

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Návrh projektu linky na zpracování vybraného elektroodpadu

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Sander, Ph.D.

Autor diplomové práce: Ladislav Podlešák

Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ladislav Podlešák

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Návrh nastavení technologického zařízení linky na zpracování vybraného elektroodpadu

Název anglicky

Design of technological equipment for processing the selected line of electronic waste

Cíle práce

Cílem práce je návrh nastavení vybraného technologického zařízení linky na zpracování elektronického odpadu.

Metodika

Provést obecný teoretický rozbor druhů elektroodpadů a současných metod likvidace. Provést výběr druhu elektroodpadu a způsob zpracování. Definování optimálních parametrů vybraného procesu při zpracování elektroodpadu.

Doporučený rozsah práce

45-55

Klíčová slova

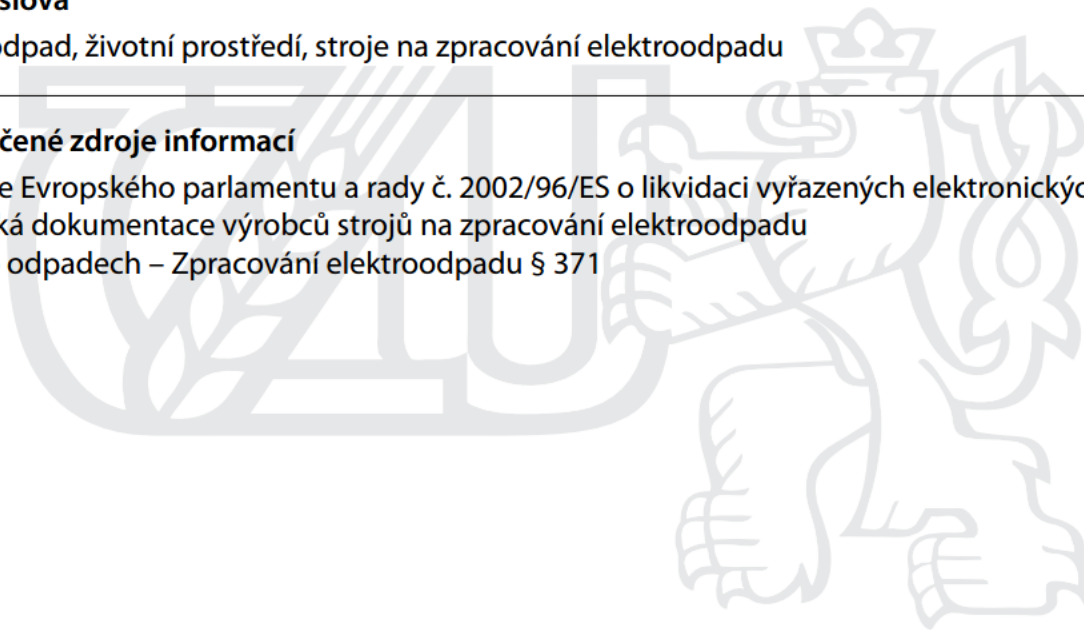
elektroodpad, životní prostředí, stroje na zpracování elektroodpadu

Doporučené zdroje informací

směrnice Evropského parlamentu a rady č. 2002/96/ES o likvidaci vyřazených elektronických zařízení

Technická dokumentace výrobců strojů na zpracování elektroodpadu

Zákon o odpadech – Zpracování elektroodpadu § 371



Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

Ing. Jan Sander, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2015

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

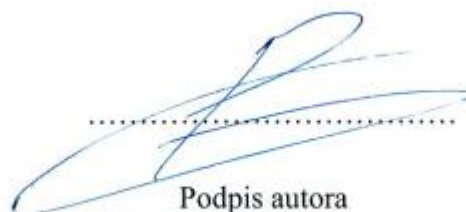
Děkan

V Praze dne 23. 03. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Sandera, Ph.D. a použil jsem jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

V Praze dne 25.3. 2015



Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Sanderovi Ph.D. za odborné připomínky a rady, které mi pomohly při zpracování této práce.

Abstrakt: Téma diplomové práce bylo zaměřeno na návrh nastavení technologického zařízení linky na zpracování vybraného elektroodpadu. Zabývá se historickým vývojem vybrané části odpadového hospodářství. Práce popisuje druhy elektroodpadů a nakládání s nimi. Praktická část se uskutečnila na školním pracovišti, kde na fluidním splavu bylo hledáno optimální nastavení pro separaci kabelů.

Klíčová slova: elektroodpad, životní prostředí, stroje na zpracování elektroodpadu

Design of technological equipment for processing the selected line of electronic waste

Abstract: The topic of the thesis was focused on a proposal of setting up processing equipment for processing lines of selected electrical waste. It deals with the historical development of selected waste management. This theses describes kinds of electrical products and handling. The practical part took place on the school site, where a fluid weir was finding the optimal settings for the separation of cables.

Key words: e-waste, environment, machines for processing e-waste

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Obecný význam odpadového hospodářství	1
1.2	Cíl práce a metodika	3
1.2.1	Cíl práce.....	3
1.2.2	Metodika práce	3
2	Druhy elektroodpadu a jejich rozdělení	4
2.1	Vývoj a struktura nakládání s odpady.....	4
2.2	Historie nakládání s elektroodpadem.....	6
2.3	Základní pojmy a definice	8
2.4	Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadů v ČR.....	14
3	Způsoby zpracování elektroodpadu	15
3.1	Příklady technologií pro zpracování jednotlivých druhů elektroodpadu.....	16
3.1.1	Zpracování CRT obrazovek.....	16
3.1.2	Zpracování ledniček a chladících zařízení.....	17
3.1.3	Zpracování zářivek a světelných zdrojů s obsahem rtuti.....	19
3.1.4	Zpracování tištěných spojů	22
4	Výběr druhu odpadu a metody zpracování	25
4.1	Vlastnosti odpadu	25
4.2	Možnosti vzniku odpadu a jeho specifika.....	26
4.3	Používané technologie ke zpracování vybraného odpadu	28

5	Stávající linka, provozní měření, optimalizace vybraného procesu zpracování	30
5.1	Popis stávající linky	30
5.1.1	Popis jednotlivých prvků stávající linky.....	31
5.2	Teoretický rozbor stroje.....	39
5.2.1	Základní funkce a principy fluidních splavů	39
5.2.2	Technický popis vybraného fluidního vibračního splavu.....	40
5.2.3	Proměnné parametry vybraného fluidního vibračního splavu.....	42
5.2.4	Nastavení splavu pro měření.....	44
5.3	Metodika měření	44
5.4	Vlastní měření.....	45
5.4.1	Vyhodnocení Tab. 8 Nastavení pro příčný sklon 1	45
5.4.2	Vyhodnocení Tab. 9 a 10 Nastavení pro příčný sklon 2 a 3.....	46
5.4.3	Vyhodnocení Tab. 11 a 12 Nastavení pro příčný sklon 4 a 5.....	47
5.4.4	Vyhodnocení Tab. 13 a 14 Nastavení pro příčný sklon 6 a 7.....	48
5.4.5	Vyhodnocení Tab. 15 Nastavení pro příčný sklon 8	49
5.5	Vyhodnocení Nastavení fluidního splavu.....	49
5.6	Dílčí závěry.....	50
6	Nalezení slabého místa a návrh optimalizace	51
6.1	Používané technologie pro separaci vybraného materiálu.....	51
6.1.1	Návrh náhradní technologie pro separaci vybraného materiálu	53
6.1.2	Výběr náhradní technologie pro separaci vybraného materiálu	53

6.1.3	Ekonomické zhodnocení.....	54
7	Závěr.....	56
8	Citovaná literatura.....	57

1 Úvod

Odpadové hospodářství je z pohledu fyziky, podle druhé věty termodynamické, každý samovolně probíhající proces spojený s růstem entropie. To znamená, že nikdy nelze využít materiály ani energii na sto procent bez vzniku odpadních produktů. (KURAŠ, 2008)

1.1 Obecný význam odpadového hospodářství

Odpadové hospodářství jako takové je poměrně novým oborem. Bezprostředně se dotýká všech stupňů výrobního a spotřebního koloběhu, od získání surovin, přes výrobu, dopravu, spotřebu, až po konečné odstranění. Velká část odpadů vzniká již při výrobě nových produktů. Z toho vyplývá, že odpadové hospodářství je provázáno s celým hospodářstvím. (KURAŠ, 2008)

Tab. 1 Produkce průmyslových a komunálních odpadů podle krajů v roce 2013

ČR, kraj CZ, Region	Průmyslové odpady ¹⁾ v t <i>Industrial waste¹⁾ Tonnes</i>	Průmyslový odpad v kg/obyvatele <i>Industrial waste kg per capita</i>	Komunální odpady v t <i>Municipal waste Tonnes</i>	Komunální odpad v kg/obyvatele <i>Municipal waste kg per capita</i>	Odděleně sbírané složky v kg/obyvatele <i>Waste components collected separately</i>
Česká republika Czech Republic	4 416 842	420	3 228 232	307	43
v tom:					
Hl. m. Praha	384 489	309	377 772	303	51
Středočeský	557 807	430	482 253	372	41
Jihočeský	199 595	314	200 283	315	44
Plzeňský	212 742	371	132 252	231	41
Karlovarský	44 475	148	86 896	289	38
Ústecký	324 008	392	269 897	327	35
Liberecký	130 723	298	116 273	265	39
Královéhradecký	162 929	295	151 912	275	47
Pardubický	132 339	257	154 001	299	42
Kraj Vysočina	187 090	366	162 188	318	54
Jihomoravský	316 769	271	336 149	288	31
Olomoucký	250 927	394	196 246	308	37
Zlínský	168 184	287	174 388	297	52
Moravskoslezský	1 344 764	1 099	387 721	317	47

Zdroj: [http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/6B0034E1BA/\\$File/2800201405.pdf](http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/t/6B0034E1BA/$File/2800201405.pdf)

Hlavní cíle odpadového hospodářství jsou předcházení vzniku odpadů, jejich omezování a snaha při jejich vzniku s nimi nakládat tak, aby se co nejvíce využily jako druhotné suroviny a co nejméně narušovaly životní prostředí. Tyto cíle pomáhají plnit nástroje na podporu a prosazování strategie odpadového hospodářství. Jedná se o nástroje administrativní, ekonomické a ostatní. (KURAŠ, 2008)

Určení celkového množství vyprodukovaného odpadu je obtížné a to z důvodu, že se sběrem dat zabývají dvě různé společnosti. Jednou je Český statistický úřad, který shromažďuje data pro mezinárodní srovnání (pro EUROSAT a OECD). (KURAŠ, 2008) Druhou společností je CENIA, což je česká informační agentura životního prostředí. Ta zpracovává od roku 2007 statistiky pro potřeby sestavování plánů odpadového hospodářství. Rozdíl v těchto dvou statistikách je způsoben odlišnými metodikami sbírání dat. Dle tabulek Českého statistického úřadu viz: Tab. 1, je roční produkce odpadů v roce 2013 7 645 074 tun odpadu.

1.2 Cíl práce a metodika

1.2.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou současného stavu nakládání s elektroodpady a na vybrané recyklační lince nalézt optimální nastavení vybraného zpracovatelského zařízení pro zvolený materiál. Na základě literárního rozboru oblasti odpadového hospodářství, která se zabývá problematikou elektroodpadu, provést popis a zhodnocení používaných technologií a technologických zařízení s ohledem na vybranou část technologické části linky. Měřením ověřit teoretické nastavení pro vybraný materiál a následně vyhodnotit naměřené veličiny.

1.2.2 Metodika práce

Zvolené metody zpracování této diplomové práce, s ohledem na cíl uvedený v předchozí podkapitole, jsou následující:

1. charakteristika vybrané části odpadového hospodářství,
2. popis problematiky elektroodpadů,
3. popis jednotlivých technologií používaných při nakládání s elektroodpadem a jeho recyklaci,
4. popis vybrané linky na zpracování elektroodpadu,
5. seznámení se s vybranou částí linky a měření dle zvoleného postupu,
6. zhodnocení linky a nalezení slabého místa s možností jeho odstranění,
7. ekonomické a celkové zhodnocení řešené problematiky.

