

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení a staveb



Bakalářská práce

**Optimalizace off-line jednotky s fluidním splavem a
magnetickým separátorem**

Martin Pešek

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Pešek

Procesní inženýrství

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Optimalizace OFF-line jednotky s fluidním splavem a magnetickým separátorem

Název anglicky

Optimization of OFF-line unit with fluid flow and magnetic separator

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou zpracování elektroodpadu. Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti odpadového hospodářství, popisu technologie a techniky vhodné ke zpracování elektroodpadu.

Praktická část práce zahrnuje analýzu technických zařízení ve vybrané firmě pro zpracování elektroodpadu. Bude uskutečněn laboratorní rozbor vybraných parametrů zařízení na zpracování elektroodpadu. Student vypracuje návrh optimalizace s ohledem čištění a údržbu zařízení podle požadavků na kvalitu finálních produktů. Závěrem bakalářské práce bude vypracován ekonomický rozbor.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Měření a dosažené výsledky
5. Diskuse a závěry
6. Seznam literatury
7. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 – 50

Klíčová slova

Elektroodpad; fluidní splav; magnetický separátor; frakční složení

Doporučené zdroje informací

- Bazargan, A., Lam, K.F., McKay, G. 2012. Challenges and opportunities of e-waste management (Book Chapter). E-Waste: Management, Types and Challenges, 39-66.
- Cui, J., Forssberg, E. 2003. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: A review. Journal of Hazardous Materials, 99 (3), 243-263.
- Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., Gidarakos, E. 2009. Small WEEE: Determining recyclables and hazardous substances in plastics. Journal of Hazardous Materials 161 (2-3), 913-919.
- Guo, J., Guo, J., Xu, Z. 2009. Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review. Journal of Hazardous Materials 168 (2-3), 567-590.
- Moltó, J., Egea, S., Conesa, J.A., Font, R. 2011. Thermal decomposition of electronic wastes: Mobile phone case and other parts. Waste Management 31 (12), 2546-2552.
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., Böni, H. 2005. Global perspectives on e-waste (Review). Environmental Impact Assessment 25 (5), 436-458.
- Wong, M.H., Wu, S.C., Deng, W.J., Yu, X.Z., Luo, Q., Leung, A.O.W., Wong, C.S.C., Luksemburg, W.J., Wong, A.S. 2007. Export of toxic chemicals – A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. Environmental Pollution 149 (2), 131-140.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2020

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 05. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/bakalářskou práci na téma: Optimalizace off-line jednotky s fluidním splavem a magnetickým separátorem vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 14. 5.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Janu Malatřákovi Ph.D., Ing. Evě Peškové, Ing. Zuzaně Trojanové a firmě Enviropol s.r.o.

Optimalizace off-line jednotky s fluidním splavem a magnetickým separátorem

Abstrakt

Práce se zabývá optimalizací fluidního splavu ve vybrané zpracovatelské firmě na elektroodpad. Maximalizace pracovního výkonu je dosaženo nastavením parametrů zařízení. V textu jsou zachyceny poznatky chování zařízení, jeho nedostatky a návrh zlepšení. Praktické části předchází teoretická část, která pomáhá vytvořit představu, jakým způsobem je materiál upraven před off-line zpracováním. Text práce také shrnuje legislativní pojmy, historické souvislosti zpracování odpadů a jiné možné metody zpracování elektroodpadu. Požadavkem firmy bylo zrychlení hmotnostního toku z $350 \text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ na $1000 \text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$. Cíl byl převyšěn zhruba o 50 %. V jednom případě bylo dosaženo hmotnostního toku $1750 \text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$. Kvalita separace zůstala zachována. Výsledky práce vedou k přesnějšímu plánování výroby, zamezení potenciálního úzkého místa výroby a k bezpečnějšímu a kvalitnějšímu provozu. Zrychlení separace vytváří prostor pro separaci frakcí, které běžně nemají prioritu zpracování. Takovým materiálem je plastová frakce. Práce zahrnuje i její jednoduché ekonomické hodnocení.

Klíčová slova: Elektroodpad, OEEZ, Mechanické zpracování, fluidní splav, magnetický separátor

Optimization of the off-line unit with fluid flow and a magnetic separator

Abstract

The paper analyses the optimization of fluid flow in a selected electric-water-processing company. Maximizing work performance is achieved via setting the machine parameters. The paper analyses the machine's standard operation, its shortcomings, as well as several suggestions for improvement. The practical part is preceded by a theoretical part, which describes how the material is processed before off-line processing. The text also summarizes legislative concepts, historical context of waste treatment, as well as other possible methods of electrical waste treatment. The company's requirement was to accelerate the mass flow from $350 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ to $1000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. The target was exceeded by roughly 50 %. In one case, a mass flow of $1750 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ has been achieved. The quality of the separation has been maintained. The results lead to more accurate production planning, avoidance of potential production bottlenecks and safer and better operation. Accelerating the separation creates a time option to separate fractions that do not normally have processing priority. Such a material is a plastic fraction. The thesis also includes simple economic evaluation.

Keywords: Electrical waste, waste electrical and electronic equipment (WEEE), mechanical processing, fluid flow, magnetic separator

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce a metodika	2
3. Přehled poznatků z literatury dané problematiky.....	3
3.1 Historie zpracování.....	3
3.2 Zpracovatelské firmy	3
3.3 Legislativa	4
3.4 Druhy elektroodpadu	5
4. Možnosti zpracování OEEZ	7
4.1 Pyrometalurgické metody	7
4.2 Hydrometalurgie	8
4.3 Mechanické metody	10
4.3.1 Popis schématu technologické linky na zpracování elektroodpadu	11
4.3.2 Drtiče a mlýny.....	12
5. Výchozí podmínky řešení.....	15
5.1 Schéma sestavy zařízení vybrané off-line jednotky.....	15
5.2. Fluidní vibrační splav – Fyzikální princip.....	16
5.3 Fluidní vibrační splav – Popis zařízení	17
5.4 Magnetický separátor.....	18
5.5 Vlastnosti vstupního materiálu	19
6. Experimentální část práce	21
6.1 Metodika měření.....	21
6.2 Vlastní měření	22
6.3 Laboratorní rozbor	27
7. Diskuse k naměřeným hodnotám.....	28
8. Ekonomické hodnocení frakce 26.VIII	29
9. Návrh optimalizace.....	30
10. Závěr	31
11. Seznam literatury	32

1. Úvod

Odpadní elektrická a elektronická zařízení (dále jen OEEZ) se v průběhu 21. století stala z nežádoucí zátěže cenným zdrojem kovů. Řadíme k nim kovy méně ušlechtilé, jako je hliník či železo, přes dražší (například měď či nikl), až po kovy drahé (zlato, stříbro, platina). Mečislav Kuraš ve své knize Odpady a jejich využití a zneškodnění uvádí, že na 1 tunu železného šrotu lze ušetřit 2 t černého uhlí a 4 t železné rudy. Tuna odpadní mědi ušetří 142 t rudy v prvovýrobě. Tuna plastů a pryže je na vstupu do výroby ekvivalentem 2,5 t ropy. Tu lze odpadním platem ušetřit.

Tato práce popisuje stav zpracování elektroodpadu v České republice, definuje některé pojmy ukotvené v legislativě, popisuje možnosti zpracování EOOZ a blíže popisuje mechanický způsob zpracování. Dále popisuje vybrané zařízení a aplikuje získané znalosti na optimalizaci pracovního procesu zařízení. Mechanický způsob je obecně vhodným prostředkem pro zpracování komunálního OEEZ běžných spotřebičů z domácnosti. Je tomu tak díky nižší energetické náročnosti oproti pyrometalurgickým metodám a menšímu ekologickému riziku vzhledem k hydrometalurgii i pyrometalurgii. Nevýhodou však je méně kvalitní výsledná separace. Problém je částečně řešen v této bakalářské práci se zaměřením na konkrétní zařízení ve vybrané firmě Enviropol a.s.

„Není daleko společnost, kde materiálová situace bude doslova obrácená. Všechn odpad, který se nyní nazývá druhotnou surovinou, se stane hlavním zdrojem surovin a přírodní nenačaté zdroje budou rezervou spotřeby pro budoucnost.“

(G.T. Seaborg, 1992)

2. Cíl práce a metodika

Jak bylo výše zmíněno, mechanické zpracování s sebou přináší problémy, co se týče kvality separace. V důsledku péče o kvalitu může dojít ke zpomalení výroby a vytvoření úzkého místa ve výrobním procesu. Cílem práce je

- Nastavit vybrané zařízení tak, aby při dané kvalitě zajistil co nejvyšší tok materiálu. Požadavek firmy činí 1000 kg za hodinu. Dosavadní rychlost kovové frakce se pohybuje průměrně okolo 350 kg za hodinu.
- Zjistit, zda má rychlost toku materiálu vliv na kvalitu separace.
- Ověřit ekonomickou stránku separace plastové frakce.
- Zjistit technické a technologické nedostatky při pracovním postupu.

Metodika práce navazuje na cíl práce a koresponduje s uvedenými kapitolami. Popis v jednotlivých bodech je nastíněn následovně:

- Historické souvislosti a definice legislativního rámce,
- rozbor zpracovatelských míst a složení OEEZ,
- charakterizace metod na zpracování odpadu,
- seznámení se s mechanickým procesem zpracování,
- vysvětlení principu off-line linky fluidního splavu,
- měření dle zvoleného postupu a hodnocení průběhu měření
- vyhodnocení výsledků a návrh optimalizace.

3. Přehled poznatků z literatury dané problematiky

3.1 Historie zpracování

Vyspělost civilizací lze, mimo jiné, popsat úrovní odpadového hospodářství. Zajímavostí je, že vyšší stáří dané kultury nutně neznamená horší úroveň nakládání s odpady. Kupříkladu starší Řekové a Římané dokázali využívat vodovody a kanalizaci lépe než středověké evropské národy. Existovaly zde komunální služby, které vykonávali především váleční zajatci. V Římě se pravidelně konal generální občanský úklid ulic a prostranství.

Konkrétní opatření obecného pořádku, sběr a nakládání s komunálním odpadem či zlepšení hygieny přináší až druhá polovina 19. století. Některá města, jako například Praha, však až do počátku 19. století používala otevřených vozů vyvážených na kraj města. Koneckonců toto podloží dnes tvoří podstatnou část Prahy. Jako příklad uveďme celou čtvrť Kampa.

Problém s hygienickými podmínkami řeší až zavedení technologie kompostování, spalování a řízeného skládkování. První spalovny vznikly koncem 70. let minulého století ve Velké Británii. Další formování odpadového hospodářství formovaly mezinárodní organizace, jako je OSN, WHO nebo ISWA. Poslední zmíněná organizace, založená roku 1972, se na řešení problému s odpady přímo 1972.

(Altman, 1996)

3.2 Zpracovatelské firmy

V roce 2016 fúzovala s 5% podílem na trhu sběru elektroodpadu firma Retela s.r.o. s firmou Asekol a.s. (tržní podíl 21 %). Největším hráčem je však Elektrowin a.s. s podílem 49 %. Firma Rema systém a.s. pak drží 16 %.

