

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Magnetické separátory pro vyšší průtoky kapaliny

Autor: **Radek FLORIAN**  
Vedoucí práce: **Ing. Martin KOPECKÝ**  
Konzultant: **Ing. Petr VLČEK**

Akademický rok 2015/2016

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Martinovi Kopeckému za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této práce. Dále děkuji Ing. Petru Vlčkovi za poskytnuté informace a konzultace.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Florian	Jméno Radek	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 “Stavba výrobních strojů a zařízení“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kopecký	Jméno Martin	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Magnetické separátory pro vyšší průtoky kapaliny		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	46	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	39	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	7
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	V této bakalářské práci je vypracována produktová a patentová rešerše v oblasti magnetických separátorů. Je zde vytvořen vlastní návrh magnetického separátoru včetně základních výpočtů. Na závěr je sepsáno technicko-ekonomické hodnocení.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA  ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Magnetické separátory, magnetické filtry, magnety, konstrukce separátoru

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Florian	Name Radek	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (inclusive degrees) Ing. Kopecký	Name Martin	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Magnetic separators for higher liquid flow rates		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	46	<b>TEXT PART</b>	39	<b>GRAPHICAL PART</b>	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	In this bachelor thesis there is an overview of current products and patents related to magnetic separators. Own design of magnetic separator was created including basic calculations. At the end of this thesis there is an evaluation focusing on economical and technical aspects.
<b>KEY WORDS</b>	magnetic separator, magnetic filter, magnets, magnetic separator construction

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Produktová a patentová rešerše v oblasti magnetických separátorů, magnetů a jejich využití v konstrukci separátorů .....	2
2.1	Produktová rešerše v oblasti magnetů .....	2
2.1.1	Magnetismus obecně .....	2
2.1.2	Druhy magnetů .....	3
2.2	Produktová rešerše v oblasti magnetických separátorů .....	6
2.2.1	Principy separace.....	6
2.2.2	Výrobci magnetických separátorů.....	12
2.3	Patentová rešerše v oblasti magnetických separátorů.....	17
3	Návrh variant separátoru, jejich hodnocení a výběr suboptimální varianty .....	19
3.1	První varianta .....	19
3.1.1	SWOT analýza první varianty .....	19
3.2	Druhá varianta .....	20
3.2.1	SWOT analýza druhé varianty .....	21
3.3	Třetí varianta .....	21
3.3.1	SWOT analýza třetí varianty .....	22
3.4	Výběr varianty.....	22
4	Konstrukční návrh vybrané varianty .....	23
4.1	Separáčn <span>í</span> komora .....	23
4.1.1	Výpočet parametrů před separáčn <span>í</span> komorou.....	23
4.2	Návrh výsuvného mechanismu.....	24
4.2.1	Výpočet a volba elektrického aktuátoru .....	26
4.3	Vedení .....	28
4.4	Víko .....	28
4.5	Pouzdro.....	29
4.6	Podpěrná konstrukce .....	30
4.7	Kompletace separáčn <span>í</span> ho systému.....	31
4.7.1	Návrh výpočtu šroubu pro spojení separátoru s konstrukcí.....	31
5	Technicko-ekonomické hodnocení.....	34
5.1	Technické hodnocení.....	34
5.2	Ekonomické hodnocení .....	34
6	Závěr.....	35
7	Seznam obrázků .....	36
8	Seznam tabulek.....	36
9	Seznam použité literatury a zdroje obrázků .....	37
10	Přílohy .....	39

## 1 Úvod

Při obráběcím procesu odebíráme materiál v podobě třísky. Tento proces je doprovázen velkým vývinem tepla. Toto teplo negativně ovlivňuje trvanlivost nástroje, přesnost výroby atd. Snahou je toto teplo odvést mimo nástroj a obrobek – do chladicí kapaliny. Chladicí kapalina má tři základní funkce. Za prvé je to již zmiňované chlazení místa řezu, druhou funkcí je mazání a třetí funkcí je očištění místa od nově vzniklé třísky. Pokud vše funguje jak má, po procesu je v chladicí kapalině více či méně obsažena tříska. Pro zvýšení efektivity a ekologičnosti podniku je nutné tuto chladicí kapalinu očistit, aby ji bylo možné znovu použít. K očištění se používají různé druhy separátorů, které pracují na různých principech. V této bakalářské práci jsou popsány některé principy separace, avšak hlavní pozornost je zaměřena na separátory využívající magnetické pole k odstranění magnetických třísek. Jsou navrženy 3 varianty a díky SWOT analýze je vybrána suboptimální varianta magnetického separátoru. Součástí práce je konstrukční návrh separačního systému a jeho zhodnocení.

## 2 Produktová a patentová řešení v oblasti magnetických separátorů, magnetů a jejich využití v konstrukci separátorů

### 2.1 Produktová řešení v oblasti magnetů

#### 2.1.1 Magnetismus obecně

Ampérův silový zákon určuje silové působení magnetického pole. Magnetická síla je jednou ze základních interakcí. Silové působení magnetického pole lze, co se týče velikosti popsat pomocí vektoru magnetické indukce  $\mathbf{B}$ . Magnetické pole je vyvoláno volnými proudy  $\mathbf{I}$  a vázanými proudy  $\mathbf{I}_i$ . Vektor magnetické intenzity a výše zmíněné proudy spolu souvisí podle vztahu:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0(I - I_i), \quad (1)$$

kde  $d\mathbf{l}$  je element délky a  $\mu_0$  je permeabilita vakua.

Další významnou veličinou popisující magnetické pole je vektor intenzity magnetického pole  $\mathbf{H}$ . Vztah mezi magnetickou intenzitou a volnými elektrickými proudy je dán následující rovnicí:

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I \quad (2)$$

Rovnice popisují vztah mezi vektorem magnetické indukce a vektorem intenzity magnetického pole má tvar:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}, \quad (3)$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua.

Pohybuje-li se částice s nábojem  $q$  rychlostí  $\mathbf{v}$  v magnetickém poli, působí na ni Lorentzova síla:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}, \quad (4)$$

Druhy a specifika permanentních magnetů

V posledních letech roste v průmyslu poptávka po permanentních magnetech. Permanentní magnety se staly nezbytnou součástí v elektrických, elektronických i elektromechanických součástech, včetně magnetických separátorů. Ačkoliv je nejstarší permanentní magnet znám už od starověku, největšího pokroku ve vývoji magnetů bylo dosaženo až v posledních sto letech. Každý pokrok byl spojen s objevením nového druhu materiálu, jehož magnetické vlastnosti jsou lepší v porovnání s předchůdci. U permanentních magnetů se za klíčovou



vlastnost považuje maximální energetický součin  $BH_{max}$ , který vyjadřuje sílu magnetického pole, které se vytvoří vně magnetu o jednotkovém objemu. Teoretický maximální energetický součin je dán vztahem:

$$BH_{max} = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{J_x}{2} \right)^2, \quad (5)$$

kde  $J_x$  je saturační magnetizace.

Další důležitou vlastností je remanence  $B_r$ , udávající zbytkový magnetismus. Vlastností popisující odolnost materiálu vůči demagnetizaci je koercivita  $H_{ci}$ . V technické praxi je důležitá také Curieho teplota  $T_C$ , nad kterou látky ztrácejí své feromagnetické vlastnosti a maximální provozní teplota  $T_M$ .

### 2.1.2 Druhy magnetů

#### Alnico

Velký pokrok v technologii permanentních magnetů začal v roce 1932 objevem výborných magnetických vlastností slitiny hliníku, niklu a železa, Alnico. Tyto magnety jsou v porovnání s feritovými magnety dražší, pokud obsahují více než 20% kobaltu. Alnico slitiny mají vhodnou remanenci, dobrou tepelnou stabilitu, ale poměrně malou koercivitu. Curieho teplota je okolo 900°C a maximální provozní teplota je 500°C. Alnico magnety jsou odolné proti korozi, skoro jako nerezové oceli. Pouze k mírnému zbarvení dochází, pokud je povrch magnetu ohříván na vzduchu nad teplotu 450°C.



Obr. 1 Magnety Alnico [1]

#### Feritové magnety

Nový druh permanentního magnetu byl oznámen v roce 1952. Základem jsou oxidy železa a baria. Dnes jsou feritové magnety nejpoužívanější. Důvodů je několik. Suroviny na výrobu

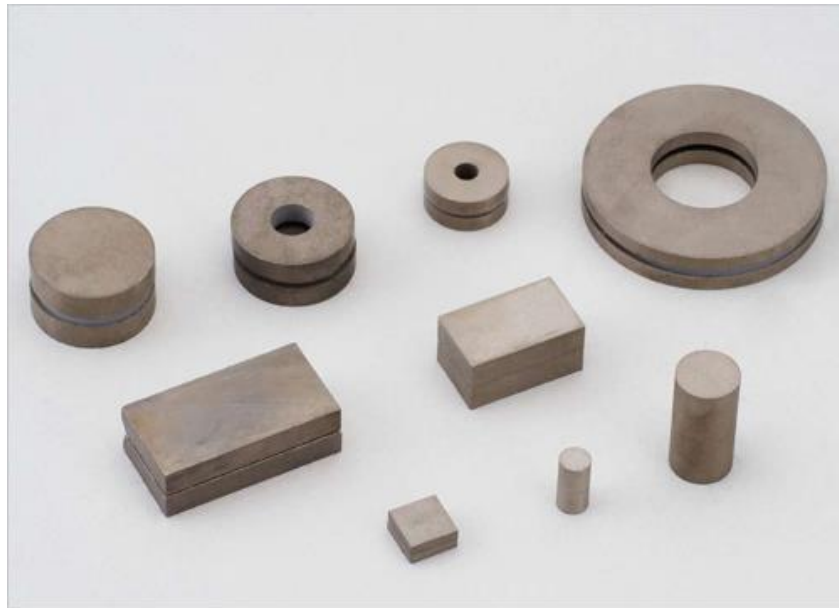
jsou levné a kombinace dobré koercivity a magnetické indukce je předurčuje k použití ve všech možných zařízeních. Ferity jsou křehké a tvrdé. Jejich výhodou je odolnost proti mnoha chemikáliím a odolnost proti oxidaci. Curieho teplota je  $450^{\circ}\text{C}$  a maximální provozní teplota je  $250^{\circ}\text{C}$ . Feritové magnety se vyrábějí práškovou metalurgií. Mohou být buď v izotropním, nebo anizotropním provedení.



Obr. 2 Feritové magnety [2]

### **Samarium-kobaltové magnety**

Patří do skupiny magnetů ze vzácných zemin. Jejich vývoj započal před 35 lety. Díky do té doby nejlepším hodnotám maximálního energetického součinu a dobré koercivitě rychle předčily všechny své předchůdce. Magnety ze vzácných zemin se dělí do dvou hlavních skupin: magnety na bázi kobaltu (Sm-Co) a na bázi železa reprezentované Nd-Fe-B. Samarium-kobaltové magnety jsou pouze anizotropní, to znamená, že má jediný směr magnetizace a ten musí být zachován. Sm-Co magnety jsou extrémně křehké. Curieho teplota je okolo  $700^{\circ}\text{C}$  –  $800^{\circ}\text{C}$ . Maximální provozní teplota je  $550^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 3 Samarium-kobaltové magnety [3]

### Neodymové magnety

Magnety na bázi železa, které by měly podobné vlastnosti jako Sm-Co magnety se poprvé objevily v roce 1982. Neodymové magnety se vyrábějí jako slitina neodymu, železa a boru. Produkce a aplikace těchto typů magnetů v následujících letech strmě rostla. Pro masovou výrobu se využívá práškové metalurgie. Důvodem je, že magnety vyráběné práškovou metalurgií mají vynikající magnetické vlastnosti a zároveň je tento způsob výroby produktivní a výhodný z poměru ceny a výkonu. Na druhou stranu spékané neodymové magnety nedosahují na hodnoty teoretického maximálního energetického součinu. I když mají NdFeB magnety vynikající magnetické vlastnosti, jsou velmi náchylné na teplotu a okolní prostředí. Curieho teplota je okolo 310°C. Maximální provozní teplota je nejvýše 150°C. Pro lepší odolnost se magnety často povlakuji.



Obr. 4 Neodymové magnety [4]

Tab. 1 Porovnání magnetů a jejich vlastností

Magnet	Br[T]	H <sub>ci</sub> [kA/m]	BH <sub>max</sub> [kJ/m <sup>3</sup> ]	T <sub>c</sub> [°C]	T <sub>m</sub> [°C]
Alnico	0,9-1,4	50-131	44-84	900	500
Feritový	0,2-0,4	175-326	26-34	450	350
Sm-Co	0,9-1,1	716-2626	162-300	800	300
NdFeB	0,7-1,5	690-1400	80-445	310	150

## 2.2 Produktová rešerše v oblasti magnetických separátorů

### 2.2.1 Principy separace

Při provádění rešerše magnetických separátorů je nezbytné prozkoumat stovky patentů a článků a není možné je všechny adekvátně pokrýt. Navíc existuje mnoho modelů a modifikací. Každá technika separace se hodí pro jiné použití a není možné najít univerzální techniku separace. Magnetické separátory lze například dělit takto:

- a) Podle stavu vstupního media
  - Mokré
  - Suché
- b) Podle požadavků na systém
  - Odstraňování železa a podobných materiálů za účelem ochrany ostatních strojních zařízení
  - Extrakce cenných magnetických složek
  - Odstraňování škodlivých magnetických nečistot

- Separace materiálu na základě jiných fyzikálních vlastností než magnetických
  - Manipulace s materiálem
- c) Podle způsobu tvorby magnetického pole
- Permanentními magnety
  - Elektromagnety s železným jhem
  - Odporové solenoidy
  - Supravodivé magnety
- d) Podle velikosti a gradientu magnetického pole
- Separátory s nízkou intenzitou magnetického pole
  - Separátory s vysokou intenzitou magnetického pole
  - Separátory s vysokým gradientem magnetického pole

Separátory s nízkou intenzitou magnetického pole se primárně používají pro manipulaci s feromagnetickými nebo paramagnetickými částicemi, které jsou dostatečně velké a snadno zmagnetovatelné.