2 Druhy elektroodpadu a jejich rozdělení

V průmyslově vyspělém světě začala prudce stoupat spotřeba elektrických a elektronických zařízení v 70. letech minulého století. Rozvoj v oblasti elektrotechniky a do dnešních dní nezastavitelný pokrok způsobily, že opravy a renovace těchto zařízení se přestaly vyplácet, tím se snížila životnost a začalo být potřebné řešit jejich likvidaci. Zařízení končila na skládkách, spalovnách a při větším množství komerčně zajímavých kovů ve sběrnách. Tím se z oběhu ztrácely využitelné suroviny a zároveň se dostávaly na skládky nebezpečné látky, které ohrožovaly životní prostředí. V České republice se tyto problémy také začaly projevovat dříve, než byl tomuto odpadu dán právní rámec a to od poloviny devadesátých let. (KURAŠ, 2014)

2.1 Vývoj a struktura nakládání s odpady

Problém nakládání s odpady se ve větší míře začal řešit na přelomu devatenáctého a dvacátého století a to převážně ve velkých městech. Odpad se odvážel na smetiště a odtud býval vlaky zasilán na venkov, kde byla část ještě využita, a zbytek byl vyhozen. V rakousko-uherské monarchii se kromě tohoto neřízeného skládkování začalo využívat spalování odpadů k získání elektrické energie. Na našem území se nacházela jedna spalovna, a to v Brně, od roku 1905. V padesátých letech minulého století se začala rozšiřovat síť sběrných surovin, díky které se začaly více využívat obnovitelné složky odpadu. (BENEŠOVÁ et al., 2011)

První právní rámec odpadového hospodářství vznikl v roce 1991 a byl vymezen zákonem o odpadech č. 238/1991 Sb., který zavedl tzv. Program odpadového hospodářství, který měl za úkol určit strategické plány v oblasti nakládání, zpracování a předcházení vzniku odpadů. (KURAŠ, 2008)

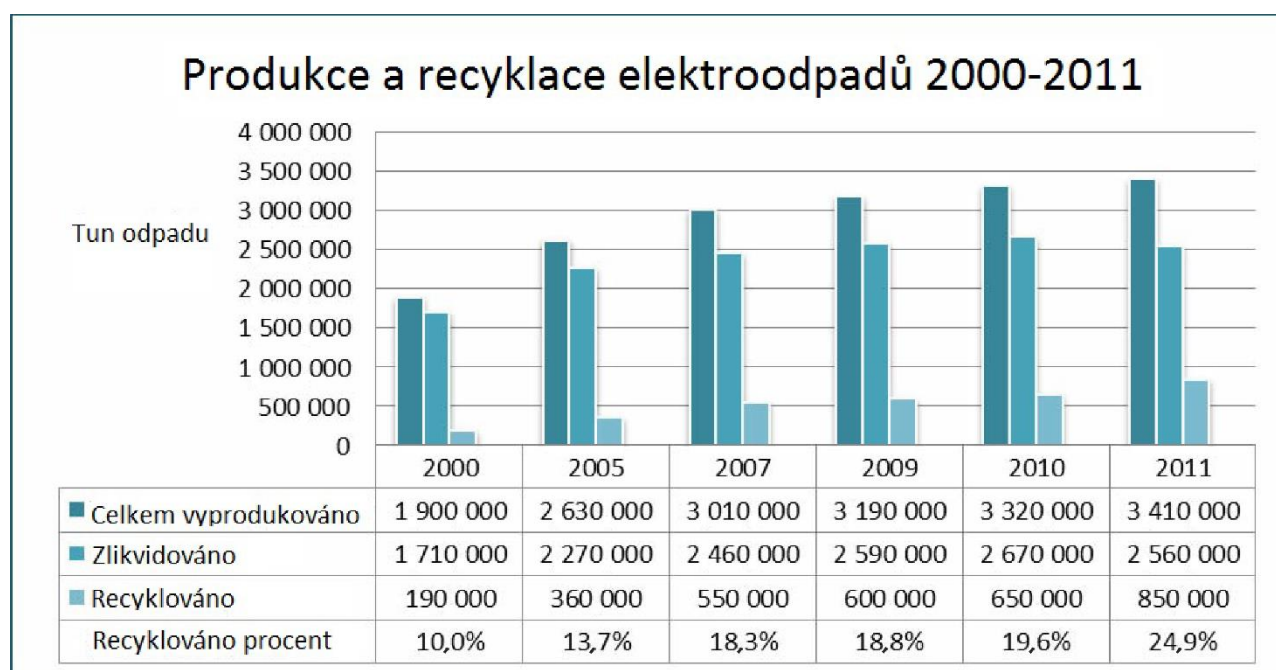
Tento zákon platil do roku 1997, kdy byl nahrazen zákonem č. 125/1997 Sb., který tyto programy neobsahoval. Jejich znovu objevení proběhlo až se třetím zákonem o odpadech č.185/2001 Sb., který upravuje nakládání s odpady v rámci ČR pomocí plánů odpadového hospodářství (POH). Plány odpadového hospodářství byly vytvořeny na úrovni státu, krajů a původců. Tyto plány byly závazně stanoveny nařízením vlády č. 197/2003 Sb. o Plánu odpadového hospodářství České republiky. POH by měly být stanovovány minimálně na deset let v případě POH krajů a republiky a POH původců pak na pět let. (KURAŠ, 2008)

Na základě směrnice evropského parlamentu 2002/96/ES, která je součástí vyhlášky o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady č. 352/2005 Sb., stanovuje seznam výrobků, které spadají do skupin elektrozařízení uvedených v příloze č.7 zákona, podmínky pro nakládání s tímto odpadem. (zákon č.185/2001Sb., 2001) Jedním z cílů této směrnice bylo získání 4 kg elektroodpadu za rok na jednoho občana ve zpětném odběru. (ŠŤASTNÁ, 2011) To se také daří a nyní je do zákonů implementována nová směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních. Ta byla přijata 4.7.2012. (RYŠAVÝ, 2013) Vzhledem ke změnám v legislativě bude velká část směrnice účinná až od 1.6.2015, zbylé části by pak měly být účinné od 15.8.2015 a 2018. (Odpady, 2014)

2.2 Historie nakládání s elektroodpadem

Elektronický odpad je jednou z nejrychleji rostoucích skupin odpadů. Ročně se jeho množství zvyšuje o 3-5%, což je třikrát rychleji než u běžných druhů odpadu. Hlavním zdrojem tohoto odpadu je stále rychlejší zastarávání spotřební elektroniky. V roce 1992 měl nový model počítače životnost 4,5 roku, v roce 2005 to už ale bylo jen 2. Jen ve Spojených státech amerických se počítá, že mezi roky 1997 a 2007 bylo vyřazeno 500 miliónů počítačů. Růst roční produkce v USA znázorňuje Obr.1. Podobná situace je pak očekávána i u mobilních telefonů, kde například v Evropě se ročně vyřadí okolo 110 miliónů zařízení. (KURAŠ, 2014)

Obr. 1 Produkce a recyklace elektroodpadů 2000-2011 v USA



Zdroj: http://www.electronicstakeback.com/wp-content/uploads/recycling_2000to2011.jpg

Problém není jen množství odpadu jako takového, které se pohybuje okolo 20 - 50 milionů tun ročně. Hlavním problémem je složení tohoto odpadu, jelikož kromě drahých kovů je v něm obsaženo mnoho toxických látek, například olovo, kadmium nebo arsen viz. Tab. 2. (KURAŠ, 2014)

Tyto látky se bez odborného zacházení a nakládání s nimi dostávají do přírody nebo na skládky KO, kde například podle odhadů končí polovina úsporných světelných zdrojů. Ty obsahují okolo 30 kg rtuti, která by při úniku mohla znečistit vodu o objemu dvou lipenských přehrad. (ParlamentníListy.cz, 2014)

Tab. 2 Výskyt nebezpečných látek v elektroodpadu

Látka	Výskyt v elektroodpadu
Halogenované sloučeniny:	
- PCB (polychlorované bifenyly)	Kondenzátory, transformátory
- TBBA (tetrabromo-bisfenol-A)	Retardéry hoření pro plasty (termoplastické komponenty, izolace kabelů)
- PBB (polybromované bifenyly)	TBBA je v současné době nepoužívanější zpomalovač hoření v deskách plošných spojů a pouzdech.
- PBDE (polybromovaných difenyletherů)	
- Chlorfluorkarbon (CFC)	Chladicí zařízení, izolační pěna
- PVC (polyvinylchlorid)	Izolace kabelu
Těžké kovy a jiné kovy:	
- Arsen	Malá množství ve formě arsenidu galia ve světelných diodách
- Barium	Pohlcovače plynů v CRT
- Berylium	Napájecí boxy, které obsahují křemíkové usměrňovače a rentgenové čočky
- Kadmium	Nabíjecí NiCd-akumulátory, fluorescenční vrstva (CRT obrazovky), inkousty do tiskáren a tonery, kopírovací stroje
- Chrom VI	Datové pásky, diskety-disky
- Olovo	CRT obrazovky, baterie, desek s plošnými spoji
- Lithium	Li-baterie
- Rtuť	Zářivky, které poskytují podsvícení v LCD, v některých alkalické baterie a rtuť smáčené spínače
- Nikl	Nabíjecí NiCd-baterie nebo NiMH-akumulátory, elektronové dělo v CRT
- Prvky vzácných zemin (Yttrium, Europium)	Fluorescenční vrstva (CRT obrazovka)
- Selen	Starší kopírovací-stroje
- Sulfid zinečnatý	Interiér CRT obrazovek, ve směsi s kovy vzácných zemin
Ostatní:	
- Náplně tonerů	Tonery pro laserové tiskárny / kopírky
Radioaktivní látky	Lékařské přístroje, požární hlásiče, aktivní snímací prvek detektorů kouře
- Americium	

Zdroj: <http://ewasteguide.info/hazardous-substances>

2.3 Základní pojmy a definice

Dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů jsou důležité pojmy definovány takto:

- **odpad** je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č.1 k tomuto zákonu. Příloha číslo 1 stanovuje katalog odpadů, který je seznamem odpadů a nebezpečných odpadů. Nebezpečný odpad je odpad, který obsahuje jednu nebo více nebezpečných látek uvedených v příloze č. 2 zákona o odpadech.
- **nebezpečným odpadem** - odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze č. 2 k tomuto zákonu,
- **komunálním odpadem** - veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání,
- **odpadem podobným komunálnímu odpadu** - veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů,
- **odpadovým hospodářstvím** - činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností,
- **nakládáním s odpady** - shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů,
- **zařízením** - technické zařízení, místo, stavba nebo část stavby,
- **shromažďováním odpadů** - krátkodobé soustředování odpadů do shromažďovacích prostředků v místě jejich vzniku před dalším nakládáním s odpady,
- **skladováním odpadů** - přechodné soustředování odpadů v zařízení k tomu určeném po dobu nejvýše 3 let před jejich využitím nebo 1 roku před jejich odstraněním,
- **skládkou** - zařízení zřízené v souladu se zvláštním právním předpisem a provozované ve třech na sebe bezprostředně navazujících fázích provozu, včetně zařízení provozovaného původcem odpadů za účelem odstraňování vlastních odpadů a zařízení určeného pro skladování odpadů s výjimkou skladování odpadů podle písmene h,

- **sběrem odpadů** - soustředování odpadů právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných subjektů za účelem jejich předání k dalšímu využití nebo odstranění,
- **výkupem odpadů** - sběr odpadů v případě, kdy odpady jsou právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání kupovány za sjednanou cenu,
- **úpravou odpadů** - každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně snížení jejich nebezpečných vlastností,
- **opětovným použitím** - postupy, kterými jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny,
- **využitím odpadů** - činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu tím, že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu, a to i v zařízení neurčeném k využití odpadů podle § 14 odst. 2, nebo že je k tomuto konkrétnímu účelu upraven; v příloze č. 3 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů využití odpadů,
- **přípravou k opětovnému použití** - způsob využití odpadů zahrnující čištění nebo opravu použitých výrobků nebo jejich částí a kontrolu provedenou osobou oprávněnou podle zvláštního právního předpisu spočívající v prověření, že použitý výrobek nebo jeho část, které byly odpady, jsou po čištění nebo opravě schopné bez dalšího zpracování opětovného použití,
- **materiálovým využitím odpadů** - způsob využití odpadů zahrnující recyklaci a další způsoby využití odpadů jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie,
- **recyklací odpadů** - jakýkoliv způsob využití odpadů, kterým je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití, včetně přepracování organických materiálů; recyklací odpadů není energetické využití a zpracování na výrobky, materiály nebo látky, které mají být použity jako palivo nebo zásypový materiál,
- **odstraněním odpadů** - činnost, která není využitím odpadů, a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie; v příloze číslo 4 k tomuto zákonu je uveden příkladný výčet způsobů odstranění odpadů,

- **zpracováním odpadů** - využití nebo odstranění odpadů zahrnující i přípravu před využitím nebo odstraněním odpadů,
- **prvotním původcem odpadů** - každý, při jehož činnosti vzniká odpad,
- **původcem odpadů** - právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, při jejichž činnosti vznikají odpady, nebo právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, které provádějí úpravu odpadů nebo jiné činnosti, jejichž výsledkem je změna povahy nebo složení odpadů, a dále obec od okamžiku, kdy nepodnikající fyzická osoba odpad odloží na místě k tomu určeném; obec se současně stane vlastníkem tohoto odpadu,
- **oprávněnou osobou** - každá osoba, která je oprávněna k nakládání s odpady podle tohoto zákona nebo podle zvláštních právních předpisů,
- **obchodníkem** - právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, které nakupují nebo prodávají odpad a jednájí přitom na vlastní odpovědnost,
- **uvedením výrobku na trh v České republice** - první úplatné nebo bezúplatné předání výrobku jiné osobě v České republice jeho výrobcem nebo osobou, která jej nabyla z jiné členské země Evropské unie. Za uvedení na trh se považuje též dovoz výrobku,
- **uvedením výrobku do oběhu** - každé úplatné nebo bezúplatné předání výrobku jiné osobě v České republice po jeho uvedení na trh,
- **dovozem výrobku** - propuštění výrobku ze země mimo Evropských společenství na území České republiky do celního režimu volného oběhu, uskladňování v celním skladu, aktivního zušlechťovacího styku, přepracování pod celním dohledem nebo dočasného použití,
- **distributorem** - ten, kdo v dodavatelském řetězci provádí následnou obchodní činnost po uvedení výrobku na trh.

