitel koncentrace napětí pro krut v řezu 1 [-] \rightarrow volím dle [1],[3]

σ_{RED} – redukované napětí dle HMH [MPa]

τ_k – napětí od krutu [MPa]

τ_{k1} – napětí od krutu v řezu 1 [MPa]

σ_o – ohybové napětí [MPa]

σ_{o1} – ohybové napětí v řezu 1 [MPa]

W_o – průřezový modul v ohybu [mm³]

W_k – průřezový modul v krutu [mm⁴]

2.6.4 PRŮHYB OSY HŘÍDELE

KVADRATICKÝ MOMENT PRŮŘEZU J_{y1} [mm⁴]

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi \cdot d_{\min}^4}{64} \quad (52)$$

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi \cdot 25^4}{64} = 19174,76 \text{ mm}^4$$

MAXIMÁLNÍ PRŮHYB OSY HŘÍDELE y_{\max} [mm]

$$y_{\max} = \frac{F_{Ay} \cdot b^2}{8 \cdot E \cdot J_{y1}} \left[(a+b) - \frac{3}{4} \cdot b \right] \quad (53)$$

$$y_{\max} = \frac{596,76 \cdot 882^2}{8 \cdot 207000 \cdot 19174,76} \cdot \left[(882 + 38) - \frac{3}{4} \cdot 882 \right] = 1,89 \text{ mm}$$

DOVOLENÝ PRŮHYB OSY HŘÍDELE y_{DOV} [mm]

$$y_{dov} = \frac{a+b}{3000} \quad (54)$$

$$y_{dov} = \frac{38+882}{3000} = 0,31 \text{ mm}$$

PODMÍNKA SPRÁVNOSTI PRŮHYBU

$$y_{dov} > y_{\max} \quad (55)$$

$$0,31 < 1,89$$

Z této podmínky vyplývá, že při průměru hřídele $d_{\min} = 25$ mm je průhyb několikanásobně větší, než je dovolený. Proto zvýšíme průměr hřídele na $d_{\min} = 40$ mm, což je běžný průměr hřídele dodávaného s bubnem.

KVADRATICKÝ MOMENT PRŮŘEZU J_{y2} [mm^4]

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi \cdot d_{\min}^4}{64} \quad (56)$$

$$J_{y1} = J_{z1} = \frac{\pi \cdot 40^4}{64} = 125600 mm^4$$

MAXIMÁLNÍ PRŮHYB OSY HŘÍDELE $y_{\max 2}$ [mm]

$$y_{\max 2} = \frac{F_{Ay} \cdot b^2}{8 \cdot E \cdot J_{y1}} \left[(a + b) - \frac{3}{4} \cdot b \right] \quad (57)$$

$$y_{\max 2} = \frac{596,76}{8 \cdot 207000 \cdot 125600} \cdot 882^2 \cdot \left[(882 + 38) - \frac{3}{4} \cdot 882 \right] = 0,29 mm$$

PODMÍNKA SPRÁVNOSTI PRŮHYBU

$$y_{dov} > y_{\max 2} \quad (58)$$

$$0,31 > 0,29$$

Nyní je již maximální průhyb hřídele menší, než je dovolený, takže hřídel z hlediska průhybu vyhovuje.

2.6.5 VÝPOČET REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ DLE HMH**MODUL PRŮŘEZU V OHYBU V ŘEZU 1 W_{o1} [mm^3]**

$$W_{o1} = \frac{\pi \cdot d_{\min}^3}{32} \quad (59)$$

$$W_{o1} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,98 mm^3$$

OHYBOVÉ NAPĚTÍ V ŘEZU 1 σ_{o1} [MPa]

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} \cdot \alpha_{\sigma} = \frac{32 \cdot M_{o1}}{\pi \cdot d_{\min}^3} \cdot \alpha_{\sigma 1} \quad (60)$$

$$\sigma_{o1} = \frac{32 \cdot (-34300)}{\pi \cdot 25^3} \cdot 1,6 = -35,78 \text{ MPa}$$