Zdrojem poloviny odpadu jsou obce, 23 % prodejci, 11 % mobilní svozy a 8 % firmy. Tato statistika vychází z výroční zprávy Elektrowin a.s. z roku 2014. Evropské i české směrnice hovoří o tom, že sběrný systém by měl být v rukou neziskových organizací. Zpracovatelský průmysl již může být soukromý. V rámci kolektivního sběru evidoval Asekol 16 981 tun odpadu za rok 2015. Spolu se zahraničními partnery, jako je ES EK (Švédsko) nebo Recupel (Belgie), Ecotic (Španělsko) aj. se podařilo sebrat 390 tis. tun elektroodpadu. V roce 2014 vychází množství shromážděného elektrického a elektronického zařízení (dále jen EEZ) na obyvatele 1,62 kg.osoba⁻¹. V roce 2016 spolupracoval Asekol s 2960 městy či obcemi. O dva roky dříve evidoval rozmístění 2126 červených sběrných kontejnerů.

(Číhal, 2018); (Hylák, 2016)

3.3 Legislativa

Zákon o odpadech z roku 2001 a vyhlášku z roku 2005 o podrobnostech s nakládáním s OEEZ nahradil nový zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. (vstoupil v platnost v roce 2021) a také zákon č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností. Evropský parlament a Rada (ES) upravují problematiku nařízením č. 1013/2006. Výklad, či jinak řečeno „duch zákona“ o odpadech, je zmíněn v § 3. Hovoří se zde o důrazu využití celého životního cyklu výrobku, udržitelnosti životního prostředí a předběžné opatrnosti, o technické proveditelnosti a hospodářské udržitelnosti. Základní řazení odpadů se dělí na nebezpečný odpad a ostatní odpad. Blíže jej specifikuje katalog odpadů (vyhláška č. 8/2021 Sb.) zpracovaná podle příslušných předpisů EU.

Zákon (541/2020 sb.) o odpadech podle § 4 definuje odpad takto:

- (1) *Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.*
- (2) *Má se za to, že osoba má úmysl zbavit se movité věci, pokud tuto věc není možné používat k původnímu účelu.*
- (3) *Osoba má povinnost zbavit se movité věci, jestliže*
 - a) *ji nepoužívá nebo ji není možné používat k původnímu účelu a tato věc současně ohrožuje životní prostředí,*
 - b) *byla vyřazena nebo stažena na základě jiného právního předpisu⁶⁾, nebo*
 - c) *vznikla při výrobě, jejímž prvotním cílem nebyla výroba nebo získání této věci, ale není vedlejším produktem podle § 8 odst. 1.*
- (4) *V pochybnostech, zda je movitá věc odpadem, rozhoduje krajský úřad na žádost vlastníka...*

Dále zákon o odpadech upravuje pojem „původce odpadu“ takto:

- (1) *Původcem odpadu se rozumí*
 - a) *každý, při jehož činnosti vzniká odpad,*
 - b) *právnícká nebo podnikající fyzická osoba, která provádí úpravu odpadů nebo jiné činnosti, jejichž výsledkem je změna povahy nebo složení odpadu, nebo*
 - c) *obec od okamžiku, kdy osoba odloží odpad podle § 59 a 60 na místo obcí k tomuto účelu určenému.*
- (2) *V případě, že odpad vzniká při činnosti více osob nebo při činnosti prováděné na základě smlouvy pro vlastníka věci, ze které se stane odpad, je původcem odpadu osoba, která fyzicky provádí činnost, při které odpad vzniká. Původcem odpadu je jiná osoba podle věty první, pokud tak vyplývá z písemné smlouvy uzavřené mezi těmito osobami. Původce odpadu podle věty první nebo druhé se stává vlastníkem vzniklého odpadu nejpozději v okamžiku jeho vzniku.*
- (3) *V případě komunálních odpadů a odpadů z obalů, s výjimkou odpadů z domácností, je původcem těchto odpadů vlastník nemovité věci, kde vznikají, pokud tak vyplývá z písemné smlouvy s osobou, která by byla původcem odpadu podle odstavce 1, a nejpozději v okamžiku vzniku odpadu se stává vlastníkem odpadu.*

Pojem elektrické zařízení upravuje zákon 542/2020 sb. podle paragrafu § 3 takto:

c) elektrozařízením elektrické nebo elektronické zařízení, jehož správná funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli, nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole, které je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud ...

V souvislosti s § 3 zákona o odpadech 542/2020 Sb. upravuje povinnosti při výrobě vybraných výrobků následovně:

- (1) *Ten, kdo vyrábí vybrané výrobky, je povinen je navrhovat a konstruovat tak, aby*
- a) byly snadno demontovatelné,*
 - b) nebezpečné látky v nich obsažené neunikaly do okolí,*
 - c) bylo možné z nich nebezpečné látky vyjmout a*
 - d) bylo usnadněno jejich využití po ukončení jejich životnosti.*
- (2) *Ten, kdo vyrábí vybraný výrobek, jej musí dále při zohlednění jeho celého životního cyklu navrhovat a konstruovat tak, aby*
- a) z materiálů, použitých při jeho výrobě, bylo co nejvíce materiálů recyklovatelných,*
 - b) při jeho výrobě a spotřebě byl minimalizován vznik odpadu, zejména nebezpečného,*
 - c) po jeho použití byla umožněna jeho oprava, repase nebo renovace a opětovné použití, je-li to s ohledem na povahu výrobku možné, a*
 - d) po ukončení jeho životnosti byla umožněna jeho recyklace nebo jiné využití, včetně využití jeho součástí a získaných materiálů, v souladu s tímto zákonem, zákonem o odpadech a jinými právními předpisy na ochranu životního prostředí a veřejného zdraví.*

Nebezpečné součástky či spotřebiče podle katalogu odpadů jsou například ty, ve kterých se vyskytuje akumulátor, rtuťové přepínače, sklo z obrazovek nebo obecně látky označené jako nebezpečné. Dále, nebezpečný elektroodpad je například ten, který obsahuje zářivky a jiný odpad obsahující rtuť (katalogové číslo 20 01 21) a zařízení obsahující chlorofluoruhlodíky (katalogové číslo 20 01 23). Obecně z katalogu vyplývá, že pokud OEEZ neobsahuje nebezpečný odpad, je považován za ostatní odpad. Zákon o výrobcích s ukončenou životností ukládá povinnost pro výrobce či posledního prodejce bezplatně odebrat výrobky s ukončenou životností.

3.4 Druhy elektroodpadu

Složení elektroodpadu se v čase mění tak, jak se mění spotřební koš i technologie výroby. Kupříkladu složení materiálové struktury televize Tesla (CRT), rok výroby 1980, je 25,9 % dřeva, měď 2,4 %,

platový materiál 0 %, železo 17,5 %, sklo 33 %. Oproti tomu složení televize Sony (CRT), roky výroby 1997, je 0 % dřeva, měď 0,4 %, plastový materiál 31,2 %, železo 1,1 %, sklo 56 %. Posledním příkladem je televize LG (LCD), rok výroby 2009, dřevo 0 %, měď 0,9 %, plastový materiál 36 %, železo 1,2 %, sklo 53,7 %. (Hylák, 2019)

Prof. Křištofová ve své práci „Kovy a životní prostředí“ uvádí složení elektrického odpadu obecně (30 % žáruvzdorné oxidy, 30 % plasty, 20 % měď, 8 % železo, olovo s antimonem 6 %, hliník a zinek 3 %, nikl 2 %, jedno procento ušlechtilých kovů). Ve své starší práci „Recyklace ušlechtilých kovů“ uvádí podíl zdrojů odpadu na sekundární produkci platiny, kde elektronika tvoří 4,1 %, katalyzátory 41 %, šperky 38 %. Zdroj paládia však nejvíce těží právě z elektrotechniky 46 %, katalyzátory tvoří 17 % zdrojů, dentální slitiny 26 %, šperky 11 %.

Plasty tvoří značnou část elektroodpadů. Výrobci dodávají do výrobní směsi bromované přísady, které zabráňují samovznícení při havárii během provozu produktu. Tyto tvoří cca 5 % hmotnosti plastových částí a spolu s oxidem antimoničným (1 % hmotnosti) jsou důvodem, proč značná část plastů z recyklačních linek končí na skládce. Souhrnně jsou plasty z elektronických výrobků označovány jako termoplasty. Patří sem akrylonitrilbutadienstyren (ABS). V osobních počítačích tvoří obsah 57 % hmotnosti, dále zde patří polyfenilenoxid (PPO) s 36 % hm. nebo vysoce stlačitelný polystyren (HIPS). Některé součástky mohou obsahovat izolaci v podobě polyethylenu. Plastové kabely obsahují aditiva na bázi kadmia či olova zabráňující lomu plastů během používání.

(Křištofová, 2001), (Křištofová, 2005)

Výrobky, obsažené v elektroodpadu, jsou například monitory, televize, počítače, tiskárny, mobilní telefony, radiopřijímače, vysavače, fény, kuchyňské mixéry. Některé z těchto výrobků je nutné rozebrat a odstranit nebezpečné části a zbavit se tak potenciální toxicity. Jedná se kupříkladu o televizory, kde je odebráno sklo monitoru nebo tonery u tiskáren. Zvláštní úpravu před recyklací vyžadují také například ledničky nebo svítidla s obsahem nebezpečných plynů.

Problémem při recyklaci může být také špatné třídění již při zpětném odběru EEZ. Častým případem je obsah AA tužkových baterií. Ty obsahují zinek, ale také zdraví nebezpečné látky: oxid manganičitý a hydroxid draselný. Proto je na recyklační lince elektroodpadu zařazena linka ručního třídění, kde jsou tyto baterie odstraňovány.

4. Možnosti zpracování OEEZ

Současné konvenční metody zpracování OEEZ jsou tři (podrobněji popsány níže). Při volbě vhodné metody je zohledněna především kovnatost, obsah doprovodných kovů a obsah základní složky (v případě OEEZ je tomu plast). Je dobré zohlednit využití všech složek odpadu. Rozhodovat může dostupná technologie či energetická náročnost, dostupnost lidských zdrojů nebo schopnost zajistit dostatečnou technologii s ohledem na šetrnost k životnímu prostředí či bezpečnosti práce. Obecně lze všechny metody níže nazvat metalurgické. Těm často předchází úprava v podobě dělení, třídění, odizolování, aglomerace. Metody zpracování primární suroviny, jako například kovových rud, se říká primární zpracování. Jako druhotné zpracování se označuje zpracování zdrojů z kovonosných odpadů. Základem pro tyto metody jsou však technologie obdobné primárnímu zpracování.