(zákon č.185/2001Sb., 2001)

Dle vyhlášky č. 352/2005 Sb. o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a bližších podmínkách financování nakládání s nimi jsou důležité pojmy definovány takto:

- **historickým elektrozařízením** - elektrozařízení pocházející z domácností, uvedené na trh do dne 13. srpna 2005, které je určeno ke zpětnému odběru,
- **historickým elektroodpadem** - elektrozařízení nepocházející z domácností, uvedené na trh do dne 13. srpna 2005, které se stalo odpadem podle § 3 zákona,
- **systémem** - síť zařízení ke sběru elektroodpadů, míst zpětného odběru elektrozařízení a zařízení ke zpracování, využití a odstranění elektroodpadů a elektrozařízení a smluvní vztahy mezi jejich provozovateli a výrobcí elektrozařízení, jejichž cílem je zajištění zpracování a využití zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů,
- **individuálním systémem** - systém vytvořený a provozovaný samostatně a na vlastní náklady jedním výrobcem,
- **solidárním systémem** - systém vytvořený a provozovaný dvěma nebo více výrobci,
- **kolektivním systémem** – systém vytvořený výrobcí nebo výrobcí pověřenou právnickou osobou a provozovaný právnickou osobou odlišnou od výrobce nebo výrobcem pověřené právnické osoby,
- **provozovatelem kolektivního systému** - právnická osoba založená jako obchodní společnost nebo družstvo nebo organizační složka zahraniční právnické osoby umístěná na území České republiky provozující kolektivní systém,
- **příspěvkem** - finanční částka, kterou výrobce přispívá do kolektivního systému na zajištění nakládání s kusem nebo kilogramem elektrozařízení pocházejících z domácností a na zajištění nakládání s kusem nebo kilogramem elektroodpadů,
- **příspěvkem na historické elektrozařízení** – finanční částka, kterou výrobce přispívá do kolektivního systému na zajištění zpětného odběru, zpracování, využití a odstranění kusu nebo kilogramu historického elektrozařízení,
- **homogenním materiálem** - materiál, který nemůže být mechanicky rozdělen na různorodé materiálové složky, a který má neměnné složení ve všech svých částech, zejména plasty, keramika, sklo, kovy, slitiny, papír, pryž.

(vyhláška č. 352/2005 Sb., 2005)

Dle přílohy č. 7 zákona č. 185/2001 Sb. A přílohy č.1 této vyhlášky je elektroodpad dělen do deseti skupin a to viz. Tab. 3. Seznam elektrozařízení spadajících do jednotlivých skupin viz. Příloha 1.

Tab. 3 Skupiny elektroodpadu

Číslo skupiny	Označení skupiny	Název skupiny
1	V	Velké domácí spotřebiče
2	M	Malé domácí spotřebiče
3	T	Zařízení telekomunikační a zařízení informačních technologií
4	S	Spotřebitelská zařízení
5	O	Osvětlovací zařízení
6	N	Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)
7	H	Hračky, zařízení pro volný čas a sporty
8	L	Lékařské přístroje (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků)
9	K	Přístroje pro monitoring a kontrolu
10	D	Automatické dávkovače

Zdroj: Česká republika. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně dalších zákonů. In: (zákon o odpadech). V platném znění.

Elektrozařízení vyjmutá ze skupin elektrozařízení uvedených v příloze č. 7 zákona

1. Výrobky, pro které není elektrický proud hlavním zdrojem energie, např. plynový hořák s el. ovládním, s výjimkou elektrických nebo elektronických součástí, které mohou být z výrobku vyčleněny, např. termostat.
2. Výrobky, pro které elektronické součásti nejsou nezbytně nutné pro splnění jejich základní funkce, např. blahopřání, mluvící hračka.
3. Zařízení s elektrickými a elektronickými součástkami, které jsou stálou součástí jiného celku, např. autorádio, osvětlení v letadle.
4. Velké stacionární průmyslové nástroje, tj. stroje nebo systémy sestavené kombinací jednotlivých zařízení nebo systémů za účelem společného provozu v jednom celku a ke specifickému účelu.
5. Zařízení určená výlučně pro obranu státu, splňující definici elektrozařízení***

6. Lékařské přístroje, které jsou implantované nebo infikované.

7. Běžné, přímo zhavené žárovky a svítidla pro zářivky z domácností.

Do budoucna se počítá s tím, že těchto deset skupin se sloučí do šesti a ty by měly vypadat jako Tab. 4. K této změně by mělo dojít od 15. srpna 2018. Kromě změn ve skupinách je připraven i plán na změny přílohy č. 14 zákona o odpadech, která stanovuje procentuální cíle pro minimální úroveň využití, recyklaci a přípravy na opětovné použití elektroodpadu. (Odpady, 2014)

Tab. 4 Skupiny elektrozařízení, které se použijí od 15. srpna 2018

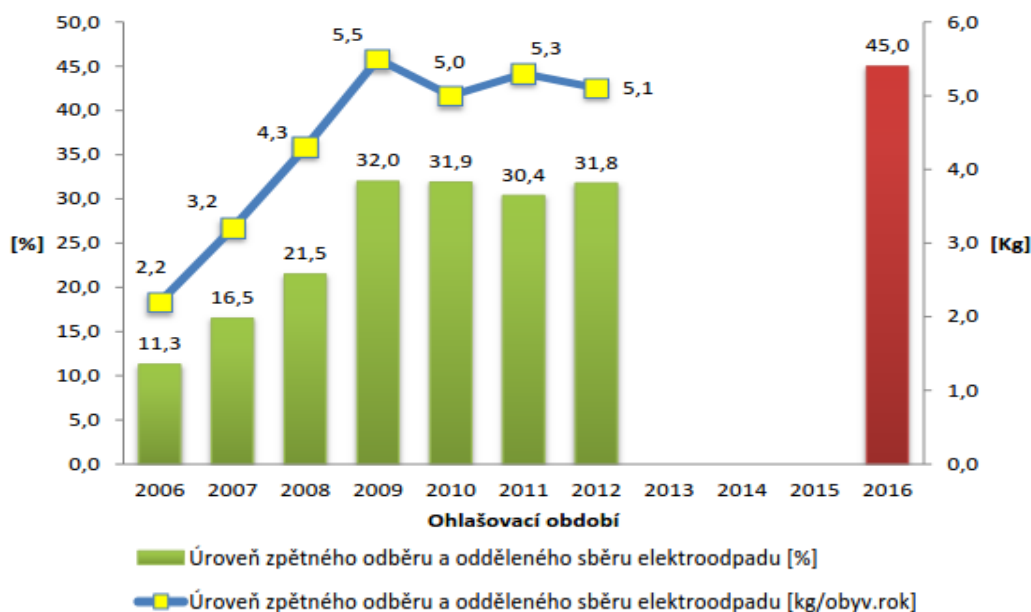
Skupiny elektrozařízení, které se použijí od 15. srpna 2018	
1	Zařízení pro tepelnou výměnu
2	Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm/2
3	Světelné zdroje
4	Velká zařízení, jejichž kterýkoliv vnější rozměr přesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupiny 1,2 a 3, zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, hračky, vybavení pro volný čas a sporty, zdravotnické prostředky, přístroje pro monitorování a kontrolu, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu
5	Malá zařízení, jejichž kterýkoliv vnější rozměr nepřesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupiny 1,2 a 3, zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, hračky, vybavení pro volný čas a sporty, zdravotnické prostředky, přístroje pro monitorování a kontrolu, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu
6	Malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm.

Zdroj: *Elektronovela: nové a přísnější recyklační kvóty. Odpady. 2014, roč. 2014, č. 10, s. 2.*

2.4 Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadů v ČR

Česká republika se zavázala plnit požadavek určený Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních na minimální sběr elektrozařízení 4 kg na obyvatele a rok. Tuto povinnost se České republice daří splňovat již od roku 2008, kdy jí tato povinnost byla uložena viz. Obr. 2. Oproti předchozímu roku 2011 došlo k nárůstu úrovně zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů o 1,4 % i přesto, že množství zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraného elektroodpadu za tento rok na jednoho občana činilo 5,1 kg, což je o 0,2 kg méně než v roce 2011.

Obr. 2 Úroveň zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů 2006-2016



Zdroj: KOPAČKOVÁ, Irena. Odpadní elektrická a elektronická zařízení: Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadů v letech 2011 a 2012. Odpadové fórum. 2014, roč. 2014, č. 10, s. 3.

Červený sloupec v Obr. 2 znázorňuje požadavek směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních, kde je stanovena míra úrovně sběru na 45 % pro rok 2016. Evropská směrnice umožňuje České republice z důvodu nedostatku potřebné infrastruktury a nízké spotřeby EEZ dosáhnout do 14. srpna 2016 úrovně sběru nižší než 45%, avšak vyšší než 40% průměrné hmotnosti EEZ uvedených na trh v předchozích třech letech a odložit dosažení úrovně sběru, které má být každoročně dosaženo a to buď 65% průměrné hmotnosti EEZ uvedených na trh v předchozích třech letech anebo 85% hmotnosti produkce OEEZ do dne, který si tyto státy určí a který nastane nejpozději do dne 14. srpna 2021. (Kopačková, 2014)

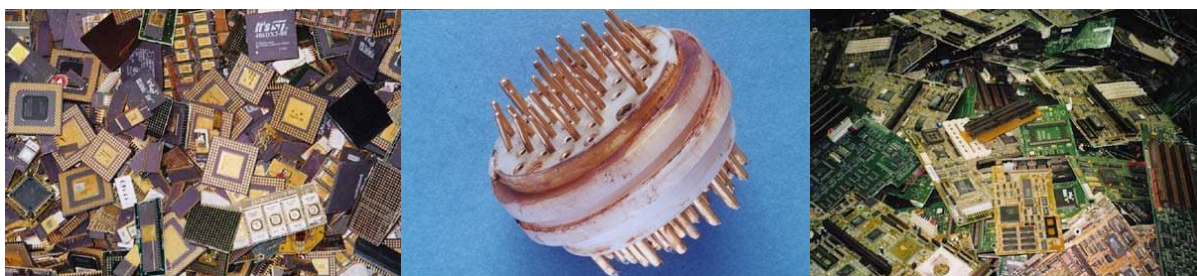
3 Způsoby zpracování elektroodpadu

Po celém světě je mnoho způsobů jak elektroodpad zpracovat, první fází ve všech zemích bylo získat z elektroodpadu náhradní díly pro stávající spotřebiče. Vzhledem k neúprosnému vývoji se ale náhradní díly staly bezcennými, a tak se z odpadu začaly vybírat cenné části. Jedná se například o zlato, měď, hliník, ale i železo. Zbytek částí pak končí ve směsném odpadu a následně na skládkách a spalovnách, když v horším případě neskončí jen pohozen v přírodě. Jelikož lidstvo pomalu, ale jistě získává rozum, využívá veškeré složky tohoto odpadu, ale předchozí stav je stále aktuální pro méně rozvinuté země.