KVADRATICKÝ MOMENT V ŘEZU 1 W_{k1} [mm⁴]

$$W_{k1} = \frac{\pi \cdot d_{\min}^4}{64} \quad (61)$$

$$W_{k1} = \frac{\pi \cdot 25^4}{64} = 19174,76 \text{ mm}^4$$

NAPĚTÍ OD KRUTU V ŘEZU 1 τ_{k1} [MPa]

$$\tau_{k1} = \frac{M_{kB}}{W_{k1}} \cdot \alpha_{\tau 1} \quad (62)$$

$$\tau_{k1} = \frac{19300}{19174,76} \cdot 3 = 3,02 \text{ MPa}$$

REDUKOVANÉ NAPĚTÍ DLE HMH σ_{RED1} [MPa]

$$\sigma_{RED1} = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 3 \cdot \tau_{k1}^2} \quad (63)$$

$$\sigma_{RED1} = \sqrt{(-35,78)^2 + 3 \cdot 3,02^2} = 36,16 \text{ MPa}$$

2.6.6 KONTROLA A NÁVRH PERA**DOVOLENÝ TLAK V BOCÍCH DRÁŽEK V NÁBOJI p_D [MPa]**

$$p_D = 0,7 \cdot p_0 \quad (64)$$

$$p_D = 0,7 \cdot 90 = 63 \text{ MPa}$$

Kde: p_0 – základní hodnota tlaku pro náboj [MPa]

→ volím dle [1]

OBVODOVÁ SÍLA NA POVRCHU HŘÍDELE F_{Mk} [N]

$$F_{Mk} = \frac{2 \cdot M_{kB}}{d_{\min}} \quad (65)$$

$$F_{Mk} = \frac{2 \cdot 19300}{25} = 1544 \text{ N}$$

DÉLKA DRÁŽKY PRO PERO l'_p [mm]

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot M_{kB}}{t_1 \cdot l'_p \cdot d_{\min}} \leq p_D \rightarrow l'_p = \frac{2 \cdot M_{kB}}{t_1 \cdot p_D \cdot d_{\min}} \quad (66)$$

$$l'_p = \frac{2 \cdot 19300}{2,9 \cdot 63 \cdot 25} = 8,45 \text{ mm}$$

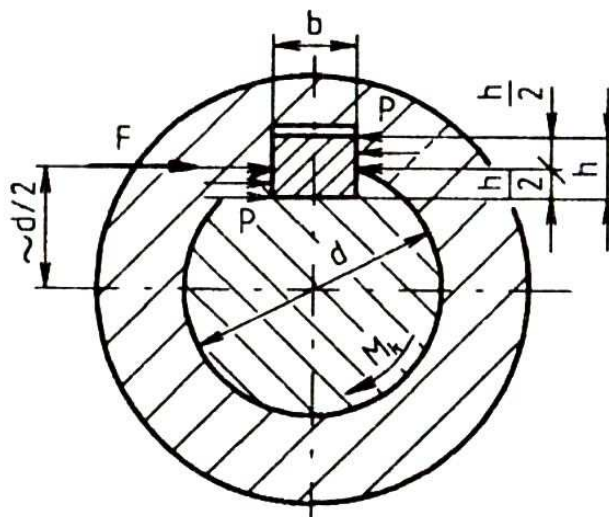
Volím $l_p = 22 \text{ mm}$ dle [1]

Kde: t_1 – hloubka drážky pro pero v náboji [mm]

→ volím dle [1]

ZVOLENÉ PERO

Dle [1] volím pero 8e7 x 7 x 22 ČSN 02 2562



Obrázek 20 - Namáhání těsného pera [3]

2.6.7 TRVANLIVOST LOŽISEK

Pro otočné uchycení obou bubnů k rámu je zapotřebí celkem 4 ložisek. Jsou zde použity tzv. domečková ložiska, neboli ložiskové komplety. Ty se skládají z domečku a samotného ložiska. Jsou použity dva typy kompletů, obě s kuličkovými ložisky. Prvním typem jsou stojaté ložiskové komplety, ve kterých je uložen hřídel hnacího bubnu. Druhým typem jsou přírubové komplety, ve kterých je uložen hřídel vratného bubnu.



Obrázek 21 - Stojatý ložiskový komplet [17]



Obrázek 22 - Přírubový ložiskový komplet [17]

DOVOLENÉ NATOČENÍ STŘEDNICE V LOŽISKÁCH φ_l [rad]

$$\varphi_l = 5^\circ = 0,087 \text{ rad} \quad (67)$$

Ložiska jsou dle [17] schopná vyrovnávat naklopením montážní nepřesnosti až do hodnoty φ_l .

