

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Magnetická separace

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce: Bc. Tomáš Balatý

PRAHA 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tomáš Balatý

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Magnetická separace

Název anglicky

Magnetic separation

Cíle práce

- shromáždit informace o magnetismu, magnetech a principech používaných při magnetické separaci,
- experimentálně posoudit účinnost magnetické separace.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíl práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce
cca 60 stran

Klíčová slova

magnet, elektromagnet, feromagnetismus, separace

Doporučené zdroje informací

BANSAL, R.: Fundamentals of engineering electromagnetics. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis 2006.

CAMPBELL, P.: Permanent magnet materials and their application. Cambridge: Univ. Press 1994.

DIONNE, G. F.: Magnetic oxides. New York: Springer 2009.

Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.

JONES, H.: Research magnet technology: forty years of creating high magnetic fields. London: Imperial College Press 2010.

KUMAR, C. S. S. R.: Magnetic nanomaterials. Weinheim: Wiley-VCH 2009.

MALÁ, Z., NOVÁKOVÁ, D., NOVÁK, R.: Fyzika. 2. přeprac. vydání. Praha: České vysoké učení technické 2009.

QUADSYSTEM SUPER-QUAD: elektropermanentní magnetické upínací systémy / TECNOMAGNETE.

Lainate: TECNOMAGNETE 2005.

SVOBODA, J.: Magnetic techniques for the treatment of materials. Dordrecht: Kluwer 2004.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2015

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 02. 2016

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Milana Brožka, CSc. a použil jen pramenů citovaných v přiloženém seznamu.

.....

Tomáš Balatý

Poděkování:

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a nápady, které mi poskytl při psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě kešner a.s. za poskytnutí všestranné podpory a spolupráci při realizaci experimentálního posouzení účinnosti magnetické separace v závodě energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně. V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit vděčnost své rodině a přátelům, bez jejichž podpory by diplomová práce vznikala mnohem obtížněji.

Obsah

1	Úvod	1
2	Současný stav řešeného problému	3
2.1	Magnet	3
2.1.1	Definice magnetu	3
2.1.2	Permanentní magnet	3
2.1.3	Elektromagnet	14
2.2	Magnetické látky	17
2.2.2	Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole	19
2.3	Magnetická separace	22
2.3.1	Definice magnetické separace	23
2.3.2	Využití magnetické separace	23
2.3.3	Rozdělení magnetické separace podle separačního prostředí	24
2.3.4	Rozdělení magnetických separátorů podle konstrukce	25
3	Cíl práce a metody jejího zpracování	31
3.1	Cíl práce	31
3.2	Metodika	31
4	Výsledky experimentů a diskuze	32
4.1	Vzorky použité pro experimentální posouzení účinnosti magnetického separátoru	33
4.2	Nadpásový magnetický separátor	35
4.2.1	Prohlášení o začlenění	35
4.2.2	Umístění nadpásového magnetického separátoru v dopravní technologii	36
4.2.3	Technické parametry	38
4.2.4	Konstrukce	39
4.2.5	Doplňující komponenty nadpásového magnetického separátoru	40
4.2.6	Bezpečnost práce a varovná upozornění	41

4.3	Montáž ochranného krytu nadpásového magnetického separátoru	42
4.4	Montáž skluzu na pásový dopravník PD100-4600	43
4.5	Charakteristika dopravovaného materiálu	44
4.6	Posouzení účinnosti nadpásového magnetického separátoru	46
4.6.1	Princip činnosti nadpásového magnetického separátoru	48
4.6.2	Data získaná při měření účinnosti nadpásového magnetického separátoru	49
4.7	Návrh záložního separačního zařízení pro dopravní technologii na dopravu škváry	52
5	Závěr a přínos práce	54
6	Seznam použité literatury	56

Magnetická separace

Abstrakt: Cílem diplomové práce bylo shromáždit informace o magnetismu, magnetech a principech používaných při magnetické separaci. Klíčovým bodem diplomové práce bylo experimentální posouzení účinnosti magnetické separace v provozu. První kapitola diplomové práce je věnována úvodu, ve kterém se uvádí stručný popis problematiky magnetické separace. Ve druhé kapitole je popsán současný stav řešeného problému, kde jsou vysvětleny základní definice a jevy vznikající při používání permanentních magnetů či elektromagnetů. Dále se v této kapitole podrobně popisuje magnetická separace. Třetí kapitola je věnována cíli práce a metodám jejího zpracování. Ve čtvrté kapitole je popsán experiment, který byl proveden za účelem zjištění účinnosti magnetického separátoru během zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry. Poslední kapitola se věnuje závěru a přínosu diplomové práce.

Klíčová slova: magnet, elektromagnet, feromagnetismus, separace

Magnetic separation

Abstract: The aim of the thesis was to gather information about magnetism, magnets and principles used in magnetic separation. The key point of this thesis was to assess the efficacy of an experimental magnetic separation operation. The first chapter is devoted to the introduction, which is a brief description of the problems of magnetic separation. The second chapter describes the current state of the problem, which explains the basic definitions and phenomena arising from the use of permanent magnets or electromagnets. Furthermore, this chapter describes in detail the magnetic separation. The third chapter is devoted to the work goals and methods of processing. The fourth chapter describes an experiment that was conducted to determine the effectiveness of a magnetic separator during the trial operation of transport technology to transport clinker. The last chapter is devoted to conclusions and contribution of this thesis.

Keywords: magnets, electromagnets, ferromagnetism, separation

1 Úvod

Základní podmínkou existence lidské společnosti je tvorba užitkových hodnot. Efektivní tvorba těchto hodnot vystupuje čím dál tím více do popředí. Nedostatek surovin, energií, paliv a nástrojů vyvolává logickou potřebu vyrábět co nejefektivněji s použitím moderních technologických postupů. V dnešní době existují technologie a metody na separaci materiálů, které umožňují spotřebovaný materiál třídít na základní suroviny a opakovaně využívat při vytváření nových výrobků. V průběhu tohoto procesu vznikají podmínky pro opakované využití určitých surovin za účelem šetření finančních prostředků a snížení negativních dopadů na životní prostředí. Nespornou výhodou vyplývající z využití moderních technologických postupů jsou nižší náklady na výrobu, neboť odpadají náklady na těžbu základních surovin. Separace materiálů má široké spektrum použití v mnoha odvětvích, ale pro konkrétní podmínky diplomové práce je nutné toto spektrum specifikovat pouze na průmyslové odvětví.

Magnetická separace je proces, při kterém dochází za působení magnetu, respektive jeho magnetického pole k separaci feromagnetických materiálů od nemagnetických materiálů. V zásadě lze magnetickou separaci rozdělit na dva základní druhy, a to za použití permanentních magnetů nebo elektromagnetů. Velmi častým využitím magnetické separace je třídění, při kterém je materiál automaticky rozdělován podle jeho magnetických vlastností závislých na magnetickém stavu. Příkladem využití této technologie mohou být třídírny odpadů, kde se zbavuje zpracováváný papír ocelových třísek. Dalším příkladem je využití magnetického separátoru zavěšeného na ocelové konstrukci nad pásovým dopravníkem dopravujícím sypký materiál, kdy je pomocí separátoru oddělen feromagnetický materiál, který je přenesen na jiný pásový dopravník. Magnetická separace nemusí nutně souviset jen s magnetickými vlastnostmi materiálů, ale také například s velikostí separovaných částic. Vždy však zůstává základní myšlenka, na které je tento proces postaven. Oddělení určitého materiálu, který může vykazovat různé stupně magnetizace (diamagnetismus, paramagnetismus, feromagnetismus) od látky s odlišnými vlastnostmi.

Cílem diplomové práce bylo vypracování literární rešerše na dané téma a provedení experimentu za účelem zjištění účinnosti magnetického separátoru během zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry. Experiment byl proveden v závodě na energetické využití komunálního odpadu v Plzni (ZEVO CHOTÍKOV) spadající pod Plzeňskou teplárenskou společnost, kde provozuje dopravní technologii firma kešner a.s.

Vzorky s feromagnetickými vlastnostmi jsou dopravovány pomocí pásového dopravníku k magnetickému separátoru zavěšenému na ocelové konstrukci. Magnetický separátor separuje vzorky a následně je přenáší na další pásový dopravník, postavený napříč k prvnímu dopravníku. Dále je separovaný materiál přenášen na poslední pásový dopravník opatřený skluzem vedoucím do kontejneru na kovy. Výsledkem experimentu bude zjištění účinnosti magnetického separátoru během zkušebního provozu a zhodnocení získaných poznatků.

2 Současný stav řešeného problému

V kapitole 2 jsou uvedeny základní pojmy týkající se magnetismu a elektromagnetismu, které je nutné znát pro pochopení principu magnetické separace. Tato kapitola je také věnována podrobnému popisu magnetické separace.

2.1 Magnet

Prvním známým magnetem byl magnetovec, který objevili starověcí Řekové a Číňané. Tyto minerály nejprve sloužily pro zábavu, protože dokázaly přitahovat některé kovy. Až mnohem později se lidé naučili používat magnetovec a uměle zmagnetované kousky železa jako kompasu pro určování směru. Tento pokrok měl velký přínos pro orientaci lidí v terénu a umožnil průzkum ještě neprobádaných oblastí s určením přesného směru. V odborné literatuře se uvádí, že označení magnetického pole vzniklo vžitým zobecněním názvu starořeckého města Magnésie, v jehož okolí se 500 let p. n. l. vyskytovala rozsáhlá povrchová ložiska vydatně přirozeně zmagnetované železné rudy Fe_3O_4 (magnetovec) [1].

Dnes se magnety a magnetické materiály vyskytují všude okolo nás. Nalezneme je například ve videorekordérech, kreditních kartách, mobilních telefonech, osobních počítačích i v tiskařské barvě papírových bankovek. Dokonce některé potraviny jsou záměrně obohacovány železem jako např. obilné vločky obsahující nepatrné kousky magnetických materiálů. Nesmíme ovšem opomenout důležitý fakt. Moderní průmysl by v současné době nemohl existovat bez magnetických materiálů. Značně by byl také omezen vývoj nových technologií [1].

2.1.1 Definice magnetu

Magnet můžeme definovat jako objekt, který v každém bodě prostoru kolem sebe vytváří magnetické pole. Magnetické pole můžeme popsat vektorovou veličinou B , kterou nazýváme magnetická indukce (jednotka: T , Tesla). Magnet může mít formu permanentního magnetu nebo elektromagnetu [1].

2.1.2 Permanentní magnet

Permanentní magnety jsou nejčastěji používaným magnetickým prvkem. Mezi hlavní výhody při jejich používání patří spolehlivost, jednoduchá údržba, nulová spotřeba energie. K vytváření magnetického pole není potřeba vnějších vlivů (např. dodání elektrického proudu). Permanentních magnetů existuje mnoho druhů. Rozlišujeme je především z hlediska magnetických vlastností a materiálu, ze kterého jsou vyrobeny [2].

Příklady použití permanentních magnetů:

- Motory buzené trvalými magnety
- Klávesnicové magnety, pevné disky
- Hallovy sondy
- Výtahy, dopravníky, čerpadla

Fyzikální princip permanentního magnetu

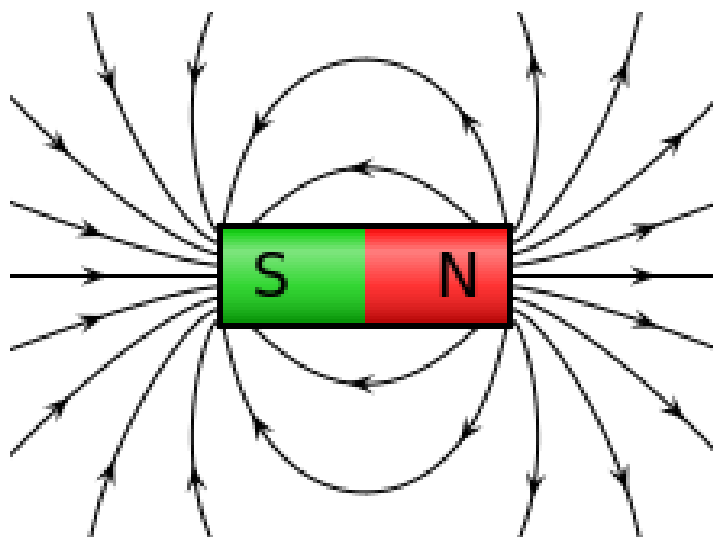
Fyzikální princip je založen na pohybu elektricky nabitě částice, která vytváří ve svém okolí magnetické pole. Toto pole je základní charakteristickou veličinou stejně jako hmotnost či elektrický náboj. Elektrony jsou nosičem elektrického náboje. Při svém pohybu uvnitř atomů hmoty (spinová rotace a obíhání kolem jádra atomu) vytvářejí elementární magnetické momenty - podobně jako vzniká magnetické pole v okolí vodiče, kterým protéká elektrický proud, což je také uspořádaný pohyb volných nosičů elektrického náboje, vyvolaný silovým působením elektrického pole.

Pokud jsou tyto elementární magnetické momenty jednotlivých elektronů v atomech orientovány zcela neuspořádaně, dochází k jejich vzájemnému vykompenzování a daná látka není zdrojem magnetického pole. Čím více jednotlivých elementárních magnetických momentů elektronů je orientováno souhlasně, tím více je daná látka magnetická. Zmagnetování za běžných podmínek nemagnetických látek vnějším magnetickým polem lze vysvětlit ovlivněním pohybu elektronů a tím i orientace jejich elementárních magnetických momentů silovým působením vnějšího magnetického pole. Přestane-li vnější magnetické pole působit, obnoví se (v ideálním případě) původní stav pohybu elektronů v atomech a tím i původní neuspořádaná orientace jejich elementárních magnetických momentů - daná látka bude opět nemagnetická. Pokud budou magnetické účinky přetrvávat, tak hovoříme o remanentním magnetismu [2].

Přítomnost magnetického pole se projevuje magnetickými jevy a účinky. Pro běžného pozorovatele jsou patrné zejména jeho silové účinky na okolní feromagnetické látky v blízkosti zdroje magnetického pole. V praxi se často používá poznatek, že nestejnomené póly dvou zdrojů magnetického pole se přitahují a stejnojmenné se odpuzují. Jako příklad můžeme uvést fyzikální princip tzv. magnetického polštáře, na kterém se pohybují vysokorychlostní dopravní prostředky. Princip funkce magnetu je zobrazen na obr. 1 [1].

Na obr. 1 je zobrazen tyčový magnet a jeho magnetické pole. Pokud bychom rozsypany okolo takového magnetu feromagnetické piliny, budou orientovány ve směru magnetického pole magnetu a jejich rozložení ukazuje průběh magnetických indukčních čar. Z nahuštění indukčních čar na koncích magnetu můžeme soudit, že z jednoho konce (N = severní pól) indukční čáry vystupují a vstupují na druhém konci (S = jižní pól). Tento magnet se svými dvěma póly je příkladem magnetického dipólu. Pokud magnet rozložíme, tak se každý úlomek stane samostatným magnetem se severním a jižním pólem. Nemůžeme tedy vytvořit monopol. Je to dáno tím, že nejjednodušší magnetická struktura je magnetický dipól [3].

Obr. 1 Magnetické pole znázorněné indukčními čarami



Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnet>

2.1.2.1 Magneticky tvrdé ferity

Tvrdé ferity jsou celosvětově nejvíce používané permanentní magnety, neboť mají jednu velkou výhodu. Jsou cenově nejpříznivější. Další výhodou je široký rozsah pracovních teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+225\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kromě rozšířených barnatých feritů se stále více používají vysoce koercitivní strontnaté ferity. Feritové magnety mají magnetickou osu orientovanou kolmo k základní ploše. Vyrábějí se pomocí práškové metalurgie jako anizotropní nebo izotropní [4].

Anizotropní magnety

Mají dobré magnetické vlastnosti pouze v jednom směru (v přednostní ose magnetizace). Jsou vyráběny lisováním v magnetickém poli a právě díky tomu dostanou prioritní směr magnetování. Mohou být používány obdobně jako magnety izotropní, avšak při stejném objemu se dosáhne vyššího magnetického toku a podle typu mají 1,5-2 krát vyšší remanentní magnetickou indukci [2].

Izotropní magnety

Mají ve všech směrech prakticky stejné magnetické vlastnosti. Jsou vyráběny z izotropních materiálů a lisují se bez přítomnosti magnetického pole. Nemají tedy žádnou přednostní osu magnetizace. Z toho vyplývá, že mohou být namagnetovány dle potřeby v jedné ze tří os. Ve srovnání s anizotropními permanentními magnety jsou cenově výhodnější [2].

Na obr. 2 jsou zobrazeny permanentní feritové magnety, které jsou po celém světě nejvíce používány. Při manipulaci s nimi je nutné dbát zvýšené opatrnosti, neboť jsou vyrobeny z křehkého materiálu.

Obr. 2 Permanentní feritové magnety



Zdroj: [4]

Krystalografická struktura feritového permanentního magnetu $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Buňka krystalu má hexagonální základní strukturu a skládá se ze dvou vzorových jednotek obsahujících 64 atomy. Ionty baria a kyslíku mají podobnou velikost. V buňce se vyskytují dva atomy baria nebo stroncia, které nahrazují ve struktuře atomy kyslíku. [2].