V zemích, kde probíhá recyklace těchto odpadů, je důležité, aby byly dodržovány bezpečnostní postupy a nedocházelo ke znečišťování okolí. V Evropské unii je recyklace tohoto odpadu řešena již řadu let a neustále se zpřísnují požadavky na zpracování a využívání tohoto odpadu. Nakládání s elektroodpadem v České republice je řešeno mnoha způsoby od chráněných dílen, kde jsou zaměstnáváni lidé s hendikepem a je zde největší podíl manuální práce, přes linky, kde je z větší části využíváno práce strojů, až po velice sofistikovaná zařízení, která člověka v podstatě nepotřebují. Je ale otázkou, zda pracovní místa nahrazovat dokonalou technikou, u které je zapotřebí, aby měla neustálý přísun materiálu, který pak doslova vysává okolí, přičemž je mnohdy třeba i neustálých dotací pro běh takového zařízení.

Základem všech způsobů zpracování je odstranění nebezpečných složek nebo jejich zachycení v průběhu recyklace tak, aby nemohly uniknout do okolního prostředí. Z velké části se také využívá manuálního třídění spolu s demontáží. Té je využíváno pro snížení náročnosti separace a možnosti přímé recyklace specifických součástí, např. pevné disky, procesory, baterie, zlaté kontakty, tištěné spoje, velké kusy Al a Cu. Obr. 3.

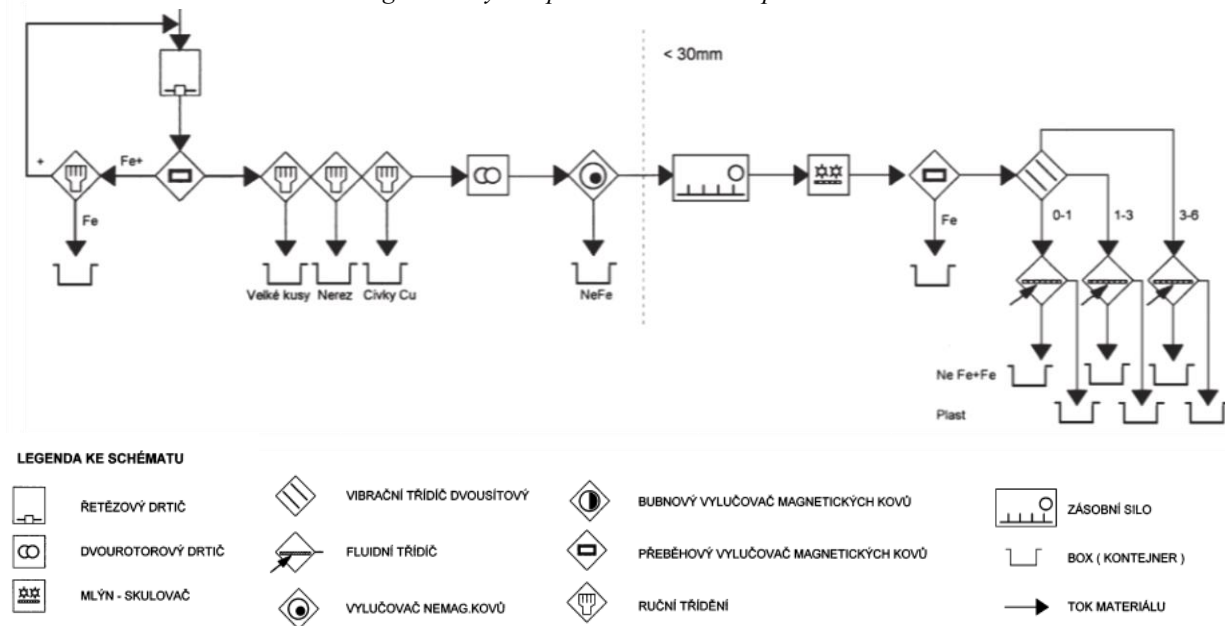
Obr. 3 Procesory, zlaté kontakty a tištěné spoje



Zdroj: <http://www.kovopb.cz/divize-drahe-kovy/vykup-odpadu-drahych-kovu/>

Potom, co jsou odstraněny nebezpečné složky a drahé součástky, je na řadě drcení. Odpad je drcen převážně na dvourotorových pomaloběžných drtičích nebo bubnových drtičích v případě bílé techniky. Po nadrcení na předem definovanou velikost následuje další stupeň třídění nebo jiné nemechanické zpracování. Schéma linky na zpracování elektroodpadu může vypadat viz. Obr. 4.

Obr. 4 Základní schéma technologické linky na zpracování elektroodpadu



Zdroj: FRIML, Michal. Zpracování elektrošrotu z hlediska technologie. Odpadové fórum. 2006, roč. 2006, č. 11, s. 1.

3.1 Příklady technologií pro zpracování jednotlivých druhů elektroodpadu

3.1.1 Zpracování CRT obrazovek

CRT obrazovky jsou zařazeny do kategorie nebezpečných odpadů a jejich recyklace je od většiny elektroodpadů odlišná. Okolo 60% hmotnosti obrazovky tvoří sklo a kondenzátory, zbylé části jsou plošné spoje, kabely a plasty.

Prvním krokem je demontáž obrazovky, jsou sejmuty plastové kryty, odpojeny kabely, vyjmuty plošné spoje a zbylé součástky tak, že nám zůstane pouze skleněná obrazovka. Zbylé části se již recyklují samostatně viz. dále.

Obrazovka se dělí na stínítkovou a kónusovou část. Tyto dvě části se od sebe oddělují pomocí speciální kotoučové pily viz. Obr. 5. Obrazovka je přiložena stínítkem na přísavku a zajištěna fixačním rámečkem. Úhlovou bruskou je odstraněn antiiplozivní kovový rámeček a následně je obrazovka rozříznuta na kónusovou a stínítkovou část. Veškeré tyto operce jsou prováděny v samostatně odsávané digestoři, která zabraňuje úniku nebezpečných látek do okolí.

Obr. 5 Rozřezávání CRT obrazovky



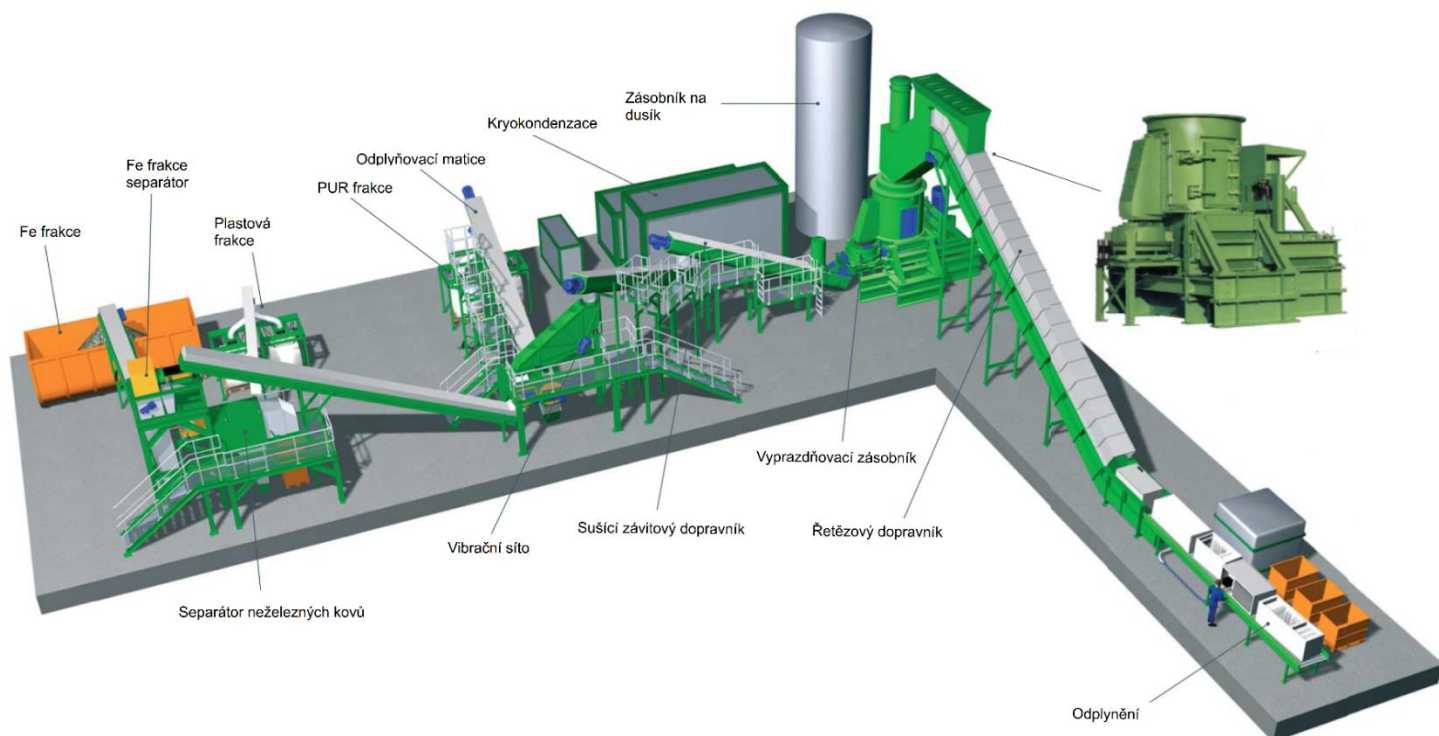
Zdroj: http://aquatest.cz.kappa.nen.cz/underwood/download/files/7.LINKA_RECYNKLACE_OBRAZOVEK.pdf

Po rozříznutí je ze stínítka speciálním odsavačem odstraněn luminofor a bruskou s kartáčem se odstraní napařený hliníkový rámeček. Takto upravené stínítko již lze zpracovat ve sklárnách. Kónusovou část je pak také potřeba zbavit aktivních povlaků (grafitových a ferooxidografitových). Poté je možné předání do skláren. (Aquatest, 2001)

3.1.2 Zpracování ledniček a chladících zařízení

Zařízení na zpracování ledniček a mrazáků funguje na principu kryokondenzace a přítomnosti dusíku v celém procesu zpracování. Při kryokondenzaci se jako kryogén používá tekutý dusík. Načerpáný odpadový vzduch je ve výměnících tepla zchlazený tak, aby se znečišťující látky mohly vysrážet přes kryokondenzační bod až - 145°C. Použitý dusík může být přitom znovu vháněn do dusíkového potrubí. Technologie má dva základní stupně, odstranění chladiva z chladicího okruhu a odstranění chladiva z izolační vrstvy ledniček a mrazáků viz Obr. 6.

Obr. 6 Linka na zpracování ledniček a mrazáků



Zdroj: BAT technologie v spracovaní elektroodpadu. Komunálna energetika. 2009, roč. 2009, č. 1, s. 4. Dostupné z: <http://www.emagazine.sk/magazine/?cislo=200901>

3.1.2.1 I. stupeň: Odstranění chladiva z chladicího okruhu

Technologie dovoluje odsát více lednic najednou. Perforuje se chladicí okruh a speciální „stůl“, kde jsou ledničky a mrazáky uloženy, je nakloněn, aby se dalo odsát co největší množství chladicího média (CFC) a oleje z chladicího obvodu. Speciální zařízení odseparuje CFC od odsátého kompresorového oleje do dočasné skladovací nádoby, zkapalní se a přenesou do tlakové nádrže stlačeného plynu. Pro zabezpečení kompletního odseparování CFC prochází kompresorový olej sérií vyhřátých komor. Chladicí médium oddělené od oleje je přeneseno do sběrné nádoby a odtud do tlakové nádrže. Získaný kompresorový olej se přenáší do oddělených skladovacích nádrží. Následně se hydraulickými nůžkami odstraní kompresory. (Komunálna Energetika, 2009)

3.1.2.2 II. stupeň: Odsávání nebezpečných plynných látek z izolační vrstvy

Po odstranění chladiva z chladicího okruhu se ledničky přesunou do uzavřeného dopravníkového pásu s dusíkovou atmosférou. Zbylá část ledniček a mrazáků se drtí v řetězovém mlýně, čímž dochází k uvolňování CFC a jeho sloučenin s dusíkem. V mlýně se uskuteční separace spojených (lepených) materiálů a rozemele se izolační PUR pěna na prach s částicemi menšími než 0,2 mm. Mletí PUR materiálu na tuto velikost zrna zabezpečí požadované narušení buňkové struktury pěny, aby se dosáhlo dostatečného odplynění podle environmentálních požadavků. Následuje mletí polystyrénu na částice s velikostí 10 až 15 mm a mletí kovových částí do formy granulátu s velikostí 25 až 80 mm. Po celou dobu procesu se uvolňuje CFC/pentan z výplně pěny. Tepelné zpracování ve šnekových dopravnících zabezpečí odplynění matice PUR pěny, uvolňování obsahu CFC v PUR pěně. Chladivá CFC se přitom stávají plynnými a jsou absorbované inertním plynem. Zbylý podíl CFC v PUR pěně je redukován na < 0,2 % hmotnosti. Výstupní materiály ze zpracování chladících a mrazících zařízení jsou čisté železné kovy, čisté neželezné kovy, PUR prášek (s různými možnostmi opětovného využití, např. jako absorbent) a plasty (90 % PS). (Komunální Energetika, 2009)

3.1.3 Zpracování zářivek a světelných zdrojů s obsahem rtuti

Technologii na zpracování světelných zdrojů, zejména zářivek a jiných odpadů s obsahem rtuti, tvoří drtící a separační linka na zhodnocování zářivek, zařízení pro zpracování HID lamp a speciální destilační zařízení. V přípravném procesu před zpracováním se zářivky a jiný odpad obsahující rtuť dováží do areálu firmy, kde je roztříděn a uložen do skladu. Následně se pak zpracovává na jednotlivých technologických zařízeních. (Komunální Energetika, 2009)

3.1.3.1 Kompaktní drtíci a separační linka

Kompaktní drtíci a separační linka je zabudována do ocelového kontejneru a je určena pro zpracování fluorescenčních trubec různých délek a tvarů, kompaktních fluorescenčních lamp (CFL) a 2D lamp viz. Obr. 7. Zařízení je vybaveno dvěma vstupy, jedním manuálním vstupem pro celé neporušené trubice a manuálním vstupem pro kompaktní fluorescenční trubice (CFL). Vstup pro CFL je rozšířen o automatický otáčecí systém na sudy. Dvě vstupní stanice jsou vzájemně blokovány, takže ve stejném čase může být použita pouze jedna.