Separátory s vysokou intenzitou magnetického pole se používají pro čištění slabě magnetických materiálu, hrubých i jemných, v suchém i mokřem provedení.

Velmi jemné, slabě magnetické materiály se čistí pomocí separátorů s vysokým gradientem magnetického pole.

Z praktického hlediska je klasifikace podle požadavku systému nejilustrativnější. Například aplikace magnetické separace na odstranění železa je obvykle dána připojeným systémem manipulace s materiálem. Nejčastěji používané magnetické separátory jsou:

- Magnetické válce - použité v pásových dopravnících
- Závěsné magnety - použité nad pásový dopravník, skluz nebo násypku
- Magnetické bubny
- Deskové magnety - použité ve skluzech
- Roštové magnety - použité v proudech

Pro shromažďování nebo odstraňování magnetizovatelné částice se používají tyto separátory:

- Magnetické válce
- Bubnové separátory s nízkou i vysokou intenzitou magnetického pole
- Indukční magnetické válce
- Válce z permanentních magnetů
- Závěsné pásové a diskové separátory
- Magnetické filtry
- Magnetické separátory s vyšší intenzitou magnetického pole pro mokřé vstupní médium (WHIS)
- Vysoko gradientní magnetické separátory (HGMS)

Pro manipulaci s magnetickým materiálem se používají například tyto systémy:

- Magnetické dopravníky
- Magnetické hnací válce
- Magnety pro zvedání

Separátory pro speciální účely:

- Separátory, ve kterých se materiál separuje na základě hustoty
- Separáty Eddy-current, které se používají pro separaci neželezných kovů
- Separátory pro husté medium, ve kterých se toto medium usměřňuje magnetem
- Demagnetizační cívky
- Magnetické urychlovače usazování

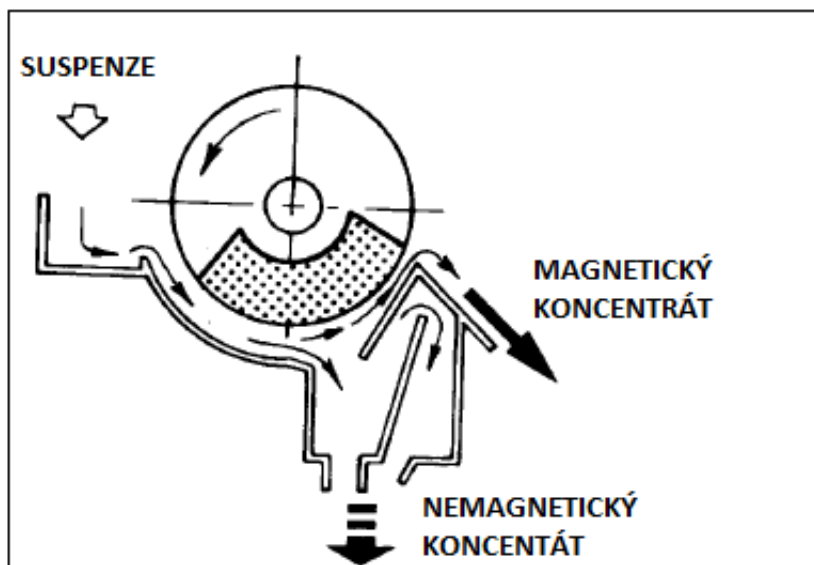
### ***Bubnové separátory s nízkou intenzitou magnetického pole pro mokré vstupní medium***

Bubnové separátory s nízkou intenzitou magnetického pole pro mokré vstupní medium se používají pro odstraňování feromagnetických částic. Hlavní oblastí jejich použití je v obnově médií s vysokou hustotou. Buben je částečně ponořen do nádrže se suspenzí a vynáší magnetický materiál ven. Bubnové separátory se používají pro zpracování částic o velikosti několika mikrometrů až milimetrů. Používají se 3 základní typy konstrukce, podle toku média:

- Souproudý
- Protiproudý
- Protisměrný

#### **Souproudý typ**

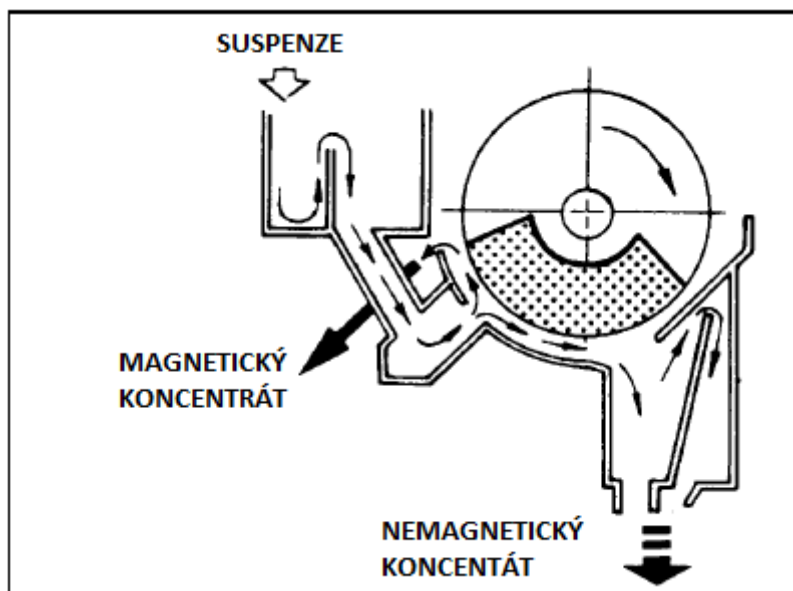
U souproudého bubnového separátoru (obr. 5) suspenze vstupuje na jednom konci a protéká ve směru rotace bubnu. Magnetický materiál je přitahován magnety a nemagnetické částice jsou vypuštěny spodkem vany. Magnetické částice přilnou k válci a jsou vedeny k odstraňovacímu břítu. Souběžná konstrukce se používá hlavně pro hrubé částice o velikosti do 5 mm. Pro tento typ konstrukce je charakteristický vysokým průtokem a dobrou kvalitou výstupního magnetického koncentrátu.



Obr. 5 Soudproudý bubnový separátor [5]

### Protisměrný typ

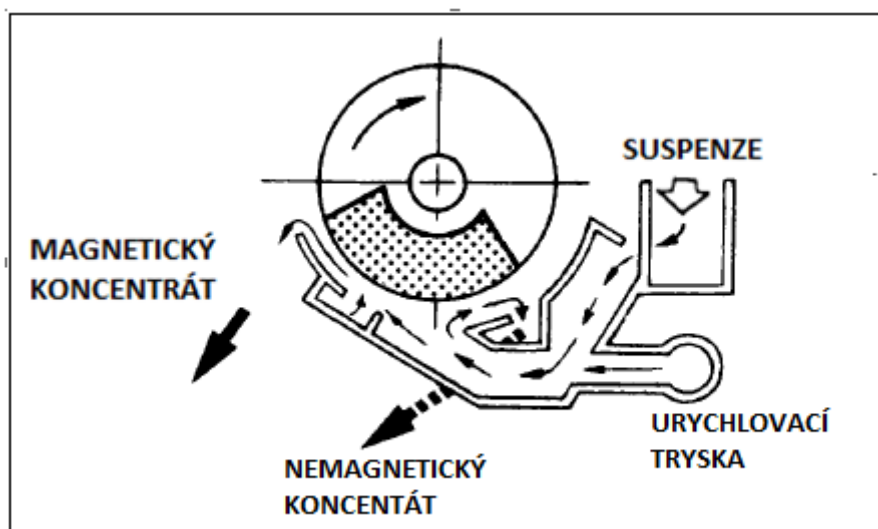
U protisměrné varianty (Obr. 6) vstupuje suspenze do speciální nádoby a dále pokračuje k bubnu, který se otáčí proti směru přitékající suspenze. Magnetické částice jsou přitahovány magnety a hned jsou odděleny. Protože hlušina protéká podél celého oblouku magnetu, ztráty jsou minimální. Tento typ je zvláště výhodný při nekonstantním průtoku. Filtrace suspenze je na dobré úrovni, ale na úkor kvality výstupního koncentrátu, jenž obsahuje vyšší množství nemagnetického materiálu. Velikost částic v suspenzi může být až 4 mm, přičemž nejlepších výsledků se dosahuje při velikosti částic méně než 0,5 mm.



Obr. 6 Protisměrný bubnový separátor [5]

### Protiproudý typ

Tato varianta (Obr. 7) se používá především jako poslední stupeň separace, kde je důležitá důkladná filtrace. Termín protiproudý vychází z toho, že se hlušina v místě, kde opouští separátor, pohybuje proti směru proudu vyvolaného rotací bubny. Vstup suspenze je ve spodní části bubny a je urychlován tryskami. Hlušina odchází v místě označeném přerušovanou šipkou, kde se nachází přepad, který reguluje výšku hladiny. Tento způsob zajišťuje velmi dobrou separaci magnetického materiálu a vysokou kvalitu výstupního koncentráту. Tyto separátory jsou vhodné pro velmi jemné částice do velikosti 100 mikrometrů.

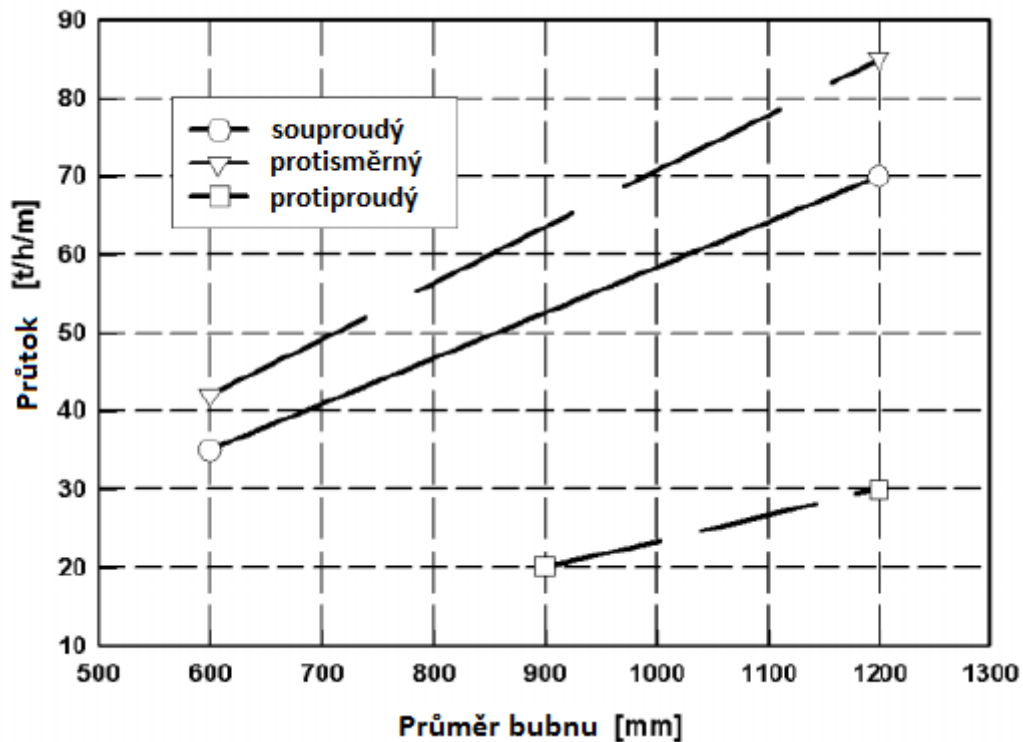


Obr. 7 Protiproudý typ separátoru [5]

### Konstrukce bubny

Buben separátoru se skládá ze dvou základních částí: Statického bloku magnetů a pohyblivého válcového pláště, vyrobeného z nerezové oceli. Plášť se otáčí kolem bloku magnetů, rozprostřeného do úhlu až 150°. Nejčastěji se používají pláště o průměru 900mm. Se vzrůstajícím průměrem pláště se zvyšuje průtok. Na obr. 8 je zobrazena závislost průtoku na průměru pláště u všech základních variant. Maximální efektivní průměr je 1200mm, další zvětšování průměru nevede k odpovídajícímu nárůstu průtoku. S rostoucími rozměry bubny se prodlužuje doba, po kterou je suspenze vystavena magnetickému poli a tím se fakticky zvyšuje hodnota průtoku, kterou lze efektivně separovat.