Obr. 3 Krystalografická struktura $BaFe_{12}O_{19}$

Chemické vlastnosti

Feritové permanentní magnety mají stechiometrii $BaFe_{12}O_{19}$ nebo $SrFe_{12}O_{19}$ a jsou keramickými oxidy. Převážně se skládají z 80 % Fe_2O_3 a 20 % $BaCO_3$ nebo $SrCO_3$. Suroviny na výrobu těchto magnetů jsou dobře dosažitelné a cenově výhodné. Jejich silnou stránkou je odolnost vůči mnohým chemikáliím, jako jsou ředidla, louhy a slabé kyseliny. U silných organických a anorganických kyselin (kyselina chlorovodíková, kyselina sírová) je v podstatě odolnost určována teplotou, koncentrací a časem styku. V zásadě se odolnost stanovuje na základě dlouhodobých pokusů [2].

Mechanické vlastnosti

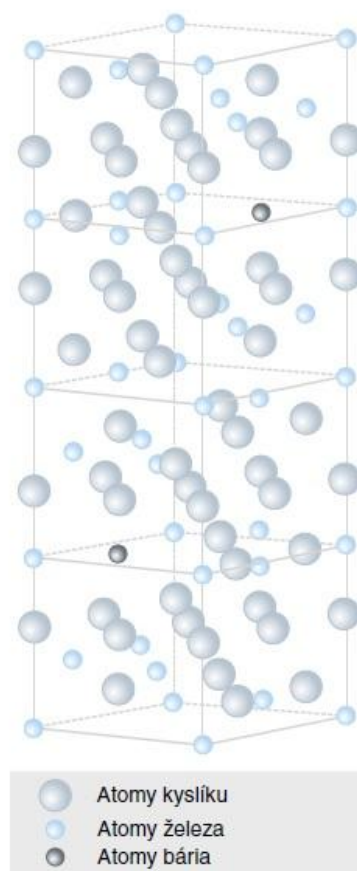
Na základě svého keramického charakteru jsou ferity křehké a velmi citlivé na náraz a ohyb. Z důvodu značné tvrdosti jsou obráběny pomocí diamantových nástrojů.

Přibližné hodnoty mechanických vlastností [2]:

- Tvrdost: 6-7 Mohs
- Modul pružnosti: $150 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
- Pevnost v tlaku: 700 N/mm^2
- Pevnost v tahu: 50 N/mm^2

Magnetické vlastnosti

Hodnoty magnetických veličin feritových permanentních magnetů jsou dostupné v materiálových listech výrobců či příslušných normách. Většinou se v tabulce vyskytují tyto údaje: remanence, koercivita, rozměry magnetu, pracovní teplota, typ, maximální energetický součin, magnetická indukce, magnetický tok, intenzita magnetického pole. Všechny uvedené magnetické hodnoty jsou měřeny dle DIN EN 10332 (dříve DIN 50470). Výše zmíněné magnetické veličiny budou vysvětleny v následujících podkapitolách [2, 4].



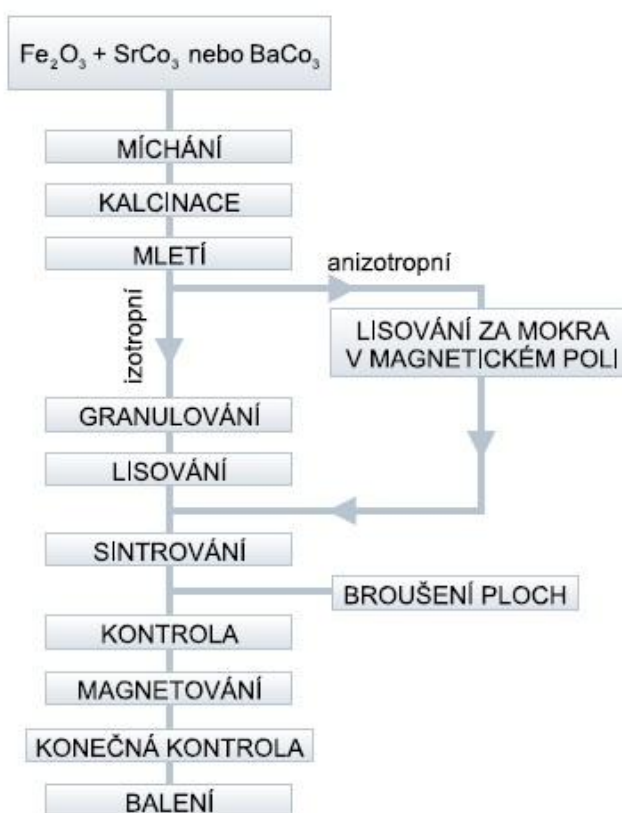
Zdroj: [2]

Popis výrobního procesu feritových permanentních magnetů

Základní suroviny pro výrobu magneticky tvrdých permanentních magnetů jsou oxid železitý (Fe_2O_3) a uhličitany barya (BaCO_3) nebo stroncia (SrCO_3). Uvedené suroviny se mísí v poměru 80 % Fe_2O_3 a 20 % BaCO_3 nebo SrCO_3 . Z této směsi vzniká kalcinací za vysokých teplot hexaferit. Dále následuje lisování do požadovaných tvarů za sucha (ve formě prášku s pojivem) nebo ve formě vodné suspenze. Anizotropní permanentní magnety se lisují v magnetickém poli. Výsledný tvar a pevnost dostávají magnety sintrováním (spékáním) při teplotách přes 1200 °C. Posledním krokem výrobního procesu je zmagnetování magnetu podle přání zákazníka. Po finální kontrole (splnění požadovaných parametrů) se mohou hotové výrobky expedovat zákazníkům [2].

Na obr. 4 je zobrazeno blokové schéma výrobního procesu feritových permanentních magnetů. Toto schéma slouží pro snadnější pochopení výroby feritových magnetů a umožňuje lépe se orientovat v jednotlivých fázích výrobního procesu. Veškeré úkony týkající se výroby, kontroly či expedice, jsou řízeny dle příslušných norem a logistického uspořádání.

Obr. 4 Blokové schéma výrobního procesu feritových permanentních magnetů



Zdroj: [2]

2.1.2.2 *Permanentní magnety ze vzácných zemin*

Permanentní magnety ze vzácných zemin jsou na bázi SmCo a NdFeB. V zásadě jsou k dispozici tři materiálové typy založené na intermetalických fázích (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) složené z magnetických materiálů ze vzácných zemin (Sm, Nd) a přechodového kovu (Co, Fe). Jejich hlavními přednostmi jsou vysoká výkonnost (největší energie) a kvalitativně velmi hodnotné komponenty. Dle velikosti, tvaru, toleranci a počtu, jsou permanentní magnety řezány z izostaticky lisovaných surových magnetů, popřípadě lisovány v příčném nebo axiálním poli. Právě různé výrobní způsoby umožňují dosahovat odlišných magnetických vlastností. Magnety lisované v příčném poli mají poněkud vyšší remanenci. Lépe však splňují požadavky zákazníků magnety lisované v axiálním poli. Jejich výhodou je možnost výroby ve velkém množství za přijatelné náklady [2, 4].

Vývoj permanentních magnetů ze vzácných zemin

Pokud budeme porovnávat permanentní magnety ze vzácných zemin s tradičními permanentními magnety, tak dostaneme výsledky, které asi většina lidí očekává. Permanentní magnety ze vzácných zemin mají podstatně vyšší výkonnost, hodnoty koercivity, hodnoty remanence a jsou založeny na intermetalických sloučeninách z kovů ze vzácných zemin (neodym, samarium) a přechodových kovů (kobalt, železo). Permanentní magnety na bázi SmCo_5 a $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ (dodnes úspěšně používány) byly začátkem osmdesátých let dvacátého století zásadně doplněny vývojem magnetů na bázi NdFeB. Pokroky ve vývoji materiálu zlepšily doposud silnou náchylnost ke korozi magnetů NdFeB, takže za normálních podmínek použití, mohou být určité materiály z této skupiny nasazeny, aniž by byla nutná dodatečná povrchová úprava [2, 5].

Mechanické vlastnosti permanentních magnetů ze vzácných zemin

Permanentní magnety ze vzácných zemin se kvůli jejich tvrdosti opracovávají diamantovými nástroji. Nejvyšší křehkost vykazuje $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$. Při nárazech dochází lehce k odštípnutí povrchové vrstvy. Způsoby opracování jako broušení, dělení, řezání vodním paprskem, jsou možné. Hustota těchto magnetů se pohybuje od cca $7,5 \text{ g/cm}^3$ u NdFeB do $8,5 \text{ g/cm}^3$ u SmCo. Mají tedy podobnou hustotu jako ocel. Mechanické vlastnosti magnetů spojovaných plastem jsou v podstatě určovány použitým plastem. Oproti sintrovaným magnetům ze vzácných zemin je u magnetů spojených plastem možné mechanické opracování (soustružení, frézování nebo vrtání) pomocí tvrdokovových nástrojů [2].

Chemické vlastnosti permanentních magnetů ze vzácných zemin

Veškeré permanentní magnety ze vzácných zemin se považují za kovové materiály a vykazují podobné vlastnosti (např. bezprostředně po opracování mají typicky kovový lesk). Kyselé prostředí působí na magnety negativně (dochází k rozpouštění). Avšak existují výjimky, které jsou do značné míry rezistentní v alkalických médiích. Magnety SmCo oxidují ve vlhké atmosféře velmi málo, oproti tomu magnety NdFeB se pomalu rozpouštějí. Z důvodu zvýšení chemické odolnosti je nutné provádět povrchové povlakování [2].

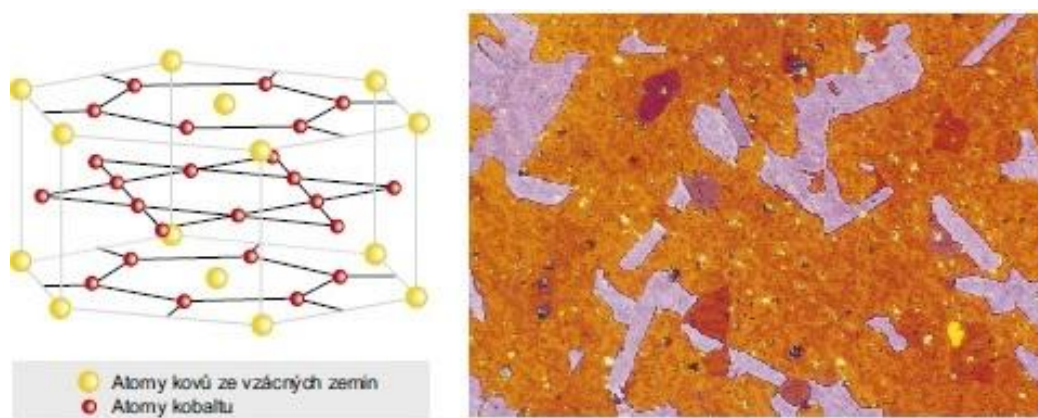
Magnetické vlastnosti permanentních magnetů ze vzácných zemin

Hodnoty magnetických veličin jsou dostupné v materiálových listech výrobců či příslušných normách. Udávají se stejné parametry, které jsou uvedeny na straně sedm (magnetické vlastnosti). Pracovní teploty jsou variabilní. Především záleží na typu použitého materiálu: u NdFeB od cca 110 °C do 220 °C, u SmCo až do 350 °C [2].

Krystalografická struktura permanentního magnetu ze vzácných zemin SmCo₅

Na obr. 5 je zobrazena vlevo krystalografická struktura SmCo₅, která představuje základní jednotku veškerých permanentních magnetů ze vzácných zemin s přechodným kovem. Atomy kovů ze vzácných zemin a atomy kobaltu vytváří nezávislou hexagonální mřížku. Vpravo je zobrazena krystalografická struktura 1000 krát zvětšena. Strukturní stavba znázorňuje dvě rozdílné fáze: fialová (Sm₂Co₇) a hnědá (magneticky tvrdá fáze SmCo₅). Tyto permanentní magnety jsou nukleárně vytvrzené (magnetická tvrdost vzniká vysokou anizotropní silou pole) [2].

Obr. 5 Krystalografická struktura SmCo₅



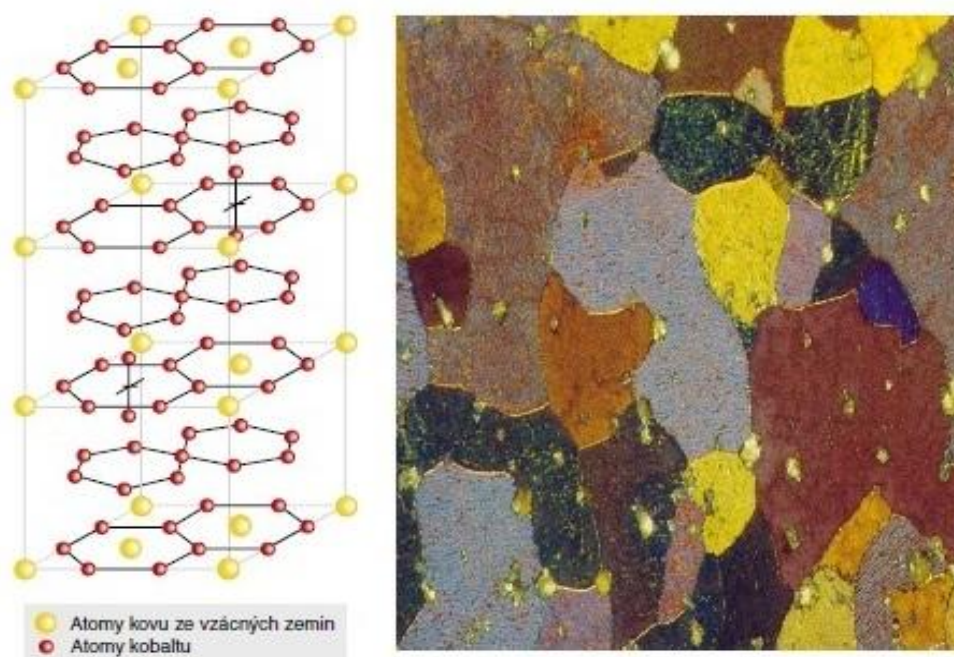
Zdroj: [2]

Krystalografická struktura permanentního magnetu ze vzácných zemin $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$

Na obr. 6 je vlevo zobrazena krystalografická struktura $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, která je založena na jednopětinové buňce krystalové mřížky. V této krystalografické struktuře je nahrazena jedna třetina všech atomů Sm páry atomů Co. Částečnou náhradou atomů kobaltu atomy železa se značně zvyšuje saturační magnetizace. Možné krystalové struktury jsou romboedrické nebo hexagonální. Permanentní magnety $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ nemají exaktní stechiometrii 2/17, nýbrž stechiometrii 2/15. Tím se vytvoří nejen romboedrická základní struktura, ale také sloučenina SmCo_5 , která je důležitá pro magnetické vytvrzení. Ostatní legující kovy se přitom rozpouštějí v romboedrické matriční fázi (Fe), v hexagonální 1/5-vylučovací fázi (Cu), jakož i v hexagonální 2/17-fázi (Zr) [2].

V pravé části obr. 6 je zobrazena krystalografická struktura 1000 krát zvětšena. Struktura je tvořena magneticky tvrdou fází $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ (barevná). Různorodost barev vzniká leptáním. Mezi zrny lze rozeznat jemnou zrnitou mezní fázi jiného složení (světlá barva). Největší částice, které se vyskytují v této struktuře, jsou karbidy Zr. Tyto magnety se liší od ostatních permanentních magnetů ze vzácných zemin především pomalou reakcí při namagnetování a přemagnetování. Přednostní osa magnetizace je kolmá k základní rovině [2].

Obr. 6 Krystalografická struktura $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$



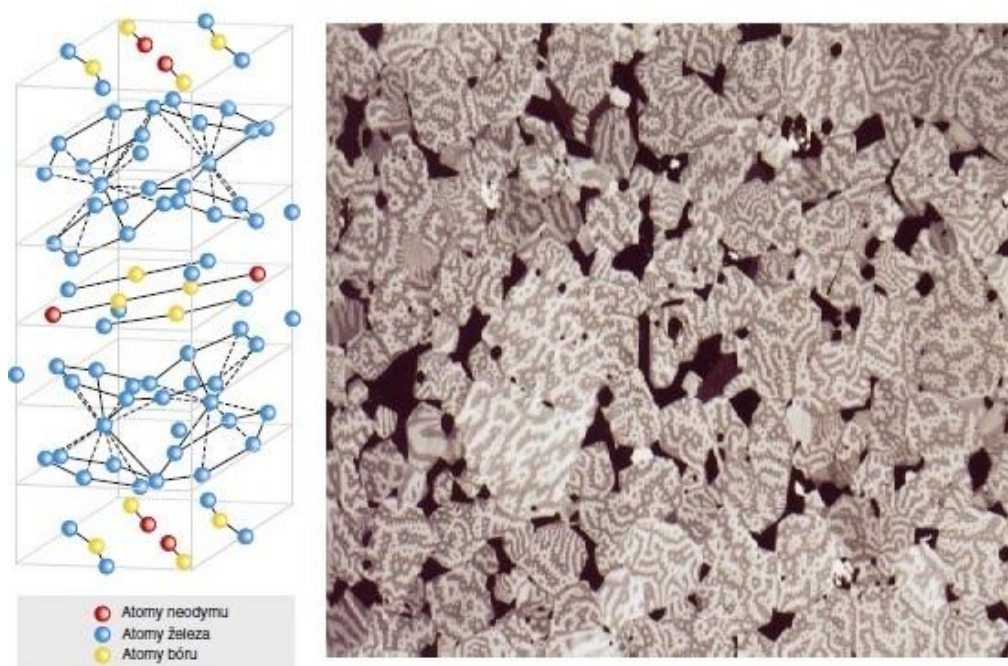
Zdroj: [2]

Krystalografická struktura permanentního magnetu ze vzácných zemin $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Na obr. 7 je vlevo zobrazena krystalografická struktura $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Čtyři jednotky tvoří jednotnou strukturu, kterou tvoří celkem 68 atomů (atomy neodymu, atomy železa, atomy bóru). Struktura je tetragonální, avšak atomy železa tvoří hexagonální švy podobné jako u romboedrických a hexagonálních krystalů $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$. Permanentní magnety na bázi NdFeB jsou obohacovány legujícími prvky, které pomáhají zlepšit jejich vlastnosti. Například částečné nahrazení neodymu disproziem vede ke zvýšení koercitivní síly.