4.1 Pyrometalurgické metody

Jak již název napovídá, jedná se o zpracování při vysokých teplotách. Palivem či zdrojem tepla může být plyn, elektrický oblouk či koks. Většinou je zapotřebí k získání čistého kovu oxidační či redukční reakce. Často však dochází k oběma reakcím. Pyrometalurgické procesy je tedy vhodné použít v případě, že se odpadní kov vyskytuje ve sloučenině. Příkladem může být zpracování odpadních olověných akumulátorů, kde se olovo vyskytuje také ve formě oxidu a síranu. Oxidačním či redukčním činidlem může být zároveň palivo, jako je tomu v případě koksu ve vysokých pecích. Výběr charakteru chemické reakce závisí na složení látek a jejich sloučenin. Kromě výše zmíněných předúprav je vhodné využít sušení, zkusování vsázky (např. aglomerace), snížení chemicky vázané vody (kalcinace). Ve strusce, případně v kamínku se koncentrují jalové kovy v podobě halogenidů nebo solí, nejčastěji oxidů či síranů (Ca, Si, Fe, Al, Mg aj.). Struska, jakožto tavidlo, má kromě výše zmíněného za úkol izolovat taveninu od plynné atmosféry, akumulovat teplo nebo vyvinout dostatečný hydrostatický tlak na taveninu. Tavenina dále může být vypuštěna skrz "jarko." Typické chemické reakce za termických podmínek jsou tyto:

Rozklad síranů



Redukce kovových oxidů oxidem uhelnatým



Případně se využívá reakce uhlíku s oxidem uhelnatým

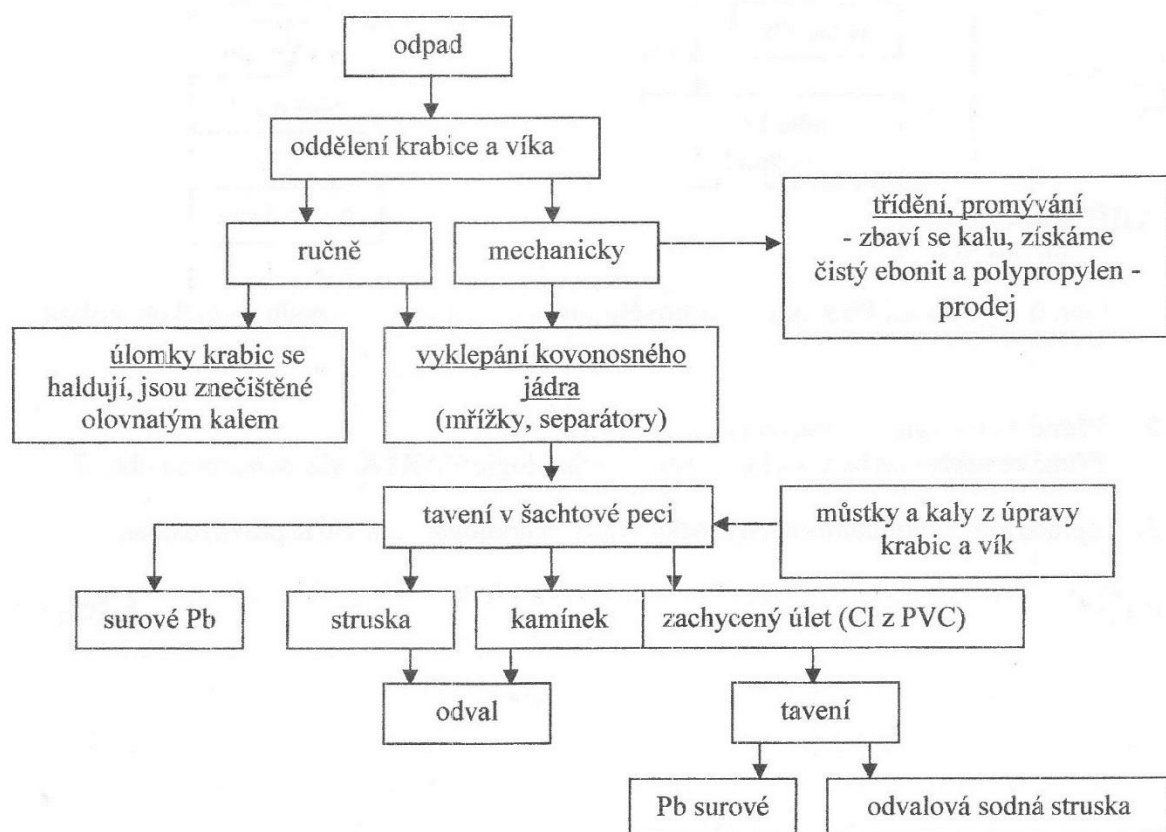


Me představuje požadovaný kov. Jiné redukční pochody jsou redukce vodíkem či metalotermická redukce.

Výhodou pyrometalurgie je zpracování velkého objemu materiálu. Důvodem je často historická zkušenost s touto technologií. Další výhodou je, že odpad v podobě plastových částí či jiných hořlavých látek je v procesu využit jako palivo. Nutností je však aplikovat kvalitní filtrační techniky. Vhodné jsou dospalovací komory, kde se spálí zbytek organických sloučenin. Plyn je dále ochlazován, často také mísen s vápenným práškem. Spaliny tak lépe tvoří sloučeniny nepropustné filtrem. Nečistoty zachytává tkaninový nebo také uhlíkový filtr. Surové olovo putuje k prodeji nebo je dále rafinováno s vysokou čistotou a vylito do ingot; kov je případně, pro dosažení požadovaných vlastností, legován. Jako příklad je uvedena jedna z možností zpracování olova.

(Beránek aj., 1984); (Křištofová, 2003)

Obr. 1 Schéma zpracování olověných akumulátorů



Zdroj: (Křištofová, c2003)

4.2 Hydrometalurgie

Základem hydrometalurgie jsou procesy loužení a získávání kovu z roztoku. Samotnému loužení často předchází vhodná úprava. Ta je možná mechanickými způsoby (dosažením potřebné zrnitosti), tepelnými/chemickými pochody za účelem vytvoření rozpustných sloučenin nebo naopak převedením nežádoucích složek do nerozpustné formy.

Loužení je proces, při kterém je zájmový kov převeden do roztoku za působení loužicího činidla. Kyselina sírová může sloužit jako loužicí činidlo pro oxidy a sírany kovů. Síran železitý pro kovové sulfidy. Na drahé kovy, jako je Ag, Au, Pt, působí kyanid sodný či kyselina dusičná s chlorovodíkem. Produktem výluhu jsou tedy roztoky s obsahem:

- Užitého kovu
- Kovů průvodních
- Oxidačně redukčních látek
- Volné kyseliny, zásady nebo soli
- Jemně suspendovaných látek

Vyluhování prosakováním roztoků neboli difúzní vyluhování je jeden ze způsobů. Dalšími jsou vyluhování v perkolačních nádobách, vyluhování rmutu. Předmětem diskusí se stalo vyluhování in-situ tedy v místě výskytu kovu v přírodě. Tento způsob je však náročný na zajištění šetrné těžby vzhledem k životnímu prostředí. Jedním z možných východisek ekologického loužení může být biologické loužení, kde tento proces zajišťují mikroby, především bakterie. Jejich metabolity jsou kovy, sloučeniny kovů nebo naopak jalové složky kovoносného vstupu. Oddělování tuhé a kapalné fáze se aplikuje za pomoci usazování, filtrace, čerání, odstředování. Jalová složka neboli „louženec“ je dále promývána a může být znovu použita na loužení. Odpad putuje na odkaliště.

Získat kov z roztoku je možné těmito konvenčními prostředky. Elektrolýzou je možné dosáhnout vysoké čistoty kovu. Metoda je však energeticky náročná, tudíž ekonomicky nákladná. Cementace, jakožto nejstarší technologie, umožňuje vytěsnit žádaný kov ze sloučeniny kovem méně ušlechtilým. Autoklávový proces je vylučování kovů z roztoku pod tlakem. Vodík, oxid uhelnatý či oxid siřičitý působí za zvýšeného tlaku a teploty na oxidy kovů z roztoku. Tímto dochází k jejich redukci.



Příklad vodíkem.

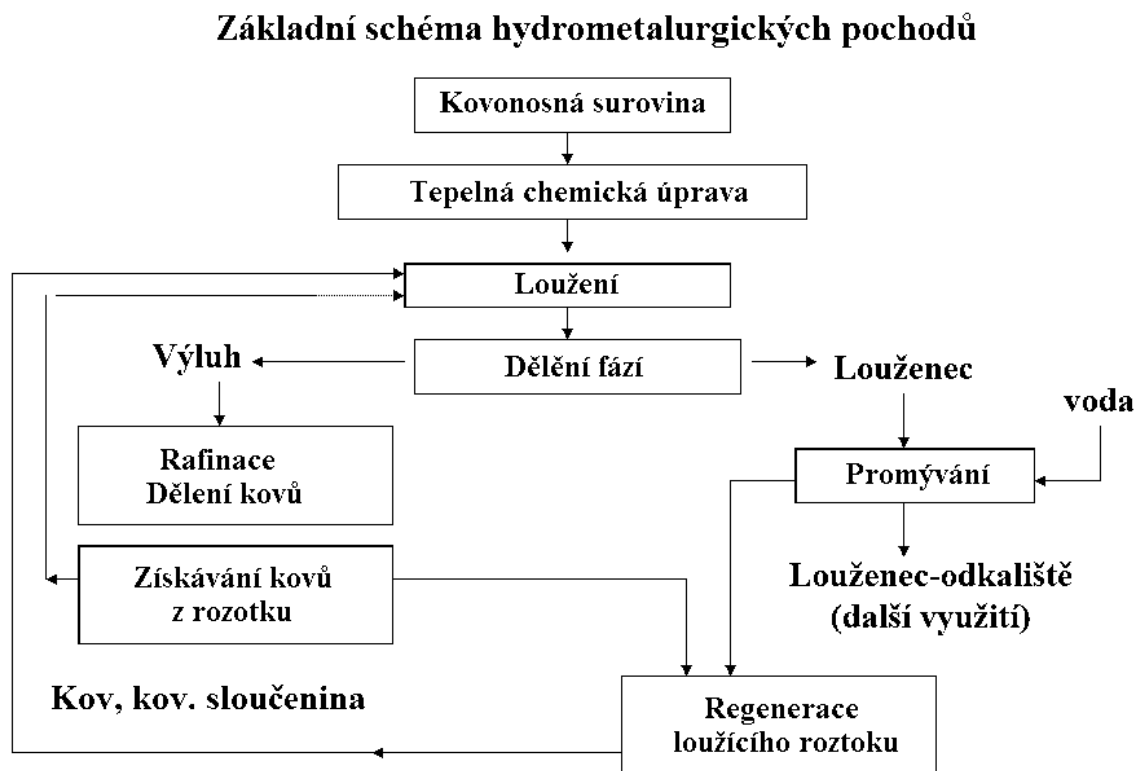
Získávání kovu krystalizací lze dosáhnout za pomoci přítomnosti cizích částic, při odpařování rozpouštědla, při ochlazení.

Získávání kovu často předchází rafinace výluhu. Cílem je zbavit se nečistot nebo podružných látek. Proces také nazýváme chemické čištění výluhu. K těmto procesům patří srážecí metody, kapalinová extrakce, měniče iontů - pevné ionexy.

Hydrometalurgii je možné dosáhnout vyšší čistoty kovu než ostatními metodami. Je možné také zpracovávat chemicky složitější sloučeniny oproti pyrometalurgii. Existuje však potřeba dobrého zabezpečení proti úniku chemických látek do životního prostředí. Je nutné zajistit také odkaliště aj.