TRVANLIVOST LOŽISKA A V HODINÁCH L_H [hod]

$$L_H = \left(\frac{C}{F_{Ay} \cdot a_f} \right)^{a'} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_B} \quad (68)$$

$$L_H = \left(\frac{16000}{596,76 \cdot 1,2} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 173,4} = 1072054,22 \text{ hod}$$

Kde: C – základní dynamická únosnost [N] → volím dle [17]

a_f – provozní součinitel pro aplikaci u strojů s malými rázy [–] → volím dle [5]

a' – exponent pro ložiska s bodovým stykem [–] → volím dle [5]

TRVANLIVOST LOŽISKA A V OTÁČKÁCH L_{Ho} [ot]

$$L_{Ho} = \left(\frac{C}{F_{Ay} \cdot a_f} \right)^{a'} \cdot 10^6 \quad (69)$$

$$L_{Ho} = \left(\frac{16900}{596,76 \cdot 1,2} \right)^3 \cdot 10^6 = 1,31 \cdot 10^{10} \text{ ot}$$

PODMÍNKA TRVANLIVOSTI LOŽISEK

$$L_D < L_H \quad (70)$$

$$25000 < 1072054$$

Kde: L_D – požadovaná trvanlivost ložisek [hod] \rightarrow volím dle [5]

Vypočtená hodnota trvanlivosti je vyšší, než požadovaná, takže podmínka byla splněna.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo cílem navrhnout pásový magnetický separátor s permanentními magnety dle zadaných parametrů.

V první části je obsažena rešerši obsahující přehled podobných zařízení a popis funkce jednotlivých druhů magnetického separátoru. Ve druhé části je proveden samotný koncepční návrh magnetického separátoru, který obsahuje návrh pohonu, převodového ústrojí, výpočet odporů, pevnostní kontroly rámu a hřídele hnacího bubnu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [2] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988.
- [3] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
- [4] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-751-2.
- [5] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [6] *Magnetické separátory*: [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/magneticke-separatory/>
- [7] *Magnetické separátory*: [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.blsmagnet.com/en/your-industry/waste-management-recycling>
- [8] *Magnetické separátory*: [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.sollau.cz/cs-21-magnety-a-magneticke-separatory.html>
- [9] *Magnetické separátory*: [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.blsmagnet.com/en/products/industrial-applications/magnetic-separation>
- [10] *Bubny: GTK* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.gktupesy.cz/index.php?page=bubny&language=cz>
- [11] *Dopravníkové pásy: Gumex* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/ep250-2-y-pryzove-pasy-pro-vseobecne-pouziti-53933.html>
- [12] *Magnetické materiály* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/magneticke-materialy/>
- [13] *Magnety*: [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.magnet-pro.cz/index.php/magnety-neodmytove-ndfbc>
- [14] *Silentbloky*: [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.rubena.cz/underwood/download/files/silentbloky_2014.pdf
- [15] ČSN ISO 5048. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů: Pásové dopravníky s nosnými válečky*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [16] *Elektromotor*: [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-750-otacek/1la7-090-8ab.html>