Obr. 7 Kompaktní drtíci a separační linka



Zdroj: <http://www.arcon-environmental.cz/cs/pouziti/recyklace-zarivkovych-trubic/kompaktni-drtici-a-odlucovaci-zarizeni-%28ccs%29>

Zařízení drtí a separuje: sklo (smíšené skleněné frakce), prach (frakce fluorescenčního prachu), kovy (frakce železných a neželezných koncovek). Přívod pro trubice je umístěn na delší straně kontejneru nacházejícího se v blízkosti elektrického ovládacího panelu. Výstup skla je stejně umístěn, zatímco kovové částice jsou separovány do nádob uvnitř kontejneru. Fluorescenční prach se shromažďuje v sudech pod cyklony a filtračním systémem. Úrovňový senzor pro cyklony indikuje operátorovi, kdy se musí sudy vyměnit.

V externím stupni zpracování CFL (kontaktní fluorescenční lampy), který je napojen na hlavní systém, jsou CFL lampy separované na sklo, prach, železo, neželezné kovy a plastové zakončení. Systém pracuje v podtlaku, aby se zabránilo úniku rtuti ze zařízení. Výfukový vzduch je filtrovaný přes prachový filtr a uhlíkové filtry, aby se garantovaly minimální emise do atmosféry.

Zařízení pro recyklaci vysokotlakých výbojek (HID) je zkonstruované pro bezpečné zpracování HID lamp rozličných typů a velikostí. Ve třech po sobě jdoucích krocích zpracování zařízení separuje rtuťové lampy na různé frakce. Nejdříve rozpraská vnější baňku. Sklo z baňky se oddělí od hořáku a kovové patice a všechny skleněné frakce se dopraví přes výstup skla do sběrné nádoby. Ve druhém kroku zpracování se separuje hořák obsahující rtuť od kovového základu. Po drcení se oddělí rtuť znečištěné hořákové sklo, které je určeno k dalšímu zpracování do speciálního destilátoru. V třetím kroku se odseparují magnetické kovové části a shromáždí se uvnitř zařízení. Kovové patice se automaticky přepraví a shromáždí v nádobě na kovy, mimo zařízení na zpracování HID. Výstupním materiálem z HID procesoru je sklo, křemenné sklo, rtuť a kovy. Frakce fluorescenčního prášku a hořákové sklo jsou určeny na další zpracování ve speciálním destilačním zařízení na zhodnocení rtuti. Ostatní vytříděné suroviny se využijí na přepracování u odběratele. Kapacita HID procesoru je do 2000 zářivek za hodinu, průměrně se zpracovává 800 až 1000 zářivek za hodinu.

Destilační zařízení na zpracování rtuti viz. Obr. 8. Zařízení je vyvinuto pro zpracování všech druhů odpadů ze žárovek, výbojek, fluorescenčních trubec, koncovek z trubec a jiných odpadů s obsahem rtuti (rtuťové knoflíkové baterie, teploměry, elektrické přepínače a usměrňovače, dentální amalgám). Vsázka je umístěna ve vakuové komoře. Podle typu zpracovávaného elektroodpadu se vybere příslušný program, který zpracuje materiál ve zcela automatickém procesu. Destilace rtuti se spouští teplem (elektrické vyhřívání), rtuťové páry se následně zachycují na chladicích prvcích, kondenzátorech a získává se tekutá rtuť s vysokou čistotou až 99,99%. Rtuť je určena pro opětovné použití, prášek z destilace se odváží na skládku. Kapacita destilátoru závisí na druhu zpracovávaného materiálu. Na jednu vsázku se počítá například 350 kg rtuťových knoflíkových baterií. Doba jejich zpracování je asi 24 hodin, přičemž zhodnocením takového množství elektroodpadu se získá přibližně 70 kg rtuti. (Komunálná Energetika, 2009)

Obr. 8 Destilační zařízení na zpracování rtuti



Zdroj: BAT technológie v spracovaní elektroodpadu. Komunálna energetika. 2009, roč. 2009, č. 1, s. 4. Dostupné z: <http://www.emagazine.sk/magazine/?cislo=200901>

3.1.4 Zpracování tištěných spojů

Plošné spoje se používají jako propojovací a nosné části elektronických prvků, jsou nedílnou součástí téměř každého zařízení. Jelikož obsahují (včetně součástek) skoro všechny prvky periodické tabulky, mají díky obtížné recyklaci negativní dopad na životní prostředí.

Materiálové složení plošných spojů (PLS) tvoří společně s elektronickými součástkami základ všech elektronických jednotek. Materiálová pestrost a s ní i složitá recyklace je dána přítomností velkého množství elektronických prvků. Desky obsahují množství nebezpečných látek, ale i drahých kovů, např. stříbro, zlato, platina a palladium (plošné konektory, piny). Průměrný obsah kovů v tištěném spoji s osazenými elektronickými součástkami je uveden v tabulce Tab. 5. Vrstvený izolant – laminát je optimálním materiálem pro desky PLS. Tento materiál je na bázi pryskyřic a papíru s přiměřenou navlhavostí, střední pevností a dobrými elektrickými vlastnostmi. Materiály na bázi skleněných tkanin se používají v oblasti počítačové techniky a v průmyslové elektronice. (Chmela, 2006)

Tab. 5 Průměrný obsah kovů v tištěném spoji s osazenými elektronickými součástkami

Prvek	Použití	Obsah [%]
měď	vodivé cesty, dráty, chladiče	10 – 25
železo	konstrukční a spojovací části	5 – 10
olovo	složka pájky, kondenzátory	1 – 5
nikl	akumulátory	1 – 3
hliník	konstrukční části, chladiče	2
cín	složka pájky, kondenzátory	0,8 – 4
zinek	fluorescenční materiály	0,3 – 0,4
antimon	složka pájky, kondenzátory	0,1
stříbro	elektrické kontakty, konektory	0,05 – 0,3
zlato	elektrické kontakty, konektory	0,01 – 0,1
platina	elektrické kontakty, konektory	0,004
palladium	náhrada Au, kontakty, relé	0,004 – 0,03
kadmium, titan, rtuť	akumulátory, baterie, spínače, relé	4 – 10

Zdroj: CHMELA, Tomáš. Možnosti recyklace plošných spojů. Odpadové fórum. 2006, roč. 2006, č. 11, s. 2.

Před recyklací desek plošných spojů je zapotřebí odstranit veškeré elektronické součásti (pokud je PLS obsahují). Existuje několik metod, z nichž nejznámější jsou:

- **Mechanické odstranění** - Metodu lze použít pro selektivní separaci pouze některých součástek (diody, tranzistory, rezistory...). Realizuje se mechanickým odstraněním pinů z vhodných komponent.
- **Tavení** - Zahříváním dochází k postupnému roztavení cínových spojů a uvolnění pinů součástek, které se následně odstraní. Plošný spoj se umístí pod ochranný kryt na hliníkovou desku, která se topnými tělesy ohřeje na teplotu 350 – 400 °C.
- **Řezání** - Z desky plošných spojů se piny odřezou pilou na kov. Nevýhodou je směs kovových a laminátových pilin, který obsahuje odpad při odřezávání. (Chmela, 2006)

3.1.4.1 Drcení PLS

Drcení se uskutečňuje dle konkrétních požadavků, na zrnitost drceného materiálu se používají se břitové drtičí stroje, granulační mlýny, řezací zařízení nebo brusky. Mezi jeden ze způsobů zdrobňování PLS lze zařadit rovněž tzv. kryogenní drcení. Drcený odpad je nejprve hluboce podchlazen na teplotu minus 100 až 170 °C a poté následně drcen. Využívá se přitom rozdílných účinků nízkých teplot na fyzikální vlastnosti materiálů. K drcení takto podchlazených materiálů stačí drtiče s přibližně polovičním příkonem než při drcení klasickém. Nevýhodou této techniky jsou vysoké náklady. (Chmela, 2006)

3.1.4.2 Separace materiálů z drti

Třídění feromagnetických materiálů z drti PLS se provádí pomocí magnetické separace, elektrostatické separace, vibračního třídění a gravitační úpravy (v těžkých kapalinách na základě rozdílné hustoty). (Chmela, 2006)

3.1.4.3 Získávání drahých kovů

Extrakce v tavenině olova

Rozdrcené desky PLS se dávají přímo do tavicích zařízení, kde se mísí s roztaveným olovem. Železo a část barevných kovů plave na povrchu taveniny, odkud se stahuje, plastové části vyhoří. Většina ušlechtilých kovů přechází do roztaveného olova. Tavenina je následně proháněna vzduchem, většina olova a obecných kovů zoxiduje a odstraní se jako struska. Drahé kovy se zbylou částí olova se podrobí rafinaci. Tím se získá nejen měď, ale i selen, nikl, tellur, olovo, cín a rtuť. Proces je nenáročný na obsluhu a je univerzální pro vstupní suroviny, nevýhodou je nepříliš dobrá ekologická šetrnost. (Chmela, 2006)

Kyanidové loužení

Loužením zředěnými roztoky alkalických kyanidů je možné zlato selektivně a snadno izolovat. Podmínkou je, aby pozlacený materiál byl přístupný kontaktu s loužicím roztokem. Výhodou je fakt, že ostatní kovy nejsou loužením dotčeny. Slitiny na bázi Cu, Zn a Ni tak mohou být metalurgicky rafinovány, aniž by přecházely do roztoků, ze kterých by musely být složitě izolovány. Nevýhoda je vysoká toxicita použitého činidla. (Chmela, 2006)

Sulfáto-nitrátová cesta

Tento způsob se používá pro separaci palladia. Pokud se PLS s obsahem palladia zpracovává sulfáto-nitrátovou cestou, lze vzniklé roztoky po denitraci velmi snadno redukovat formaldehydem a získat palladium s vysokou účinností. Proces ohrožuje přítomnost halogenidových iontů. (Chmela, 2006)

Elektrolýza

Elektrolyticky se zpracovává frakce barevných kovů nebo výluh z některého podílu odpadu. Roztok obvykle obsahuje velké množství kovů (měď, zinek, nikl, kadmium, stříbro, palladium, železo...) a separace všech látek je ekonomicky nemožná a není ani žádoucí. Elektrolýzou se získává podíl mědi, případně niklu a drahé kovy ze zbytku zůstávají v anodických kalech. Vzhledem k ekologické náročnosti je elektrolýza používána poměrně málo. (Chmela, 2006)

4 Výběr druhu odpadu a metody zpracování

Odpad, který byl zvolen pro tuto práci, je elektrický vodič resp. kabel. Pro tento materiál bylo rozhodnuto na základě zkušeností s ním získaných s tímto materiálem při školní praxi. A také vzhledem k vybavení školního pracoviště s demonstrační linkou, kde bylo možné celou práci měřit. Díky odlišnému třídění nadrcené směsi jsem mohl porovnat i různé druhy separace.