Obr. 8 Závislost průtoku na průměru bubnu u všech variant [5]

## Magnetické rošty

Magnetické rošty se používají pro suché i mokré médium. Rošty se skládají z permanentních magnetů. Používají se buď feritové, nebo neodymové magnety. Magnetická jádra se kvůli trvalému vystavení suspenzí ukládají do trubek. Vnitřní prostor roštového separátoru se vyrábí z nerezové oceli. K čištění dochází manuálně, nebo automaticky za pomoci pneumatických obvodů.



Obr. 9 Magnetický rošt [6]

## Magnetické filtry

Magnetické filtry odstraňují z chladiva především feromagnetické materiály. Základem je soustava trubic, ve kterých je jádro z permanentního magnetu. Pro vyšší účinnost se používají neodymové magnety. Suspenze vtéká do filtru vstupním otvorem a protéká soustavou trubic. Zde se magnetické částice přichytávají na trubice. Poté hlušina vytéká výstupním otvorem. Magnetické filtry se čistí manuálně nebo automaticky.



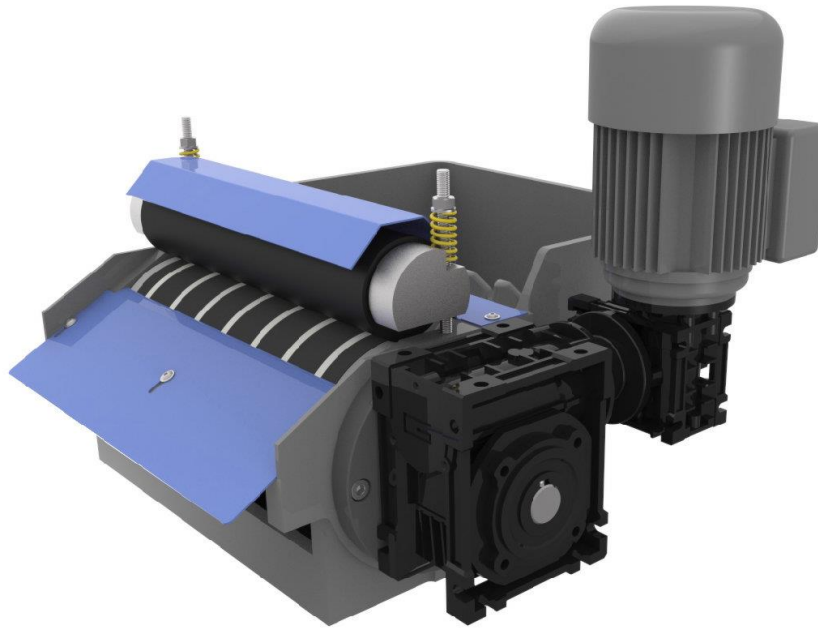
Obr. 10 Magnetický filtr [7]

### 2.2.2 Výrobci magnetických separátorů

#### Bubnové separátory

##### Astos Machinery a.s.

Firma se zabývá výrobou dopravníkových systémů a filtračních stanic. Magnetické separátory se vyrábí ve dvou rozměrových řadách podle velikosti průtoku. Separátor se skládá z válce z permanentních magnetů, který se otáčí. Pro nižší ztrátovost kapaliny se používá přítlačný válec, který vytlačí přebytečnou kapalinu zpět do nádrže.



Obr. 11 Magnetický separátor firmy Astos [8]

### **Dormatec Environment Systems**

Firma Dormatec Environment Systems dodává různá zařízení pro obráběcí stroje. Např. vysokotlaké jednotky, zařízení pro čištění chladicí kapaliny, čističe vzduchu atd. Magnetické separátory vyrábí až do průtoku 1000 l/min. V separátorech využívají neodymové magnety. Pro zkvalitnění výstupního koncentrátu používají přítlačný válec.



Obr. 12 Magnetický separátor firmy Dormatec [9]

### **Star Trace Pvt. Ltd.**

Firma Star Trace Pvt. Ltd. se zabývá výrobou vibračních separátorů, magnetických separátorů, magnetů a jiného příslušenství. Bubny magnetických separátorů dodává o průměru 916-1200mm. Uvnitř otáčejícího se bubnu je staticky uložena sestava permanentních magnetů.



Obr. 13 Magnetický separátor firmy Star Trace [10]

## Magnetické filtry a rošty

### Eclipse Magnetics Ltd.

Firma Eclipse Magnetics Ltd. je součástí skupiny Spear and Jackson a dodává magnety a magnetické výrobky. Zabývá se magnetickou filtrací, zdvihacími magnety i průmyslovými magnety. Magnetický filtr Automag používá k zachycení magnetického materiálu permanentní magnety ze vzácných zemin. Čištění probíhá automaticky, kdy se vysunou magnetická jádra, výstupní ventil přepne a nasměruje vypláchnuté nečistoty k magnetickému válci. Tam probíhá nepřetržitě separování magnetického materiálu od zbylé kapaliny.



Obr. 14 Magnetický filtr firmy Eclipse [11]

**Sollau s. r. o.**

Firma Sollau s. r. o. se zabývá vývojem, výrobou a aplikací zařízení pro magnetickou separaci. Základem jejich magnetického separátoru do potrubního systému je soustava magnetických trubic z nerezové oceli. Pro nejefektivnější separaci se využívá neodymových magnetů.

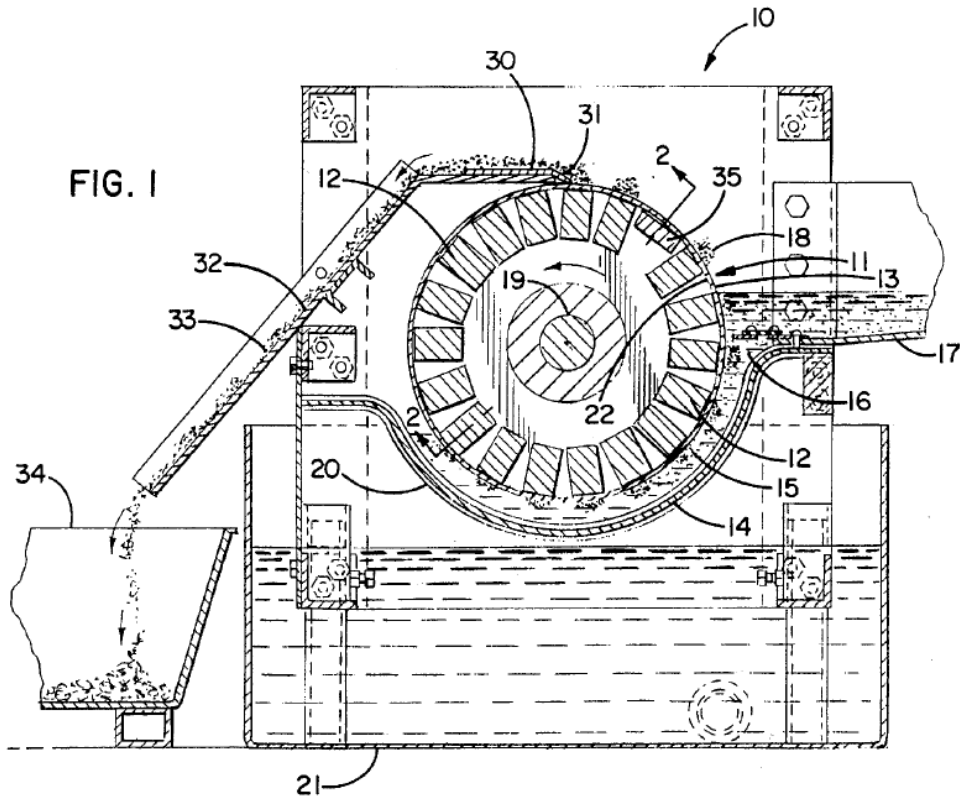


Obr. 15 Magnetický filtr firmy Sollau [12]

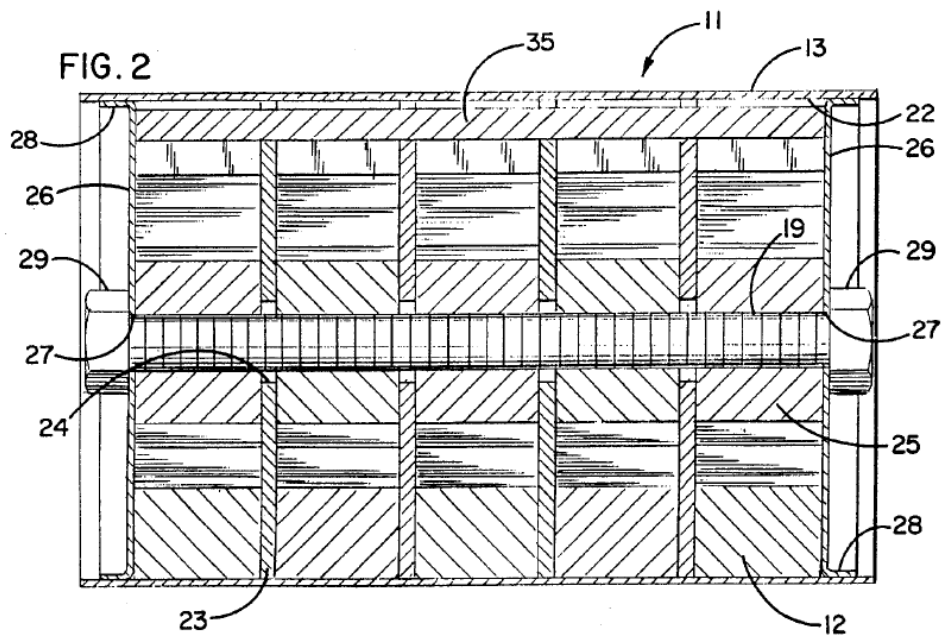


Obr. 16 Magnetický roštový separátor firmy Sollau [12]

### 2.3 Patentová rešerše v oblasti magnetických separátorů



Obr. 17 Magnetický separátor patentovaný roku 1994 [13]



Obr. 18 Patentovaný separátor-řez 2-2 [13]

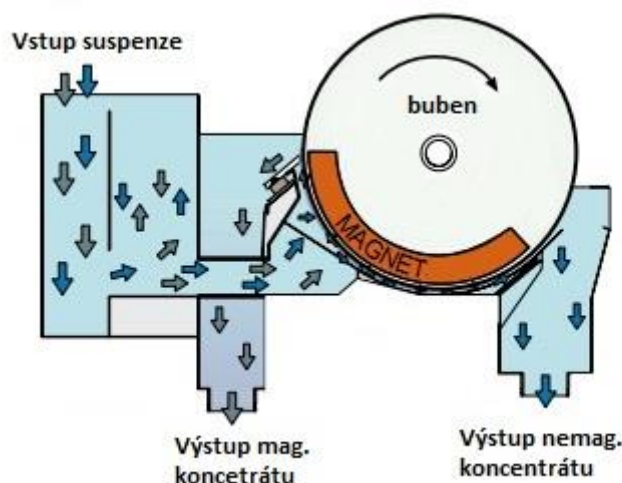
Na obr. 17, 18 je separátor s kontinuálně otáčejícím se magnetickým bubnem, který si nechal patentovat Thomas W. Lenhart roku 1994. Buben separátoru (11) je částečně ponořen v proudu kapaliny. Magnetické částice jsou přitahovány bubnem. K separátoru je přidělaná lomená stěrka (30), která odděluje částice od bubnu. Magnetické pole zasahující i stěrku způsobuje, že se částice na stěrce shromažďují (31). To umožňuje, že je zbytková kapalina, která je společně s částicemi tažena po válci, vytlačena zpět do nádoby. Nashromážděné částice postrkují nově přitažené částice, dokud se nedostanou mimo působení magnetického pole a pokračují do odpadové nádoby (34). V bubnu je uložen i speciální element (35), který zeslabuje magnetické pole. Díky tomu je umožněno posunování částic směrem ke skluzu (32).



### 3 Návrh variant separátoru, jejich hodnocení a výběr suboptimální varianty

#### 3.1 První varianta

První variantou je protisměrný typ bubnového separátoru. Buben se otáčí proti směru proudu suspenze a magnetický segment je nepohyblivě uložen uvnitř. Magnetické částice jsou taženy proti proudu směrem k stírací liště.