- [17] *Domečková ložiska*: [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.korbel-loziska.cz/sortiment/domeckova-loziska-2>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[m]; [mm]	Skutečná osová vzdálenost řemenic
a	[m]; [mm]	Vzdálenost mezi osou ložiska a řemenicí
A'	[m]; [mm]	Předběžně zvolená osová vzdálenost řemenového převodu
a'	[-]	Exponent pro ložiska s bodovým stykem (kuličková)
a _f	[-]	Provozní součinitel pro aplikaci u strojů s malými rázy
b	[m]; [mm]	Vzdálenost mezi osami ložisek
B _m	[m]; [mm]	Šířka magnetu
b _p	[m]; [mm]	Užitečná šířka dopravního pásu
B _p	[m]; [mm]	Šířka dopravního pásu
C	[N]	Základní dynamická únosnost pro SY 30 TF a FY 30 TF
c _K	[-]	Součinitel počtu řemenů v převodu
c _L	[-]	Součinitel vlivu délky řemene
c _p	[-]	Součinitel dynamičnosti zařízení a pracovního režimu
c _α	[-]	Součinitel úhlu opásání
d ₀	[m]; [mm]	Navrhovaný průměr hřídele v ložisku
D _B	[m]; [mm]	Průměr bubnu
d _{min}	[m]; [mm]	Minimální průměr hřídele bubnu dle HMH
d' _{min}	[m]; [mm]	Výpočtový minimální průměr dle HMH
D _p	[m]; [mm]	Průměr velké řemenice
d _p	[m]; [mm]	Průměr malé řemenice
e	[-]	Eulerovo číslo
E	[MPa]	Modul pružnosti oceli v tahu
F	[N]	Obvodová síla
F ₁	[N]	Největší tahová síla v tažné větvi řemene
F _{2,min}	[N]	Přenos obvodové síly na poháněcí bubnu
F _{Ay}	[N]	Radiální síla v ložisku A
F _{ba}	[N]	Odpory setrvačných sil v místě nakládání a v oblasti urychlování
F _{BG}	[N]	Síla od vlastní hmotnosti bubnu
F _{By}	[N]	Radiální síla v ložisku B
F _H	[N]	Hlavní odpory
F _l	[N]	Odpor ohybu pásu na bubnech
F _{MAX}	[N]	Největší tahová síla v tažné větvi řemene
F _{Mk}	[N]	Obvodová síla na povrchu hřídele
F _{pm}	[N]	Zvolený průměrný tah v pásu na bubnu
F _q	[N]	Síla od spojitého liniového zatížení
F _{q1}	[N]	Liniové zatížení spojnice U
F _{sk}	[N]	Skutečný tah pásu
F _T	[N]	Možný vektorový součet tahů v pásu na bubnu
F _t	[N]	Vedlejší odpory
F _U	[N]	Obvodová hnací síla dle ISO 5048
F _u	[N]	Síla od řemenového převodu působící na hřídel bubnu
F _{Umax}	[N]	Maximální obvodová síla
F _x	[N]	Síly v ose x
F _y	[N]	Síly v ose y
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
h _m	[m]; [mm]	Výška magnetu
i	[-]	Navrhovaný převodový poměr

i_m	[ks]	Počet magnetů
I_m	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní dopravní výkon
$I_{m\text{plast}}$	[kg·s ⁻¹]	Hmotnostní dopravní výkon plastu na pásovém dopravníku
i_{skut}	[-]	Skutečné převodové číslo
I_v	[m ³ ·s ⁻¹]	Objemový dopravní výkon
J_U	[m ⁴]; [mm ⁴]	Kvadratický moment v ohybu pro U 80
J_{y1}	[m ⁴]; [mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu
J_{y2}	[m ⁴]; [mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu
J_{z1}	[m ⁴]; [mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu
K	[-]	Počet řemenů
k_n	[-]	Návrhový součinitel
k_p	[-]	Součinitel sklonu pásu
L_B	[m]; [mm]	Délka pláště bubnu
L_D	[hod]	Požadovaná trvanlivost ložisek
L_H	[hod]	Trvanlivost ložiska A v hodinách
L_{Ho}	[ot]	Trvanlivost ložiska A v otáčkách
L_m	[m]; [mm]	Délka magnetu
L_p	[m]; [mm]	Zvolená délka řemene
L'_p	[m]; [mm]	Výpočtová délka řemene
l'_p	[m]; [mm]	Délka drážky pro pero
L_s	[m]; [mm]	Vzdálenost mezi osami bubnu
L_U	[m]; [mm]	Délka spojnice U
M_A	[N·m]	Ohybový moment působící v bodě A
m_B	[kg]	Hmotnost bubnu
M_B	[N·m]	Ohybový moment působící v bodě B
M_k	[MPa]	Krouticí moment
M_{kB}	[N·mm]	Krouticí moment působící na buben
m_m	[kg]	Hmotnost jednoho magnetu
m_{mcelk}	[kg]	Celková hmotnost magnetů
M_o	[MPa]	Ohybový moment
M_{o1}	[N·m]	Ohybový moment v řezu 1
M_{o2}	[N·m]	Ohybový moment v řezu 2
M_{o3}	[N·m]	Ohybový moment v řezu 3
$M_{oU1/2}$	[N·m]	Ohybový moment působící uprostřed spojnice U
$M_{oU\text{max}}$	[N·m]	Maximální ohybový moment působící na spojnici U
m_p	[kg·m ⁻²]	Hmotnost dopravního pásu
n_B	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]	Otáčky bubnu pro zadanou dopravní rychlost
n_{MOT}	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]	Otáčky hřídele elektromotoru
n'_{MOT}	[s ⁻¹]; [min ⁻¹]	Přibližné otáčky elektromotoru
P	[W]	Potřebný provozní výkon pohonu magnetického separátoru
p	[m]; [mm]	Koeficient řemenového převodu
P'	[W]	Požadovaný výkon elektromotoru magnetického separátoru
p_D	[MPa]	Dovolený tlak a bocích drážek v náboji
P_j	[W]	Jmenovitý výkon převodu
P_{MOT}	[W]	Výkon elektromotoru
q	[m]; [mm]	Koeficient řemenového převodu
q_B	[kg·m ⁻¹]	Hmotnost jednoho metru dopravního pásu
q_G	[kg·m ⁻¹]	Hmotnost dopravovaného materiálu na jeden metr pásu
q_m	[kN·m ⁻¹]	Spojité liniové zat. od sest. magnetů půs. na spojnici U