(Beránek aj., 1984); (Křištofová, 2001)

Obr. 2 Schéma procesů hydrometalurgie



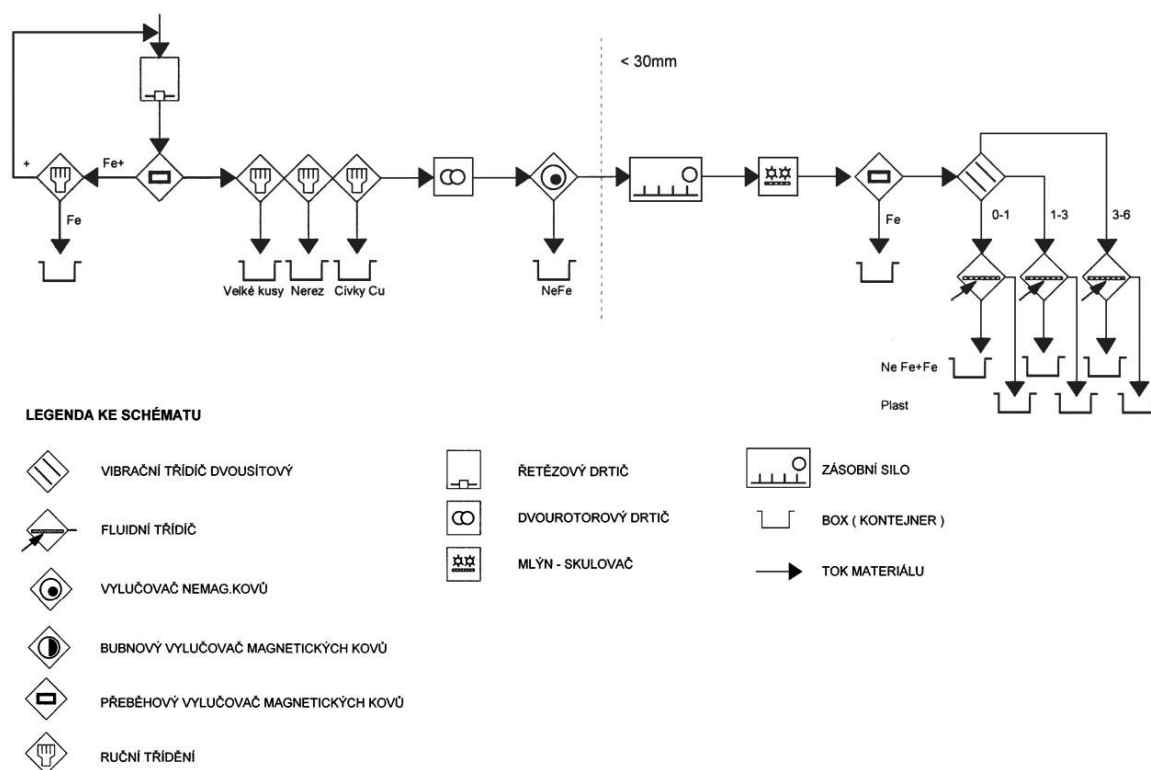
Zdroj: <https://web.vscht.cz/~vun/>

4.3 Mechanické metody

Mechanická metoda bude stěžejní pro tuto závěrečnou práci. Off-line fluidní vibrační splav je poslední či předposlední zpracování před prodejem, jakožto surovina. Off-line znamená, že je stroj postaven mimo hlavní výrobní linku. Fluidní splavy se ovšem nachází i na hlavní lince. Obecně lze říci, že mechanické metody využívají mechanických, fyzikálních principů k separaci jednotlivých homogenních látek. Materiál je rozmělněn na zrnitostní frakce a separován, kupříkladu na základě rozdílné měrné hmotnosti (působnosti odstředivé síly, fluidace, usazování a vztahové síle v kapalném prostředí, rozdílu dynamických vlastností) nebo magnetických vlastností (permanentní magnet, vířivé proudy, elektrostatická síla). Zpracování často vyžaduje ruční demontáž za účelem vyřazení nebezpečných prvků a vyjmutí ekonomicky výhodných součástí. Nevhodné části odpadních zařízení jsou ta, která mají negativní dopad na životní prostředí, udržitelnost provozu, případně vykazují riziko havárie. Za určitých podmínek mohou být mechanické metody více ekonomicky výhodné než pyrometalurgické procesy. Nespornou výhodou této metody je její ekologičnost. Nevýhodou může být nižší kvalita separace jednotlivých látek či prvků. Díky této skutečnosti je běžnou praxí navázání pyrometalurgické případně hydrometalurgické metody na mechanickou.

4.3.1 Popis schématu technologické linky na zpracování elektroodpadu

Obr. 3 Základní schéma technologické linky na zpracování elektroodpadu



Zdroj: Firml, 2006

Schéma linky na zpracování elektroodpadu popisuje základní mechanismus pro získání kovové a plastové frakce. Kovová zrna mohou být rozdělena na magnetické, nemagnetické, lehké a těžké kovy. V praxi by dnes schéma bylo obohaceno o více prvků. Kupříkladu legislativa upravuje povinnost instalovat ventilaci s filtrem prachových částic pro mlýny, drtiče nebo vibrační splavy. Důslednější alternativou je cyklonový odlučovač zpravidla umístěný za mlýnem, na schématu označený jako skulovač. Nové možnosti také přináší optické odlučovače, které pneumatickou vzduchovou tryskou oddělí příslušný kov. Stanoviště ručního třídění se často nachází na více místech, aby se zamezilo výskytu pro zpracování nebezpečných či nevhodných látek. Některé úseky linky se za účelem zlepšení separačního procesu i z důvodu šetrnosti k zařízení mohou opakovat. Vibrační třídič může odstranit lehké části. Typicky jsou to fólie kondenzátorů, které by svým tvarem a vlastnostmi překážely v další zpracování. Obecně lze princip mechanické metody popsat následovně: materiál je pomocí drtičů a mlýnů drobněn na kusy a zrna. Dalším drobněním se dosahuje částí stále více homogenní struktury. Ty jsou následně separovány na základě svých magnetických či fyzikálních vlastností.

Následuje chronologický popis toku materiálu po hlavní lince. Možnost, jak dávkovat materiál na linku, záleží na dané firmě. Je možné dávkovat odpad na vstupní dopravník jeřábem s hydraulickou rukou, nebo lze dávku odpadu vysypat do zásobníku s podavačem. První drtič má za úkol rozrušit celý kus elektroodpadu na menší kus, který projde výstupním otvorem či sítím. Volba drtiče závisí na množství zpracovávaného vstupu a také na druhu odpadu. Dále následuje odlučovač magnetických kovů. Sbírá velké kusy magnetického materiálu, především železa. Ručním tříděním jsou vyloučeny velké kusy, nerezové části, tužkové baterie nebo cenné komponenty, jako jsou měděné cívky apod. Další v pořadí bývají například vícehřídelové drtiče. Nyní jsou kusy dostatečně malé na separaci indukčním separátorem nemagnetických kovů. Zařízení pracuje na principu vířivých proudů. Částice nepřesahují velikost tří centimetrů. Linka v dalším kroku může obsahovat zásobní silo. Materiál pokračuje na mlýn. Cílem mlýnu je nejen zmenšit materiál na velikost zrn, ale také takzvaně „zabalit“ částice do kuliček. Dostává se tak jednotného tvaru zrn potřebného pro správný průběh mechanické separace. Zrna pokračují na separátor magnetických kovů. Ten se na lince může vyskytovat i několikrát. Následují systémy sít, které roztřídí částice do více frakcí. Nyní jsou frakce připraveny na separaci fluidními splavy. Princip tohoto zařízení je popsán v kapitole níže.

4.3.2 Drtiče a mlýny

Teorie rozpojování definuje způsoby, jak dosáhnout zmenšení velikosti částic následným výčtem úkonů: drcení, trhání, smýkání, lámání, otírání, rozbíjení, rozlupování. K rozpojení tedy dojde dynamickým účinkem vyvolaným nárazem na pevnou plochu nebo mezi částicemi navzájem. Jednotlivé způsoby rozdužení se liší ve směru působících sil nebo ve styčných plochách nárazu. Hrubé rozpojování nazýváme drcení, jemné nazýváme mletí. Hranici tvoří velikost 10 mm pro vstupní částice. Výstupem většiny mlýnů jsou pak zrna o velikosti menší než 1 mm. Přesná hranice je však relativní. Některé typy drtičů se používají také jako mlýny.

Čelist'ové drtiče tvoří více méně rovinné desky nakloněné mírně od sebe. Jedna či obě konají kývavý pohyb. Hydraulický chod, oproti klikovému mechanismu, dává možnost zrychlit pohyb při pracovním zdvihu. To umožňuje zvýšit výkon drtiče až o 50 %. Úhel sevření desek musí být dostatečně ostrý, aby částice nebyla vytlačována směrem vzhůru. Svislá třecí složka síly musí být větší než svislá složka reakce. Stupeň rozpojení se pohybuje v hodnotách $\vartheta = 3 \div 7$. Výkonnost se pohybuje mezi 30 až 520 m³h⁻¹.

Pracovním elementem **kruhových (kuželových) drtičů** je rotující kužel. Krom rotačního pohybu koná také kývavý pohyb. Materiál postupně vstupuje do mezikruží statického vnějšího kužele a rotujícího kužele (pracovní element). Oproti čelist'ovým drtičům mají výhodu rovnoměrného chodu a využívají navíc smykové síly. Aby se zabránilo poruše zařízení při vniknutí cizího tvrdého tělesa, jsou některé vnější pevné válce (kužely) uloženy na silných pružinách. Při vniknutí nestandardního tělesa pružiny povolí a mezera mezi válci se dočasně zvětší. Tímto je materiál často namáhán také nárazem což zvyšuje výkonost zařízení. Úhel výkyvu kruhových drtičů bývá 0,5° až 3°. Stupeň rozpojení $\vartheta = 5 \div 20$. Výkonnost 30 až 2000

m^3h^{-1} . **Válcové drtiče** tvoří dva i více rotujících válců. Používají se pro jemné drcení křehkých materiálů. Existují také jednoválcové drtiče s pevnou protideskou. Ty se používají pro drcení křehkých materiálů s malou pevností a pro mělnění vláknitých materiálů. „*Aby částice byla vtažena mezi válce je třeba, aby svislá složka třecí síly byla větší než svislá složka reakce.*“ (Rieger aj., 2005) Stupeň rozpojování je závislý na průměru válců. Jejich povrch je tvarován rýhami, hroty či zuby. Válce se musí otáčet ve vzájemně opačném směru.

Nárazové drtiče využívají pro náraz kladiva. Ty jsou na rotoru uchyceny pevně nebo kloubovou vazbou. Materiál může také dále narážet na desky, rošty nebo na ostatní částice. Tyto drtiče jsou vhodné spíše pro drcení nepříliš tvrdých materiálů. Spodní část komory může tvořit rošt. Velikost štěrbin tak udává velikost výstupní frakce.

Kulové mlýny tvoří otáčivý buben uzavřený po obou stranách konickými dny. Osa bubnu je v horizontální poloze. Mlecí tělesa jsou koule volně uložena uvnitř bubnu. Ty jsou unášeny rotací bubnu a při dopadu drtí odpad. Tření koulí mezi sebou nebo mezi stěnami válce také přispívá k rozpojování. Svislá složka dostředivé síly nesmí převýšit gravitační sílu koule. Jinak by se otáčela v bubnu stále dokola. Maximální účinnost je tedy stanovena rovností těchto dvou sil. Z tohoto vztahu tedy lze spočítat maximální otáčky bubnu. Buben může obsahovat druhou komoru s menšími koulemi pro jemnější mletí. Z uvedeného vyplývá, že koule, především však stěny bubnu, musí být z otěruvzdorného materiálu.

Mlecí těleso u **vibračních mlýnů** je také uloženo volně. Tvoří ho rotor s excentrickým závažím spojený pružinovým rámem. Spodní část rámu tvoří mírně zaoblená plocha dostatečně otěruvzdorného materiálu. Mlecí těleso se nachází ve žlabu zakrytého víkem. Principiálně zařízení připomíná hmoždíř. Tento typ mlýnu se používá pro velmi jemné mletí o velikosti částic až $10\ \mu\text{m}$. Využívá se i způsobu mokrou cestou.

Velmi jemné mletí s volně loženými mlecími tělesy mají také **kuličkové mlýny**. Výstupem jsou, mimo jiné, pigmenty pro nátěrové hmoty. Využití nachází i potravinářství. Ve válcovém vertikálním tubusu se nachází disky upevněné na hřídeli. Mezi disky jsou umístěny kuličky o průměru 1 až 10 mm. Na styčných plochách mezi kuličkami a disky, kuličkami mezi sebou nebo mezi stěnou válce a kuličkami dochází k rozpojování částic vsádky. Ta je často ve formě suspenze vody nebo jiné tekutiny. Značná disipace ve formě přeměny třecí síly na teplo vyžaduje chladicí systém na plášti válce.