4.1 Vlastnosti odpadu

Kabely mohou být složeny až z šesti různých částí (v případě silového kabelu), konstrukční detaily jsou odlišné podle jejich použití. První část je pro všechny typy kabelů stejná a je to vodič. Ten se skládá z jednoho nebo více kovových drátů a slouží k vedení elektrického proudu. Nejčastějším materiálem, ze kterého jsou vodiče vyráběny, je měď nebo hliník a jejich velikost průřezu určuje hodnota procházejícího proudu.

Izolace je druhou částí kabelu. Obklopuje vodič a slouží k jeho elektrické ochraně proti okolí. Vodič společně s izolací tvoří žílu.

Žíly jsou pak společně obaleny, vyplněny duší kabelu. Ta se skládá ze dvou a více žil a slouží k plnění, případně k vyrovnání vnějších dutin mezi žilami. (Parkab, 2014)

Další vrstvou kabelu je stínění, které bývá vyrobeno ze spletených měděných drátků nebo složeno z měděných pásků, případně pokovené fólie nebo z vrstvy vodivého polymeru. (Blog.pasivnistavba.cz, 2011)

Předposlední částí kabelu může být pancíř. Ten se používá pro zvýšení mechanické ochrany kabelu a to především proti tlaku. Je tvořen ovinutím kabelu ocelovými pozinkovanými dráty nebo ocelovou pozinkovanou páskou.

Plášť je poslední částí kabelu, slouží jako vnější obal. Chrání kabel proti mechanickému poškození, zamezuje pronikání vody a chemickým vlivům. Materiál, z kterého je vyrobená izolace a plášť, se liší dle použití kabelu. Volba správného elektroizolačního materiálu pro izolaci kabelu se odvíjí od pracovního napětí, které určuje tloušťku izolace, a také podle pracovních podmínek, ve kterých bude kabel umístěn. Nejdůležitější faktory jsou teplota, klimatické podmínky a chemické složení. (Parkab, 2014)

4.2 Možnosti vzniku odpadu a jeho specifika

Tento odpad vzniká v různých odvětvích a do budoucna se neočekává, že by se jeho množství snižovalo, ale spíše naopak.

Tento odpad může vzniknout před uvedením na trh a to jako zmetkový výrobek. V těchto provozech je recyklace toho materiálu zdaleka nejsnadnější. U materiálu je jasné chemické složení, jedná se o jednodruhový materiál a není znečištěn jako například v případě kabelů z autovraků. Pro tento materiál pak povětšinou postačuje jednoduché zařízení pro recyklaci, u kterého není třeba mnoha stupňů separace. Díky tomu není problém nadrcený a separovaný materiál opětovně použít.

Dalším odvětvím, které ho produkuje a v budoucnu zajisté bude, je energetika a telekomunikace. Ať už se jedná o rozvod vysokého napětí nebo nízkého napětí či síťových rozvodů, je životnost omezená. I když nedojde k poškození vodiče, vlivy okolního prostředí mění vlastnosti samotného vodiče, obzvláště pak mechanické vlastností pláště. Toto poškození pak může způsobit zkrat nebo ztrátu nehořlavosti u nehořlavých kabelů. Díky tomu je nutné tyto kabely měnit dle doporučení výrobce nebo daných norem. Tento odpad má již více specifik. Prvním problémem je znečištění od sutí, různé průměry a druhy. Dalším problémem je to, že takovéto kabely většinou bývají zpracovateli dodávány jako neuspořádané balení různých délek, které jsou zamotány do sebe, a manipulace s nimi je pak obtížná. U těchto kabelů se pak také vyskytují různé druhy stínění, ochrany a nosných prvků. Jedná se například o nosná lana, hliníkové nebo ocelové oplety. Pro následné zpracování to znamená jejich nutné odstranění, aby nám neztěžovaly následnou separaci. U jednodušších zařízení je toto potřeba provést před samotným drcením a separací, k tomu se využívá tzv. svlíkaček a páraček viz. Obr. 9, kde dojde k odstranění těchto částí. Pro větší objemy takového materiálu je pak potřeba použití sofistikovanějších strojů.

Obr. 9 Kab-V



Zdroj: <http://www.bronneberg-recycling.co.uk/en/products/cable-recycling-machines/cable-strippers/cable-stripper-bronneberg-kab-v/>

Samostatnou skupinou jsou také kabely z autovraků. Vzhledem k situaci na trhu je i tento odpad dlouhodobě zajímavý. Díky tomu, že moderní vozy jsou doslova protkány elektronikou, je třeba kromě kabelů počítat i s velkým množstvím koncovek a spojek. Druhým a větším problémem je to, že většina autokabelů je opatřena textilní izolační páskou, která do sebe nasává vlhkost a mastnotu z okolí, obzvláště pak v motorovém prostoru. To způsobuje, že po rozdrcení se z materiálu tvoří chuchvalce, které nejdou dále separovat. V praxi se proto používá několik možností, jak tomu předejít. Prvním a nejhorším způsobem, nicméně velmi častým, je vypalování těchto kabelů v ohni. Velice namáhavé a zdlouhavé je svlékání těchto izolací, a tak se pro běžnou praxi rozšířilo přidávání cementu do drtiče společně s kabelem, ten pak do sebe nasaje mastnotu, sníží lepivost a měď lze bez větších problémů separovat. Dle výrobců recyklační techniky je pak doporučováno vídeňské vápno, ale z praxe není ve výsledku poznat rozdíl, a tak se používá ekonomičtější varianta. Tato metoda má ještě jednu vadu a to zvýšenou prašnost. Proto je třeba mít zajištěné kvalitní odvětrání a používat ochranných respiračních pomůcek.

Zbylé kabely, které jsou určeny k recyklaci a již nebývají dál tříděny, zahrnují většinou směsi zbylých přívodních šňůr, propojovacích kabelů a dalších. Tyto směsi pocházejí ze sběren, servisních středisek nebo z předchozí recyklace elektroodpadu, kde došlo jen k demontáži. Tato směs je bez předešlého třídění dle druhů kabelů nebo sofistikovaného přístroje jen velice špatně recyklovatelná. Když vynechají možné bezpečnostní oplety a nosná lanka, je problém v typu vodiče. Problém nastává po zdrcení materiálu, kdy máme různé velikosti vodičů (vlasové vodiče se rozpadnou na menší velikost než je drť z žilových vodičů), a to při použití jednofázové separace, kde tato skutečnost způsobuje nedokonalé vytřídění a zbytky mědi ve směsi bužírky. Když se vhodnou technologií, např. separací vodním splavem nebo pomocí indukce, podaří oddělit vodič od bužírky na 100%, máme další problém a to nižší prodejní cenu drtě (vlasová měď má menší hodnotu). Proto je třeba použít dalšího stupně třídění. Vzhledem k tomu, že na trhu je tohoto druhu odpadu velké množství, je vhodné mít technologii, která si s těmito nástrahami umí poradit. Jedná se pak o nejsofistikovanější linky a je na nich možné zpracovávat materiál ze všech předchozích skupin.

4.3 Používané technologie ke zpracování vybraného odpadu

Základem zpracování kabelů je oddělení vodiče od izolace, k tomu se používají předdrtiče, drtiče a různé druhy separátorů, např. vibrační stoly, fluidní splavy, vodní splavy nebo elektrostatické separátory.

Prvním krokem je homogenizace materiálu. K tomu slouží předdrtiče Obr. 10. Používá se především jednohřídelových nožových drtičů. Ty zaručují homogenizaci materiálu do takové míry, aby nedocházelo k zahlcování nožových mlýnů, a zároveň jsou schopny rozduřovat i velké chuchvalce, které vznikly skladováním a přepravou. Násypka drtiče slouží zároveň i jako zásobník materiálu. Díky podávacímu zařízení je schopna regulovat přísun materiálu do drtiče.

Obr. 10 Předdrtič



Zdroj: Podlešák, 2013; Návštěva společnosti Guidetti (archiv autora)

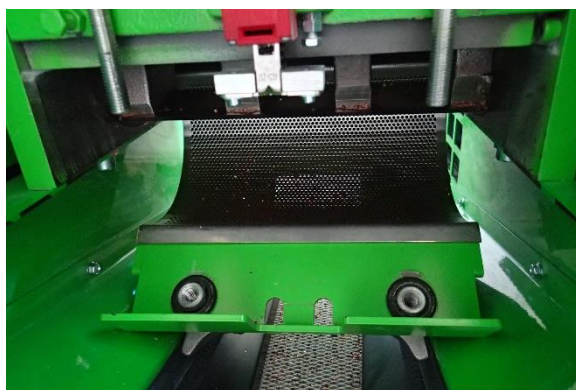
Propojení předdrtiče s nožovým mlýnem může být zajištěno několika způsoby:

- pásovým dopravníkem,
- šnekovým dopravníkem,
- pneumatickou dopravou.

Například firma Guidetti využívá pásového dopravníku, který plní násypku mlýnu. Z té je pomocí šnekového dopravníku plněn mlýn.

Po zdrcení homogenizovaných kabelů nožovým mlýnem Obr. 11 jsou výstupem už samostatné kusy vodiče a izolace. To zajišťuje síto, které má pro měděné vodiče průměr děr 3-4 mm, kterými musí drť projít, aby se dostala z mlýnu.

Obr. 11 Nožový mlýn a síto



Zdroj: Podlešák, 2014; Školní praxe (archiv autora)

Získaná drť je dále zbavena prachových částic pomocí cyklónu a přepravena do separačního zařízení nebo v případě vlasových vodičů do granulátoru, který zajistí separovatelnost jemných částí mědi změnou aerodynamických vlastností.

Pro separaci jsou pak tři základní možnosti:

- Fluidní a vibrační splavy – používají se v základních technologiích s menší kapacitou,
- Vodní splavy – používají se ve výkonnějších linkách a tam, kde je zapotřebí čistších produktů,
- Elektrostatické separátory – jsou používány ve velkých provozech a převážně tam, kde dochází i ke zpracování plastů.

5 Stávající linka, provozní měření, optimalizace vybraného procesu zpracování

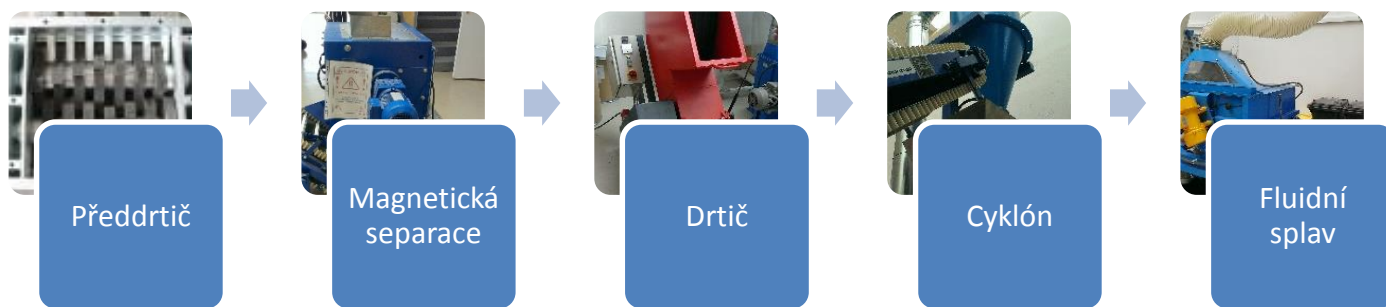
Demonstrační linka se v době měření nacházela v učebně katedry technologických zařízení a staveb ČZU. Využívá se především k výuce studentů a jsou na ní ukazovány základní prvky recyklační linky. Další využitím linky jsou práce studentů vyšších ročníků a akademických pracovníků. Linka se skládá z předdrtiče, drtiče, pneumatické dopravy, cyklónu, magnetického odlučovače s pásovým dopravníkem, násypky s vibračním podavačem a fluidního splavu. Díky těmto zařízením je linka vhodná k recyklaci plastů, elektroodpadů, kabelů. Variabilitu linky zajišťuje kromě předdrtiče i samotný drtič, u kterého se nechají měnit pracovní elementy. Kladivový drtič se díky tomu nechá přestavět na nožový mlýn. Kombinací magnetického odlučovače a fluidního splavu je možné docílit vysoké čistoty separovaných složek.