Obr. 19 První varianta [14]

##### 3.1.1 SWOT analýza první varianty

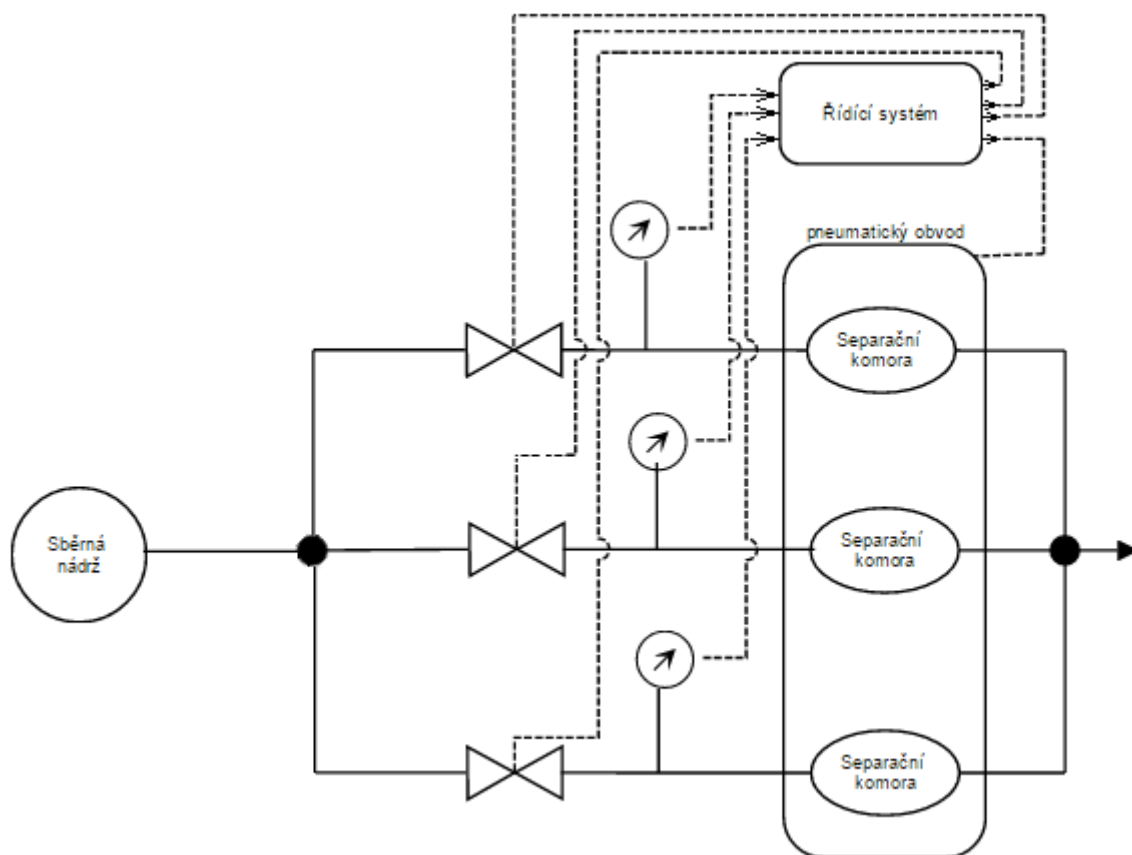
STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none"><li>● jednoduchost systému</li><li>● jednodušší implementace</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● není možná adaptace při nižším vytižení</li><li>● absence automatické kontroly stavu</li><li>● prakticky nemožné dodatečné rozšíření kapacity</li><li>● vyšší energetická náročnost</li></ul>
OPPORTUNITIES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"><li>● při dodržení požadavků na návrh je vyšší spolehlivost</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● při poruše jedné části je celý systém nefunkční</li><li>● malý prostor pro inovace</li></ul>

Hlavní výhodou této varianty je celková jednoduchost systému. To vychází z faktu, že podobné koncepce jsou známy už několik desítek let. Toto zapříčiňuje menší prostor pro další

inovace. Mezi zásadní nevýhody patří nemožnost dodatečného rozšíření kapacity a také potřeba neustále pracujícího zařízení pro otáčení bubny.

### 3.2 Druhá varianta

Druhou variantou je systém více separačních komor seřazených paralelně, ve kterých jsou magnetické tyče. Celý systém je řízen řídicí jednotkou. Před každou separační komorou se nachází čidlo na měření průtoku. Při obalení magnetů třískami dojde ke zmenšení průtočného průřezu a tím ke zrychlení průtoku. Pokud rychlost průtoku překročí určitou hranici, čidlo vyšle signál řídicí jednotce, která zahájí proces čištění. Ten spočívá v uzavření přítoku suspenze pouze do čištěné větve, částečného vysunutí pouzdra a úplného vysunutí magnetů. Uzavřením pouze části systému dosáhneme nepřetržitého procesu filtrace.



Obr. 20 Schéma druhé varianty

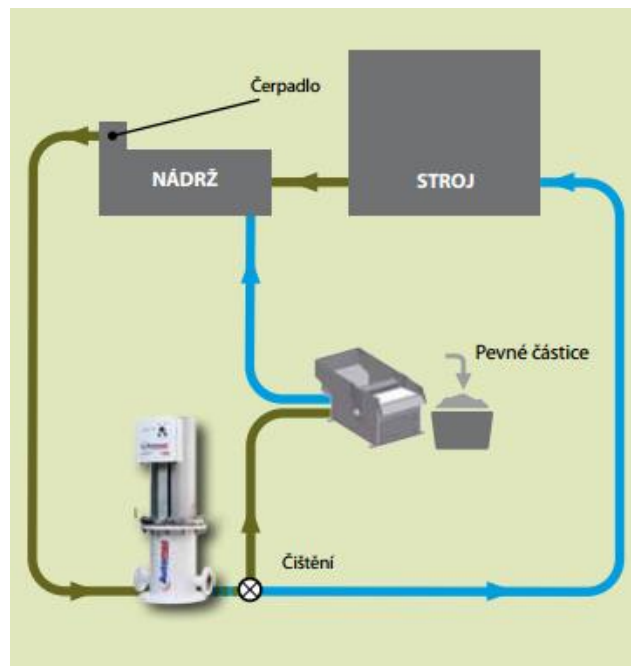
### 3.2.1 SWOT analýza druhé varianty

STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none"><li>● vysoká adaptivita při různém průtoku</li><li>● společná platforma umožňuje variabilní kapacitu</li><li>● nižší celková energetická náročnost</li><li>● ovládání a monitoring na dálku</li><li>● při poruše jedné části je systém stále schopen pracovat při nižším průtoku</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● závislost na řídicí elektronice</li><li>● nutnost přídavného čistícího systému (pneumatika)</li><li>● složitější systém</li></ul>
OPPORTUNITIES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"><li>● inteligentní řídicí elektronika umožňuje integraci do systémů využívajících myšlenek Průmyslu 4.0</li><li>● kombinace paralelně a sériově řazených separačních komor umožňuje splnit různé nároky na úroveň filtrace</li><li>● podněcuje ke zvýšení celkové technologické úrovně podniku</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● složitější systém může být náchylnější k poruchám</li></ul>

Nespornou výhodou tohoto řešení je adaptivita celého systému při různém průtoku. Ta spočívá v tom, že při nižších hodnotách průtoku lze část systému odpojit a tím se z dlouhodobého hlediska snižuje mimo jiné opotřebení. Společná platforma umožňuje instalaci různého počtu větví se separačními jednotkami a tím je zajištěna variabilita co se týče maximální kapacity. Tím je také umožněno dodatečné rozšíření systému. Na rozdíl od první varianty zde není třeba nepřetržitě pracujícího elektromotoru, což je rovněž výhodou.

### 3.3 Třetí varianta

Třetí variantou je systém Automag firmy Eclipse Magnetics Ltd. Využívá podobné separační komory jako ve druhé variantě. Při zahlcení filtru se přepne ventil a vysunou magnetická jádra. Tím dojde k přesměrování kapaliny k další separační jednotce. Tím že se vysunou magnetická jádra, procházející kapalina očistí vnitřek filtru. Na obr. 21 je schéma zapojení.



Obr. 21 Schéma třetí varianty [15]

### 3.3.1 SWOT analýza třetí varianty

STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>● plně automatické</li> <li>● monitoring a ovládání na dálku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● nutnost další separační jednotky</li> <li>● složitější systém</li> <li>● přerušovaný průtok kapaliny</li> <li>● závislost na řídicí technice</li> </ul>
OPPORTUNITIES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"> <li>● inteligentní řídicí elektronika umožňuje integraci do systémů využívajících myšlenek Průmyslu 4.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● složitější systém může být náchylný k poruše</li> <li>● při proruše jedné části je celý systém nefunkční</li> </ul>

Třetí varianta spojuje řešení válcového separátoru s magnetickým filtrem. Filtr musí být dimenzován na maximální průtok a navíc je třeba dalšího separačního zařízení. Díky použití pouze jedné filtrační komory dochází k přerušovanému průtoku kapaliny.

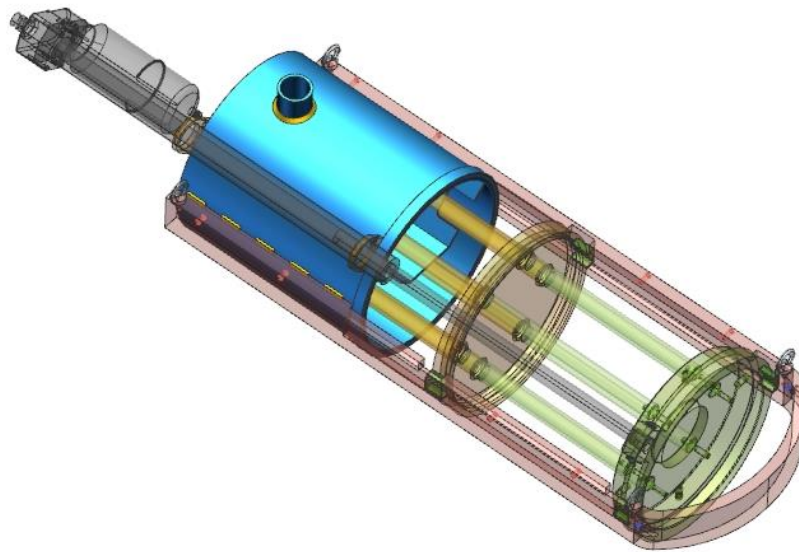
## 3.4 Výběr varianty

Vzhledem k dobré adaptivitě systému a dalším parametrům bude v této práci dále rozvedena druhá varianta.

## 4 Konstrukční návrh vybrané varianty

### 4.1 Separační komora

Separační komora na obrázku 22 je kruhového průřezu o průměru 360 mm. Rozměr byl zvolen dle konkurenčních výrobků. Celá komora je z nerez oceli. Uvnitř se nachází přepážka, která proud rovnoměrně rozptýlí. Na zadní straně komory se nachází dva otvory pro připojení držáku.



Obr. 22 Komora separátoru

#### 4.1.1 Výpočet parametrů před separační komorou

Pro výpočet rychlosti před separační komorou vyjdeme ze vztahu pro objemový průtok:

$$\dot{V} = S \cdot w \quad (6)$$

Kde  $\dot{V}$  je objemový průtok,  $S$  je plocha přes kterou kapalina prochází a  $w$  je rychlost, kterou se kapalina v daném místě pohybuje. Jako průměr  $d$  byl zvolen rozměr 50 mm.

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w \rightarrow w = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot \frac{0,350}{60}}{\pi \cdot 0,05^2} \quad (7)$$

$$w = 2,97 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (8)$$

S pomocí rychlosti si vypočteme tlak před separační komorou. Předpokladem je, že sběrná nádrž je otevřená. Hladina v nádrži je ustálená a její výška od počítaného místa je 1,5 m. Z Bernoulliho rovnice platí:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} + y_1 \cdot g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + y_2 \cdot g \quad (9)$$

$$\frac{p_0}{\rho} + 0 + H \cdot g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + 0 \quad (10)$$

$$p_2 = p_0 + H \cdot \rho \cdot g - \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho = 101325 + 1,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 - \frac{2,97^2}{2} \cdot 1000 \quad (11)$$

$$p_2 = 0,11 \text{ MPa} \quad (12)$$

## 4.2 Návrh výsuvného mechanismu

### Morfologická matice výsuvného mechanismu

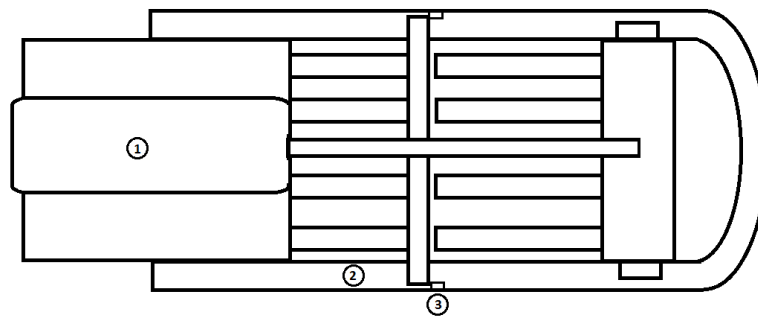
	1	2	3	4
Sílu VYVODIT	Lineární aktuátor	Pneumatický obvod	Hydraulický obvod	
Kluzné vedení VYTVOŘIT	Válcové	Ploché		
Různý výsuv jader a pouzdra UMOŽNIT	Jezdec po tvarové ploše	Zarážka a přítlačný element	Pružiny	Samostatný posuv

Obr. 23 Morfologická matice výsuvného mechanismu

### Navržené koncepční alternativy výsuvného mechanismu

#### Alternativa **A**

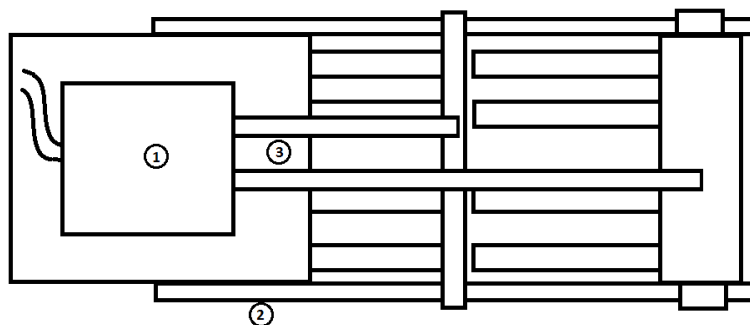
Složena z: lineární aktuátor, ploché vedení, zarážka a přítlačné elementy