Typů **kladkových mlýnů** existuje celá řada. Liší se uložením mlecího elementu (kladky) a otočného talíře. Kladka představuje komolý kužel či válec přitlačovaný k rotačnímu talíři skrz pružinu. Podstatné je, aby byl dostatečný rozdíl mezi průměrem zrna a kladky. Zároveň musí být součinitel tření dostatečný k tomu, aby se zrna dostala mezi kladku a disk (talíř). Prašné prostředí může negativně ovlivnit především ložiska a pohyblivé díly.

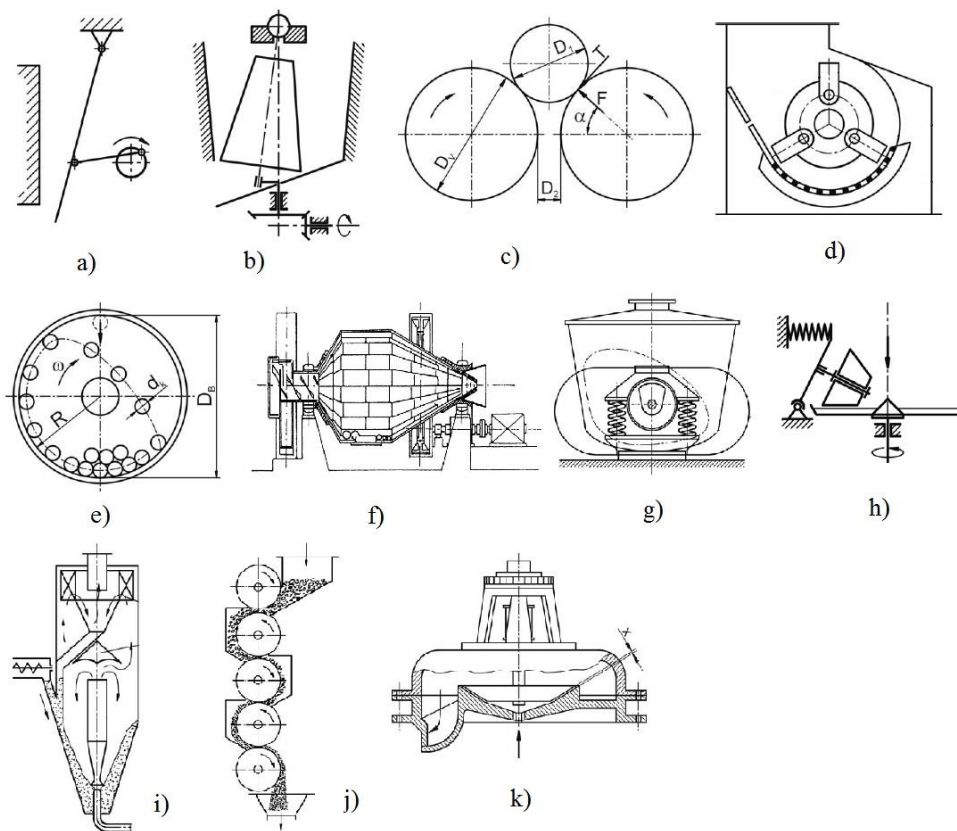
Nárazové a proudové mlýny fungují na odlišném principu než předchozí mlýny. Proudící médium (vzduch, pára) uděluje zrnům kinetickou energii s takovou razancí, aby se při dopadu na nárazovou desku rozbila. Není zde prakticky žádná pohyblivá část. Není tedy potřeba řešit problémy s údržbou a poškození těchto částí zařízení. Vstupní tlak se pohybuje od 0,3 do 1,5 MPa. Zrna kolují ze stěn kónického dna do dízy a zpět stále dokola, dokud nejsou natolik malá, že jsou unesena proudem vzduchu cyklónu. Dosahovaná jemnost mletí je 5 až $10\ \mu\text{m}$.

Válcové mlýny jsou vertikálně sériově seřazené válce uložené ve skříni v takovém tvaru, aby mohl materiál samospádem putovat z místa o větší potenciální energii do menší. Na své cestě prochází mezi válci, které mají mezi sebou čím dál menší mezeru. Zrna jsou tak drobněna na menší a menší části. Principiálně se jedná o obdobu kladkových mlýnů. Využití nachází v zemědělství.

Koloidní mlýny pracují s materiálem ve formě suspenze. Ten je při průtoku úzkou mezerou mezi kuželovitým statorem a rotorem podroben vysokým smykovým účinkům. Tím dochází k rozpojení. Jemnost mletí je do jednoho mikrometru.

(Rieger aj., 2005)

Obr. 4 Drtiče a mlýny



(Rieger aj., 2005)

Legenda Obr. 4

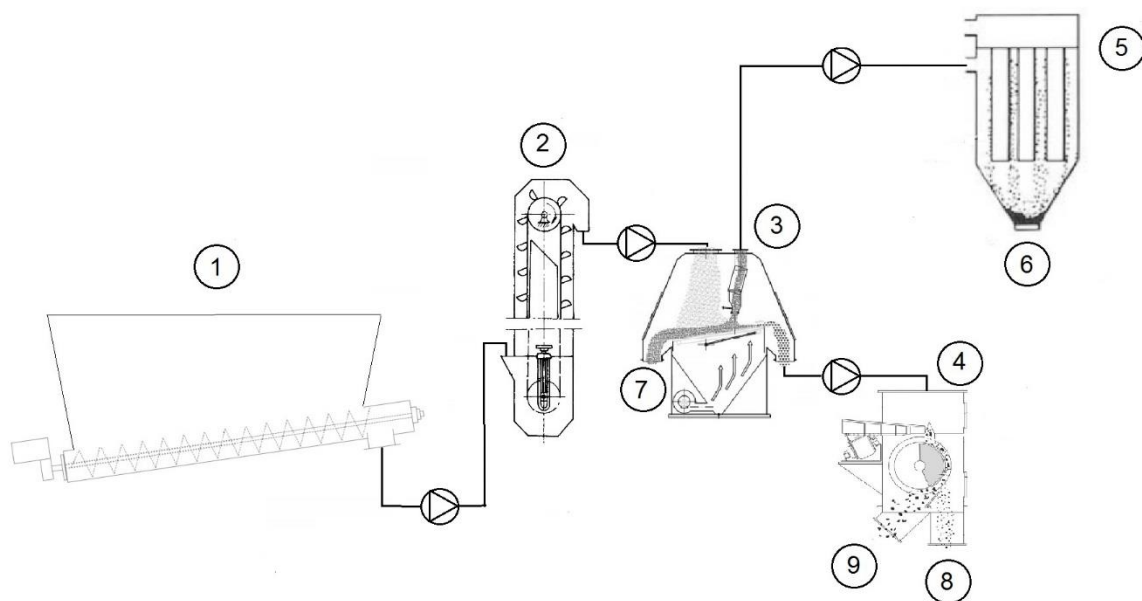
- | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------|
| a) Čelistový drtič | g) Vibračí mlýn | f) Hardingův kulový mlýn |
| b) Kuželový drtič | h) Kladkový mlýn | |
| c) Válcový drtič | i) Proudový mlýn | |
| d) Úderový drtič | k) Koloidní mlýn | |
| e) Kulový mlýn | j) Válcový mlýn | |

5. Výchozí podmínky řešení

5.1 Schéma sestavy zařízení vybrané off-line jednotky

Termín off-line je užit z toho důvodu, že kýžnému procesu separace předchází zpracování na recyklační lince s. Produktem linky jsou různé frakce kovového materiálu a frakce mletého plastu s rezidui kovu. Tento materiál je dále zpracováván na off-line lince fluidním vibračním splavem. Převážnou jednotkou je „bigbag“ o průměrné hmotnosti 700 kg. Zásobník (č.1) obsahuje právě jeden vak na jeden pracovní cyklus, který trvá v průměru hodinu. Šnekový dopravník zajišťuje konstantní distribuci materiálu do korečkového elevátoru. Rychlost šneku lze ovládat potenciometrem umístěným na čele fluidního splavu. Korečkový elevátor je řídicí jednotkou spojen se šnekovým dopravníkem, tím je docíleno stabilní distribuce až do vstupního žlabu fluidního splavu. Elevátor dodá vstupní frakci dostatečnou potenciální energii, aby mohla samospádem procházet až do sběrných nádob s vaky (č.7, č.8, č.9). Vstupní žlab distribuuje zrna po celé ploše vibračního síta. Z pod síta proudí vzduch poháněný dmychadlem. Podle výše popsaného procesu se zrna separují na lehká a těžká. Těžká zrna dopadají na plášť rotujícího bubnového separátoru. Uvnitř pláště se nachází statický magnet. Zrna z feromagnetických materiálů zůstávají déle v kontaktu s pláštěm a v místě, kde již statický magnet nepůsobí, zrna opadávají (č. 9). Skrz ventilaci fluidního splavu jsou odváděny prachové částice nebo lehké plastové částice. Filtr (č.5) tyto částice zachytí na filtrační textilii. Při každém vypnutí celého systému dojde automaticky k oklepávání filtru, čímž se plní sběrná nádoba v místě č.6. Vzduchový výkon filtru je $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, maximální podtlak 3400 Pa a filtrační plocha 68 m^2 .

Obr. 5 Schéma off-line sestavy



Legenda Obr. 5

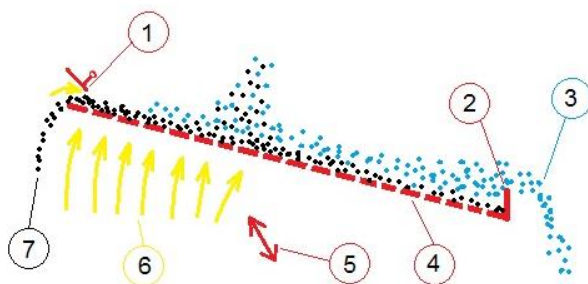
1. Zásobník se šnekovým dopravníkem
2. Korečkový elevátor
3. Fluidní vibrační splav
4. Magnetický separátor
5. Filtr
6. Výpad prachových částic
7. Výpad lehkých kovových částic
8. Výpad těžkých nemagnetických částic
9. Výpad těžkých magnetických částic.

5.2. Fluidní vibrační splav – Fyzikální princip

Přístroj slouží k separaci sypkého tuhého materiálu. Výsledkem je lehká a těžká frakce. Využívá při tom rozdílných dynamických účinků materiálu o různé měrné hmotnosti. Lehké části jsou nadnášeny vzduchem z ventilátoru a putují do místa s menší potenciální energií (č.3). Gravitační síla těžkých částí převyšuje sílu, jež klade odpor vzduchu proudícího z ventilátoru. Těžká zrna se tak dostávají do kontaktu se sítím a směr vibrací posouvá materiál k výpadu č.7. Síto tvoří oka tak, aby bylo zdrsněno pouze směrem k lehkým částem. Směrem dolů po nakloněné rovině tedy síto vytváří znatelně větší tření než v opačném směru. Dělicí rovinu mezi lehkými a těžkými částicemi je vhodné volit 5 cm - 10 cm před horní hranou síta. Ovlivnit tvar a polohu dělicí roviny je možné mnoha faktory, především však výkonem spodního ventilátoru. Zpětná klapka usměřňuje proud vzduchu a tvoří tak poslední bariéru pro uniklé lehké části, které by jinak skončily v části č.7. Hradítko (č.2) plní obdobnou funkci na druhé straně síta. Zabráňuje výpadu těžkých zrn do místa č.3 Směr budící síly (č.5) svírá se sítím (č.4) úhel mezi 10° až 30°.