V pravé části obr. 7 je zobrazena krystalografická struktura 1000 krát zvětšena. Struktura je rozdělena na dvě rozdílné fáze. Magneticky tvrdá fáze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a nemagnetická mezní fáze z čistého neodymu (černá barva). Tyto permanentní magnety jsou nukleárně vytvrzené (magnetická tvrdost vzniká vysokou anizotropní silou pole). Přednostní osa magnetizace je kolmá k základní rovině [2].

Obr. 7 Krystalografická struktura $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$



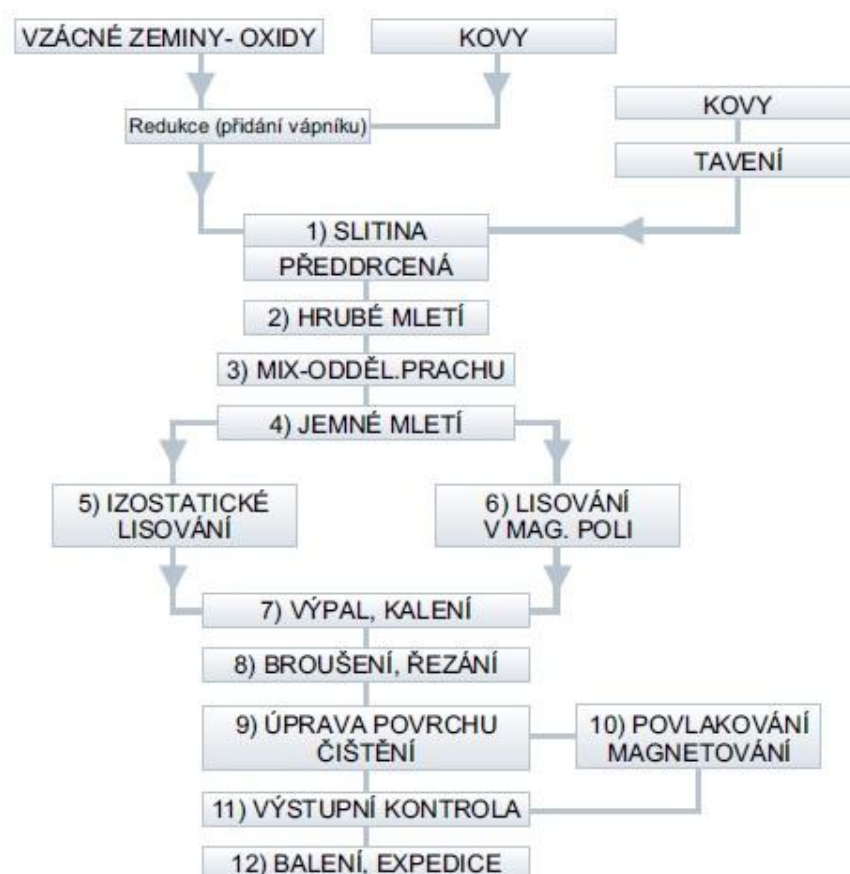
Zdroj: [2]

Popis výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin

Základní suroviny pro výrobu permanentních magnetů ze vzácných zemin jsou vzácné zeminy (oxidy) a kovy. Pokud bychom porovnávali složitost výroby feritových permanentních magnetů a permanentních magnetů ze vzácných zemin, tak je na první pohled patrné z blokových schémat výrobního procesu obr. 4 a obr. 8, že výroba permanentních magnetů ze vzácných zemin je značně náročnější a nákladnější.

Na obr. 8 je zobrazeno blokové schéma výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin. Toto schéma slouží pro snadnější pochopení a umožňuje lépe se orientovat v jednotlivých fázích výrobního procesu. Veškeré úkony týkající se výroby, kontroly či expedice jsou řízeny dle příslušných norem a logistického uspořádání.

Obr. 8 Blokové schéma výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin



Zdroj: [2]

2.1.3 Elektromagnet

Elektromagnet je v podstatě elektromechanickým měničem energie, který mění během své činnosti elektrickou energii v energii mechanickou. Pro technické užití elektromagnetů není rozhodující ani tak velikost energie, jako průběh tahové síly kotvy během jejího zdvihu. Spektrum jejich použití je velmi široké, proto budou uvedeny jen některé příklady, které jsou nejčastěji viděny.

Příklady použití elektromagnetů:

- Sběrny kovového odpadu, obráběcí stroje
- Elektrické zvonky, elektromagnetické relé, jističe
- Snímač otáček klikového hřídele

2.1.3.1 *Objev elektromagnetismu*

Již staří Řekové věděli, že když budou třít kus jantaru, bude přitahovat kousky slámy. Dále také vyzorovali, že některé přírodní minerály např. magnetovec, přitahují železo. Z těchto skromných počátků se vědy o elektřině a magnetismu rozvíjeli po staletí odděleně. Průlom nastal až v roce 1820. Vědec Hans Christian Oersted našel mezi elektřinou a magnetismem spojení. Zjistil, že elektrický proud protékající vodičem vychyluje magnetickou střílku kompasu. Vznikla nová věda s názvem elektromagnetismus (spojující elektrické a magnetické jevy). Jedním z nejvýznamnějších experimentátorů v oblasti elektromagnetismu byl Michael Faraday, který sepsal laboratorní deníky z jeho pokusů. V polovině 19. století James Clerk Maxwell vyjádřil Faradayovy poznatky v matematické podobě, přidal řadu svých myšlenek a položil tak teoretické základy elektromagnetismu. Základní zákony elektromagnetismu jsou tedy nazývané Maxwellovy rovnice [1]. Tyto rovnice platí pouze v regulárních bodech pole (stavové pole vektory spojitě mění). V místech nespojitosti (rozhraní těles různých materiálů) tyto rovnice neplatí. Platí zde podmínky, které se nazývají podmínkami na rozhraní [6].

2.1.3.2 *Elektromagnetické pole*

Časově proměnný elektrický proud vytváří časově proměnné magnetické pole. Na druhé straně časově proměnné magnetické pole indukuje časově proměnné elektrické napětí, které v důsledku může znovu vyvolat průtok časově proměnného elektrického proudu. Proto při změnách proudu, napětí, elektrického náboje nebo magnetického toku nemůžeme elektrické pole oddělit od pole magnetického. Pak tedy hovoříme o poli elektromagnetickém a pole elektrické i magnetické bereme pouze jako jeho zvláštní případy [7].

2.1.3.3 Maxwellovy rovnice

Základní čtyři rovnice elektromagnetismu jsou nazývané Maxwellovy rovnice. Tyto rovnice vysvětlují všechny kategorie elektromagnetických jevů a můžeme z nich odvodit ostatní rovnice popisující elektrické, magnetické nebo elektromagnetické pole. Tvoří teoretický základ pro vysvětlení funkce elektromagnetických zařízení, jako jsou například elektromotory, telefony, radary, televizní vysílače [8].

V tab. 1 jsou uvedeny Maxwellovy rovnice, které jsou základem elektromagnetismu. Rovnice jsou uvedeny ve tvaru platném pro vakuum, tedy v nepřítomnosti magnetických materiálů nebo dielektrik.

Tab. 1 Maxwellovy rovnice

Název	Rovnice	Popis
Gaussův zákon pro elektrické pole	$\oint E \cdot dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$	Vyjadřuje souvislost mezi tokem intenzity elektrického pole \mathbf{E} uzavřenou plochou a celkovým elektrickým nábojem uvnitř této plochy.
Gaussův zákon pro magnetické pole	$\oint B \cdot dS = 0$	Vyjadřuje poznatek, že tok magnetické indukce \mathbf{B} libovolnou uzavřenou plochou je roven nule (neexistuje magnetický náboj).
Faradayův zákon	$\oint E \cdot dS = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	Vyjadřuje souvislost mezi cirkulací intenzity elektrického pole \mathbf{E} podél uzavřené orientované křivky a časovou změnou indukčního magnetického toku $\Phi_B = \int B \cdot dS$ plochou ohraničenou touto křivkou.
Ampérův-Maxwellův zákon	$\oint B \cdot dS = \mu_0 \left(\epsilon_0 \cdot \frac{d\Phi_E}{dt} + I_c \right)$	Vyjadřuje souvislost mezi cirkulací magnetické indukce \mathbf{B} podél uzavřené orientované křivky a časovou změnou toku elektrické intenzity $\Phi_E = \int E \cdot dS$ plochou ohraničenou touto křivkou a celkovým proudem procházejícím touto plochou.

Zdroj: [1]

2.1.3.4 Princip činnosti elektromagnetu

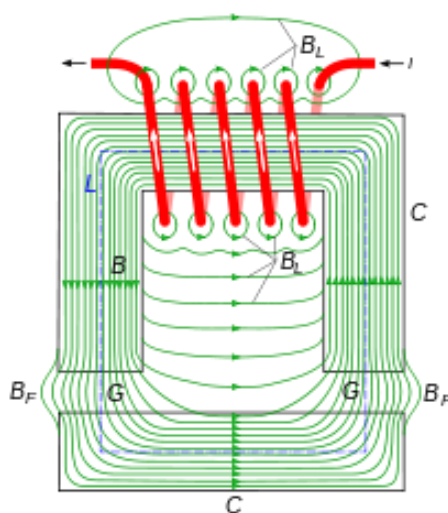
Elektrický proud procházející budicí cívkou je zdrojem magnetického pole o určité magnetické intenzitě. Současně vytváří při průchodu cívkou magnetický tok. Tento magnetický tok je přímoseměrný procházejícímu proudu. Magnetické pole svými silovými účinky působí na kotvu elektromagnetu. Magnetické pole bude tím silnější, čím větší bude vstupní elektrický proud nebo čím větší bude počet závitů vinutí budicí cívky. Díky tomu je možno elektromagnet regulovat a přizpůsobit jeho funkci daným podmínkám. Po přerušení dodávky proudu se zruší magnetické pole a kotva odpadne [9].

2.1.3.5 Konstrukce elektromagnetu

Elektromagnet je všeobecně složen z budicí cívky, pevného feromagnetického jádra a pohyblivé kotvy. Cívka s navinutým vodičem je umístěna na nemagnetické kostře. Vodič na cívce se volí takový, aby nedocházelo k tepelným ztrátám. Pro tyto účely se výborně hodí dráty z mědi. Pro zvýšení magnetických účinků se do cívky přidává pevné feromagnetické jádro s malou zbytkovou remanentní magnetizací. Počet a tvar vzduchových mezer závisí na vzájemném uspořádání magnetického obvodu jako celku a cívky. Jednotlivé typy elektromagnetů mají poměrně odlišný průběh tahových charakteristik, proto je možné účelné přiřazování pro vhodný typ poháněcího mechanismu [9].

Na obr. 9 je zobrazena konstrukce elektromagnetu. U jednotlivých typů konstrukce elektromagnetů se může lišit uspořádání a počet použitých komponent.

Obr. 9 Konstrukce elektromagnetu



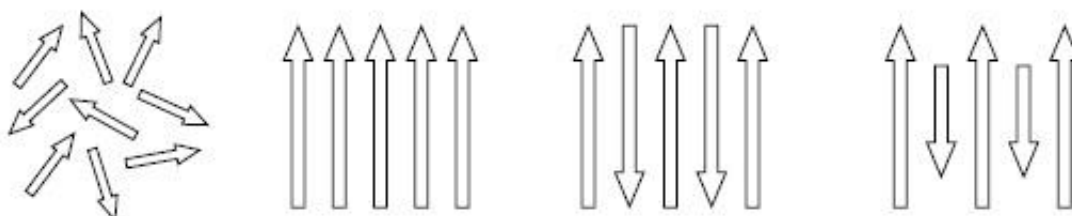
Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnet>

2.2 Magnetické látky

Magnetické vlastnosti materiálů se odvíjí od jeho magnetického stavu. Magnetický stav materiálu má atomový původ a je určen převážně elektrony atomů. Každý elektron v atomu má orbitální dipólový magnetický moment a spinový magnetický dipólový moment, které se vektorově skládají. Výslednice těchto vektorů se vektorově skládá s výslednicemi ostatních elektronů v atomu. Takto získaná výslednice pro jeden atom se skládá s ostatními výslednicemi atomů v dané látce. Pokud součet všech těchto magnetických dipólových magnetických momentů vytváří makroskopické magnetické pole, je látka magnetická. Rozlišujeme tři základní typy magnetismu podle rozdílných magnetických vlastností, které jsou dány především relativní permeabilitou prostředí. Mezi základní typy magnetismu tedy patří: diamagnetismus, paramagnetismus, feromagnetismus [1].

Na obr. 10 je zobrazeno schéma uspořádání magnetických momentů pro následující druhy magnetismu. Vlevo se nachází uspořádání magnetických momentů pro paramagnetismus, dále směrem doprava následuje feromagnetismus, antiferomagnetismus, ferimagnetismus.

Obr. 10 Schéma uspořádání magnetických momentů v různých typech magnetismu



Zdroj: [8]

2.2.1.1 Diamagnetismus

Všechny látky vykazují diamagnetismus, ten je ale tak slabý, že je překryt, pokud látka vykazuje také paramagnetismus nebo feromagnetismus. Umístíme-li jakoukoliv látku do vnějšího magnetického pole, indukují se v jejích atomech slabé magnetické dipólové momenty orientované proti vnějšímu poli. Výsledné působení všech indukovaných dipólů je pouze slabým zdrojem magnetického pole. Dipólové momenty zmizí i s jejich slabým polem, pokud odstraníme vnější magnetické pole. Mezi diamagnetické látky jsou zařazovány inertní plyny, voda, kuchyňská sůl, olovo, zlato, stříbro, organické látky atd. U těchto látek platí $\mu_r < 1$ (relativní permeabilita prostředí je menší než 1) [1, 2].

2.2.1.2 Paramagnetismus

Termín paramagnetická látka se používá pro materiály, které vykazují paramagnetismus, ale nikoli feromagnetismus. V paramagnetických látkách se spinové a orbitální magnetické momenty elektronů v každém atomu při vektorovém skládání nevyruší, tím pádem zůstane v atomu jistý výsledný a trvalý magnetický dipólový moment. Každý atom takovéto látky má tedy i bez vnějšího působení svůj magnetický dipólový moment. Avšak látka jako celek nemá výsledné magnetické pole. Je to způsobeno tím, že momenty jsou v látce náhodně uspořádané. Vnější magnetické pole může částečně uspořádat magnetické dipólové momenty souhlasně s vnějším polem. Za těchto okolností se v látce vytvoří magnetické pole, které ale není trvalé. Pokud vnější pole odstraníme, tak vzniklé uspořádání zanikne. Do skupiny paramagnetických látek je řazen např. plynný kyslík, kapalný kyslík, hliník, platina, přechodné kovy a kovy vzácných zemin. U těchto látek platí $\mu_r > 1$ (relativní permeabilita prostředí je větší než 1) [1, 2].

2.2.1.3 Feromagnetismus

Termín feromagnetická látka (a zpravidla jen magnetická látka) se obvykle používá jen pro materiály, které vykazují převážně feromagnetismus. Pokud mluvíme o magnetismu v běžném významu tohoto slova, tak máme spíše na mysli představu tyčového nebo knoflíkového magnetu. Představujeme si tedy feromagnetický materiál se silným permanentním magnetismem, jenž má trvalé magnetické vlastnosti. Při feromagnetismu dochází k tomu, že některé elektrony v materiálu seřadí své výsledné magnetické dipólové momenty a vytvoří oblasti, kde se vyskytují silné výsledné magnetické dipólové momenty. Vnější magnetické pole pak může seřadit magnetické momenty těchto oblastí a vytvořit tak silné magnetické pole látky jako celku. Výsledkem je souhlasná orientace magnetických momentů atomů, která překonává rušivé vlivy náhodných vzájemných srážek. Mezi feromagnetické látky je řazeno železo, kobalt, nikl, gadolinium a jejich slitiny. U těchto látek platí $\mu_r \gg 1$ (relativní permeabilita prostředí je větší než 1, řádově 100 – 100 000 krát vyšší) [1].