5.1 Popis stávající linky

Stávající linka tvoří ucelený celek, a z toho to důvodu na sebe některé části nezcela navazují. Prvním strojem je předdrtič, který byl do linky umístěn až jako poslední, a tak není dořešena manipulace s materiálem. K drtiči je nutno materiál z předdrtiče dopravovat manuálně v různých nádobách. Z drtiče pak materiál proudí pomocí pneumatické dopravy do cyklónu, kde se odděluje prach a lehké nečistoty, které končí v prachovém filtru. Z cyklónu se pak díky gravitaci materiál dostává do zásobníku, odkud je vibračním podavačem přemísťován do fluidního splavu nebo zachytávan do nádob a přemísťován do magnetického separátoru. Ze separátoru je pásovým dopravníkem opět přemísťován do zásobníku. Posledním místem je pak fluidní splav, kde je materiál kompletně roztříděn, a k tomu kromě fluidního splavu slouží i odsávací jednotka, která zajišťuje dostatečný podtlak ve splavu.

Jednou z variant, jak by bylo možné linku po rekonstrukci poskládat, je zařazení magnetického odlučovače s pásovým dopravníkem mezi předdrtič a drtič, čímž by se vyřešil problém manipulace s materiálem v tomto místě a zároveň by odpadla manipulace nutná k magnetické separaci. Blokové schéma Obr. 12 pak ukazuje toto uspořádání. Možnou nevýhodou tohoto uspořádání by mohla být možnost kontaminace magnetickým materiálem z drtiče nebo z částí linky, který by se dostal i do fluidního splavu a ztěžoval by tak separaci. To by se ale nechalo vyřešit ještě jedním magnetickým separátorem za vibračním podavačem.

Obr. 12 Blokové schéma stávající linky



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.1.1 Popis jednotlivých prvků stávající linky

Dvouhřídelový drtič Pavel Jelínek – Stroje D4

Obr. 13 Dvouhřídelový drtič Pavel Jelínek – Stroje D4



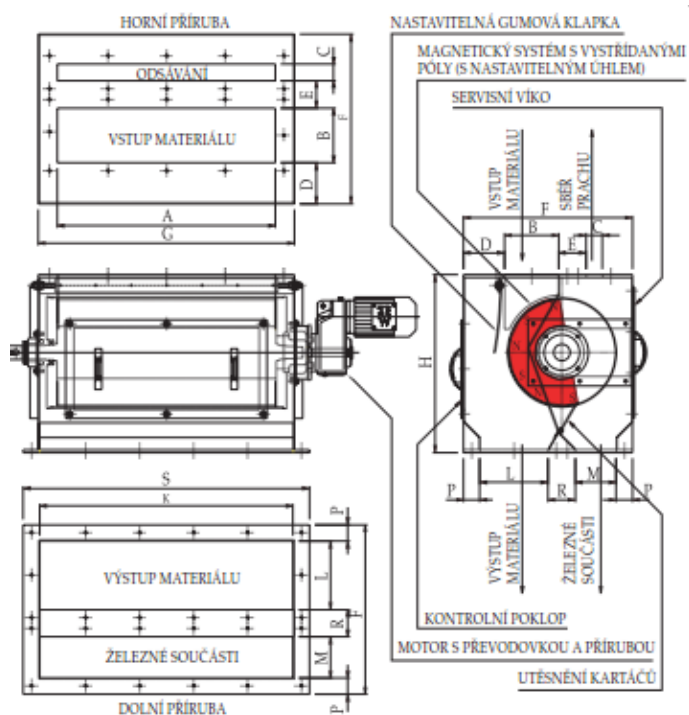
Zdroj: <http://www.jelinek-stroje.cz/produkty-dvouhridelove-drtice-d3-4-detail-6>

Technické parametry:

- Napětí 400 [V] / 50 [Hz]
- Příkon 6 [kW]
- Hodinový výkon stroje 600 [kg .hod⁻¹]
- Rozměr mlecího prostoru 360 × 360 [mm]
- Hmotnost 350 [kg]

Magnetický separátor WAMAG SRTK040034

Obr. 14 Wamag SRTK040034



Zdroj: <http://www.wamag.cz/souboryeditor/wamag%20cr%20web.pdf>

Technické parametry:

- Napětí 400 / 230 [V]
- Příkon 0,37 [kW]
- Otáčky 1380 / 25 [min⁻¹]
- Hodinový výkon stroje 35 [m³.hod⁻¹]
- Průměr bubnu 150 [mm]
- Hmotnost 160,5 [kg]

Pásový dopravník ODES DPK 400 / 3,5

Obr. 15 Pásový dopravník



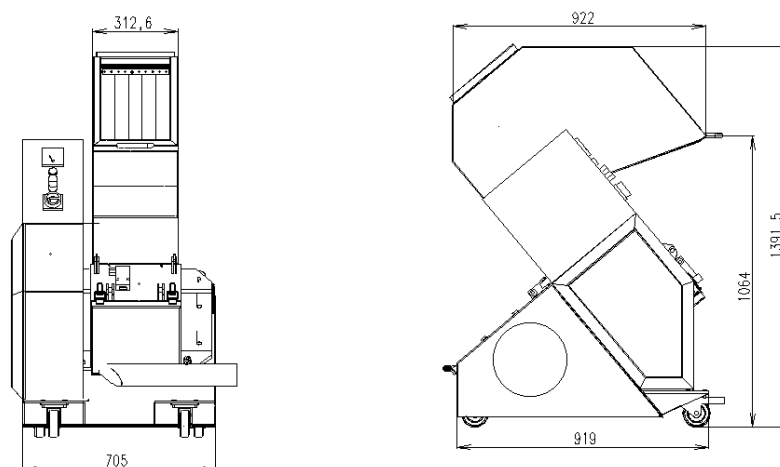
Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Technické parametry:

- Napájení 400 / 230 [V]
- Příkon 0,55 [kW]
- Rychlost pásu 0,39 [m.s⁻¹]
- Délka a šířka pásu 7400 × 400 [mm]
- Rozměry 3650 × 780 × 1590 [mm]
- Maximální náklon 45°
- Hmotnost 380 [kg]

Nožový mlýn Terier G-GH 200/300 MINI 5,5 kW

Obr. 16 Nožový mlýn Terier G-GH 200/300 MINI



Zdroj: <http://www.terier.cz/sysadmin/data/cs/katalog/12/files/g200300.jpg>

Technické parametry

- Napětí 400 [V] / 50 [Hz]
- Příkon 5,5 [kW]
- Otáčky rotoru 900 [min⁻¹]
- Hodinový výkon stroje 50-80 [kg.hod⁻¹]
- Průměr rotoru 200 [mm]
- Šířka rotoru 300 [mm]
- Počet nožů rotoru 3 [ks]
- Počet nožů statoru 2 [ks]
- Rozměr mlecího prostoru 200 × 300 [mm]
- Celková hmotnost 250 [kg]

Pneumatická doprava:

- Cyklón
- Transportní ventilátor VE 6000
- Filtrační jednotka FJA 400 DUO

Transportní ventilátor Urban Technik VE 6000

Obr. 17 Transportní ventilátor Urban Technik VE 6000



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Technické parametry:

- Napětí 400 [V]
- Příkon 4 [kW]
- Objemový průtok 4500 [m³.hod⁻¹]
- Maximální podtlak 4000 [Pa]
- Průměr hrdla 250 [mm]
- Celková hmotnost 76 [kg]

Zásobník s vibračním podavačem ROX MX 200

Obr. 18 Zásobník s vibračním podavačem ROX MX 200



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Technické parametry:

- Napětí 230 [V]
- Příkon 0,06 [kW]
- Objem násypky 100 [dm³]
- Amplituda dráhy 0,1 – 1 [mm]

Fluidní splav AQUATEST FS-1

Obr. 19 Fluidní splav FS-1



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Technické parametry:

- Napětí 400 / 230 [V]
- Příkon 0,9 [kW]
- Pracovní frekvence 16,6 [Hz]
- Výkon na vstupu 150 – 400 [kg.hod⁻¹]
- Granulometrie směsi 0,2 – 15 [mm]
- Velikost separační plochy 0,34 [m²]
- Amplituda dráhy kmitů 0,5 – 3 [mm]
- Rozměry 1350 × 1370 × 1560 [mm]
- Akustický výkon 66 [dB]
- Hmotnost 370 [kg]

Obr. 20 Průmyslový odsavač POC – 20 JET



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Technické parametry:

- Napětí 400 / 230 [V]
- Příkon 2,2 [kW]
- Objemový průtok 2000 [m³. hod⁻¹]
- Maximální podtlak 1800 [Pa]
- Rozměry 750 × 850 × 3050 [mm]
- Hmotnost 280 [kg]

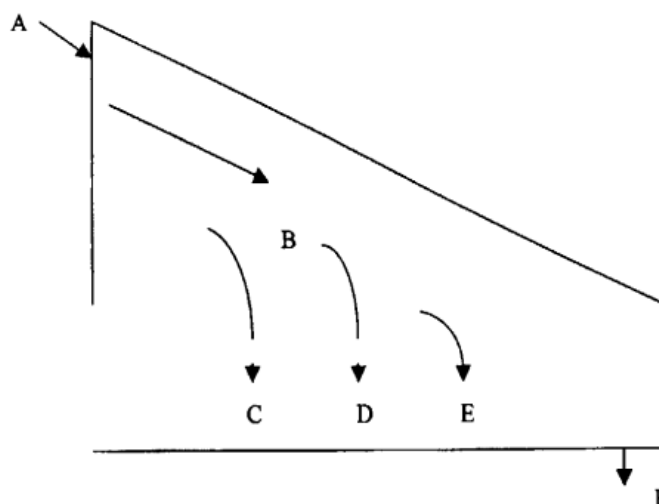
5.2 Teoretický rozbor stroje

Pro měření a samotnou práci byl zvolen fluidní splav, který zajišťuje čistotu výsledných produktů a který by měl umožnit separaci až čtyřech rozdílných frakcí. Jedná se o český výrobek společnosti Aquatest a.s. typ FS-1, vyrobený v roce 2007.

5.2.1 Základní funkce a principy fluidních splavů

Základní funkcí fluidního splavu je separace suchých a sypkých materiálů, které mají při stejné velikosti částice jinou měrnou hmotnost. Separací plocha je většinou ve tvaru trojúhelníka a je buzena pravidelnými kmity za současného profukování proudem vzduchu. Směs určená k separaci vstupuje do fluidního splavu v místě A, které znázorňuje Obr. 21. Díky působení kmitů postupuje směrem B. Částice o nejmenší měrné hmotnosti jsou pak proudem vzduchu nadlehčovány a kmity na ně působí méně. Díky tomu se u nich mění trajektorie a to postupně od nejlehčích, kde proudí k C, po nejtěžší, které končí v bodě F. Těchto vlastností se využívá například u separace drtě kabelů, čištění PET granulátu, granulátu pneumatik apod.

Obr. 21 Postup separované směsi



Zdroj: AQUATEST A.S. LINKA FLUIDNÍ SEPARACE: NÁVOD K OBSLUZE A ÚDRŽBĚ LINKY FLUIDNÍ SEPARACE. Praha, 2008.