(Štolc aj., 2005)

Obr. 6 Princip separace



Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

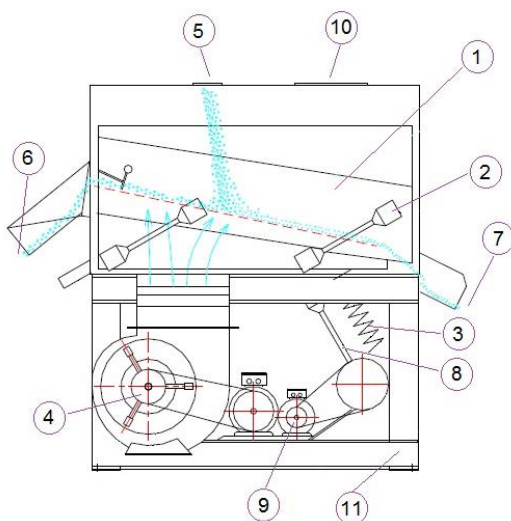
Legenda obr. 6

1. Zpětná klapka
2. Hradítko
3. Výpad lehkých částí
4. Síto
5. Směr budící síly
6. Proud vzduchu
7. Výpad těžkých částí

5.3 Fluidní vibrační splav – Popis zařízení

Rám separačního síta (č. 1) je spojen se závěsnou jednotkou (č. 2), tlumicí pružinou (č. 3) a excentrickou jednotkou (č. 8) budí kmity ve směru podle legendy č. 5 (obr. 6 Princip separace). Tuhost tlumicí pružiny udává amplitudu kmitu. Separací plocha je tvořena oky, mezi nimiž může proudit vzduch. Pro každou frakci materiálu je vhodné jiné síto. Materiál by v ideálním případě neměl propadávat sítím skrz. Platí tedy čím menší frakce, tím menší pórovitost síta. Utěsnění k rámu a distribuci vzduchu zajišťuje difuzér pod sítím. Distribuci materiálu po celé šíři plochy zajišťuje vstupní žlábkem umístěný v místě č. 5. Prostor separace je shora zakryt krytem s nucenou ventilací v místě č.10. Tu je možno regulovat škrtkovací klapkou a falešným odsáváním. Nadnášení lehkého materiálu zajišťuje spodní dmychadlo (č.4). Objem vzduchu vydaného dmychadlem by neměl značně převyšovat ventilaci filtrační jednotky, v opačném případě dojde k přetlaku prostoru separace.

Obr. 7 Návrh zařízení



Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

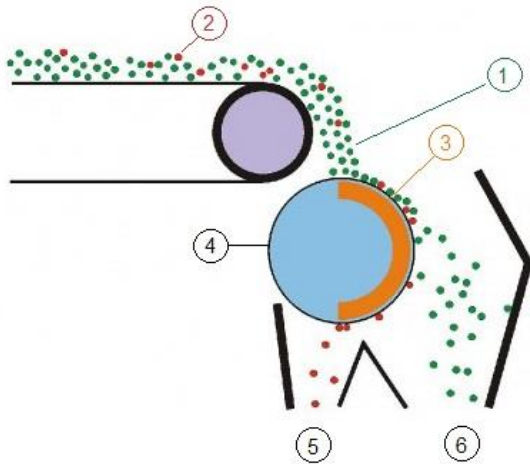
Legenda obr. 7

1. Rám separačního síta
2. Závěsná jednotka
3. Tlumící pružina
4. Jednotka spodního dmyhadla
5. Vstup materiálu
6. Výpad těžkých částí
7. Výpad lehkých částí
8. Excentrická jednotka
9. Motor pro pohon vibrací
10. Ventilace
11. Nosná skříň

5.4 Magnetický separátor

Magnetický separátor je usazen ve skříňové konstrukci. Ta obsahuje nastavitelnou přepážku, kterou je možné usměrňovat tok materiálu. Nerezový plášť (č. 4) je poháněn elektrickým motorem a zajištěn pojistnou spojkou. Permanentní magnet (č. 3) zaujímá stabilní polohu a vytváří na povrchu pláště magnetické pole. Magnetické materiály, typicky železo, jsou přitahovány k bubnu až za osu bubnu, kde jsou odmagnetizovány a samovolně odpadnou. Feromagnetický kov putuje do výpadu č. 5 a nemagnetické, či lépe řečeno paramagnetické a diamagnetické látky, putují do výpadu č. 6. U některých druhů separátorů může rychlost otáček bubnu dosahovat až $5000 \text{ ot. min}^{-1}$. Šířka bubnu je přizpůsobena šířce separační plochy. Průměr bubnu a rychlost otáček pak určují maximální tok materiálu separátorem.

Obr. 8 Princip separace



Zdroj: Hartman, c2021

Legenda Obr. 8

1. Feromagnetický kov
2. Nemagnetický kov
3. Permanentní magnet
4. Plášť bubny
5. Výpad magnetických částí
6. Výpad nemagnetických částí

5.5 Vlastnosti vstupního materiálu

Do skladovacích prostor zpracovatelské firmy je přivážen elektroodpad různého druhu. Kupříkladu to může být komunální odpad, odpad právnických osob, odpad z odběrných míst. Materiál je přivážen do skladovacích prostor na haldu, odkud je jeřáb vynáší na pásový dopravník. Skladba materiálového toku na hlavní recyklační lince může obsahovat prioritně televize, plošné spoje, vysavače, tiskárny nebo se může jednat o mix těchto a jiných spotřebičů. Tato skutečnost ovlivňuje skladbu materiálu ve velkokapacitním vaku pro off-line fluidní splav. „Bigbagy“ jedné frakce se složením liší poměrem obsahu mědi hliníku, železa, mosazi aj. Vždy je ovšem redukován obsah lehkých částic, většinou plastů. Z důvodu správného fungování separačního síta je třeba, aby vstupní materiál měl ideálně stejný tvar. Cílem mlýnu je, mimo rozdužení hmoty, také takzvaně „zabalit“ zrna do kuliček. Ty jsou na sítích rozděleny do velikostních frakcí, viz tabulka Tab. 1 Velikosti sítí frakcí. Budou-li mít dvě podobně velká zrna podobný součinitel odporu vzduchu, lišit se budou již jen v působící gravitační síle. Tím je určeno, zda se budou pohybovat v horní či dolní vrstvě materiálu.

Z uvedeného vyplývá, že kvalita procesu rozpojování je důležitým předpokladem pro dobrou separaci. Elektroodpad je rozbíjen na úderových drtičích a následně namáhán na tlakové a smykové namáhání na kladivových mlýnech. Odpad je nejen rozpojen ale i takzvaně „zabalen“ do kuliček. Zrna dostávají podobný tvar a omezuje se tím možnost, že se například tenké „nezabalené“ měděné drátky dostanou do jemné frakce, kde svou délkou již neodpovídají zrnitosti.

(Rieger aj., 2005)

Tab. 1 Velikosti sít frakcí

Materiál	Velikost síta (mm)	Velikost frakce (mm)
26.2	0,25	0,71 - 1,5
26.5	0,4	1,5 - 3
26.6	0,6	3 - 8
26.8	0.08 sintrované	0,5 - 3

Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

6. Experimentální část práce

Cílem zkoumání je dosáhnout co nejvyššího hmotnostního toku procesu separace v dostatečné kvalitě pro prodej produktu na trhu s kovy. Tabulku kvality produktu najdeme v kapitole 7.3 Laboratorní rozbor pod názvem Tab. 6 kvalitativní rozmezí. Rychlost separace bude reprezentována hmotnostním tokem $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ a kvalita bude prezentována skrz majoritního představitele lehkých látek (hliník) a majoritního představitele těžkých látek (měď). Majorita byla vyhodnocena jako největší násobek ceny komodity na trhu a průměrném vyskytující se hmotnostním množstvím.

Vstupních parametrů ovlivňující separaci je mnoho a jistě bychom našli ještě další, které zde nebudou vypsány. V této práci budou uvedeny ty, které nejvíce ovlivňují proces. Především je to výkon spodního dmyhadla. Ten je možné regulovat potenciometrem poblíž kontrolního okénka separační plochy. V našem případě je potenciometr možné desetkrát otočit o 360° . Závislost počtu otoček na výkonu separátoru je lineární. 0 otáček znamená žádný výkon, 10 otáček plný výkon (4 kW při $3400 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$). Chod zařízení značnou měrou ovlivňuje rychlost podávání materiálu ovládanou skrz potenciometr, taktéž poblíž kontrolního okénka. Platí zde obdobná lineární závislost výkonu na úhlu pootočení potenciometru, ovšem zde je škála od 0° po 135° pootočení při škále ($13,5^\circ = \text{rychlost } 1$). Rychlost materiálového toku bude zřejmá z výsledků měření.

Dalším faktorem je náklon síta. Rozmezí, které je možné nastavit, je 8° až $12,5^\circ$. Čím menší je sklon síta, tím větší je ochota zrn pohybovat se směrem z výpadu těžkých částí. Síto je v dolní části opatřeno hradítkem, které slouží jako pojistka pro zamezení výpadu zrn, která by skončila ve špatném bigbagu. Podobnou funkci zajišťuje zpětná klapka. Usměrnjuje proud vzduchu tak, aby v horní části síta zamezila vpádu lehkých zrn. Toto je popsáno také v kapitole 6.1 Fluidní splav - fyzikální princip. Rovnovážnému stavu mezi gravitační silou zrna a součinitelem odporu vzduchu kladený zrnem při obtékání vzduchu vrstvou materiálu se říká „prahová rychlost fluidace.“ (Rieger aj., 2005) Pokud nastavíme hradítko příliš vysoko, vznikne vysoká vrstva, která způsobí ztrátu tlaku vzduchu a ztrátu pórovitosti. Rychlost vzduchu klesá pod prahovou rychlost fluidace. Pokud je hradítko nastaveno příliš nízko, ztratí svůj účinek. Obdobně zpětná klapka nesmí zabraňovat průchodu těžkých zrn, ale zároveň nesmí ztratit svůj efekt. Neméně důležitým nastavením je průchod vzduchu škrticí klapkou a falešným sáním. Dmyhadlo z filtru nasává vzduch z ventilace ideálně takovým způsobem, aby odvedla minimálně stejný objem vzduchu, jaký dodá spodní dmyhadlo. Pokud však vyvine příliš velkou sílu, může s sebou odvádět částice, které by jinak skončily ve výpadu lehkých částí. Objem vzduchu regulujeme (snižujeme) škrticí klapkou při ponechání maximálního výkonu dmyhadla filtru ($4500 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$). Pro snížení síly odsávání je třeba regulovat falešné přísávání.

6.1 Metodika měření

Výrobce zařízení vypsál doporučená nastavení pro předpokládané frakce. Ovšem, jak sám výrobce uvádí, hodnoty jsou pouze orientační. Proto je nutné nalézt vhodnější a proces

optimalizovat na základě kapitoly 7. Parametry v obsahu zkoumání. Pro testování byli vybrány velkoobjemové vaky s materiálem o různé kvality mletí od každé frakce. V průběhu prvního zkušebního „bigbagu“ byly průběžně odebírány vzorky a vizuálně hodnoceny. Hodnocen byl obsah mědi ve výstupu lehkých částí a obsah hliníku v těžkých částech. Zrakem lze rozlišit podle barvy měděná a hliníková zrna. Nejprve byla nastavena rychlost podávání materiálu 2 a postupně se zrychlovala o jeden stupeň. V každé rychlosti byly měněny zvolené parametry tak, aby se dosáhlo co nejlepší kvality (hodnoceno pohledem). Podle nejvhodnějšího vzorku bylo vybráno nastavení, kde proběhla separace pro celý vak. Dále byli změřeny hmotnosti produktů, sledován čas separace a odebrán vzorek do laboratoře. Vzorek tvoří „směsný vzorek“ tří vzorků odebraných na začátku, uprostřed a v závěru separace.