Zvláštními druhy feromagnetismu jsou [2]:

- **Antiferomagnetické materiály:** U těchto materiálů mají jednotlivé atomy stejně velké a opačně orientované magnetické momenty. Mezi tyto materiály patří např. chrom a mangan.
- **Ferimagnetické materiály:** U těchto materiálů mají jednotlivé atomy různě velké a opačně orientované magnetické momenty. Mezi tyto materiály patří např. ferity.

2.2.2 Základní fyzikální veličiny popisující magnetické pole

V této podkapitole jsou uvedeny základní fyzikální veličiny a některé odborné výrazy, které je nutné znát pro pochopení složitějších fyzikálních jevů vznikajících při provozování permanentních magnetů i elektromagnetů.

2.2.2.1 Magnetický tok (Φ)

Magnetický tok můžeme popsat jako vektorovou fyzikální veličinu, která vyjadřuje počet (indukčních) siločar magnetického pole procházející danou plochou, kolmou na směr orientace siločar [2].

- Fyzikální jednotkou magnetického toku v mezinárodní soustavě jednotek SI je 1 Weber [Wb].
- Základní matematický vztah pro výpočet: $\Phi = B \cdot S$ [Wb; T, m²]

2.2.2.2 Intenzita magnetického pole (H)

Tato vektorová fyzikální veličina vyjadřuje míru silových účinků magnetického pole v závislosti na faktorech, které pole kolem sebe vytváří (např. velikost elektrického proudu tekoucího vodičem cívky). Nezávislými faktory jsou parametry prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno [2].

- Fyzikální jednotkou intenzity magnetického pole v mezinárodní soustavě jednotek SI je 1 Ampér na metr [A.m⁻¹].
- Základní matematický vztah pro výpočet: $H = B/\mu$ [A.m⁻¹; T, H.m⁻¹]

2.2.2.3 Magnetická indukce (B)

Magnetickou indukci můžeme popsat jako vektorovou fyzikální veličinu, vyjadřující počet siločar magnetického pole procházejících jednotkovou plochou (1 m²), kolmou na směr siločar. S magnetickou indukcí souvisí vektorová veličina intenzity magnetického pole, která je také používána k popisu magnetického pole, avšak ta může mít v látkovém prostředí odlišný charakter [2].

- Fyzikální jednotkou magnetické indukce v mezinárodní soustavě jednotek SI je 1 Tesla [T].
- Základní matematický vztah pro výpočet: $B = \mu \cdot H$ [T; H.m⁻¹, A.m⁻¹]

2.2.2.4 Permeabilita (μ)

Permeabilita neboli propustnost prostředí je skalární fyzikální veličina vyjadřující vliv určitého materiálu nebo prostředí na výsledné účinky působícího magnetického pole. Podle vlivu prostředí můžeme účinky rozdělit na zesilující, zeslabující a beze změny [2].

- Fyzikální jednotkou permeability prostředí v mezinárodní soustavě jednotek SI je 1 Henry na metr [$\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$].
- Základní matematický vztah pro výpočet: $\mu = B/H$ [$\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$; T, $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$]

2.2.2.5 Permeabilita vakua (μ_0)

Permeabilita vakua je fyzikální konstanta, která je koeficientem úměrnosti mezi veličinami B a H ve vakuu dle uvedeného matematického vztahu (2.2.2.4). Jinými slovy můžeme popsat permeabilitu vakua jako magnetickou indukční konstantu vakua vyjadřující magnetickou polarizovatelnou vakua [2].

- Hodnota μ_0 je v mezinárodní soustavě jednotek SI určena dle Ampérova silového zákona: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ [$\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$].
- Podle nových definic mezinárodní soustavy jednotek Si, které jsou ve fázi příprav, se stane permeabilita vakua měřitelnou veličinou. Stane se tak z důvodu změněné definice ampéru.

2.2.2.6 Relativní permeabilita (μ_r)

Jako relativní permeabilita se označuje skalární fyzikální veličina popisující relativní magnetickou polarizovatelnou prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno. Tato veličina je bezrozměrná a vyjadřuje, kolikrát je dané prostředí polarizovanější než vakuum [2].

- Základní matematický vztah pro výpočet: $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} = \mu/\mu_0$ [-; T, $\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$]

2.2.2.7 Odborné výrazy používané při magnetické separaci

Následně uvedené odborné výrazy je nutné znát, protože se běžně používají při práci se zařízeními určenými k magnetické separaci. Tyto informace jsou zpracovány ze zdroje [4], který je uveden v seznamu použité literatury.

Curieova teplota

Přechodová teplota, nad kterou feromagnetické nebo ferimagnetické materiály ztrácejí spontánní magnetizaci a stávají se paramagnetickými.

Koercivita

Schopnost permanentního magnetu odolávat demagnetizaci externím magnetickým polem a také svým vlastním demagnetizačním polem.

Magnetizace

Celkový magnetický moment dané látky. Jinými slovy je to objemový integrál všech elementárních momentů. Po aplikování dostatečně silného magnetizujícího pole už magnetizace dále neroste, protože všechny momenty jsou již orientovány do stejného směru.

Maximální energetický součin

Bod maximálního součinu B a H na demagnetizační křivce. Určuje optimální pracovní bod permanentního magnetu. Magnet, který plní svoji funkci v tomto bodě, dává největší výkon na jednotku objemu.

Remanence

Zbytková magnetizace po odstranění magnetizujícího pole. Koresponduje s poměrem elementárních momentů, které zůstaly orientované v jednom směru.

Saturační magnetizace a polarizace

Maximální možná hodnota magnetizace pro určitou látku.

Stabilita

Odolnost magnetů proti změně magnetického momentu s časem nebo proti vlivu změn teploty. Magnety jsou někdy uměle znehodnocovány tím, že se vystavují působení teplotních cyklů nebo demagnetizačních cyklů.

2.3 Magnetická separace

Jak již bylo zmíněno v úvodu diplomové práce, tak má magnetická separace široké spektrum uplatnění v různých oborech lidské činnosti. Proto je nutné vybrat a specifikovat a zaměřit se na magnetickou separaci pouze v průmyslovém odvětví.

V úvodní části této kapitoly jsou popsány základní principy přímo spojené s magnetickou separací, které je nutné znát pro správné porozumění.

Na obr. 11 je zobrazen způsob využití magnetické separace v provozu. Materiál je vyložen pomocí ramena nakladače na pásový dopravník dopravující materiál k magnetickému separátoru, který je podélně uložen k pásovému dopravníku. Separátor kovů je zavěšen k ocelové konstrukci. Při toku materiálu pod separátorem dochází k jeho třídění dle magnetických vlastností závislých na magnetickém stavu. Roztříděný materiál se pak může použít na výrobu nových výrobků, tím dojde k ušetření finančních zdrojů na těžbu nových surovin, což má za následek nižší cenu výrobku, ekologičtější výrobu, snížení nákladů na dopravu a snadnější zpracování.

Obr. 11 Příklad využití magnetické separace v průmyslovém odvětví (zpracování odpadu)



Zdroj: [13]

2.3.1 Definice magnetické separace

Magnetická separace je proces, při kterém dochází za působení magnetu, respektive jeho magnetického pole, k separaci feromagnetických materiálů od nemagnetických materiálů. V zásadě lze magnetickou separaci rozdělit na dva základní druhy a to za použití permanentních magnetů nebo elektromagnetů. Velmi častým využitím magnetické separace je třídění, při kterém je materiál automaticky rozdělován podle jeho magnetických vlastností závislých na magnetickém stavu [10].

2.3.2 Využití magnetické separace

V této podkapitole jsou uvedeny hlavní důvody, které vedou potencionálního uživatele k rozvaze o využití magnetické separace v provozu. Samozřejmě je důležité se při výběru konkrétního zařízení vždy poradit s odborníkem. Ten může díky správnému výběru zařízení ušetřit značné finanční prostředky a také případně zabránit odstávce dopravní technologie. Samozřejmě rozhodujícím kritériem je cena zařízení. Avšak neméně důležitá je správná funkce separačního zařízení s nejvyšší možnou účinností.

Hlavní důvody využití magnetické separace:

- **Ochrana ostatních zařízení v technologickém procesu:** Poskytnutí ochrany ostatním zařízením technologického procesu před možným kontaktem s feromagnetickým materiálem, který by mohl vést k poškození nebo destrukci daného zařízení. Pokud by došlo k poškození či destrukci zařízení, tak je třeba udělat odstávku a následně poškozené zařízení opravit. Tím vznikají finanční ztráty, kterým je třeba zabránit.
- **Recyklace odpadu:** V tomto odvětví hraje magnetická separace velmi významnou roli. Pomocí separačních zařízení je vstupní materiál tříděn na čistý materiál a materiál s feromagnetickými vlastnostmi, který je možné dále zpracovat. Hlavní výhodou je zužitkování odseparovaného materiálu, jelikož odpadají náklady na těžbu nových surovin, dopravu a zpracování.
- **Speciální účely:** Jako speciální uplatnění magnetické separace můžeme brát potravinářský a farmaceutický průmysl, kde je kladen vysoký důraz na čistotu materiálu. Jakákoliv feromagnetická částice je v materiálu extrémně nežádoucí. Magnetická zařízení musejí být speciálně upravena pro tato prostředí, aby nemohlo dojít k případnému znečištění materiálu. Ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu jsou nejvíce používané následující zařízení: filtrační tyče, deskové a skluzové separátory, magnetické rošty, magnetické filtry [11].

2.3.3 Rozdělení magnetické separace podle separačního prostředí

Magnetická separace je prováděna převážně ve dvou typech separačního prostředí. Rozlišujeme tedy separátory využívající jako médium kapalinu, kde materiál určený k separaci tvoří tekutou suspenzi a na separátory využívající k separaci vzduch.

2.3.3.1 Separace v tekutém prostředí

Tento způsob separace se používá především pro malé magnetické částice např. nanočástice. Separační prostředí tvoří tekutá suspenze, kde je materiál pomocí tekutiny rozmíchán do homogenní směsi. Ta je pomocí čerpadla, popřípadě systémem čerpadel přečerpávána přes určité magnetické zařízení či prvek, v němž dochází k záchytu magnetických částic z protékající suspenze. Pokud se magnetická složka uvažuje jako parazitní, tak se suspenze zbavená magnetických částic odvádí k dalšímu zpracování. Pokud se ovšem snažíme získat magnetickou složku, tak se z tekuté suspenze stává odpad. Proti separačnímu prostředí na vzduchu má separace v tekutém prostředí jednu velkou nevýhodu, a to možnost ucpaní magnetického zařízení z důvodu shlukování částic v suspenzi. Proto bývají tato zařízení opatřena různými doplňkovými zařízeními (např. senzory, snímači, přístroji fungujícími na principu ultrazvuku), které pomohou tomuto jevu zabránit [12].

2.3.3.2 Separace na vzduchu

Tento způsob separace se používá pro větší magnetické částice. Separační prostředí tvoří vzduch. Oproti separaci v tekutém prostředí se zde nepoužívají čerpadla ani systémy čerpadel. Pro dopravu materiálu při separaci na vzduchu se používá speciálních pásových dopravníků či skluzů.

Příkladem separace na vzduchu může být např. dopravní technologie na dopravu škváry. Na pásový dopravník je přiváděna škvára pomocí vibračního podavače. Dále je škvára dopravována na pásovém dopravníku až k magnetickému separátoru zavěšenému na ocelové konstrukci. Zde dochází k procesu separování materiálu s feromagnetickými vlastnostmi od škváry. Čistý materiál pokračuje po pásovém dopravníku až do zásobníku. Proti tomu je materiál s feromagnetickými vlastnostmi přesunut pomocí magnetického separátoru na další pásový dopravník a následně do kontejneru na kovy. Vše se odehrává v běžném provozu, kde je všude okolo vzduch a prach.

2.3.4 Rozdělení magnetických separátorů podle konstrukce

V této podkapitole je uvedeno rozdělení magnetických separátorů pro recyklaci odpadu podle jejich konstrukce. Ve většině případů se v provozu používá kombinace jednotlivých zařízení pro zvýšení účinnosti magnetické separace. Volba magnetického separátoru pro konkrétní podmínky se odvíjí od okolního prostředí, separovaného materiálu, požadované přitažné síly, požadované kvality separace a především ceny zařízení.

2.3.4.1 Magnetické bloky

Ideální zařízení vhodná pro separaci materiálů s feromagnetickými vlastnostmi přepravovaných na pásovém nebo žlabovém dopravníku. Tato zařízení se mohou aplikovat do všech výrobních nebo odpadových materiálových toků a pro všechny šířky dopravního pásu. Jsou také nastavitelné podle výšky dopravovaného materiálu. Magnetický blok může být zavěšen na ocelové konstrukci nebo ukotven k nosné konstrukci dopravníku. Feromagnetické částice obsažené v dopravovaném materiálu jsou zachytávány spodní magnetickou stranou desky. Částice, které jsou zachyceny na desce, musejí být odstraněny obsluhou zařízení manuálně. Pokud je ovšem obsah magnetických částic v materiálu větší a blok by se mohl velmi rychle zanést, tak je nutné použít magnetický blok s automatickým čištěním. Při rozhodování, zda magnetický blok bude opatřen permanentním magnetem nebo elektromagnetem. Je třeba provést důkladné posouzení pro konkrétní podmínky činnosti daného zařízení [13, 14]. Mezi hlavní výhody patří: nízké náklady a snadná instalace, rozměrová variabilita.

Na obr. 12 je zobrazen magnetický blok, který je nainstalován nad pás dopravníku.

Obr. 12 Magnetický blok nad pásovým dopravníkem



Zdroj: [13]

2.3.4.2 Závěsné separátory

Permanentní a elektromagnetické závěsné separátory se vyrábějí již mnoho let, avšak existují zařízení, která byla zkonstruována teprve nedávno. Mezi tato zařízení patří odlehčený závěsný separátor s magnety NEOFLUX a elektromagnetický separátor v provedení ATEX (certifikace ATEX pro prostředí s nebezpečím výbuchu prachu, zóna 21 a 22). Ve většině případů se používají závěsné separátory jako první stupeň separačního procesu a bývají doplněny o některá další magnetická zařízení, která ještě zvýší účinnost magnetické separace. Nejčastěji jsou tato zařízení instalována pro odpadové a produktové materiálové toky s velkým množstvím magnetických částic. Zavěšují se napříč nebo podél dopravníkového pásu. Všechny magnety mají pomocný pól pro odstranění magnetického materiálu z magnetického pole hlavního pólu. Jednoduše řečeno se jedná o lepší uvolňování magnetického materiálu z pásu separátoru [13].

Závěsný magnetický separátor NEOFLUX

Tyto separátory patří mezi novinky. Byly speciálně navrženy pro použití na drtičích dřeva a kompostu, které bývají relativně malé a nejsou dimenzovány na těžká magnetická zařízení. Jejich hmotnost je proti tradičním závěsným separátorům s permanentním magnetem o polovinu nižší [13].

Na obr. 13 je zobrazen elektromagnetický separátor firmy STEINERT. Z obrázku je patrné, že výška separátoru nad pásem dopravníku může být variabilní, protože je separátor zavěšen na ocelové konstrukci pomocí táhel s možností nastavitelné výšky.

Obr. 13 Elektromagnetický separátor zavěšený na ocelové konstrukci



Zdroj: vlastní zpracování

2.3.4.3 *Bubnové separátory*

Bubnové separátory se používají k separaci feromagnetických materiálů z velkého množství materiálového toku a nasazují se hlavně v odpadovém hospodářství při zpracování komunálního odpadu, zpracování plastů a dřeva. Velkou výhodou je přímý kontakt separovaného materiálu se separačním magnetem. Při tomto kontaktu dochází k automatické separaci. V zásadě se používají tři typy bubnových separačních systémů: bubnové magnety, bubnové magnety s krytováním, magnetické hnací válce [11].

Bubnové magnety

Magnetický systém je složen z magnetického sektoru s úhlem 180° , kolem kterého se otáčí buben z nerezové oceli. Obvykle se instalují za dopravníkové pásy.

Bubnové magnety s krytováním

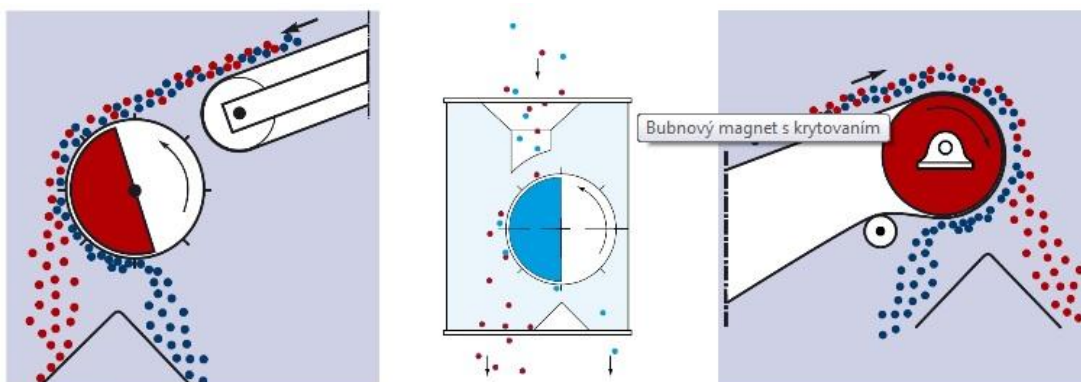
Jsou to vlastně bubnové magnety umístěné v krytu, s pohonem a výstupy na čistý materiál a odseparované feromagnetické nečistoty. Obvykle se instalují za dopravníkové pásy či skluzu.