Obr. 24 Výsuvný mechanismus A

### Alternativa B

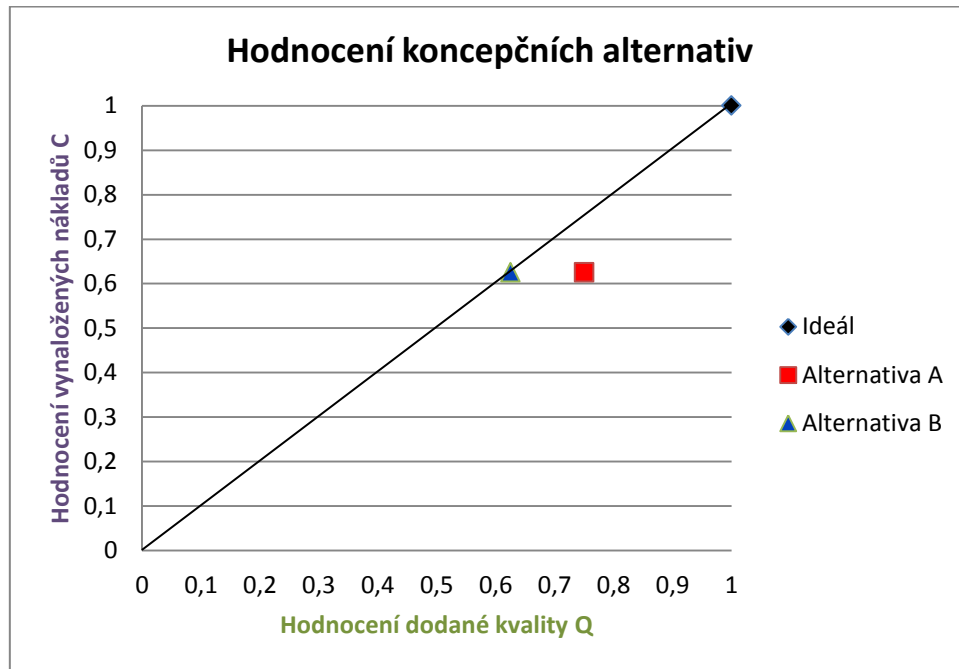
Složena z: pneumatický pohon, válcové vedení, samostatný posuv



Obr. 25 Výsuvný mechanismus B

### Hodnocení koncepčních alternativ

	Alternativa	<b>A</b>	<b>B</b>	Ideál
<b>Q</b>	Bezpečnost	3	2	4
	Spolehlivost	3	3	4
	Jednoduchost	3	3	4
	Vzhled	3	2	4
	<b>celkový součet</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>16</b>
	<b>normované hodnocení</b>	<b>0,75</b>	<b>0,63</b>	<b>1</b>
<b>C</b>	výrobní náklady	3	2	4
	nákup	2	3	4
	<b>celkový součet</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
	<b>normované hodnocení</b>	<b>0,625</b>	<b>0,625</b>	<b>1</b>



Z diagramu vyplívá, že suboptimálním návrhem je alternativa A, protože při stejných nákladech má vyšší kvalitu.

#### 4.2.1 Výpočet a volba elektrického aktuátoru

Vydeme ze vztahu pro třecí sílu.

$$F_t = F_N \cdot f \quad (13)$$

Kde  $f$  je součinitel smykového tření a  $F_N$  je normálová síla. V našem případě je normálová síla tíhovou silou. Tedy:

$$F_N = F_G = m \cdot g \quad (14)$$

Kde  $m$  je hmotnost pohybujících součástí a  $g$  je tíhové zrychlení. Hmotnost byla odečtena z modelů součástí v programu NX 10.

$$F_G = 60 \cdot 9,81 \doteq 589 \text{ N}$$

Kritický bude začátek výsuvu, neboť pohybujeme největší hmotností a zároveň platí součinitel statického tření. Pro rozhraní dvou ocelových ploch uvažujeme  $f = 0,15$ . Požadovaná síla je tedy:

$$F_t = 589 \cdot 0,15 \doteq 88 \text{ N} \quad (15)$$

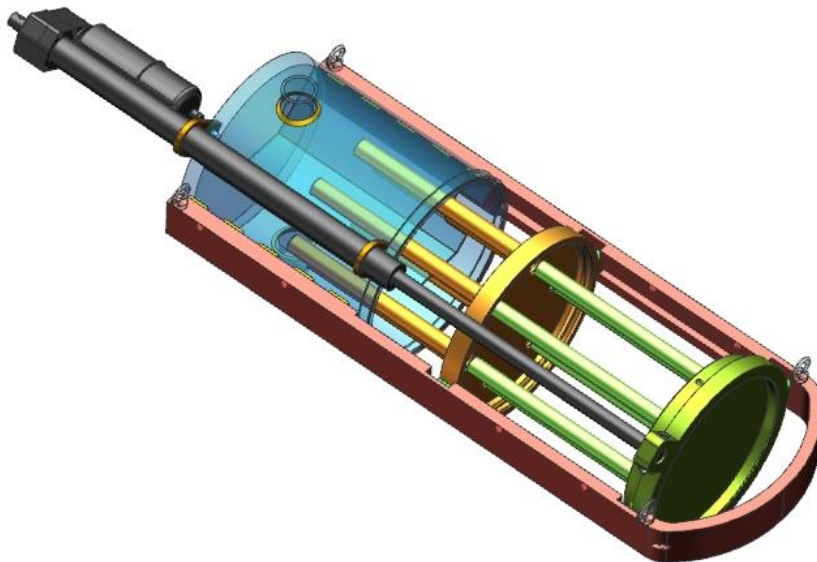


Potřebná síla je relativně malá, ale díky velkému výsunu byl zvolen elektrický aktuátor Electrak firmy Thomson (obr. 26), i když je jeho katalogové maximální zatížení 6800N.



Obr. 26 Elektrický aktuátor firmy Thomson [16]

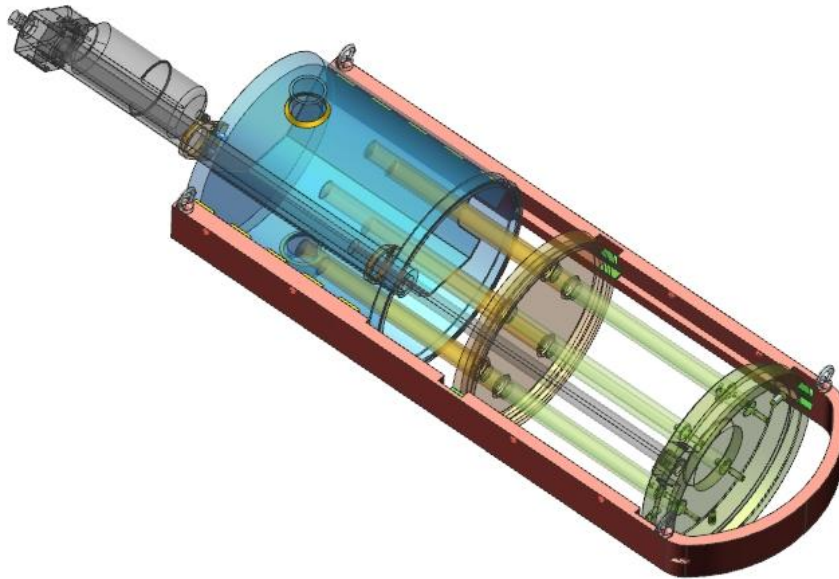
Aktuátor je spojen se separátorem pomocí držáku se stavěcím šroubem. Pokud by došlo k ucpání drážky ve vedení, aktuátor pod stavěcím šroubem podklouzne. Díky tomu nedojde ke zničení aktuátoru.



Obr. 27 Výsuvný mechanismus

### 4.3 Vedení

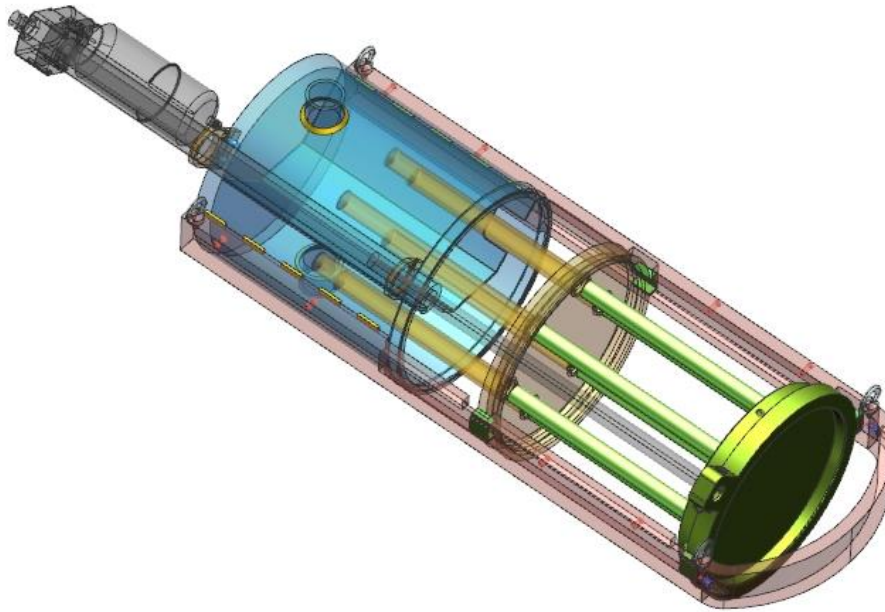
Na obrázku 28 je vedení, které se skládá ze tří částí. Boční vodící lišty v sobě mají drážku pro kluzné obložení pouzdra a víka. Lišty jsou přivařeny ke komoře a zároveň jsou spojeny s předním dílem pomocí šroubů. Ten umožní i lepší ustavení při svařování komory s lištami. Ve vedení jsou i otvory pro připevnění k podpěrné konstrukci. Tvar vedení také vymezuje prostor maximálního vysunutí mechanismu. To je prvek zvyšující bezpečnost. Pro manipulaci jsou na vedení umístěny otvory pro závěsná oka.



Obr. 28 Vedení separátoru

### 4.4 Víko

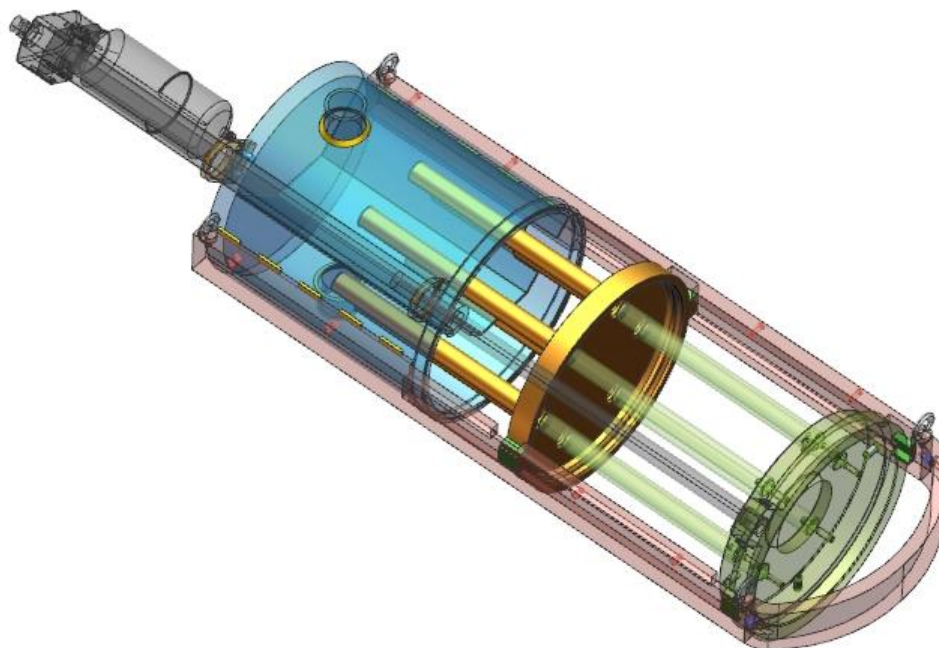
Víko (Obr. 29) je kruhového průřezu. Na čele se nachází 6 závitových děr pro závrtné šrouby. Ty slouží k připevnění magnetických jader. Na obvodu víka se nacházejí 4 závitové otvory pro pružinové kolíky GN 513. Ty vyvozují třecí sílu, které umožňuje současný pohyb víka i pouzdra při procesu čištění. Když pouzdro narazí na zarážku, narůstající síla přetlačí pružinku uvnitř kolíku a dojde k vysmeknutí. Magnetická jádra spojená s víkem pak mohou celá vyjet z pouzdra. Na víku se také nachází otvor pro připojení výsuvné části aktuátoru a otvor pro její zajištění. Spojení aktuátoru s víkem je zajištěno pomocí čepu se závlačkou. Vedení je zajištěno kluznými elementy.