R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_{e1}	[MPa]	Mez kluzu pro ocel 11 600
R_{mp}	[N·mm ⁻¹]	Pevnost dopravního pásu
T_1	[N]	Posouvající síla v řezu 1
t_1	[m]; [mm]	Hloubka drážky pro pero v náboji
T_2	[N]	Posouvající síla v řezu 2
T_3	[N]	Posouvající síla v řezu 3
t_p	[m]; [mm]	Tloušťka dopravního pásu
T_{Umax}	[N]; [kN]	Maximální posouvající síla působící na spojnici U
v	[m·s ⁻¹]	Dopravní rychlost
v_0	[m·s ⁻¹]	Složka rychlosti doprav. hmoty ve směru pohybu pásu
v_{rem}	[m·s ⁻¹]	Obvodová rychlost malé řemenice
W_k	[m ⁴]; [mm ⁴]	Průřezový modul v krutu
W_{k1}	[m ⁴]; [mm ⁴]	Kvadratický moment v řezu 1
W_o	[m ³]; [mm ³]	Průřezový modul v ohybu
W_{o1}	[m ³]; [mm ³]	Modul průřezu v ohybu v řezu 1
W_{oU}	[m ³]; [mm ³]	Modul průřezu v ohybu pro U 80
w_{Umax}	[m]; [mm]	Maximální průhyb rámu
y_{dov}	[m]; [mm]	Dovolený průhyb osy hřídele
y_{max}	[m]; [mm]	Maximální průhyb osy hřídele
y_{max2}	[m]; [mm]	Maximální průhyb osy hřídele
α	[°]	Úhel opásání malé řemenice
α_{oU}	[-]	Součinitel koncentrace napětí v ohybu
α_σ	[-]	Součinitel koncentrace napětí pro ohyb
$\alpha_{\sigma1}$	[-]	Součinitel koncentrace napětí pro ohyb v řezu 1
α_τ	[-]	Součinitel koncentrace napětí pro krut
$\alpha_{\tau1}$	[-]	Součinitel koncentrace napětí pro krut v řezu 1
γ	[°]	Úhel sklonu řemene
η	[-]	Účinnost převodu
μ	[-]	Součinitel tření mezi řemenicí a řemenem
ξ	[-]	Součinitel rozběhu
ρ_{ocel}	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost oceli
ρ_{plast}	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost plastu
σ_o	[MPa]	Ohybové napětí
σ_{o1}	[MPa]	Ohybové napětí v řezu 1
σ_{oU}	[MPa]	Ohybové napětí v rámu
σ_{RED}	[MPa]	Redukované napětí dle HMM
σ_{RED1}	[MPa]	Redukované napětí dle HMM
τ_k	[MPa]	Napětí od krutu
τ_{k1}	[MPa]	Napětí od krutu v řezu 1
ν	[-]	Relativní skluz
φ	[rad]	Úhel opásání poháněcího bubnu
φ_l	[rad]	Dovolené natočení střednice v ložiskách
f_G	[-]	Globální součinitel tření

SEZNAM PŘÍLOH

- Výkres sestavy: MAGNETICKÝ SEPARÁTOR 3pSSZ/2-01/00
- Výkres svarku: RÁM 3pSSZ/2-01/01
- Výrobní výkres: HŘÍDEL HNACÍHO BUBNU 3pSSZ/2-01/00