Magnetické hnací válce

Tato zařízení jsou velmi účinná při separaci feromagnetických materiálů z hrubých i jemnozrnných frakcí. Magnetický válec bývá uložen jako hnací válec dopravníkového pásu. Zároveň také zajišťuje separační funkci a přenáší nečistoty do výsypky či skluzů.

Na obr. 14 je znázorněn průběh separace třemi typy bubnových separačních systémů. Vlevo je zobrazen bubnový magnet, uprostřed bubnový magnet s krytováním a vpravo je magnetický hnací válec. Feromagnetický materiál je označen modrými tečkami. Čistý materiál je označen červenými tečkami.

Obr. 14 Typy bubnových separačních systémů



Zdroj: [11]

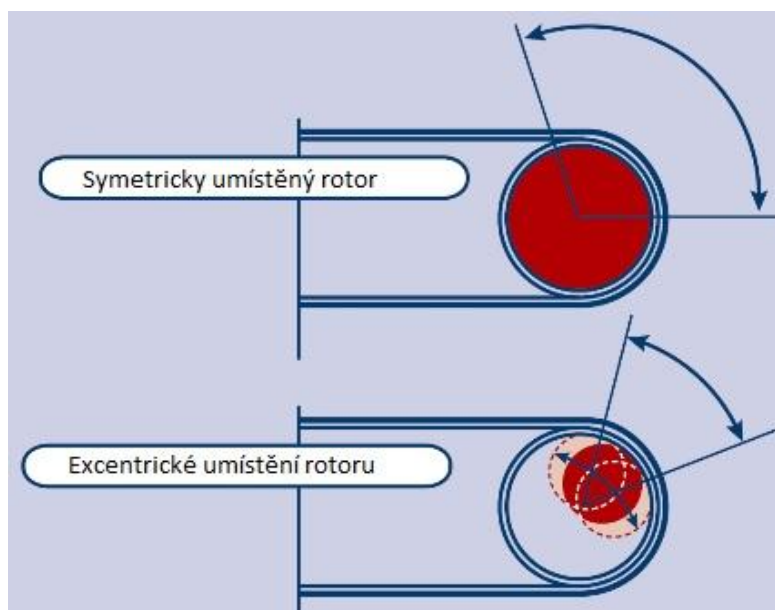
2.3.4.4 Separátory neželezných kovů

Tato zařízení mohou separovat mnoho neželezných kovů a slitin jako je hliník, mosaz a měď. Princip funkce těchto separačních zařízení je založen na rychle se točícím magnetickém rotoru, který generuje indukční pole prostřednictvím magnetických pólů. Rychlost rotoru a počet magnetických pólů významně ovlivňuje účinnost magnetické separace. V důsledku toho se v neželezných elektricky vodivých kovových částicích vytvářejí magnetické vířivé proudy. Při vzájemném působení vzniklých sil dochází k tomu, že jsou neželezné částice vymrštěny z proudu materiálu v blízkosti indukčního rotoru [13]. Principiálně existují dva typy magnetických rotorů: symetricky umístěný a nesymetricky umístěný [11].

Na obr. 15 jsou zobrazeny dva typy umístění magnetického rotoru vestavěného do rotačního bubnu dopravníku. Symetricky umístěný magnetický rotor má několik výhod oproti excentrickému uložení [11]:

- Neželezné částice zůstávají delší čas v magnetickém poli, z čehož vyplývá lepší celková účinnost separace.
- Není nutno nastavovat polohu magnetického rotoru.
- Symetricky umístěný rotor umožňuje dosahovat vyšších rychlostí dopravníkového pásu, což má pozitivní vliv na celkovou kapacitu systému.

Obr. 15 Typy umístění magnetických rotorů vestavěných do rotačního bubnu dopravníku



Zdroj: [11]

2.3.4.5 Vysokogradientní magnetické separátory

Vysokogradientní magnetické separátory mají magnetický systém tak silný, že dokáže z materiálového toku separovat paramagnetické i slabě magnetické materiály. Například toto zařízení dokáže separovat některé typy nerezových ocelí. Pokud projde určitý typ nerezové oceli drtičem, stane se magnetickým v důsledku mechanického přetvoření a tím pádem se dá z materiálového toku separovat. Tato zařízení jsou většinou sestavena z magnetického válce nebo bubnového separátoru. Vždy obsahují více než jeden z těchto komponentů [13].

Na obr. 16 je zobrazen vysokogradientní magnetický separátor, který se používá pro recyklaci plastů.

Obr. 16 Vysokogradientní magnetický separátor



Zdroj: [13]

2.3.4.6 Ostatní kategorie magnetických separátorů

Následující typy magnetických separátorů jsou také velmi často používané, ale vzhledem k rozsahu diplomové práce musel být jejich počet omezen. Proto byly vybrány jen separátory popsané v práci výše.

Do kategorie ostatní magnetické separátory spadají [11]:

- Trubkové magnety
- Skluzové separátory
- Kaskádové separátory
- Magnetické filtry, magnetické rošty, filtrační tyče

2.3.4.7 Detektory kovů

Detektory kovů jsou používány nejen jako bezpečnostní zařízení v počáteční fázi recyklačního prostředí, ale také slouží jako kontrola výstupních produktů. Instalace těchto zařízení je nezbytná pro správnou funkci dopravní technologie a pro zaručení prvotřídní jakosti materiálu. Počáteční investice bude sice vyšší, ale bezporuchový provoz vynaložené finanční zdroje několikanásobně vrátí.

Konstrukce detektoru

Detektor kovů je tvořen elektromagnetickou cívkou, ochranným krytem a rozvodovou skříní. Samozřejmě se konstrukce u různých typů detektorů liší v použitých komponentech a rozměrech.

Princip činnosti detektorů

Elektromagnetická cívka detektoru vytváří elektromagnetické pole. Pokud je elektromagnetické pole narušeno cizím předmětem, dochází k okamžité reakci detektoru kovů, který upozorní obsluhu zařízení. Případně dojde k zastavení dopravní technologie pro daný úsek.

Na obr. 17 je zobrazen detektor kovů instalovaný na pásovém dopravníku. Toto zařízení je třeba instalovat v provozech, kde potřebujeme udržovat materiál v maximální možné čistotě (bez materiálů s feromagnetickými vlastnostmi).

Obr. 17 Detektor kovů



Zdroj: [13]

3 Cíl práce a metody jejího zpracování

3.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo vypracování literární rešerše na základě shromážděných dat z odborné literatury o magnetismu, magnetech a principech používaných při magnetické separaci. Dalším cílem bylo provedení experimentálního posouzení účinnosti magnetické separace v provozu.

3.2 Metodika

Pro dosažení stanovených cílů diplomové práce byl stanoven následující postup řešení:

- Současný stav řešeného problému (literární rešerše)
- Cíl práce a metody jejího zpracování
- Výsledky experimentů a jejich diskuze
- Závěry a přínos práce

4 Výsledky experimentů a diskuze

Čtvrtá kapitola je věnována experimentu na posouzení účinnosti magnetické separace během zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry. V úvodní části čtvrté kapitoly jsou zpracována data o vzorcích použitých při experimentu a jejich podrobná charakteristika. Dále následuje popis nadpásového magnetického separátoru, který zajišťuje separační funkci v dopravní technologii. U tohoto zařízení byla zkoumána účinnost magnetické separace. Poté je uvedena charakteristika dopravovaného materiálu k magnetickému separátoru a charakteristika odseparovaného kovového materiálu. V neposlední řadě je v této kapitole uvedeno samotné experimentální posouzení účinnosti nadpásového magnetického separátoru. Zde jsou vyhodnocena získaná data během měření ve formě tabulky a grafického zpracování.

Před provedením experimentu bylo nutné absolvovat školení z bezpečnostních předpisů závodu. Striktně bylo dáno dodržování bezpečnostních předpisů a používání ochranných osobních pomůcek. Celý experiment byl proveden v doprovodu zainteresované osoby, kterou byl manažer realizace projektů dopravní technologie na dopravu škváry.

Na obr. 18 je zobrazen závod energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně. Dopravní technologie s magnetickým separátorem na dopravu škváry je umístěna u čelní stěny závodu (stěna se střídajícími se barvami tmavě a světle zelená), ve vertikální poloze v přízemí a horizontální poloze uprostřed.

Obr. 18 Závod energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně

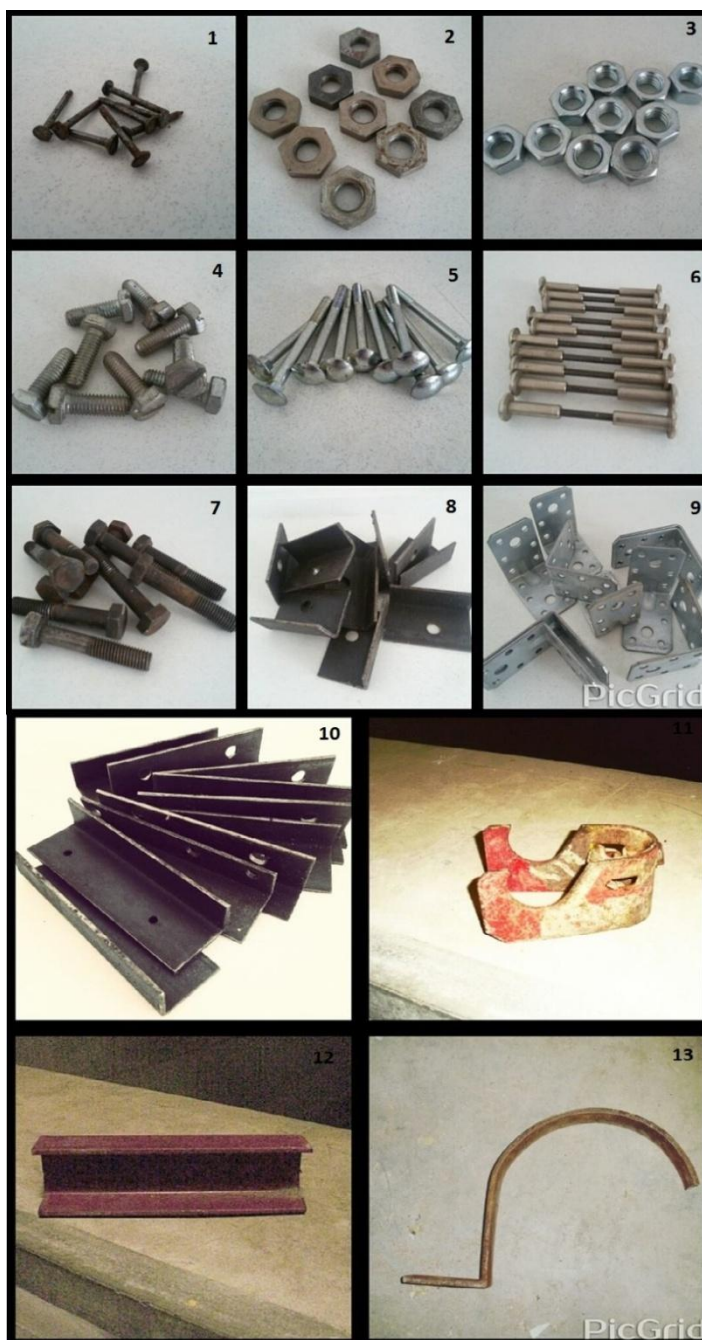


Zdroj: vlastní zpracování

4.1 Vzorky použité pro experimentální posouzení účinnosti magnetického separátoru

Pro posouzení účinnosti magnetického separátoru byly vybrány a použity vzorky, které jsou zobrazeny na obr. 19 a podrobně popsány v tab. 2. Vzorky mají záměrně odlišné rozměry a jsou seřazeny podle hmotnosti. Nejnižší hmotnost má vzorek č. 1 a nejvyšší hmotnost má vzorek č. 13.

Obr. 19 Použité vzorky k experimentu



Zdroj: vlastní zpracování

Tab. 2 Popis jednotlivých vzorků

Použité vzorky	Hmotnost	Rozměry (délka x šířka x výška)
	gram [g]	milimetr [mm]
Vzorek č. 1 (hřebík)	1	1,25x20
Vzorek č. 2 (matice šestihranná)	2,3	15x15x3
Vzorek č. 3 (matice šestihranná)	4	14x14x5
Vzorek č. 4 (šroub s šestihrannou hlavou)	5	M6x25
Vzorek č. 5 (šroub s půlkulatou hlavou)	8	M4x50
Vzorek č. 6 (šroub s vnitřním závitem)	16	M4x80
Vzorek č. 7 (šroub s šestihrannou hlavou)	40	M8x60
Vzorek č. 8 (plech)	45	50x30x20 (tl. 2 mm)
Vzorek č. 9 (plech)	49	55x55x35 (tl. 2 mm)
Vzorek č. 10 (plech)	72	105x30x20 (tl. 2 mm)
Vzorek č. 11 (spojka lešení)	800	150x100x75 (tl. 4 mm)
Vzorek č. 12 (profil U 100)	1200	300
Vzorek č. 13 (třmen)	2800	600x450x100 (tl. 8 mm)

Zdroj: vlastní zpracování

4.2 Nadpásový magnetický separátor

V dopravní technologii na dopravu škváry je pro separování materiálů s feromagnetickými vlastnostmi použit nadpásový magnetický separátor typ UME 95 110 R. Tento typ separátoru je opatřen elektromagnetem. Právě díky použití elektromagnetu je možné regulovat separační funkci zařízení v závislosti na proměnných podmínkách.

4.2.1 Prohlášení o začlenění

Každé strojní zařízení, které je vyrobeno a počítá se s jeho uvedením do provozu, musí splňovat určité normy, zaručující pořizovateli zařízení, že výrobce zajišťuje kvalitu, bezpečnost při práci a další předepsané specifikace.

Nadpásový magnetický separátor typ UME 95 110 R od firmy STEINERT splňuje následující normy a směrnice [15]:

- Strojní směrnice 2006/42/ES – Příloha II B
- Směrnice o nízkonapěťových zařízeních 2006/95/ES
- Směrnice EMC 2004/108/ES
- DIN EN ISO 82079
- DIN VDE 580

Použité harmonizované normy [15]:

- DIN EN ISO 12100
- DIN EN 953
- DIN EN 60529
- DIN EN ISO 13732-1
- DIN EN 60204-1
- IEC 60034-30
- DIN EN ISO 13849-1
- DIN EN 60204-1/A1
- DIN EN 61000-6-1
- DIN EN 61000-6-2
- DIN EN 61000-6-3
- DIN EN 61000-6-4

4.2.2 Umístění nadpásového magnetického separátoru v dopravní technologii

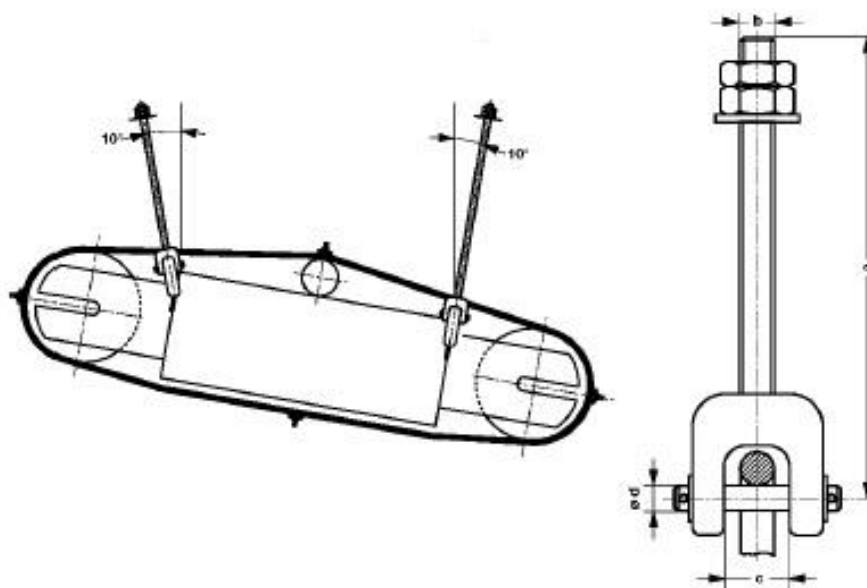
Nadpásový magnetický separátor je zavěšen na ocelové konstrukci v definované pracovní vzdálenosti nad pásovým dopravníkem. Nastavení jeho polohy je variabilní jak v horizontální, tak vertikální ose. Ocelová konstrukce je ukotvena k nosné konstrukci obslužné plošiny a pásových dopravníků viz obr. 21. Pracovní vzdálenost od pásového dopravníku je dána rychlostí dopravního pásu, velikostí zrn vyskytujících se v materiálu, složením materiálu, výškou dopravovaného materiálu. V našem případě je přibližná výška od pásu dopravníku k pásu separátoru 330 mm. Od podlahy obslužné plošiny je výška na osu bubnu magnetického separátoru 1580 mm.