Obr. 29 Víko separátoru

#### 4.5 Pouzdro

Na obrázku 30 je pouzdro jader. Je to svařenec 6 trubek a kotoučové části s 6 otvory. Každý z otvorů je opatřen zaváděcím kuželovým sražením pro snazší najetí magnetických jader do pouzdra. Na vnitřní straně kotoučové části se nachází drážka pro hrot pružinového kolíku. Vedení je jako u víka zajištěno kluznými elementy.



Obr. 30 Pouzdro separátoru

#### 4.6 Podpěrná konstrukce

Podpěrná konstrukce je složena z nosíkového systému od firmy Hilti [17]. V konstrukci bylo využito následujících prvků, viz Obr. 31. Na obrázku 32 je pak sestavena celá konstrukce. Součástí návrhu je i vozík na magnetický odpad[31] a svod.



Obr. 31 Nosíkové prvky Hilti [17]



Obr. 32 Podpěrný systém

## 4.7 Kompletace separačního systému

Na obrázku 33 je sestaven kompletní separátor. Na obrázku 34 je vytvořen separační systém z 3 separátorů. Již zmiňovanou výhodou je variabilita maximální kapacity. Tu lze jednoduše měnit počtem separátorů. Pro kompletní systém je třeba dodat mimo jiné řídicí jednotku a rozvaděče včetně řídicího systému. Do systému je nutné také dodat vstupní a výstupní nádrže.

### 4.7.1 Návrh výpočtu šroubu pro spojení separátoru s konstrukcí

Vyjdeme ze vztahu pro tíhovou sílu

$$F_G = m \cdot g = 200 \cdot 9,81 = 1962N \quad (16)$$

Kde  $m$  je hmotnost celého separátoru včetně kapaliny. Hmotnost byla odečtena z modelů součástí NX 10. Celkovou tíhovou sílu rozdělíme na jeden šroub. Předběžně byl zvolen počet šroubů  $n=8$ .

$$F_{G1} = \frac{F_G}{n} = \frac{1962}{8} \doteq 245N \quad (17)$$

Normálovou sílu vypočteme jako podíl tíhové síly na jeden šroub a součinitele smykového tření  $f$ .

$$F_{N1} = \frac{F_{G1}}{f} = \frac{245}{0,15} \doteq 1635N \quad (18)$$

K síle na jeden šroub přidáme 20% jako součinitel odlehnutí.

$$F_1 = F_{N1} \cdot 1,2 = 1635 \cdot 1,2 \doteq 1962N \quad (19)$$

Materiál šroubu byl zvolen 5S (6.6),  $\sigma_{Pt} = 600MPa$ ,  $\sigma_{kt} = 360MPa$ ,  $\sigma_D = 256MPa$ .  
Z napětí v tahu navrhne průměr jádra.

$$\sigma_t = \frac{F_1}{\frac{\pi \cdot d_j^2}{4}} \leq \sigma_{Dt} \rightarrow d_j = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi \cdot \sigma_{Dt}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1962}{\pi \cdot 144}} = 4,17 \text{ mm} \quad (20)$$

Byl vybrán šroub M10x1,5.  $\varnothing d_3 = 8,160mm$ ,  $\varnothing d_2 = 9,026mm$ . Průřez jádra spočteme:

$$S_j = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}{4} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{9,026 + 8,160}{2}\right)^2}{4} = 57,97mm^2 \quad (21)$$

Napětí v tahu spočteme jako:

$$\sigma_t = \frac{F_{N1}}{S_j} = \frac{3993}{57,97} = 69MPa \quad (22)$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_K = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 8,160^3}{16} = 106,68mm^3 \quad (23)$$

Moment třecího odporu v závitě:

$$M_z = 0,5 \cdot d_2 \cdot F_{N1} \cdot tg(\alpha + \varphi_z) = 0,5 \cdot 9,026 \cdot 3993 \cdot tg(3,03 + 8,53) \quad (24)$$

$$M_z = 3684Nmm \quad (25)$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_z}{W_K} = \frac{3684}{106,68} = 35MPa \quad (26)$$

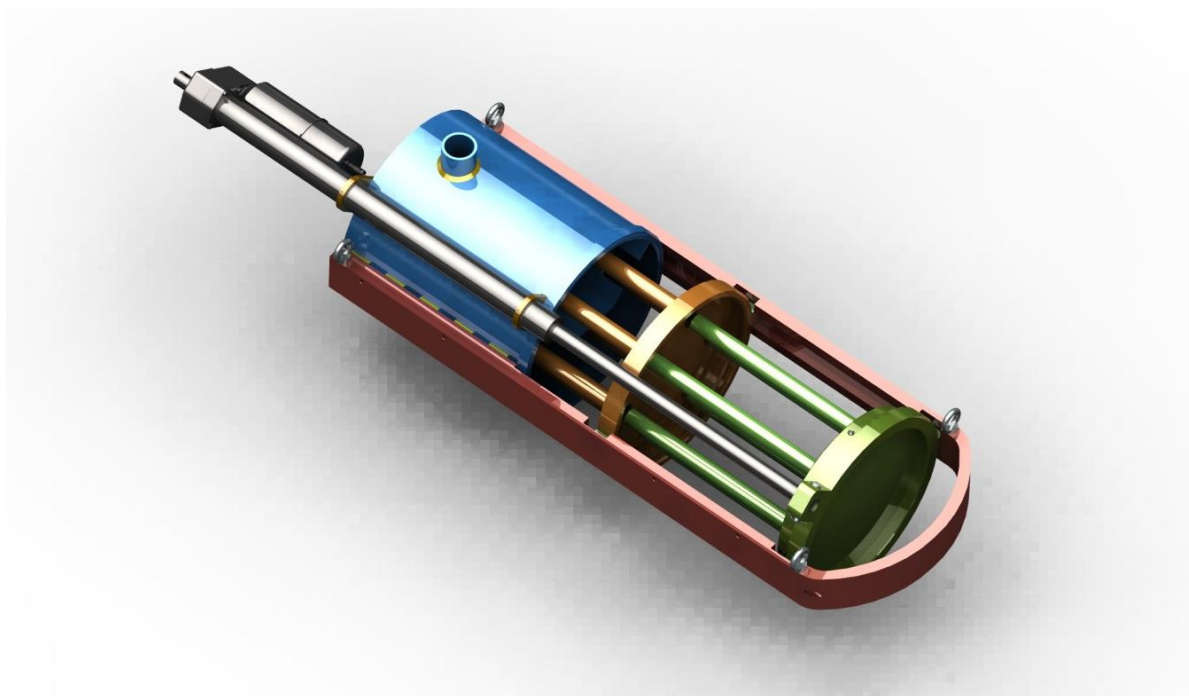
Redukované napětí dle Guesta spočteme jako:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_n^2 + 4 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{69^2 + 4 \cdot 35^2} = 98MPa \quad (27)$$

Bezpečnost proti mezi kluzu:

$$S_k = \frac{\sigma_{Kt}}{\sigma_{red}} = \frac{360}{98} = 3,7 \quad (28)$$

Vyšší bezpečnost je z důvodu možného vznikání ohybových momentů.



Obr. 33 Separční jednotka



Obr. 34 Kompletace separačního systému

## 5 Technicko-ekonomické hodnocení

### 5.1 Technické hodnocení

Po technické stránce je tento koncept zajímavý svou variabilní kapacitou. Podpěrný systém je možné upravit s ohledem na různé požadavky na zástavbový prostor. Kombinací paralelního a sériového zapojení separátorů v separačním systému lze ovlivňovat kvalitu filtrace. Využitím inteligentní řídicí jednotky lze separační systém implementovat do výrobních systémů podporující principy Průmyslu 4.0, což prokazuje aktuálnost technického řešení.

### 5.2 Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení je pouze orientační. Ceny závisí na nákladech na výrobu a ty nejsou známé. Celková cena nakupujících součástí a materiálů vyšla 136935 Kč.

Tab. 2 Ekonomické hodnocení

Prvek	Materiál	Množství [Ks]	Odhadovaná cena [Kč]
aktuátor Thomson	-	3	42000
podpěrná konstrukce Hilti	-	1	22340
Magnety	-	18	49500
Šroub M10x1,5	-	24	288
Šroub M10x35	-	18	162
Šroub M8x20	-	6	48
Závěsné oko	-	12	252
Stavěcí šroub M5x5	-	6	30
Pružinový kolík	-	12	360
Těsnící kroužek	-	3	72
Čep 12x80	-	3	30
Závlačka	-	3	1
Komora	hliník, nerez	3	7425
Vedení levé	hliník, nerez	3	2680
Vedené pravé	hliník, nerez	3	2680
Vedení čelo	11 373	3	1079
Pouzdro	hliník, nerez	3	1650
Víko	11 500	3	4734
Držák přední	hliník, nerez	3	37
Držák zadní	11 300	3	49
Svod	hliník, nerez	1	576
Objímka	hliník, nerez	2	45
Skluz	hliník, nerez	3	878
Kontejner na odpad	-	1	-
			$\Sigma = 136935$



## 6 Závěr

V úvodní části byla vypracována produktová a patentová rešerše v oblasti magnetické separace. Byla rozpracována i část zabývající se obecným magnetismem v magnetických separátorech. Také byl představen základní přehled magnetů používaných v separátorech.

V další části byly navrženy 3 varianty separačních systémů včetně principů fungování. Ke každé variantě byla vypracována SWOT analýza, na základě které byl vybrán suboptimální návrh.

Ve třetí části byla rozpracována vybraná varianta. Jsou zde popsány jednotlivé části tvořící separátor včetně výpočtů. Na závěr je vybraná varianta sestavena do celku.

V poslední části je sepsáno technicko-ekonomické hodnocení.

V této práci byl představen návrh konstrukčního řešení magnetického separátoru pro průtoky chladicí kapaliny 700-1000 litrů/min. Byl vypracován vlastní návrh separačního systému, který by měl být podložen prototypem. Hodnoty naměřené na tomto prototypu by pak měly upravit parametry separátoru. Vzhledem k náročnosti probíhajícího procesu se jedná spíše o hrubý návrh, který ale poskytuje mnoho informací. Pro ověření skutečného průtoku by bylo možné použít numerickou simulaci vícefázového proudění s uvažováním magnetických sil, ale to je daleko nad rámec práce.

## 7 Seznam obrázků

Obr. 1 Magnety Alnico [1] .....	3
Obr. 2 Feritové magnety [2] .....	4
Obr. 3 Samarium-kobaltové magnety [3] .....	5
Obr. 4 Neodymové magnety [4] .....	6
Obr. 5 Souproudý bubnový separátor [5] .....	9
Obr. 6 Protisměrný bubnový separátor [5] .....	9
Obr. 7 Protiproudý typ separátoru [5] .....	10
Obr. 8 Závislost průtoku na průměru bubnu u všech variant [5] .....	11
Obr. 9 Magnetický rošt [6] .....	11
Obr. 10 Magnetický filtr [7] .....	12
Obr. 11 Magnetický separátor firmy Astos [8] .....	13
Obr. 12 Magnetický separátor firmy Dormatec [9] .....	13
Obr. 13 Magnetický separátor firmy Star Trace [10] .....	14
Obr. 14 Magnetický filtr firmy Eclipse [11] .....	15
Obr. 15 Magnetický filtr firmy Sollau [12] .....	16
Obr. 16 Magnetický roštový separátor firmy Sollau [12] .....	16
Obr. 17 Magnetický separátor patentovaný roku 1994 [13] .....	17
Obr. 18 Patentovaný separátor-řez 2-2 [13] .....	17
Obr. 19 První varianta [14] .....	19
Obr. 20 Schéma druhé varianty .....	20
Obr. 21 Schéma třetí varianty [15] .....	22
Obr. 22 Komora separátoru .....	23
Obr. 23 Morfologická matice výsuvného mechanismu .....	24
Obr. 24 Výsuvný mechanismus A .....	25
Obr. 25 Výsuvný mechanismus B .....	25
Obr. 26 Elektrický aktuátor firmy Thomson [16] .....	27
Obr. 27 Výsuvný mechanismus .....	27
Obr. 28 Vedení separátoru .....	28
Obr. 29 Víko separátoru .....	29
Obr. 30 Pouzdro separátoru .....	30
Obr. 31 Nosníkové prvky Hilti [17] .....	30
Obr. 32 Podpěrný systém .....	31
Obr. 33 Separační jednotka .....	33
Obr. 34 Kompletace separačního systému .....	33

## 8 Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání magnetů a jejich vlastností .....	6
Tab. 2 Ekonomické hodnocení .....	34