6.2 Vlastní měření

Pro pochopení tabulek měření bude nutné vysvětlit názvosloví v dané firmě. MJP je zkratka pro mlýn jemných plastů. Frakce 26.8, jako jediná, neputuje přímo z hlavní linky, ovšem právě ze zařízení MJP. Frakce 101 (hliník) znamená výstupní produkt separace z výpadu lehkých částí. Frakce 102 (měď) znamená produkt separace z výpadu těžkých nemagnetických částí. Obdobně frakce 103 s rozdílem, že se jedná o látky, které zachytil magnet. Jak bylo řečeno výše, pro tento výzkum bude z hlediska ekonomiky podstatná měď a hliník. Proto je například termín „Obsah Cu v Al“ zredukován na dominantní prvky a jejich rezidua ve frakcích produktu separace. „Obsah Cu v Al“ tedy znamená hmotnostní procento mědi zastoupené ve frakci 101. Obráceně „Obsah Al v Cu“ znamená procentuální zastoupení hliníku ve frakci 102. Filtr znamená hmotnost úletu z filtru. Výkon představuje hmotnostní tok pro danou rychlost. Nastavení 90° klapky ventilátoru znamená zavřeno. Ostatní parametry byli popsány výše.

Kvalita mletí jednotlivých vaků se zřetelně lišila u frakce 26.5, kde při druhém pokusu byl materiál v předešlém zpracování hůře rozmělněn. Frakce 26.6 se již na pohled liší poměrem složení lehkých a těžkých částí. Vizuálně je zřejmý vyšší obsah hliníku. Pro frakci 26.6 bylo operativně nalezeno vhodné nastavení a cílem bylo zjistit stabilitu separace pro toto nastavení. Byli vybrány tři velkoobjemové vaky s podobnou kvalitou materiálu a zkoumaná skutečnost, zda se projeví kvalita separace, pokud obsluha nebude v průběhu regulovat nastavení. Z provozních důvodů nebylo možné změřit váhu produktu pro první pokus.

Pro poslední frakci plastů s rezidui kovů (26.8) je třeba zjistit, zda bude ekonomické třídit i tento materiál. Z časových a finančních důvodů bylo operativně vybráno jedno vhodné nastavení. Pro toto nastavení byl zkoumán materiálový tok, kvalita separace a obsah kovů v úletu. Výsledkem bude separace kovu od plastu.

Tab. 2 Nastavení pro frakci 26.2

		OFF-line fluidní splav				Provedl: Martin Pešek		
						Datum: 15.1.2021		
Frakce	26.II							
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
Kvalita výstupu (OK/NOK)	OK		OK		OK			
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Obsah Cu v Al	56,5	17,8	44,6	22,3	28,3	14,1		
Obsah Al v Cu	0,0	0,0	0	0	6,5	1,753		
[kg] na vstupu	1112		721		694			
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Frakce 102 (měď)	735,0	66,1	482,3	66,9	369,4	62,2		
Frakce 101 (hliník)	316,9	28,5	199,8	27,7	200,6	33,8		
Frakce 103	58,8	5,3	38,1	5,3	23,4	3,9		
Filtr	1,3	0,1	0,8	0,1	0,7	0,1		
NASTAVENÍ								
Velikost síta separační plochy	0,25		0,25		0,25			
Sklon separační plochy	8°		9°		9°			
Rychlost podání materiálu, otočení potenciometru x/10	3		6		5			
Výkon spodního ventilátoru, otočení potenciometru x/10	9		10		9,6			
Odtah separační plochy - přísávání	90°		90°		90°			
Odtah separační plochy - škracení	0°		0°		0°			
Výška bariéry na výstupu lehké frakce	15 mm		15 mm		15 mm			
Výkon [kg/h]	932		1865		1554			

Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

Tab. 3 Nastavení pro frakci 26.5

		OFF-line fluidní splav				Provedl: Martin Pešek		
						Datum: 15.1.2021		
Frakce	26.V							
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
Kvalita výstupu (OK/NOK)			OK		OK			
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Obsah Cu v Al			18,9	5,5	20,5	6,963		
Obsah Al v Cu			0	0	0,0	0		
[kg] na vstupu	808		648		583			
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Frakce 102 (měď)	369,1	45,6	271,7	41,9	257,2	44,1		
Frakce 101 (hliník)	381,7	47,2	342,0	52,8	294,7	50,6		
Frakce 103	57,3	7,1	33,6	5,2	30,5	5,2		
Filtr	0,8	0,1	0,7	0,1	0,6	0,1		
NASTAVENÍ								
Velikost síta separační plochy	0,4		0,4		0,4			
Sklon separační plochy	9		9°		9			
Rychlost podání materiálu, otočení potenciometru x/10	5		6		6			
Výkon spodního ventilátoru, otočení potenciometru x/10	8		8		8,75			
Odtah separační plochy - přísávání	10°		10°		10°			
Odtah separační plochy - škracení	40°		40°		40°			
Výška bariéry na výstupu lehké frakce	7 mm		11 mm		11 mm			
Výkon [kg/h]	1457		1750		1749			

Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

Tab. 4 Nastavení pro frakci 26.6

		OFF-line fluidní splav				Provedl: Martin Pešek		
						Datum: 15.1.2021		
Frakce	26.VI							
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
Kvalita výstupu (OK/NOK)			OK		OK			
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Obsah Cu v Al	---	6,5	29,16	12,69	44,3	9,27		
Obsah Al v Cu	---	8,3	38,06	11,1	27,7	10,3		
[kg] na vstupu			623		809			
	POKUS 2		POKUS 1		POKUS 3			
	kg	%	[kg]	%	kg	%		
Frakce 102 (měď)	---	---	229,8	36,9	268,6	33,2		
Frakce 101 (hliník)	---	---	342,9	55,0	478,4	59,1		
Frakce 103	---	---	50,2	8,1	61,8	7,6		
Filtr	---	---	0,2	0,0	0,2	0,0		
NASTAVENÍ								
Velikost síta separační plochy	0,6		0,6		0,6			
Sklon separační plochy	9,5°		9,5°		9,5°			
Rychlost podání materiálu, otočení potenciometru x/10	6		6		6			
Výkon spodního ventilátoru, otočení potenciometru x/10	7-8		7-8		7-8			
Odtah separační plochy - přísávání	90°		90°		90°			
Odtah separační plochy - škracení	40°		40°		40°			
Výška bariéry na výstupu lehké frakce	10 mm		10 mm		10 mm			
Výkon [kg/h]	---		1284		1324			

Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

Tab. 5 Nastavení pro frakci 26.8

		OFF-line fluidní splav				Provedl: Martin Pešek		
						Datum: 15.1.2021		
Frakce	26.VIII							
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
Kvalita výstupu (OK/NOK)	OK							
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
Obsah Cu v produktu	15,2	38,1						
Obsah Al v produktu	23,6	58,9						
Obsah Al + Cu v odpadu	0,5	1,2						
[kg] na vstupu	588							
	POKUS 1		POKUS 2		POKUS 3		POKUS 4	
	[kg]	%	kg	%	kg	%	kg	%
MJP produkt	40,0	6,8						
MJP odpad	532,0	90,5						
Frakce 103	0,1	0,02						
Filtr	16,0	2,7						
NASTAVENÍ								
Velikost síta separační plochy	80							
Sklon separační plochy	8°							
Rychlost podání materiálu, otočení potenciometru x/10	10							
Výkon spodního ventilátoru, otočení potenciometru x/10	0							
Odtah separační plochy - přisávání	0°-10°							
Odtah separační plochy - škracení	40°							
Výška bariéry na výstupu lehké frakce	15 mm							
Výkon [kg/h]	565							

Zdroj: Pešek, 2021, (archiv autora)

6.3 Laboratorní rozbor

Stanovení hmotnostní koncentrace látek se provádí pomocí rentgenového fluorescenčního spektrometru (XRF z anglického X-Ray fluorescence). Spektrometr vydává záření, které prochází pod určitým úhlem na absorpční prostředí, dále po odrazu skrz optickou soustavu na detektor. Primární záření je usměřováno pomocí čoček a zrcadel. Sekundární odražené a částečně pohlcené záření je vedeno skrz štěrbinu monochromátoru. Ta je schopna filtrovat balastní záření (například ze stěn absorpčního prostředí – takzvaného grafitového atomizátoru). Měřená veličina je úbytek intenzity světelné energie. Tento vztah je vyvozen Lambert-Beerovým zákonem.

Nyní si popíšeme, co se děje s atomy prvku při průchodu primárního záření. Rentgenové záření vypudí elektron v nízké energetické hladině. Jeho místo nahradí elektron z vyšší energetické hladiny. Zbytková energie složená z uvolněných atomů tvoří sekundární záření. Přístroj dokáže typicky stanovit prvky periodické tabulky A a B skupiny (kromě inertních plynů a prvků 1,2,7 periody).

(Komárek, 2001)

Tab. 6 kvalitativní rozmezí

Frakce	26.II	26.V	26.VI
Cu v Al	do 25% Cu	do 10% Cu	do 8% Cu
	25 až 35 % Cu	10 až 20 % Cu	8 až 12 % Cu
	nad 35% Cu	nad 20% Cu	nad 12% Cu
Al v Cu	do 5% Al	do 8% Al	do 18% Al
	5 až 7 % Al	8 až 10 % Al	18 až 25 % Al
	nad 7% Al	nad 10% Al	nad 25% Al

Zdroj: ENVIROPOL S.R.O. Pracovní návod: hodnocení vzorku z laboratoře, 2019

7. Diskuse k naměřeným hodnotám

Práce potvrdila, že největší vliv na kvalitu separace má poměr rychlosti podávání materiálu k výkonu spodního ventilátoru. V kontrolním okénku je jasně vidět dělicí rovina, kde lehká zrna již putují směrem dolů a těžká nahoru. Špatné nastavení spodního hradítka mělo za následek přílišné vypadávání měděných drátků do lehké frakce. Vysoké hradítko pak vedlo ke slabému proudění vzduchu v tlusté vrstvě materiálu a docházelo rovněž k výpadu těžkých částí do lehké frakce. Zvyšování rychlosti materiálového toku nemělo za následek zhoršení třídění. Limitujícím faktorem však byl výkon ventilátoru, který byl při zadané rychlosti 7 a výše na maximu. Možnou kompenzací tohoto problému bylo zvýšení náklonu síta. Nastavením zpětného hradítka je možno dodatečně upravit, či zamezit vypadávání lehkých zrn do těžké frakce. Optimální nastavení bylo pozorováno těsně nad místem s největší potenciální energií těžké frakce. Při snížení výkonu ventilace (pomocí škrťících klapek) pod výkon spodního ventilátoru vznikala v separační komoře přetlak a materiál vytvořil oblak po celém prostoru fluidního splavu.