4.2.2.1 Volitelné zavěšení nadpásového magnetického separátoru

Jak se nastavuje výška separátoru nad pásovým dopravníkem již bylo popsáno v kapitole 4.2.2. Separátor je zavěšen pomocí spojky se závitovým svorníkem (DIN 976 A) k ocelové konstrukci. Volba typu zavěšení se určuje podle výšky separátoru nad pásovým dopravníkem, maximální celkové nosnosti, přibližné hmotnosti separovaných kusů.

Na obr. 20 je vlevo zobrazeno zavěšení separátoru s možností vychýlení od vertikální osy od 10° . Detail zavěšení magnetického separátoru k nosné konstrukci je zobrazen vpravo.

Obr. 20 Zavěšení separátoru

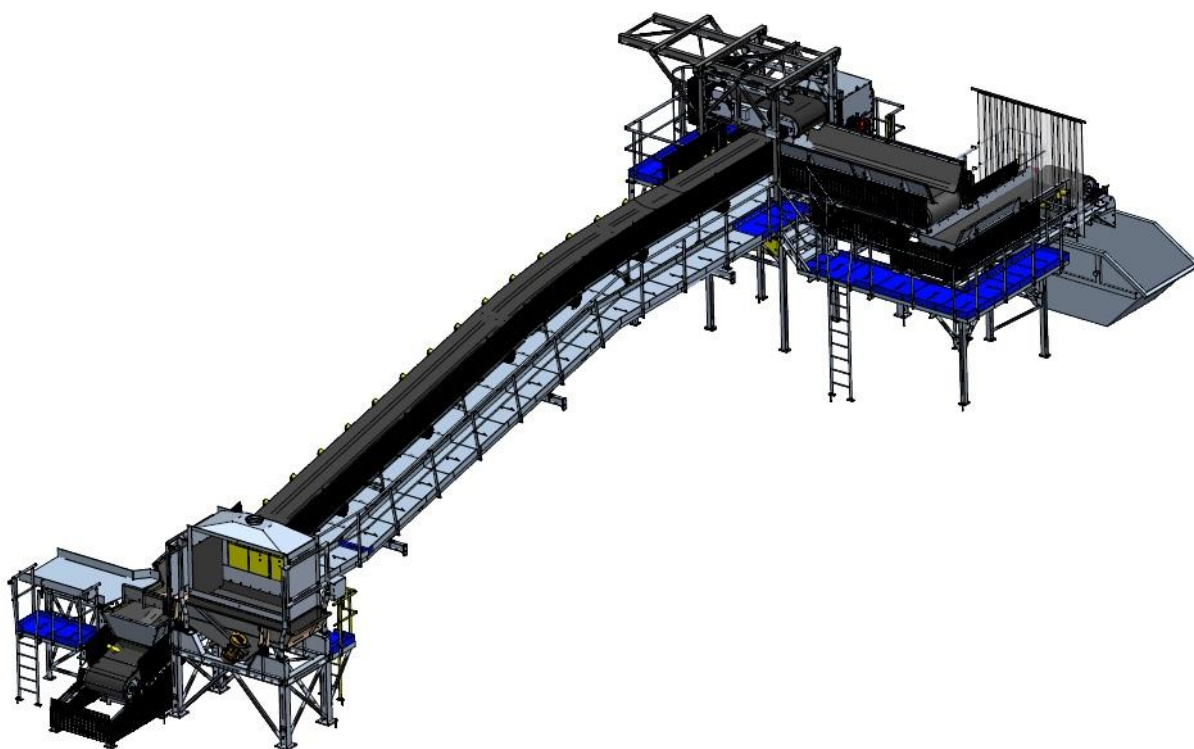


Zdroj: [15]

4.2.2.2 Umístění nadpásového magnetického separátoru

Na obr. 21 je zobrazen 3D-model dopravní technologie na dopravu škváry. Tento model byl vytvořen v modelovacím programu Solid Edge ST7 a odpovídá skutečnému provedení dopravní technologie v závodě energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně. Nadpásový magnetický separátor má v sobě zabudovaný elektromagnet. Příkon stejnosměrného napětí, které vstupuje do elektromagnetu, je korigováno z velícího centra závodu, tudíž je možné nastavit libovolnou hodnotu magnetické síly v daných mezích. Separátor tedy funguje pouze tu dobu, dokud do něj přichází napětí. Při spuštění separátoru je nutné dbát zvýšené opatrnosti a na bezpečnostní pokyny, které jsou předepsány v návodu použití. Pásové dopravníky mají vlastní elektropohon s převodovkou a jejich činnost se dá zastavit pomocí stop tlačítek, pokud by došlo v dopravní technologii k problému. Obslužnost nadpásového separátoru je velmi dobrá, neboť je k němu přístup přes obslužné plošiny, případně i po pásu dopravníku. Zaměstnanci závodu obsluhující toto zařízení, musejí být důkladně proškoleni, aby věděli, jaká rizika mohou nastat při spuštění separátoru i chodu celé technologie.

Obr. 21 3D-model dopravní technologie na dopravu škváry v závodě energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně



Zdroj: vlastní zpracování

4.2.3 Technické parametry

V tab. 3 jsou uvedeny důležité údaje, které je nutné znát při provozování zařízení. Uvedené údaje jsou platné pro standardní provedení. Rychlost dopravního pásu, která je uvedena v tab. 3, je provozně podmíněnou hodnotou a musí se bezpodmínečně dodržovat. Rychlost pásu je závislá na síťové frekvenci a příslušných výstupních otáčkách z převodovky. Proto je velmi důležité dbát na to, aby tyto hodnoty byly správně dodrženy. Nadpásový magnetický separátor je vhodné použít pro rozsah teplot od -20 °C do +40 °C.

Tab. 3 Technické parametry nadpásového magnetického separátoru typ UME 95 110 R

Parametr	Charakteristika	Jednotka	Hodnota
Elektromagnet	Příkon (studený) cca	[kW]	4,3
	Provozní napětí	[V]	95
	Odběrný proud (studený)	[A]	43,4
Termická třída		200	
Vynášecí zařízení	Šířka dopravního pásu	[mm]	1000
	Rychlost dopravního pásu	[m/s]	2,1
Pohon	Výkon	[kW]	3
	Frekvence	[Hz]	50
	Jmenovitý proud (trojúhelník/hvězda)	[A]	11,3/6,5
	Výstupní otáčky	[ot/min]	81
Ochrana	Magnet	[typ]	IP 54
	Svorkovnice		IP 54
	Motor		IP 55
Hmotnost		[kg]	2250

Zdroj: [15]

4.2.4 Konstrukce

Nadpásový magnetický separátor typ UME 95 100 R je složen z následujících komponentů (obr. 22):

1. Dopravní pás, typ: 3 vrstvy EP 400/3 4:2A, 1000 x 5350 mm
2. Usměrňovač, typ: GLRST95/44-400
3. Elektromagnet
4. Pohon od firmy SEW, typ: SA67 DRS 100 LC4
5. Rám separátoru
6. Zavěšení separátoru
7. Poháněcí pásový buben
8. Upínací pásový buben

Obr. 22 Komponenty nadpásového magnetického separátoru



Zdroj: vlastní zpracování

Nastavení napnutí dopravního pásu se provádí pomocí přitažného a napínacího šroubu. Tyto šrouby se nacházejí v blízkosti upínacího pásového bubnu. Vždy se však nechává určité prověšení dopravního pásu, které je závislé na osové rozteči mezi poháněcím a upínacím bubnem.

4.2.5 Doplnující komponenty nadpásového magnetického separátoru

Pro správné provozování separátoru je nutné znát hodnoty, které charakterizují jeho správnou činnost. Nepřetržitým sledováním těchto hodnot můžeme zabránit vznikajícímu problému v dopravní technologii a případně i zranění. Mezi tyto hodnoty patří např. počet otáček bubnu za minutu, správné vedení dopravního pásu.

4.2.5.1 Hlídač otáček

Tento hlídač se používá pro jednoduché vyhodnocení rotačních a lineárních pohybů, aby nedošlo ke kritickému stavu otáček.

Popis hlídače otáček [15]:

- Typ: Compact M30
- Elektrické provedení: AC/DC
- Spínací vzdálenost: 10 [mm]
- Nastavitelná oblast: 5-300 [impuls/min]
- Impulzní frekvence: 1500 [impuls/min]
- Teplotní rozsah: -25 až +80 [°C]
- Hmotnost: 256 [g]
- Elektrické připojení: PVC kabel

4.2.5.2 Hlídač kontroly šikmého chodu

Tento hlídač je v souladu s normami EN 60947-5-1, VDE 0110, EN 60204. Zabezpečuje správný chod dopravního pásu, který přenáší materiál s feromagnetickými vlastnostmi.

Popis hlídače kontroly šikmého chodu [15]:

- Typ: VG03-05
- Jmenovité provozní napětí: 380 AC/400 DC [V]
- Mechanická provozní životnost: 1000 spínacích cyklů
- Spínací body: varování před 12°, vypnutí při 12°
- Teplotní rozsah: -25 až +70 [°C]
- Hmotnost: 750 [g]

4.2.6 Bezpečnost práce a varovná upozornění

Při chodu nadpásového magnetického separátoru je nutné dbát zvýšené opatrnosti a respektovat daná pravidla, která zaručují, že osoby pohybující se v blízkosti zařízení nebudou ohroženy na zdraví. Pracovníci provádějící montáž, provoz, údržbu a kontrolu, musejí být plně kvalifikováni.

Následující údaje jsou řízeny podle norem DIN EN 45502-2-1:2004-08, VDE 0750-10-1:2004-08 (bezpečnost implantovaných kardiostimulátorů). Údaje byly zpracovány z citace [15].

4.2.6.1 Ochrana proti statickým magnetickým polím

- Přípustná maximální mezní hodnota pro osoby s implantovaným kardiostimulátorem je 1 mT. Tato hodnota se nepřekročí ve vzdálenosti ≥ 5 m k nejsilnějšímu magnetu.
- Pro osoby bez implantátů, při omezené době působení je maximálně přípustná hodnota 2 T.
- Přípustná střední hodnota při trvalém vystavení, což je cca 8 hod. činí 212 mT.
- Maximální naměřené hodnoty ve vzdálenosti 1 m k jednomu magnetu s nejvyššími intenzitami pole a výkonem 70 kW představovaly méně než 100 mT.

4.2.6.2 Ochrana proti otáčejícím se magnetickým polím

- Pro tento případ ochrany je nutné stanovit určitý rozsah, který je v rozmezí od ≥ 1 Hz do 30 kHz.
- Přípustná maximální mezní hodnota pro osoby s implantovaným kardiostimulátorem je 0,1 mT. Tato hodnota se nepřekročí ve vzdálenosti ≥ 3 m k nejsilnějšímu magnetu.
- Pro osoby bez implantátů při omezené době působení je maximální přípustná hodnota 0,2 mT. Tato hodnota se nepřekročí ve vzdálenosti $\geq 1,5$ m k nejsilnějšímu magnetu.

4.2.6.3 Magnetické pole

- V blízkosti zařízení může dojít díky magnetickým polím k poškození nosičů dat. Jako jsou kreditní karty, diskety, mobilní telefony atd.
- Ve vzdálenosti méně než 2 m se nesmí vyskytovat žádné díly s feromagnetickými vlastnostmi.

4.2.6.4 Teplota

- Při provozu zařízení mohou nastat teploty povrchu přes 50 °C.

4.2.6.5 Poškození sluchu z hluku

- Při chodu naprázdno (bez dopravovaného materiálu) je hodnota hladiny akustického tlaku ≤ 75 dB. Je-li separátor v pracovním chodu (dopravuje materiál), tak se hladina akustického tlaku značně zvyšuje a mohlo by dojít k trvalému poškození sluchu. Proto je nutné používat osobní ochranné pomůcky.

4.2.6.6 Ochrana obsluhy zařízení

- Zařízení se nesmí nikdy pouštět bez příslušných ochranných krytů, aby nedošlo k zachycení obsluhy a následnému navinutí do zařízení.
- Během provozu může docházet k odpadávání předmětů.

4.3 Montáž ochranného krytu nadpásového magnetického separátoru

Pro zvýšení bezpečnosti obsluhy nadpásového magnetického separátoru byl namontován ochranný kryt, který je zobrazen na obr. 23 (obrázek vlevo před montáží, obrázek vpravo po montáží). Ochranný kryt je složený ze dvou postranních lišt a síťové klece.

Postup při montáži ochranného krytu:

- Přeměření osových roztečí děr na ochranném krytu.
- Rozmístění značek pro díry na stojiny ocelové konstrukce.
- Předvrtání děr malým vrtákem. Následné převrtání děr na skutečný rozměr pro šroub.
- Nasazení šroubů do předvrtaných děr.
- Umístění ochranného krytu.

Obr. 23 Montáž ochranného krytu nadpásového magnetického separátoru



Zdroj: vlastní zpracování

4.4 Montáž skluzu na pásový dopravník PD100-4600

Skluz je vyroben z plechu tloušťky 8 mm a vyložen otěruvzdorným plechem HB 400 tloušťky 10 mm. Pro zachování šířky skluzu je na bočních stěnách přivařena rozpěra. Povrchová úprava skluzu je provedena barvou, která má vyšší odolnost vůči mechanickému poškození. Namontování skluzu pozitivně ovlivní tok materiálu s feromagnetickými vlastnostmi směrem do kontejneru a zajistí správnou vrhovou parabolou.

Postup při montáži skluzu:

- Vyzvednutí skluzu z korby nákladního automobilu pomocí ovládacího ramene.
- Usazení skluzu na rám pásového dopravníku PD100-4600.
- Spojení skluzu s rámem pásového dopravníku pomocí spojovacího materiálu.
- Provedení kontroly, zda je skluz správně namontován.

Na obr. 24 je zobrazeno porovnání pásového dopravníku před montáží skluzu (obrázek vlevo) a po montáži skluzu (obrázek vpravo). Skluz je namontován na pásový dopravník PD100-4600, který je posledním dopravním zařízením v dopravní technologii.

Obr. 24 Montáž skluzu na pásový dopravník PD100-4600



Zdroj: vlastní zpracování

4.5 Charakteristika dopravovaného materiálu

V tab. 4 jsou zobrazeny nejdůležitější hodnoty materiálu, který prošel přes technologické zpracování odpadu a vstupuje na dopravní technologii na dopravu škváry. Uvedené hodnoty jsou velmi důležité, protože ovlivňují návrh konstrukce pásového dopravníku i volbu nadpásového magnetického separátoru. Vlastně můžeme říci, že tyto hodnoty a vliv okolního prostředí jsou stavebním prvkem návrhu celé dopravní technologie. V materiálu dopravovaném k magnetickému separátoru se mohou vyskytnout nespálené zbytky, které mají větší rozměry než běžné kusy. Pro tento případ je nad vsypem prvního pásového dopravníku PD100-25000, umístěna ocelová konstrukce, na které je postaven stůl pro nespálené zbytky. Pokud senzor zjistí, že se v materiálu vyskytuje kus větších rozměrů, zašle signál obsluze pásového dopravníku. Následně musí obsluha zařízení tento kus manuálně odstranit. Z informací získaných od osoby pracující v závodě se může stát, že se do dopravovaného materiálu dostane i malý radiátor. Pokud by ho senzor náhodou nezachytil, tak by byl stejně odseparován jako kov u nadpásového magnetického separátoru.

Tab. 4 Charakteristika dopravovaného materiálu k magnetickému separátoru

Parametr	Charakteristika	Jednotka	Hodnota
Doprovované množství	Q	[t/h]	8
Charakteristika a fyzikální vlastnosti materiálu	Název-složení	[-]	Škvára
	Kusovitost	[mm]	10 až 50 Ojedinele 150x150x100 Max. 1000x200x200 (nespálené zbytky)
	Měrná hmotnost	[kg/m ³]	800-1500
	Teplota	[°C]	Do 85
	Vlhkost	[%]	Max. 30

Zdroj: vlastní zpracování

V tab. 5 jsou uvedeny hodnoty pro pásové dopravníky umístěné v dopravní technologii za nadpásovým magnetickým separátorem, konkrétně jde o PD100-4600 a PD100-3600. Separátor kovů odebírá z materiálového toku právě materiál s feromagnetickými vlastnostmi, který přenáší na následující dopravníky. Z posledního pásového dopravníku (PD100-4600) jsou kusy kovů vysypávány pomocí skluzu do kontejneru. Pokud by se stalo, že odseparovaný kovový materiál uvízne na pásovém dopravníku, tak je možné jej manuálně odstranit bez přerušení dopravní technologie. Avšak pokud by došlo k vážnějšímu problému, tak je bezpodmínečně nutné zastavit chod dopravní technologie.