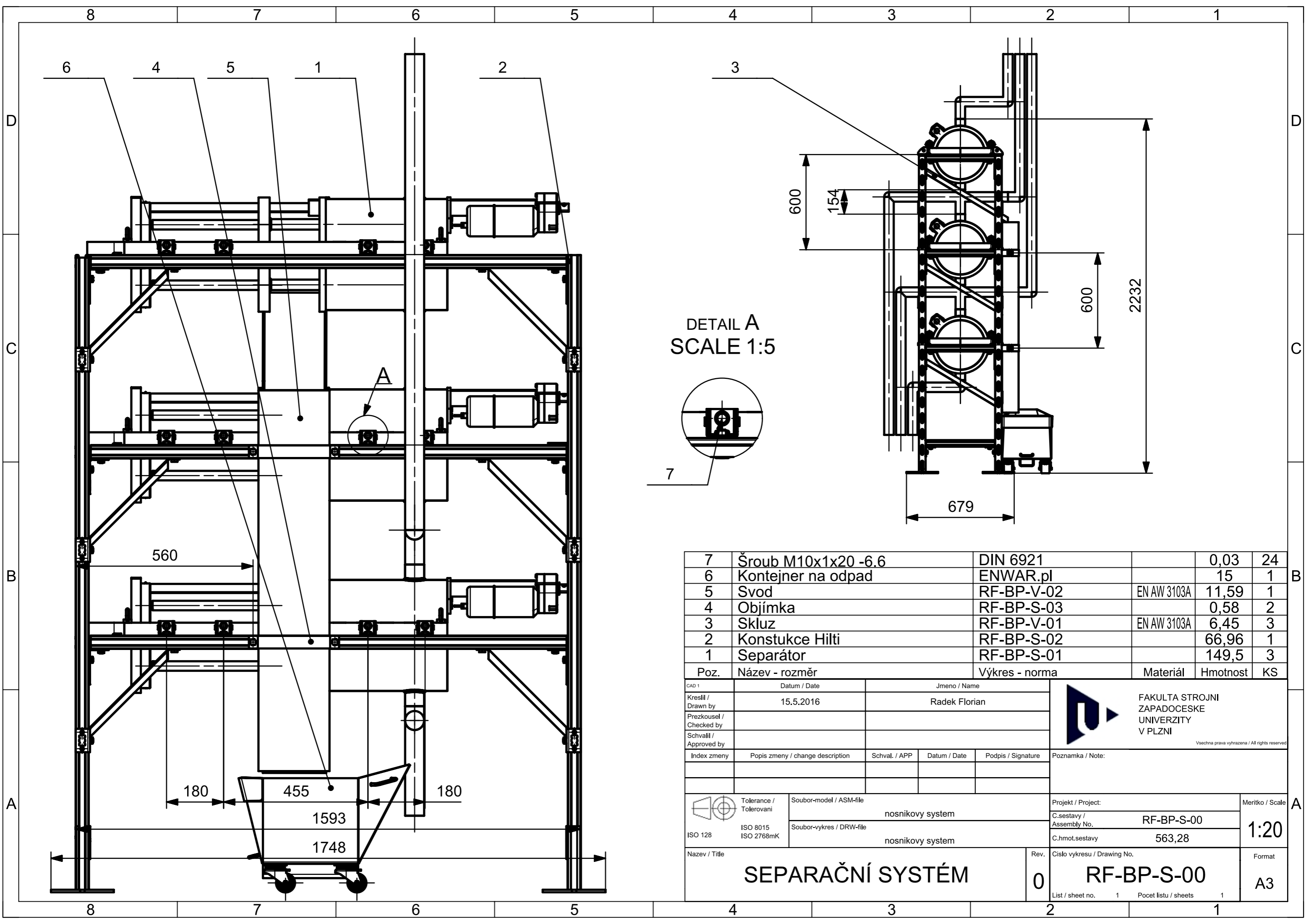
## 9 Seznam použité literatury a zdroje obrázků

- [1] Alnico magnety, dostupné z: <http://www.boton-magnets.com/>
- [2] Feritové magnety, dostupné z: <http://www.magnety.sk/>
- [3] Samarium-kobaltové magnety, dostupné z: <http://www.simotecthailand.co.th/>
- [4] Neodymové magnety, dostupné z: <http://unitednuclear.com/>
- [5] SVOBODA, Jan. *Magnetic techniques for the treatment of materials*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. ISBN 1402021070.
- [6] Roštový magnetický separátor, dostupné z: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-m2/38658-3380967.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-m2/38658-3380967.jpg)
- [7] Magnetický filtr, dostupné z: <http://www.pml.in/alnico-magnets.html>
- [9] Separátor Dormatec, dostupné z: <http://www.dormatec.eu/images/product/MCA-60.png>
- [8] Separátor Astos, dostupné z: <http://www.astos.cz/>
- [10] Separator star trace, dostupné z: <http://www.startraceindia.com/images/magnetic/Wet-Drum-Magnetic-Separator.jpg>
- [11] Separátor eclipse, dostupné z: <http://www.magnets2buy.com/global/cs/pdf/Automag.pdf>
- [12] Separátor sollau, dostupné z: <http://www.sollau.cz/katalog/cs-c4-magneticke-separatory-pro-tekute-smesi.html>
- [13] BARNES International, Inc., ROCKFORD. *Magnetic separator*. Vynálezce: THOMAS W. LENHART. Int. C16 B01D35/06. *United States Patents*, 5496470. 1996-5-3.
- [14] 1. varianta, dostupné z: [http://i00.i.aliimg.com/img/pb/910/227/879/879227910\\_805.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/910/227/879/879227910_805.jpg)
- [15] 3. varianta, dostupné z: <http://www.magnets2buy.com/global/cs/pdf/Automag.pdf>
- [16] Elektrický aktuátor firmy Thomson, dostupné z: [http://www.thomsonlinear.com/downloads/actuators/Linear\\_Actuators\\_cten.pdf](http://www.thomsonlinear.com/downloads/actuators/Linear_Actuators_cten.pdf)
- [17] Nosníkové prvky hilti, dostupné z: <https://www.hilti.cz/>
- [18] Permanentní magnety. [online]. Dostupné z: [http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni\\_magnety.pdf](http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf)
- [19] Magnetic Separation: Industrial and Lab Scale Applications. [online]. Dostupné z: [http://nanonet.rice.edu/personal/cafer/vicki/Review\\_5.pdf](http://nanonet.rice.edu/personal/cafer/vicki/Review_5.pdf)
- [20] Feron. [online]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz>
- [21] NEOMAG. [online]. Dostupné z: <http://www.neomag.cz>

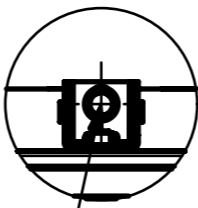
[22] Kontejner na odpad. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/small-hangable-scrap-container-1>

[23] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.

## **10 Přílohy**




DETAIL A  
SCALE 1:5




7

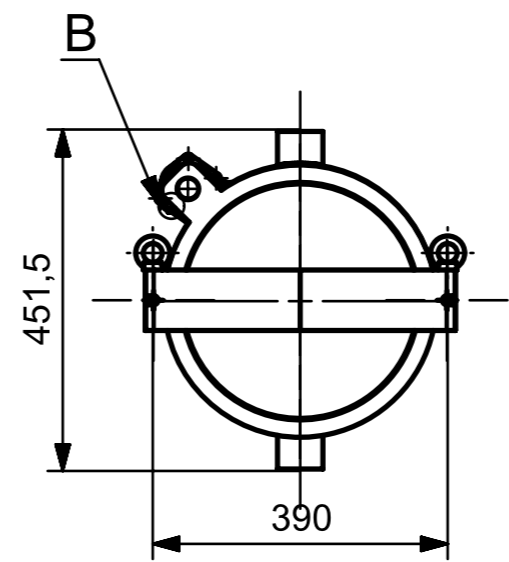
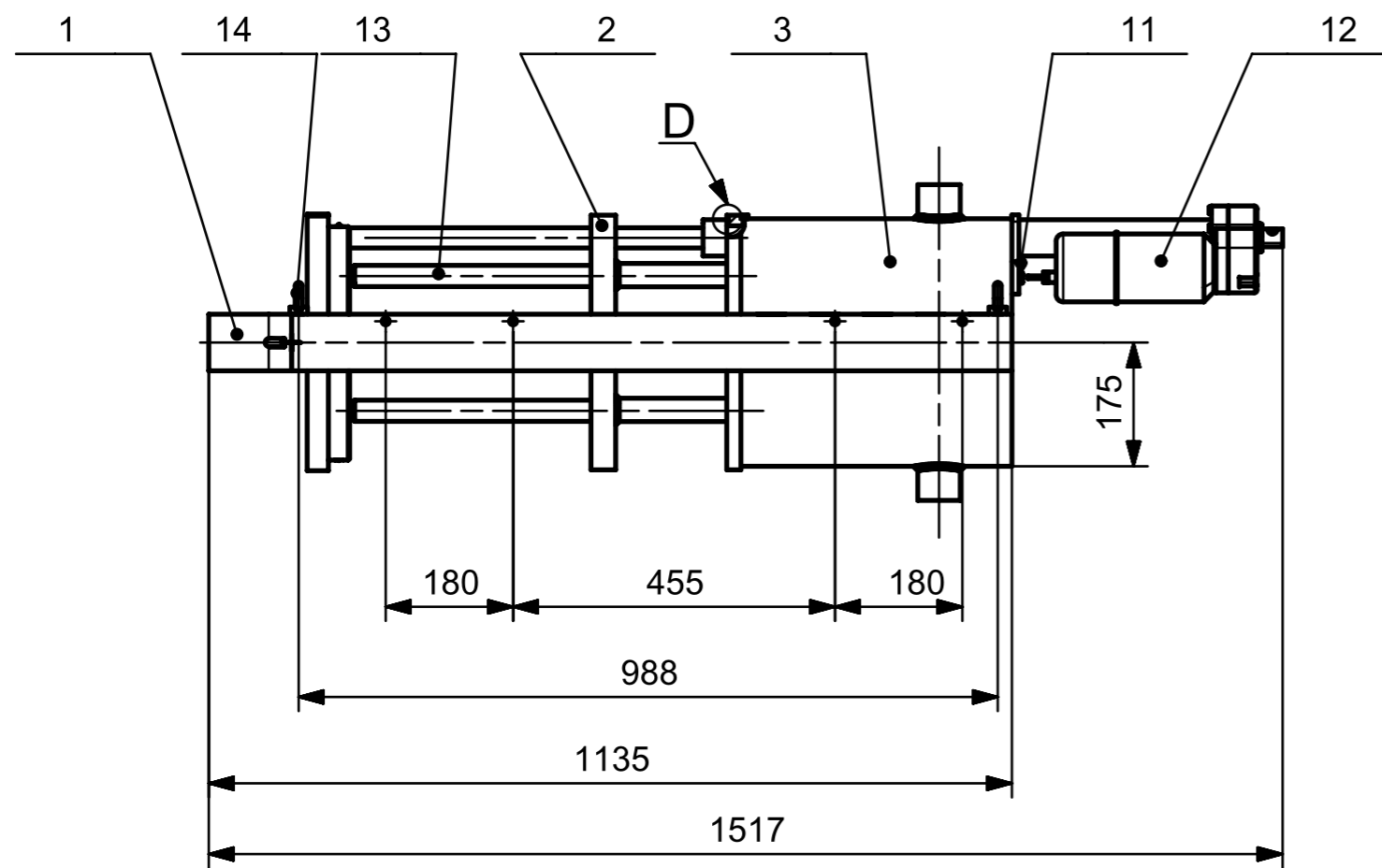
Poz.	Název - rozměr	Výkres - norma	Materiál	Hmotnost	KS
7	Šroub M10x1x20 -6.6	DIN 6921		0,03	24
6	Kontejner na odpad	ENWAR.pl		15	1
5	Svod	RF-BP-V-02	EN AW 3103A	11,59	1
4	Objímka	RF-BP-S-03		0,58	2
3	Skruz	RF-BP-V-01	EN AW 3103A	6,45	3
2	Konstrukce Hilti	RF-BP-S-02		66,96	1
1	Separátor	RF-BP-S-01		149,5	3

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	15.5.2016	Radek Florian		
Prezkoušel / Checked by				
Schválil / Approved by				

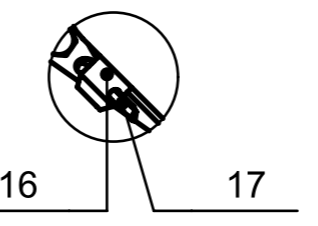
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	Meritko / Scale <b>1:20</b>
	nosnikovy system		
Soubor-vykres / DRW-file		C.hmot.sestavy	