Velký vliv nastavení škrťících klapek byl pozorován u frakce 26.VIII, kde převládala obsah plastů. Pro tento materiál je nutné zachovat nastavení 0° - 10° pro přisávání a 40° pro škrzení. Při jiné poloze klapky docházelo k přetlaku v komoře nebo ke špatné separaci. V průběhu testu bylo zjištěno, že je možné na výpadu lehkých částí separovat také hliník, který u chodu plastové frakce běžně končí ve výpadu kovových frakcí. Teoreticky je tedy možné znovu separovat výpad lehkých částí a získat zvláště hliník nebo je možné při změně nastavení síta znovu separovat výpad těžkých částí a separovat hliník. Nabízí se tedy možnost dalšího zkoumání a porovnání, která varianta bude rychlejší či kvalitnější a zda bude ekonomicky výhodná. Obsah kovů v úletu byl 1,2 %. Tato hodnota je přijatelná. Při provozu je nutné počítat s velkým objemem obsahu plastu v úletu. Časové možnosti nedovolily testovat více big-bagů frakce 26. VIII. Praxe však ukazuje, že obdobných výsledků je dosaženo i v běžném provozu. Testem bylo potvrzeno nastavení pro maximální hmotnostní tok.

Z provozních důvodů také nebylo možné zvážit první test frakce 26.VI. Tato skutečnost neměla větší vliv na objektivitu výsledků. Zelenou barvou bylo vyznačeno doporučené vhodné nastavení.

8. Ekonomické hodnocení frakce 26.VIII

V této kapitole bude nastíněna odpověď na otázku, zda je separace frakce 26.VIII ekonomicky výhodná. Ef bude značit efektivnost. Bude-li tato hodnota větší než nula, je výsledek ekonomicky pozitivní. Výnos_x znamená hmotnost vyseparované jedné homogenní látky za hodinu. Pro jednoduchost nezapočítáme kovy, které jsou pro tuto práci marginální. Kč znamená cena za kilogram čistého kovu. Ceny kovu odpovídají datu 1.4.2021. Hod. mz. znamená náklad za hodinu práce obsluhy zařízení.

Výpočet:

$$Ef = \sum(\text{Výnos}_x \times \text{Kč}) - \text{Hod. mz.} \quad (5)$$

$$\text{Výnos}_x = \text{Výkon} \times (\text{Obsah}/100) \quad (6)$$

Tab. 7 Tabulka pro výpočet Ef

Výkon	Hod. mz.	Látka	Obsah	Kč
38,46 Kg/h	175 Kč/h	Cu	38,10%	200 Kč/Kg
		Al	58,90%	49 Kč/Kg

$$Ef = 3857 \text{ Kč.hod}^{-1} \quad (7)$$

Ef je hrubý ekonomický ukazatel. Jeho výsledkem je hodnota, která může pomoci rozhodnout, zda se vyplatí dále třídit produkt frakce 28.VIII, či zda je výhodné obecně separovat plastovou frakci.

9. Návrh optimalizace

Pro frakci 26.5 vyšel z hlediska výkonu i kvality nejlépe pokus číslo 2. Při rychlostech 3 až 6 byla okem pozorována obdobná kvalita. Při rychlostech 7 a výše již bylo obtížné optimalizovat kvalitu výstupů.

Pro frakci 26.5 vyšel z hlediska výkonu nejlépe pokus číslo 2 a z hlediska kvality pokus číslo 3. Z toho je patrné, že pomalejší tok materiálu nemusí nutně znamenat lepší kvalitu. Závislost kvality na výkonu by tak mohla popisovat zploštělá Gaussova křivka.

Během testu byly zpozorovány některé nedostatky. Rozprostření materiálu na vibračním sítu nebylo zcela rovnoměrné. Materiál padal na vstupní žlab převážně na levou stranu a nedokázal dobře distribuovat zrna do celé plochy. Plášť bubnového separátoru měl výrazné povrchové vady v podobě rýh. Během testování se uvolnil šroub, který držel sklon síta. Po jeho uvolnění spadl náklon na minimální hranici 8°. Testování to však neovlivnilo, jelikož skutečnost nastala až v závěru testování, kdy byly již vzorky odebrány. Přístup k hradítku na výstupu lehké frakce byl značně problematický. Při plnění zásobníku šnekové podavače větším objemem materiálu bylo obtížné zásobník bezpečně naplnit. Špatně se nasýpal, popřípadě se materiál sypal vedle zařízení. Zdvih byl již na maximu. Bylo nutné bigbag složitě rozprostřít po celé délce zásobníku. Následující text nastiňuje v bodech možná řešení výše zmíněných problémů:

- Usměrnit přívod materiálu na střed vstupního žlábků.
- Opravit plášť bubnového separátoru.
- Opravit závit nastavení sklonu síta.
- Zbudovat přístup k hradítku lehké frakce pro rychlejší a bezpečnou obsluhu a čištění.
- Problematické plnění šnekové podavače frakce 26.8. z důvodu velkého objemu materiálu. Řešením by mohl být vyšší zdvih „ještěrky“ nebo menší „bagy.“

10. Závěr

Hlavním záměrem bakalářské práce byla optimalizace fluidního vibračního splavu. Zadání zvýšit výkonnost z průměrných 350 kg za hodinu na 1000 kg za hodinu se podařilo převýšit - v jenom případě až na hodnotu 1750 kg za hodinu. Kvalita zůstala zachována. Oddělení nákupu a prodeje i oddělení provozu tak dostalo užitečnou informaci o tom, jaká je maximální možná výkonnost, pokud by se zpracování vybraných frakcí stalo úzkým hrdlem výroby. Zároveň bylo ověřeno, že separace plastové frakce má ekonomický význam a časová kapacita zařízení dovoluje jeho separaci.

Dále byly zjištěny nedostatky provozu, poruchy a technologické problémy. Jejich stručné řešení je nastíněno v kapitole 10. Návrh optimalizace. Z hlediska technologického bych vyzdvihl důležitost rozprostření materiálu po sítu. Z praxe a z literatury je známo, že pro optimální separaci je zapotřebí určitá vrstva materiálu. Z hlavní výrobní linky je zkušenost taková, že pomůže jednoduchá deska v hrdle vstupu splavu, která posune místo, kam dopadá materiál na vstupní žlábek. Ideální místo pro dopad zrn je střed žlabu, dále se pak na sítu rovnoměrně rozprostře do stran. Další možnou variantou je mírný náklon splavu nebo upilování pravých krajních zubů žlábků. Toto opatření zajistí změnu distribuce zrn. Z hlediska výkonu zařízení bylo podle očekávání zjištěno, že největší vliv na kvalitu a rychlost zařízení má poměr výkonu spodního ventilátoru k rychlosti materiálu. Avšak v případě, kdy bylo hradítko nebo sklon síta ve špatné poloze, se výrazně zhoršila i kvalita separace. Sklon síta zároveň pomáhal regulovat tok materiálu v případě, kdy již nešlo zvýšit výkon spodního ventilátoru.

Průběh testování pro každou frakci probíhal následujícím způsobem: v průběhu práce zařízení byly měněny parametry a odebírány vzorky, ty byly následně vizuálně zhodnoceny a pro jeden až tři nejlepší výsledky byl zařízení spuštěn na celý cyklus (1 x velkokapacitní vak). Následně byl, podle výše zmíněného postupu, znovu odebrán vzorek a zaslán do laboratoře. Práce dále popisuje výsledky z laboratoře, hodnocení výsledků, ale i celý technologický postup mechanické metody separace elektrického a elektronického odpadu. To dává dobrou představu o tom, jaké procesy musí proběhnout, než se vybraná frakce dostane na off-line fluidní splav. Důležité je zmínit, že na dobrou kvalitu separace má podle literatury, ale i z vlastní zkušenosti, vliv kvalita rozdělení materiálu. Vyzdvihl bych namáhání zrn na otěr, kdy jsou zrna zabalena do kuličky. Stejný tvar zrn frakce zaručí, že jediný další faktor, který má vliv na chování materiálu, je jeho specifická měrná hmotnost. V úvodních kapitolách se text věnuje historickým souvislostem odpadového hospodářství, legislativě OEEZ nebo jiným metodám zpracování.

Zkušenost ve firmě Enviropol a.s. ukázala, že na kovy z elektroodpadu je nutno nahlížet jako na cennou surovinu, se kterou je potřeba šetrně zacházet. Ba co více, i na odpadní plasty je nutno hledět jako na potenciální zdroj. Při vzpomínce na nobelistu G. T. Seaborga, lze říci, že během třiceti let došlo na jeho slova: z druhotné suroviny se pomalu stává primární zdroj.

11. Seznam literatury

1. ALTMAN, Vlastimil. *Odpadové hospodářství*. Frýdek-Místek: Česká zemědělská univerzita v Praze - Technická fakulta, 1996. ISBN 80-7078-372-9.
2. BERÁNEK, Miroslav, Jitka ŠEBKOVÁ a Miroslav PEDLÍK. *Technologie kovových materiálů*. Ostrava: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1984. ISBN 05-50-84.
3. ČÍHAL, Petr. *EkoList: Měsíčník o problémech životního prostředí* [online]. 2018 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/petr-cihal-elektroodpad-a-cinska-zed>
4. ENVIROPOL S.R.O. *Pracovní návod: hodnocení vzorku z laboratoře*. 126, Hruškové Dvory 126, 586 01 Jihlava, 2019.
5. FIRML, Michal. Zpracování elektrošrotu z hlediska technologie. *Odpadové fórum* [online]. 2006, (11), s.16 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/11-2006-pdf.pdf>
6. HARTMAN, Pavel. Magnetický bubnový separátor MBS. VVV MOST spol. s r.o. [online]. Most, c2021 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://vvvmost.cz/magneticky-bubnovy-separator-mbs/>
7. HYLÁK, Filip. Vývoj materiálové struktury a nakládání s elektroodpadem. Zemědělská 1665/1, Brno, 2019. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Simona Miškolci, Ph.D.
8. HYLÁK, Filip. *Systém nakládání s elektroodpadem a bateriemi ve Zlínském kraji*. Zemědělská 1665, Brno 613 00, 2016. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií.
9. JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Likvidace a využití odpadů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3.
10. KOMÁREK, Josef. *Atomová absorpční spektrometrie*. Brno: Masarykova univerzita, 2001. ISBN 80-210-2500-X.
11. KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Kovy a životního prostředí: Enviromentálně nebezpečné složky elektroodpadu*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2005. ISBN 80-248-0740-8.
12. KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace neželezných kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita ostrava, 2003. ISBN 80-248-0485-9.
13. KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace ušlechtilých kovů*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2001. ISBN 80-7078-939-5.
14. KURAŠ, Mečislav. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. Praha: Český ekologický ústav, 1994. ISBN 80-85087-32-4.
15. RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy II*. Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha, 2005. ISBN 80-01-03302-3. Skript. ČVUT.
16. ŠTOLC, Lubomír, Zbyněk ŘÍHA a Zdeněk ŽEŽULKA. *Fluidní vibrační splav*: [Patent]. ČR. 2004-541. Uděleno 14.12.2005. Zapsáno 27.4.2004.

17. *Vyhláška č. 8/2021 Sb.: Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)*. In: . Praha: Parlament ČR, ze dne 5. ledna 2021. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>
18. *Základní hydrometalurgické operace*. *Vscht.cz* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2008 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/vun/Metalurgie/>
19. *Zákon č. 541/2020 Sb.: Zákon o odpadech*. In: . Praha: Parlament ČR, ze dne 1. prosince 2020. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
20. *Zákon č. 542/2020 Sb.: Zákon o výrobcích s ukončenou životností*. In: . Praha: Parlament ČR, ze dne 1. prosince 2020. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-542>