Tab. 5 Charakteristika odseparovaného kovového materiálu

Parametr	Charakteristika	Jednotka	Hodnota
Dopravované množství	Q	[t/h]	8
Charakteristika a fyzikální vlastnosti materiálu	Název-složení	[slovy]	Odseparovaný kovový materiál
	Kusovitost	[mm]	10 až 50 Ojedinele 150x150x100 Max. 1000x200x200
	Hustota	[kg/m ³]	Přibližně 7860
	Teplota	[°C]	Do 85
	Vlhkost	[%]	Max. 30

Zdroj: vlastní zpracování

4.6 Posouzení účinnosti nadpásového magnetického separátoru

Pro posouzení účinnosti nadpásového magnetického separátoru v dopravní technologii na dopravu škváry byl předem stanoven postup, podle kterého celé měření proběhlo. Prvním krokem v postupu byla domácí příprava vzorků. Vzorky byly pečlivě vybrány tak, aby splňovaly určitá kritéria. Mezi vybraná kritéria vzorku patří rozměry, hmotnost a tvar. Pro každý vzorek byla zjištěna hmotnost a příslušné rozměry, které byly zapsány do tab. 2. Kvůli snadnějšímu počítání vzorků, které budou odseparovány a následně přesunuty do kontejneru na kovy, byl stanoven počet pro vzorky č. 1 až č. 10 na 10 zkušebních vzorků. U vzorků č. 11 až č. 13 byl stanoven počet na 1 zkušební vzorek (větší rozměry a hmotnost vzorku). Druhým krokem postupu bylo stanovení pořadí, v jakém budou vzorky na dopravní pás vkládány. Po vyhodnocení možných postupů vkládání vzorků na pás. Byl vybrán následující postup. Jednotlivé vzorky budou vkládány na pás dopravníku podle stanovené hmotnosti. Nejprve bude na pás dopravníku vložen vzorek č. 1 (hřebík, 10 kusů) a pak budou vkládány vzorky, podle zvyšující se hmotnosti. Vzorky budou rozprostřeny na pás dopravníku tak, aby mezi nimi vznikla mezera a nepřekrývali se. Interval vkládání vzorků na pás dopravníku byl stanoven na 10 sekund.

Před spuštěním dopravní technologie bylo nutné připravit vzorky na místo, odkud budou vkládány na pás dopravníku PD100-25000. Pro vkládání vzorků na pás dopravníku bylo vybráno místo u vsypu na pásový dopravník PD100-25000. Po zaznění výstražné sirény následovalo spuštění dopravní technologie. Během několika sekund obdržel zaměstnanec spalovny souhlas z velína. Tento souhlas znamenal, že dopravní technologie běží v pořádku a je umožněno vkládání vzorků na pás. Podle předem stanoveného postupu byly vzorky vkládány na pás dopravníku PD100-25000. Následně byly dopravovány až k nadpásovému magnetickému separátoru, kde byly odseparovány a přepraveny na dopravník PD100-3600 a na poslední dopravník dopravní technologie PD100-4600. Odkud padaly do kontejneru na kovy. U kontejneru na kovy stál zaměstnanec spalovny a prováděl kontrolu, zda nějaký vzorek nespadne do zásobníku (separátor nedokázal zachytit materiál s feromagnetickými vlastnostmi). Po každém měření byla provedena kontrola vzorků v kontejneru na kovy, zda sedí s uvedeným počtem. Pak byly vzorky rozříděny do příslušných vzorkových nádob a měření se mohlo opakovat. Celkově byla provedena tři měření. U žádného měření nedošlo k tomu, že by neseseděl počet odseparovaných vzorků v kontejneru na kovy s uvedeným počtem. To znamená stoprocentní účinnost nadpásového magnetického separátoru při zkušebním provozu.

Na obr. 25 je zobrazeno pokládání jednotlivých vzorků na běžící pás dopravníku PD100-25000. Toto místo (vsyp na pásový dopravník PD100-25000) bylo vybráno záměrně tak, aby vzorky dopravované po dopravním pásu musely urazit nejdelší vzdálenost. Pokud se podíváme nad dopravní pás, tak vidíme rámovou konstrukci postavenou napříč přes dopravník. Tato konstrukce je opatřena snímačem pro kontrolování výšky dopravovaného materiálu. Pokud se výška dopravovaného materiálu liší (je vyšší než je očekávaná výška) od předem stanovené hodnoty, je nutné udělat určitá opatření, zajišťující správný chod dopravní technologie. Buď změnit materiálový tok nebo pozměnit nastavení nadpásového magnetického separátoru. Na obrázku vlevo vidíme žlutý vibrační motor. Tento motor patří k zařízení nazývanému vibrační podavač a jeho úkolem je dopravovat škváru, která do něho byla dopravena z technologického zpracování spalovny na pásový dopravník.

Obr. 25 Pokládání vzorků na běžící dopravní pás



Zdroj: vlastní zpracování

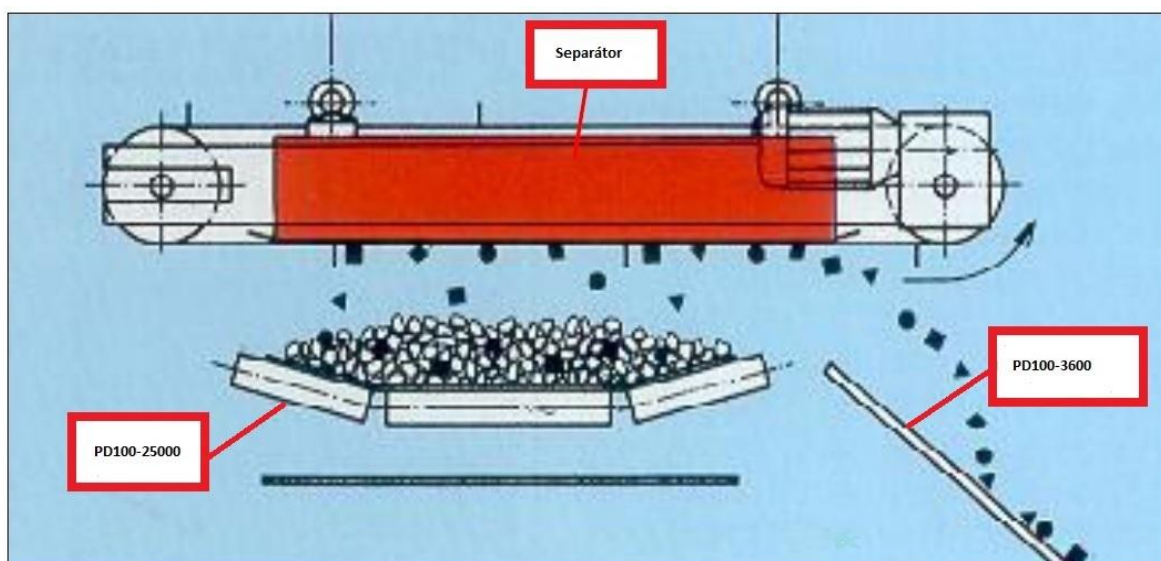
4.6.1 Princip činnosti nadpásového magnetického separátoru

Pro pochopení provedeného experimentu je nutné znát princip činnosti separátoru. Některé zmínky o činnosti tohoto zařízení jsou již uvedeny v teoretické části, ale pro lepší porozumění byl vytvořen obr. 26, který odpovídá nadpásovému magnetickému separátoru použitému v dopravní technologii. Zkratka PD100-25000 vyjadřuje: pásový dopravník, šířka pásu 100 cm, osová délka od vratného bubnu k poháněcímu bubnu 25000 mm. Vysvětlení zkratky samozřejmě platí i pro PD100-3600 a PD100-4600, akorát jsou rozdílně specifické rozměry.

Princip činnosti:

- Materiál s feromagnetickými vlastnostmi je dopravován pomocí pásového dopravníku PD100-25000 k nadpásovému magnetickému separátoru.
- Feromagnetický materiál je přitážen nahoru k magnetu separátoru. (Neferomagnetický materiál pokračuje po PD100-25000 dále k výsypu do zásobníku).
- Feromagnetický materiál je pomocí nekonečného pásu s žebry dopraven o určitou dráhu a následně odhozen na PD100-3600.
- Pro plynulé odhazování částic (feromagnetické vlastnosti) je magnet navržen s plynule klesající přitažlivou silou ve směru pohybu unášených částic.
- Z PD100-3600 jsou částice dopraveny na PD100-4600 a následně do kontejneru na kovy.

Obr. 26 Schématické znázornění principu činnosti nadpásového magnetického separátoru



Zdroj: [16]

4.6.2 Data získaná při měření účinnosti nadpásového magnetického separátoru

V tab. 6 jsou uvedena data, která byla získána během měření účinnosti nadpásového magnetického separátoru. Vyhodnocení dat přineslo níže uvedené výsledky.

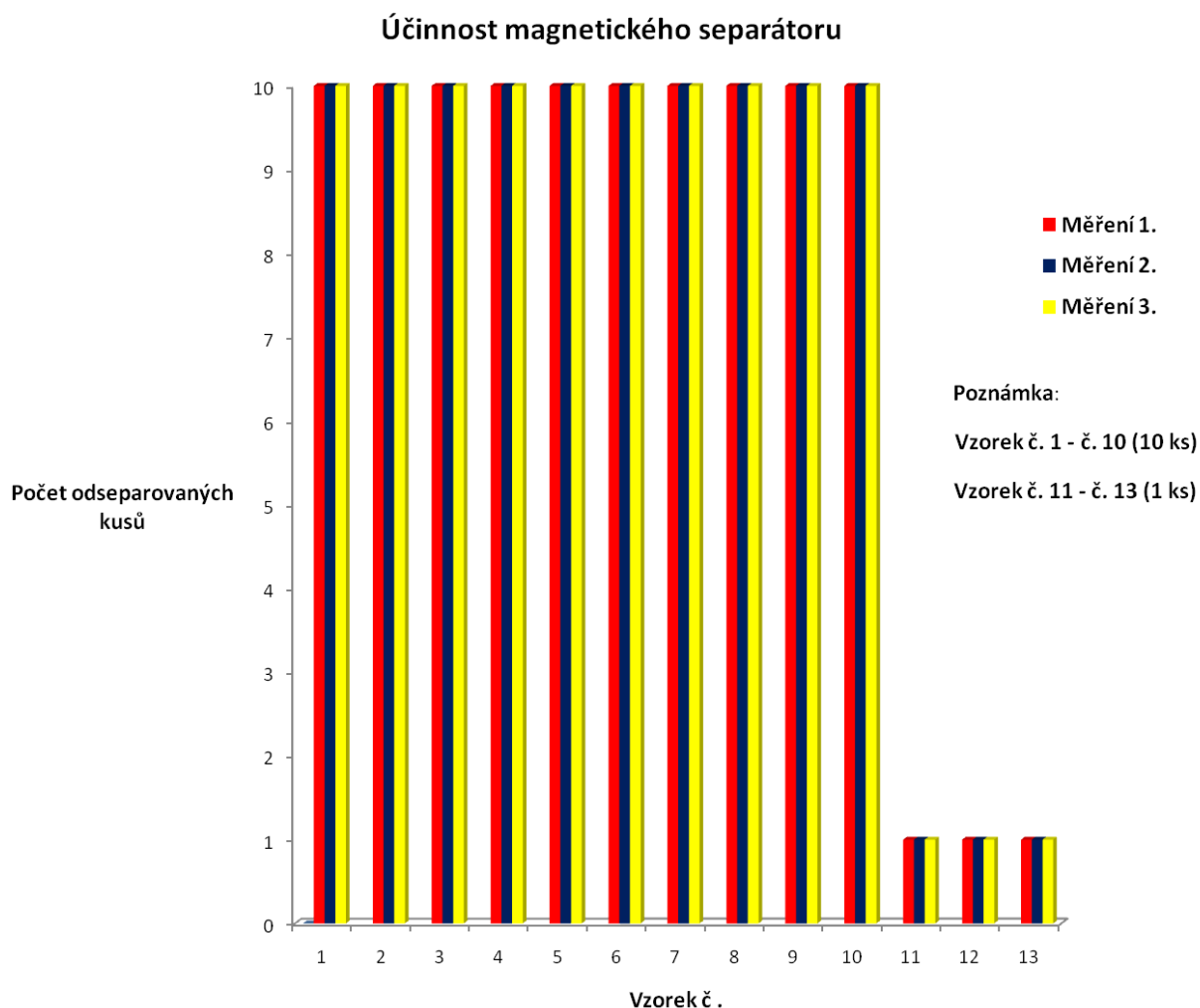
Tab. 6 Naměřené hodnoty odseparovaných vzorků nadpásovým magnetickým separátorem

Použité vzorky	Provedená měření (odseparováno ks)		
	Měření 1.	Měření 2.	Měření 3.
Vzorek č. 1	10	10	10
Vzorek č. 2	10	10	10
Vzorek č. 3	10	10	10
Vzorek č. 4	10	10	10
Vzorek č. 5	10	10	10
Vzorek č. 6	10	10	10
Vzorek č. 7	10	10	10
Vzorek č. 8	10	10	10
Vzorek č. 9	10	10	10
Vzorek č. 10	10	10	10
Vzorek č. 11	1	1	1
Vzorek č. 12	1	1	1
Vzorek č. 13	1	1	1
Účinnost magnetického separátoru pro jednotlivá měření	100 %	100 %	100 %
Celková účinnost magnetického separátoru	100 %		
Poznámka: celkový počet zkoumaných vzorků			
Vzorek č. 1 - č. 10 (10 ks)			
Vzorek č. 11 - č. 13 (1ks)			

Zdroj: vlastní zpracování

Na obr. 27 jsou zpracovány hodnoty z tab. 6 do grafické podoby. Právě díky grafickému zobrazení získaných dat si můžeme udělat mnohem lepší představu o jednotlivých měřeních a o počtu odseparovaných kusů použitých vzorků. Každé měření je označeno příslušnou barvou (viz legenda grafu). Celkem byla provedena tři měření, z důvodu vypovídací schopnosti o účinnosti separátoru. Z grafu je patrné, že počet odseparovaných kusů u vzorků č. 1 až č. 10, byl 10 kusů. Pokud srovnáme tuto hodnotu s hodnotou uvedenou v poznámce grafu, tak je jasné, že separátor dokázal ve všech třech měřeních odseparovat všechny vzorky. Pokud se podíváme na vzorky č. 11 až č. 13, tak vidíme, že úspěšnost separátoru byla pro všechna měření a všechny vzorky po 1 kusu. Při porovnání s poznámkou grafu vychází maximální možná účinnost.

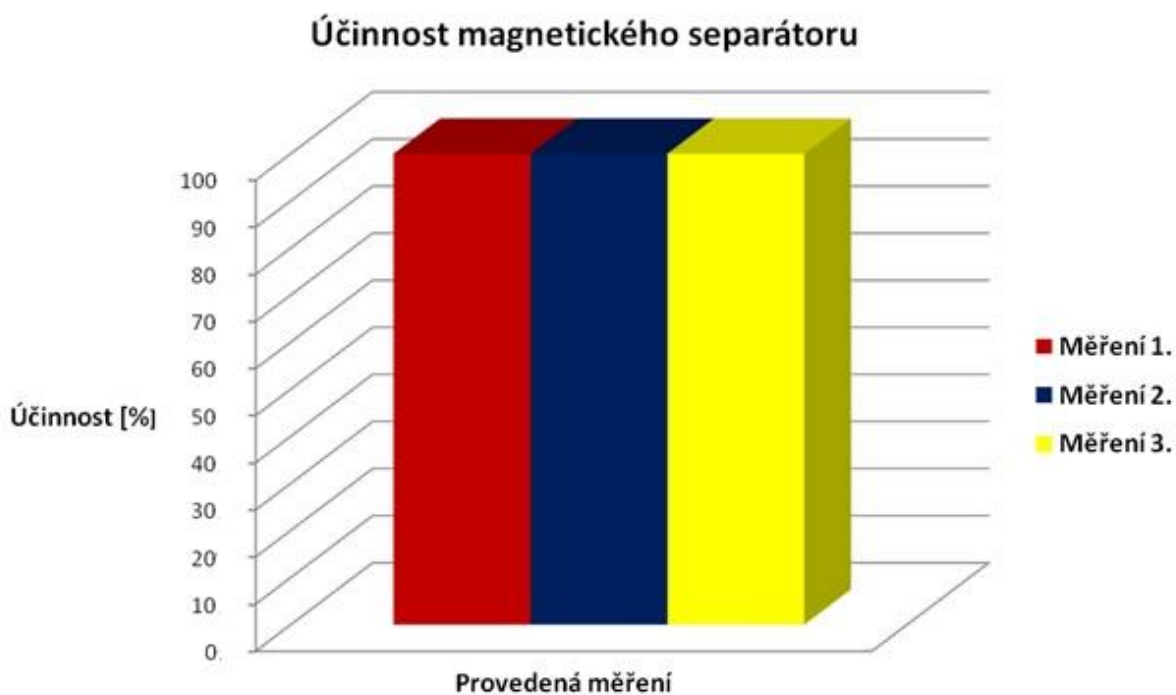
Obr. 27 Účinnost magnetického separátoru vyjádřena v počtu odseparovaných kusů



Zdroj: vlastní zpracování

Na obr. 28 je zobrazena účinnost nadpásového magnetického separátoru pro jednotlivá měření vyjádřená v procentech. V rámci zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry dosáhl nadpásový magnetický separátor 100 % účinnosti u všech provedených měření. Firma Wamag uvádí, že závěsné separátory, které vyrábějí, dosahují účinnosti 70 až 90 %. Proto jsou v provozu běžně vidět kombinace zařízení na separaci kovového materiálu. Pokud zkombinujeme více separátorů, tak dosáhneme čistějšího produktu a snížíme riziko poškození ostatních zařízení kovovým materiálem. V dopravní technologii na dopravu škváry je instalován pouze nadpásový magnetický separátor, ale vzhledem k tomu, že vedení závodu na energetické využití komunálního odpadu v Chotíkově plánuje odstávku technologie jedenkrát do roka, tak je nutné udělat určitá opatření, která budou sloužit jako záložní zdroj magnetické separace.