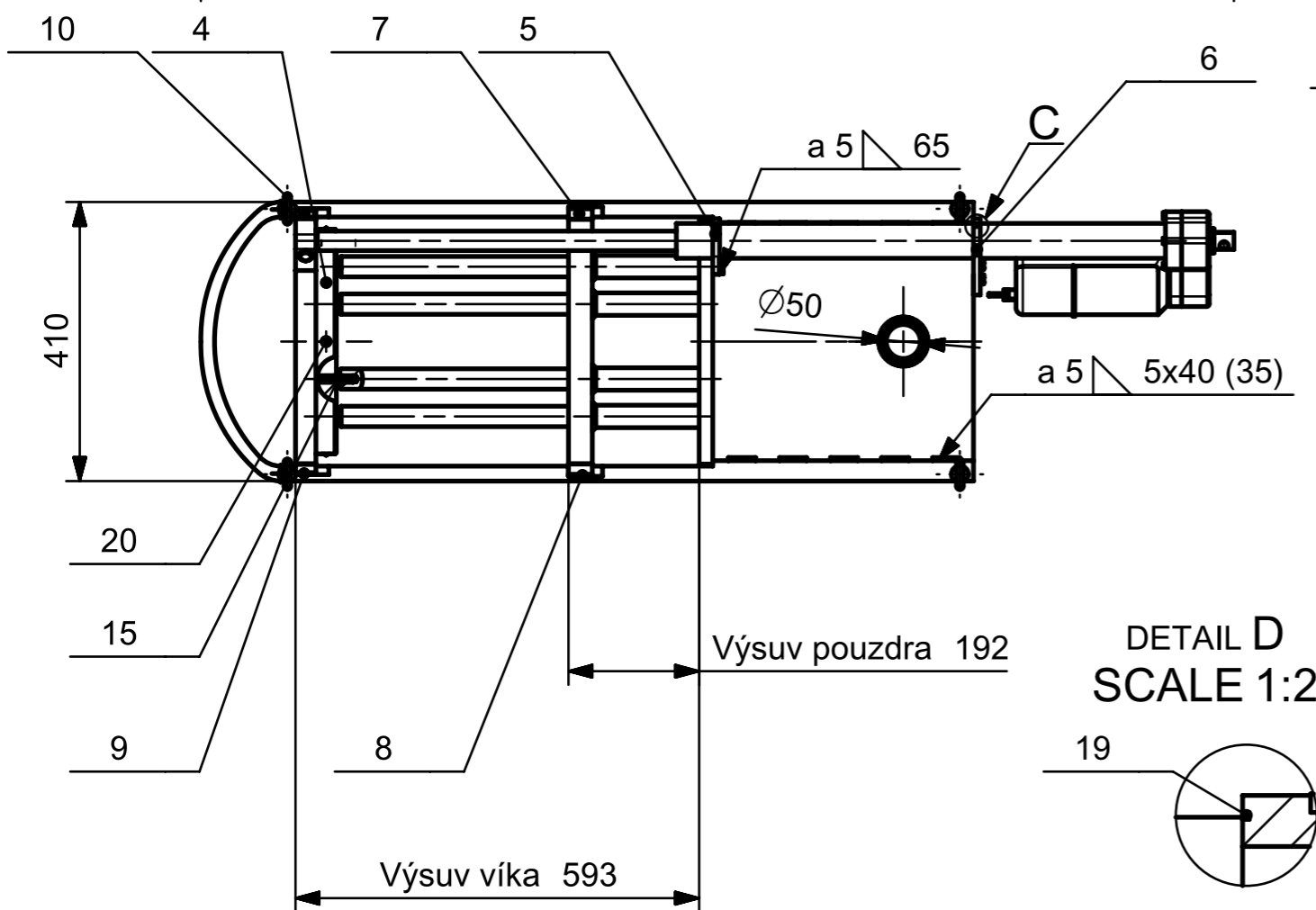
Název / Title	Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
<b>SEPARAČNÍ SYSTÉM</b>	0	<b>RF-BP-S-00</b>	<b>A3</b>
List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1	



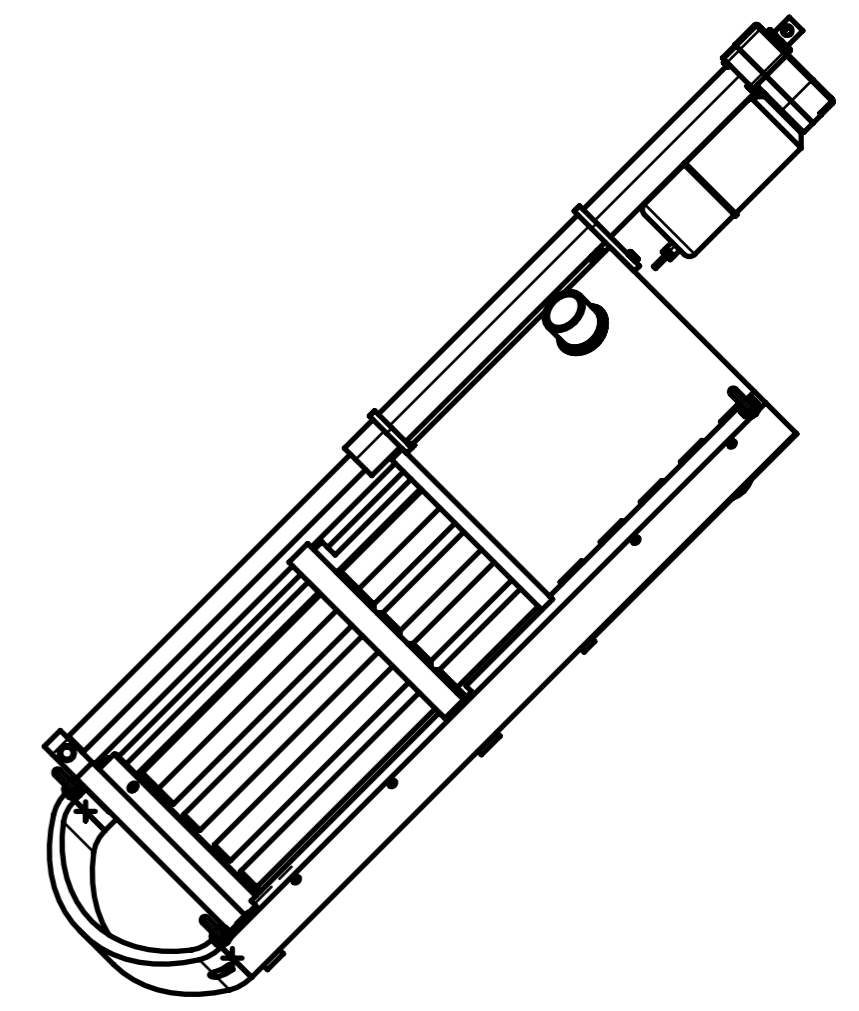
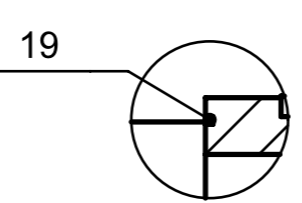
DETAIL B  
SCALE 1:2





DETAIL C  
SCALE 1:2



DETAIL D  
SCALE 1:2



CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by	15.5.2016	Radek Florian				
Prezkoušel / Checked by						
Schválil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:	
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK ČSN EN ISO 13920-BF	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale <b>1:10</b>	
	separator		C.sestavy / Assembly No.			
	Soubor-vykres / DRW-file		RF-BP-S-00			
separator		C.hmot.sestavy		149,50		
Název / Title				Rev.	Císlo vykresu / Drawing No.	Format
<b>SEPARÁTOR</b>				0	<b>RF-BP-S-01</b>	<b>A3</b>
		List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	2	



4

3

2

1

Poz.	Název - rozměr	Výkres - norma	Materiál	Hmotnost	Ks
1	Vedení	RF-BP-S-04	EN AW 3103A	32,12	1
2	Pouzdro	RF-BP-V-04	EN AW 3103A	9,51	1
3	Komora	RF-BP-V-05	EN AW 3103A	55,32	1
4	Víko	RF-BP-V-06	11 373	31,02	1
5	Držák přední	RF-BP-V-07	EN AW 3103A	0,15	1
6	Držák zadní	RF-BP-V-08	11 300	0,36	1
7	Kl. obložení pouzdra 35x15x5	171010040		0,02	4
8	Kl. boční obložení pouzdra 35x30x3	171010013		0,03	2
9	Kl. boční obložení víka 30x30x3	171010012		0,02	2
10	Kl. obložení víka 30x12x5	171010039		0,02	4
11	Šroub M8x20	ISO 4017		0,01	2
12	Aktuátor Thomson	A22-21B5		8,44	1
13	Magnetické tyče 30x360	MT 360/300 VVM 30		1,98	6
14	Závěsné oko M10x1,5	DIN580		0,11	4
15	Šroub M10x35	DIN 385		0,03	6
16	Čep 12x70	ISO 2341		0,07	1
17	Závláčka 2x20	ISO 1234		0,01	1
18	Stavěcí šroub M5x5	ISO 4766		0,01	2
19	Těsnění NBR70 350x2	DIN 3771		0,02	1
20	Pružinový kolík Ganter M12x1	GN 513		0,02	4

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved</small></p>	
Kreslil / Drawn by	15.5.2016		Radek Florian				
Prezkoušel / Checked by							
Schválil / Approved by							
Index změny	Popis změny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:		
 <p>ISO 128</p>	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file				Projekt / Project:	Meritko / Scale
	ISO 8015 ISO 2768mK	separator				C.sestavy / Assembly No.	
		Soubor-vykres / DRW-file				RF-BP-S-00	
Název / Title					Rev.	Císlo vykresu / Drawing No.	Format
SEPARÁTOR						RF-BP-S-01	A4
					List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets
						2	2

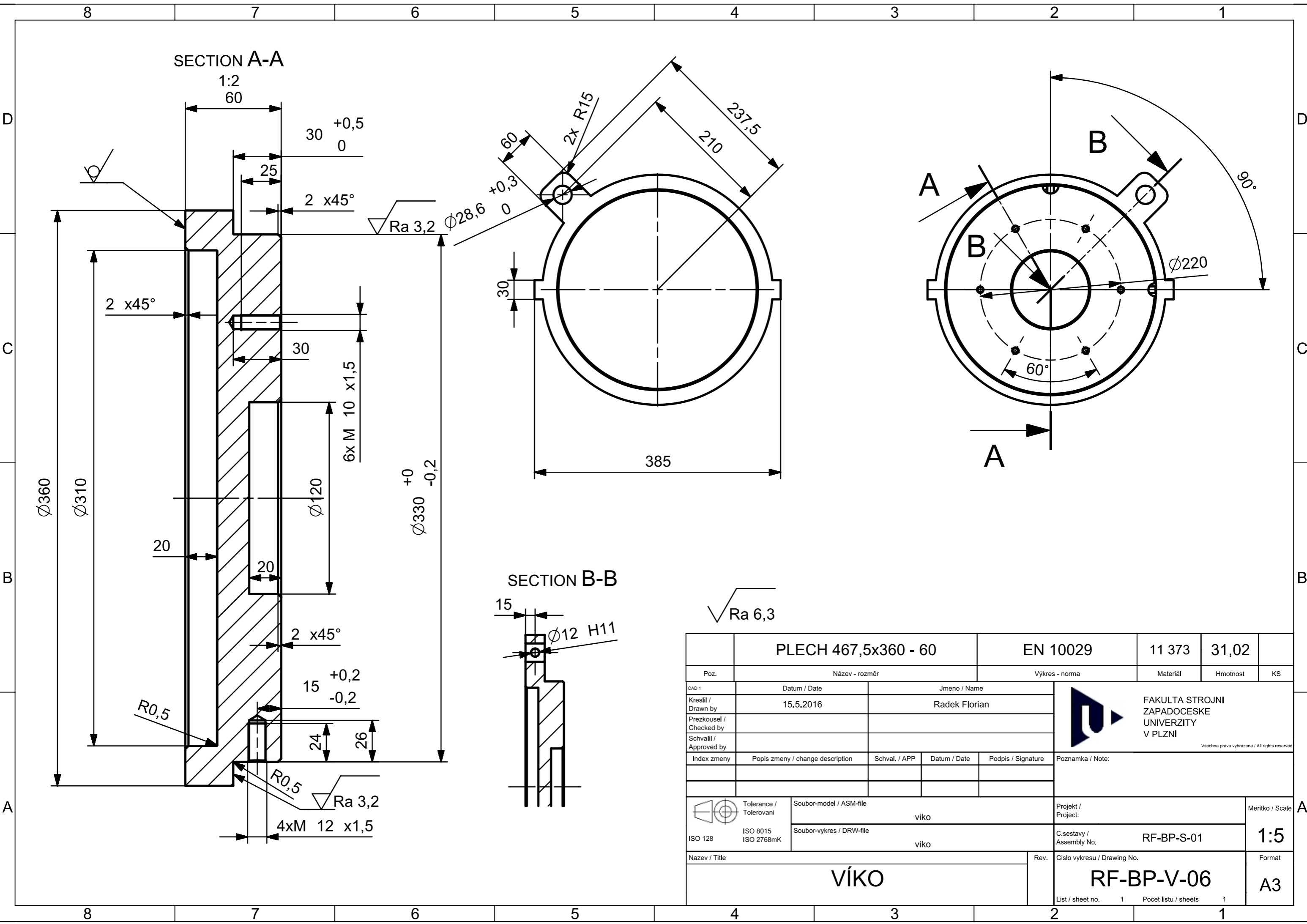
4


3

2

1





PLECH 467,5x360 - 60				EN 10029		11 373	31,02	
Poz.	Název - rozměr			Výkres - norma		Materiál	Hmotnost	KS
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>			
Kreslil / Drawn by	15.5.2016		Radek Florian					
Prezkoušel / Checked by								
Schválil / Approved by								
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:		Meritko / Scale	
ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK		viko			C.sestavy / Assembly No.		1:5	
Soubor-vykres / DRW-file					viko		RF-BP-S-01	
Název / Title					Rev.		Cislo vykresu / Drawing No.	
VÍKO							RF-BP-V-06	
List / sheet no.						1	Pocet listu / sheets	
						1	1	
								A3