Obr. 28 Účinnost magnetického separátoru pro jednotlivá měření



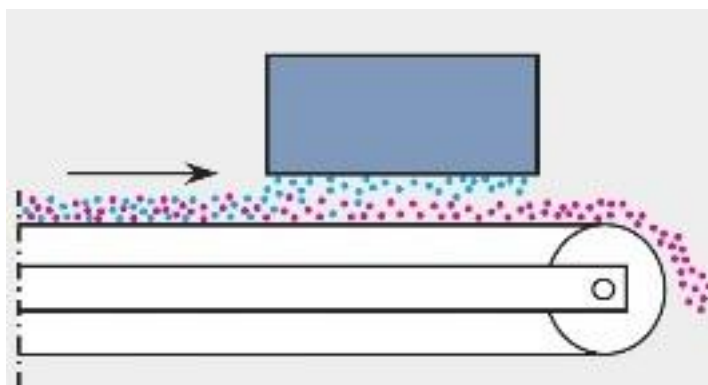
Zdroj: vlastní zpracování

4.7 Návrh záložního separačního zařízení pro dopravní technologii na dopravu škváry

V současné době je dopravní technologie na dopravu škváry vybavena pouze jedním zařízením, které zajišťuje magnetickou separaci. Pokud dojde k situaci, kdy magnetický separátor nedokáže zachytit materiál s feromagnetickými vlastnostmi, tak je čas položit si otázku, jak zabránit případnému průchodu tohoto nechtěného materiálu do zásobníku se škvárou. Na trhu se vyskytuje široká škála strojů a zařízení k magnetické separaci. Avšak nejprve je nutné posoudit, které zařízení by bylo vhodné pro dané podmínky a splňovalo by záložní funkci. Toto zařízení musí být menších rozměrů, jelikož mezi ocelovou konstrukcí (na které je zavěšen nadpásový magnetický separátor) a poháněcí stanicí PD100-25000 je málo místa. Jako možné řešení se jeví použít magnetický válec nebo magnetický buben místo poháněcího bubnu PD100-25000, avšak toto řešení by vyžadovalo určité úpravy u poháněcí stanice, což by bylo finančně náročné. Dále je možné použít zařízení, které by bylo méně prostorově náročné a nevyžadovalo by prakticky žádné úpravy stávající dopravní technologie. Jednalo by se o použití magnetického bloku od firmy Wamag. Tato varianta by byla cenově výhodnější, jelikož by se magnetický blok s rámem nainstaloval na rám pásového dopravníku PD100-25000.

Na obr. 29 je zobrazen princip funkce magnetického bloku. Bližší informace o zařízení jsou uvedeny v teoretické části diplomové práce. Hlavní činností magnetického bloku by bylo zachytávání feromagnetického materiálu, který by prošel přes nadpásový magnetický separátor. Modře zbarvené tečky představují materiál s feromagnetickými vlastnostmi, který je postupně odchyťován pomocí magnetického bloku. Červeně zbarvené tečky představují škváru.

Obr. 29 Magnetický blok umístěný nad pásovým dopravníkem PD100-25000



Zdroj: [11]

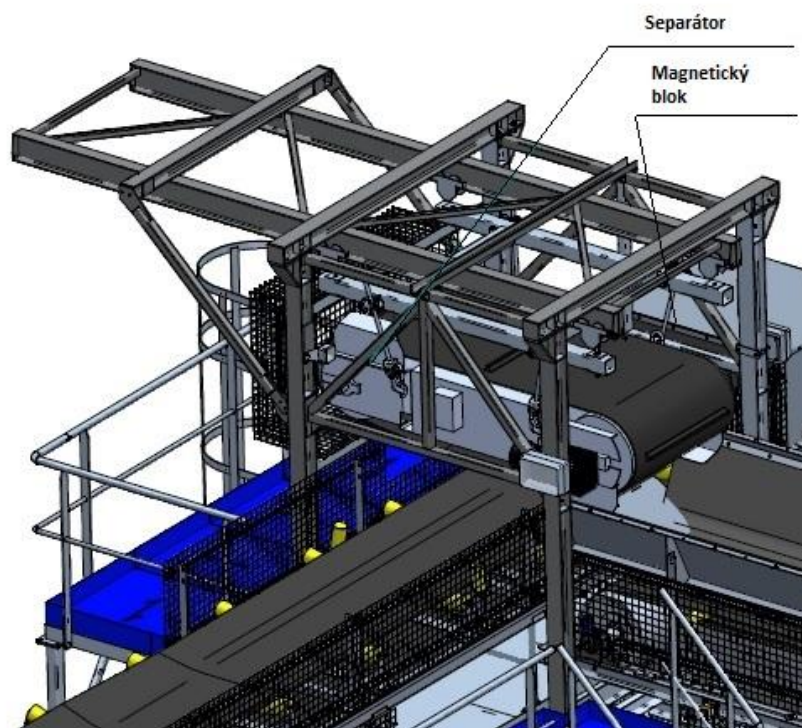
Na obr. 30 je zobrazena část dopravní technologie na dopravu škváry v Chotíkově. Konkrétně se jedná o místo, kde dochází k separování materiálu na čistou škváru a materiál s feromagnetickými vlastnostmi. Navrhovaný magnetický blok by byl umístěn mezi ocelovou konstrukcí nadpásového magnetického separátoru a poháněcí stanicí PD100-25000.

Konstrukce magnetického bloku:

- Permanentní magnet
- Ochranný kryt
- Rámová konstrukce

Pro případ použití magnetického bloku pouze jako pojistného zařízení pro magnetickou separaci, by byl zvolen typ s permanentním magnetem. Hlavní výhodou této volby jsou nízké náklady na provoz, snadná instalace, dostupnost bloků v různých velikostech a především není potřeba přívod elektrické energie. Jako nevýhoda se jeví pouze manuální odstraňování zachycených částic na spodní desce magnetického bloku. Obsluha zařízení by tedy musela při pravidelných kontrolách zajišťovat, aby spodní strana magnetického bloku byla čistá z důvodu správné funkce pro separaci kovů.

Obr. 30 Umístění magnetického bloku za nadpásový magnetický separátor



Zdroj: vlastní zpracování

5 Závěr a přínos práce

V teoretické části diplomové práce byly odpovídajícím způsobem popsány teoretické poznatky o magnetismu, elektromagnetismu, magnetických látkách, základních fyzikálních veličinách popisující magnetické pole ve vztahu k magnetické separaci. Zpracování teoretické části je nezbytné pro dosažení solidních výsledků v části praktické. Další důvod pro začlenění této části je vytvoření jednotného pojmového základu, nutného pro jednoznačnou interpretaci výsledků. Zdrojem pro zpracování teoretické části byly publikované odborné články, odborné publikace v této oblasti, odborné časopisy a internetové stránky firem, zabývající se obdobnou problematikou.

V praktické části diplomové práce byl zpracován experiment na posouzení účinnosti magnetické separace. Jádrem praktické části byla příprava, provedení a vyhodnocení výsledků reálného experimentálního ověření účinnosti nadpásového magnetického separátoru v podmínkách závodu na energetické využití komunálního odpadu. Cíl spočívající v ověření účinnosti magnetické separace v závislosti na vstupních parametrech (hmotnost, rozměry, tvar) byl splněn v plném rozsahu a potvrdil teoretické předpoklady.

Experiment byl proveden za účelem zjištění účinnosti nadpásového magnetického separátoru během zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry. Jednotlivé vzorky byly vkládány na pás dopravníku (PD100-25000), podle předem stanoveného postupu. Vzorky byly dopravovány pomocí pásu dopravníku až k nadpásovému magnetickému separátoru. Zde docházelo k separaci vzorků s feromagnetickými vlastnostmi. Následně byly vzorky zachyceny pomocí elektromagnetu k dopravnímu pásu nadpásového magnetického separátoru. Po přesunutí ve směru pohybu dopravního pásu separátoru byly odhozeny (důsledkem snížení účinku magnetického pole) na pásový dopravník PD100-3600. Dále následoval přeпад na poslední pásový dopravník v dopravní technologii (PD100-4600). Odtud padaly vzorky do připraveného kontejneru na kovy. Celkově byla provedena tři měření. Během experimentu nebyly zjištěny případy přeпаду vzorku do zásobníku, což prokázalo předpokládanou účinnost nadpásového magnetického separátoru ve vztahu k feromagnetickým vlastnostem použitých vzorků. To znamená stoprocentní účinnost separátoru při zkušebním provozu. Průběh experimentu a jeho výsledky byly prezentovány vedení výrobního závodu.

Pro objektivní posouzení účinnosti nadpásového magnetického separátoru je nutné podotknout, že byly separovány pouze vzorky s feromagnetickými vlastnostmi. V případě výskytu vzorků s méně výraznými magnetickými vlastnostmi nebo nemagnetickými vzorky, by bylo nutné řešit separaci pomocí dalšího separátoru, který je založen na jiném principu.

V praxi se běžně používá kombinace zařízení na magnetickou separaci pro zvýšení účinnosti. Proto byl zpracován návrh na možné řešení tohoto problému. Jako vhodné zařízení magnetické separace s pojistnou funkcí v dopravní technologii na dopravu škváry se jeví použití magnetického bloku s permanentním magnetem, který by byl instalován na rámu pásového dopravníku PD100-25000 mezi ocelovou konstrukcí nadpásového magnetického separátoru a poháněcí stanicí dopravníku. Tato varianta je proti jiným zařízením sloužícím k magnetické separaci ekonomicky nejvýhodnější a prakticky nevyžaduje žádné úpravy stávajícího zařízení. Obsluha zajišťující správný chod dopravní technologie bude pouze kontrolovat, zda je spodní strana magnetického bloku čistá, aby mohl permanentní magnet správně provádět separační funkci. Pokud bude blok zanesen kovovým materiálem, tak je nutný zásah obsluhy zařízení. Stačí pouze manuálně odstranit přichycený kovový materiál. Instalace magnetického bloku s rámem na pásový dopravník PD100-25000 je velmi jednoduchá. Do bočních profilů rámu pásového dopravníku by se vyvrtaly otvory pro spojovací materiál. Následně by byl usazen magnetický blok s rámem na rám dopravníku.

Hlavním přínosem diplomové práce je provedení experimentálního posouzení účinnosti magnetické separace během zkušebního provozu dopravní technologie na dopravu škváry. Dalším přínosem je prezentování pozitivních výsledků vedení výrobního závodu.

Do budoucna je doporučeno provádět pravidelné kontroly nejen nadpásového magnetického separátoru, ale i ostatních zařízení v dopravní technologii. V neposlední řadě je nutno zdůraznit důležitost důkladného dodržování BOZP (Bezpečnost a ochrana zdraví při práci). Vyplývá to z charakteru a specifik provozu, ve kterém se magnetická separace realizuje. K úrazu může dojít velmi snadno, protože se obsluha pohybuje v blízkosti rotačních částí zařízení. Může dojít k navinutí oděvu na rotační část nebo se také může stát, že z dopravního pásu odletí kovový kus.

6 Seznam použité literatury

- [1] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J. *Fyzika 3. část - Elektřina a magnetismus*. První vydání. Brno: Vutium, 2006. 888 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [2] SINOMAG. *Permanentní magnety* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/download/Permanentni_magnety.pdf
- [3] SÁBO J. *Interakcia magnetických polí s tkaninami* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kra/externi/kra_7169/ch10.html
- [4] WAMAG. [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.wamag.eu>
- [5] ZBOŘIL R., MAŠLÁN M., PETRIDIS D. *Iron (III) Oxides from Thermal Processess-Synthesis, Structural and Magnetic Properties, Mössbauer Spectroscopy Characterization, and Applications*. CHEM. MATER. 2002, 14, 969-982 s.
- [6] MAYER D., ULRICH B. *Elektromagnetické aktuátory*. První vydání. Praha: BEN - Technická literatura, 2009. 120 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [7] BRANČÍK L. *Elektrotechnika 1*. Brno: Vysoké učení technické. 2004.
- [8] SEDLÁK B., ŠTOLL I. *Elektřina a magnetismus*. Academia, 2002. 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [9] KRÁL J., VANĚK J. *Elektromagnetické přístroje*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické. 1984.
- [10] ARNOLD D. P., WANG N. *Permanent Magnets for MEMS*. Published in: *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2009. 1255-1266 s. ISSN 1057-7157.
- [11] SELOS Magnetics (2013). [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.magnety.cz/magneticke-separatory>

- [12] PAMME I., EIJKEL J., MANY A. *On-chip free-flow magnetophoresis: Separation and detection of mixtures of magnetic particles in continuous flow*. Department of Chemistry, Imperial College London, South Kensington, London SW7 2AY, UK. 2006. ISSN: 0304-8853.
- [13] WAMAG. *Magnetické separátory pro recyklaci - katalog* [online]. [cit. 2016-03-10]. Verze 2.2 – 2014. Dostupné z:
<http://www.wamag.eu/17-zavesny-permanentni-magneticky-separator.html>
- [14] WALMAG. [online]. [cit. 2016-01-09]. Dostupné z:
<http://www.walmag.cz/cs/produkty/separace/>
- [15] STEINERT. *Návod na obsluhu nadpásového magnetického separátoru*. Převzato se svolením firmy kešner a.s.
- [16] WAMAG. *Technická dokumentace - Instalační příručka závěsného magnetického separátoru* [online]. [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: www.wamag.cz

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Magnetické pole znázorněné indukčními čarami</i>	5
<i>Obr. 2 Permanentní feritové magnety</i>	6
<i>Obr. 3 Krystalografická struktura $BaFe_{12}O_{19}$</i>	7
<i>Obr. 4 Blokové schéma výrobního procesu feritových permanentních magnetů</i>	8
<i>Obr. 5 Krystalografická struktura $SmCo_5$</i>	10
<i>Obr. 6 Krystalografická struktura Sm_2Co_{17}</i>	11
<i>Obr. 7 Krystalografická struktura $Nd_2Fe_{14}B$</i>	12
<i>Obr. 8 Blokové schéma výrobního procesu permanentních magnetů ze vzácných zemin</i>	13
<i>Obr. 9 Konstrukce elektromagnetu</i>	16
<i>Obr. 10 Schéma uspořádání magnetických momentů v různých typech magnetismu</i>	17
<i>Obr. 11 Příklad využití magnetické separace v průmyslovém odvětví (zpracování odpadu)</i> ..	22
<i>Obr. 12 Magnetický blok nad pásovým dopravníkem</i>	25
<i>Obr. 13 Elektromagnetický separátor zavěšený na ocelové konstrukci</i>	26
<i>Obr. 14 Typy bubnových separačních systémů</i>	27
<i>Obr. 15 Typy umístění magnetických rotorů vestavěných do rotačního bubnu dopravníku</i> ...	28
<i>Obr. 16 Vysokogradientní magnetický separátor</i>	29
<i>Obr. 17 Detektor kovů</i>	30
<i>Obr. 18 Závod energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně</i>	32
<i>Obr. 19 Použité vzorky k experimentu</i>	33
<i>Obr. 20 Zavěšení separátoru</i>	36
<i>Obr. 21 3D-model dopravní technologie na dopravu škváry v závodě energetického využití komunálního odpadu v Chotíkově u Plzně</i>	37
<i>Obr. 22 Komponenty nadpásového magnetického separátoru</i>	39
<i>Obr. 23 Montáž ochranného krytu nadpásového magnetického separátoru</i>	42
<i>Obr. 24 Montáž skluzu na pásový dopravník PD100-4600</i>	43
<i>Obr. 25 Pokládání vzorků na běžící dopravní pás</i>	47
<i>Obr. 26 Schématické znázornění principu činnosti nadpásového magnetického separátoru</i> ..	48
<i>Obr. 27 Účinnost magnetického separátoru vyjádřena v počtu odseparovaných kusů</i>	50
<i>Obr. 28 Účinnost magnetického separátoru pro jednotlivá měření</i>	51
<i>Obr. 29 Magnetický blok umístěný nad pásovým dopravníkem PD100-25000</i>	52
<i>Obr. 30 Umístění magnetického bloku za nadpásový magnetický separátor</i>	53

Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i> Maxwellovy rovnice.....	15
<i>Tab. 2</i> Popis jednotlivých vzorků.....	34
<i>Tab. 3</i> Technické parametry nadpásového magnetického separátoru typ UME 95 110 R.....	38
<i>Tab. 4</i> Charakteristika dopravovaného materiálu k magnetickému separátoru.....	44
<i>Tab. 5</i> Charakteristika odseparovaného kovového materiálu.....	45
<i>Tab. 6</i> Naměřené hodnoty odseparovaných vzorků nadpásovým magnetickým separátorem .	49