V praxi se používají dva základní principy. První využívá k vybuzení kmitů klikový mechanismus, druhý pak využívá k buzení lineární motor. Klikový mechanismus se používá v kombinaci s robustní konstrukcí a je to díky tomu možné používat pro aplikace na velkých plochách až v řádech jednotek m². Nevýhodou je nemožnost měnit amplitudu. Tu naopak plynule dovoluje nastavovat systém s lineárním motorem. Motor je zde umístěn mezi nosnou konstrukcí separační plochy a kmitající protihmotu. Tyto dvě části pak tvoří dvouhmotý rezonanční systém. Hmoty jsou mezi sebou spojeny listovými pery, které udávají svojí tuhostí frekvenci kmitání. (Aquatest, 2005)

5.2.2 Technický popis vybraného fluidního vibračního splavu

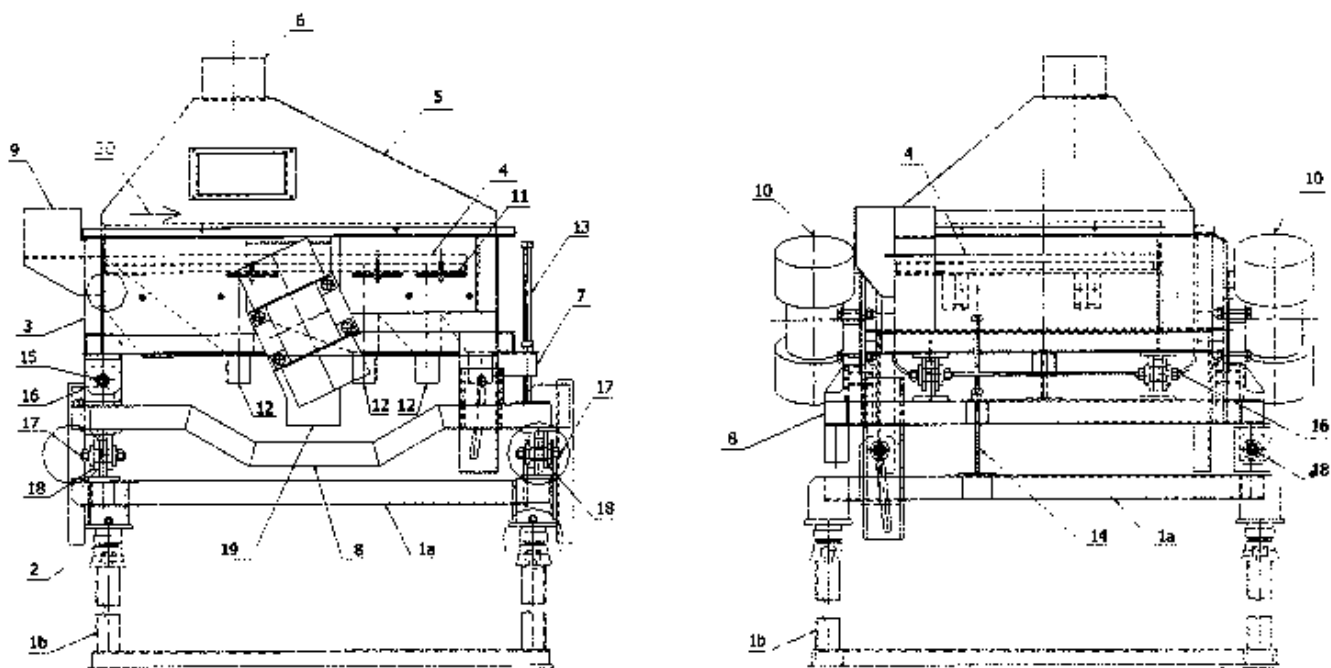
Fluidní vibrační splav od společnosti Aquatest kombinuje konstrukci obou strojů do jednoho. Sestava fluidního vibračního splavu je uvedena na Obr. 22. Dvoudílný základový nosný rám 1 zajišťuje stabilní polohu stroje vůči pevné podložce. Jeho horní část 1a je s dolní částí 1b spojena přes silentbloky 2, ty zabraňují přenosu vibrací stroje do spodní části 1b základového rámu 1 a do pevné podložky. Vlastní systém fluidního splavu 1 je pevně spojen s horní částí 1a základového rámu. (Aquatest, 2008)

Fluidní vibrační splav tvoří nosná skříň 3, ve které je separační plocha 4 ve tvaru pravoúhlého trojúhelníku. Ocelový rám separační plochy je potažen sítovinou s oky dle požadované separace. Nosná skříň 3 a separační plocha 4 je přikryta odsávacím krytem 5 se sacím hrdlem 6, které umožňuje připojení odsavače vzduchu, který funguje jako zdroj průchodu vzduchu separační plochou splavu. Odsavač umožňuje regulaci množství průchodu vzduchu separační plochou 4 pomocí škrticí klapky. (Aquatest, 2008)

Podélný rám 7, kde je upevněna nosná skříň 3, umožňuje měnit úhel sklonu nosné skříně 3. Nosná skříň 3 se pohybuje kolem osy otáčení 15, rovnoběžně se základnou trojúhelníkové separační plochy 4 tvořené ložiskem 16 spojujícím podélný rám 7 s příčným rámem 8 v rozmezí úhlu 0 až 12° proti vodorovné rovině. Pod podélným rámem 7 je umístěn příčný rám 8, umožňující měnit úhel sklonu nosné skříně 3 v rozmezí 0 až 12° proti vodorovné rovině kolem osy 17 procházející ložiskem 18. Osa 17 je rovnoběžná s delší odvěsnou trojúhelníkové separační plochy 4, respektive s podélným směrem postupu separované směsi ve směru naznačené šipky 20, příčný směr je na něj kolmý. (Aquatest, 2008)

Dvěma rotačními příložnými vibrátory 10 namontovanými na masivní výstuze 19 ve tvaru U je buzeno řízené kmitání nosné skříně 3 a tím i separační plochy 4. Směr budící síly rotačních příložných vibrátorů 10 svírá s rovinou separační plochy 4 úhel 25°. Tím je zajištěn postup separované směsi po ploše 4. Příložné rotační vibrátory 10 umožňují nastavit amplitudu dráhy kmitů nosné skříně 3 v rozsahu 0,5 až 3 mm a změnou amplitudy lze řídit účinnost separace a rychlost postupu separované směsi po separační ploše. Změna amplitudy se nastavuje nastavitelnými nevyvážky. Násypkou 9 vstupuje na plochu separovaná směs 4. K oddělení jednotlivých složek separované směsi jsou použity nastavitelné klapky 11, které řídí výpad jednotlivých složek do výstupních hubic 12. Nastavení úhlu sklonu podélného rámu 7 se provádí nastavovacím šroubem 13 a nastavení sklonu příčného rámu 8 nastavovacím šroubem 14. (Aquatest, 2008)

Obr. 22 Nárýs a bokorys fluidního splavu



Zdroj : AQUATEST A.S. Fluidní vibrační splav [patent]. PV národní s žádostí o udělení patentu, 2004-541. Uděleno 14.12.2005.

5.2.3 Proměnné parametry vybraného fluidního vibračního splavu

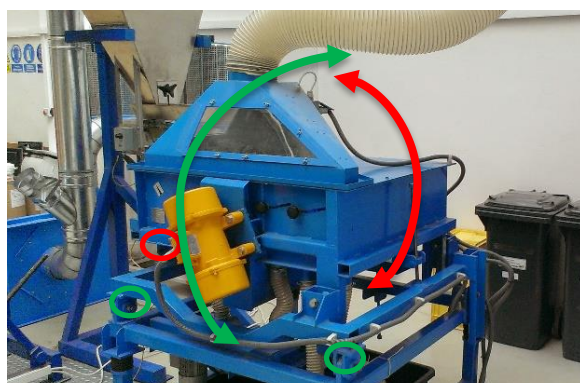
Vysoký stupeň separace jednotlivých druhů směsi zajišťuje nastavení několika parametrů splavu:

- příčný sklon separační plochy,
- podélný sklon separační plochy,
- amplituda dráhy kmitů separační plochy,
- množství vzduchu procházejícího separační plochou,
- množství podávaného materiálu,
- poloha klapky, které oddělují jednotlivé složky separované směsi a usměrňují jejich výpad do výstupních hubic.

5.2.3.1 Příčný sklon

Sklon plochy vůči vodorovné rovině lze měnit stavěcím mechanismem v rozsahu 0- 12°. Změna zajišťuje dosažení rovnoměrného rozprostření separované směsi po separační ploše splavu a tím oddělení jednotlivých složek. Nastavení příčného sklonu se využívá hlavně při zpracování směsí, kde poměr měrných hmotností jednotlivých složek je v rozsahu 2 – 3. (Aquatest, 2008)

Obr. 23 Nastavení Fluidního splavu



- Podélný sklon
- Příčný sklon
- Osa otáčení

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.2.3.2 Podélný sklon

Podélný sklon lze nastavit v rozsahu $0 - 12^\circ$ vůči vodorovné rovině. Slouží hlavně v případech, kdy poměr měrných hmotností složek směsi je větší než 3. Zvyšováním podélného sklonu se oddělí lehký podíl od těžších již na začátku separační plochy a tím se zvýší ostrost separace. (Aquatest, 2008)

5.2.3.3 Amplituda dráhy kmitů separační plochy

Dvojice příložených vibrátorů je použita jako zdroj budící síly pro vybuzení kmitů separační plochy, kde změnou polohy nevyvážků lze měnit amplitudu dráhy kmitů Tab. 6. Obecně platí, že čím větší je granulace směsi, tím menší musí být amplituda kmitů. Separovaná směs nesmí na separační ploše poskakovat, pouze plynule postupovat. Špatně zvolená, příliš velká amplituda způsobí vzájemné promíchávání jednotlivých složek separované směsi a tím zhoršení separace. (Aquatest, 2008)

Tab. 6 Nastavení amplitudy pomocí nevyvážku

nastavení nevyvážků	amplituda [mm]
40	1,5
50	1,9
60	2,2
70	2,6
80	3,0
90	3,3

Zdroj: AQUATEST A.S. LINKA FLUIDNÍ SEPARACE: NÁVOD K OBSLUZE A ÚDRŽBĚ LINKY FLUIDNÍ SEPARACE. Praha, 2008.

5.2.3.4 Množství vzduchu procházejícího separační plochou

Odsavač použitý pro fluidní splav dovoluje měnit množství vzduchu procházejícího separační plochou v rozsahu $1000 - 2000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Regulační přísávací klapkou umístěnou na sacím potrubí se provádí regulace. Procházející vzduch nadlehčuje částice tak, aby se změnila jejich postupná trajektorie a separovaly se na požadovaných klapkách. (Aquatest, 2008)

5.2.4 Nastavení splavu pro měření

Na splavu bylo prováděno měření na měděných vodičích, které byly drceny na granulát s frakcí 4 mm a díky tomu bylo možné použít jako výchozí nastavení, které je udávané výrobcem viz. Tab. 7.

Směs drcených měděných vodičů s lankovým jádrem, granulace - 4 mm

Tab. 7 Nastavení Fluidního splavu pro daný materiál

Parametry splavu	Hodnoty
hodnota nevyvážků	85
příčný sklon	4
podélný sklon	4,5
klapka přisávání	polootevřená

Zdroj: AQUATEST A.S. LINKA FLUIDNÍ SEPARACE: NÁVOD K OBSLUZE A ÚDRŽBĚ LINKY FLUIDNÍ SEPARACE. Praha, 2008.

5.3 Metodika měření

Cílem měření je nalézt optimální hodnotu nastavení pro zvolený materiál, tedy granulát měděného vodiče tak, aby mohla být samostatně separovaná měď a izolace vodiče. Jako základ byly zvoleny parametry doporučené výrobcem viz. Tab. 7. Vzhledem k tomu, že se v minulosti projevil neshody s optimálním nastavením a doporučením výrobce, očekávalo se, že ani u tohoto materiálu se nebude jednat o nejlepší variantu.

Po spuštění fluidního splavu do běhu se ukázalo, že se opravdu nejedná o nejlepší variantu. Ze zvolených parametrů se jako vhodné ukázaly jen výkonost na vstupu a nastavení nevyvážku, kde jejich parametry odpovídaly požadavkům, tzn. materiál po separační ploše jen plynul, nenaskakoval a zároveň tvořil jednu vrstvu. Vzhledem k tomu a počtu proměnných bylo rozhodnuto, že se zbylé hodnoty najdou experimentálně.

Hledané hodnoty jsou tedy příčný, podélný sklon a množství vzduchu procházejícího separační plochou. Měření bylo prováděno pro celé spektrum příčného sklonu, při stálém podélném sklonu, ten se vždy změnil po projetí celého spektra až do polohy 8, která zabránila dalšímu nastavení. Zároveň pro každou polohu byly vyzkoušeny tři polohy škrťací klapky a to otevřeno, zavřeno a středová poloha. Pro každý ze čtyř výstupů z fluidního splavu byla hodnocena jeho čistota a to pomocí procent, čím čistší tím vyšší hodnota.

5.4 Vlastní měření

První měření bylo provedeno s nastavením příčného sklonu jedna. Podélný sklon se pak měnil o jeden centimetr vždy po trojitě změně škrťací klapky. Z Tab. 8 je zřejmé, že změna škrťací klapky má vliv na posun materiálu, při zavřené klapce materiál proudí až na konec separační plochy a naopak při otevřené se tam ani nedostane. Změna sklonu pak umožňuje lepší separaci mědi, jelikož na těžší částice tak nepůsobí nadnášející vzduch.

Tab. 8 Nastavení pro příčný sklon 1

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 1													
Škrťací klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	0	0	20	20	0	0	10	20	0	0	0	20
	2	0	20	20	20	0	10	10	20	0	0	10	20
	3	10	10	10	10	0	10	20	20	0	0	20	20
	4	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	20	40	10	20	20	20	0	10	20	20
	7	20	20	45	85	10	20	20	20	10	10	20	20
	8	20	20	50	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	9	20	50	70	0	20	20	20	20	10	20	20	20
	10	20	70	80	0	20	20	20	20	10	20	20	20
	11	20	70	10	0	20	20	20	50	20	20	20	20
	12	20	75	10	0	20	20	40	70	20	20	20	20
	13	20	80	10	0	20	20	50	80	20	20	20	20
	14	20	10	0	0	20	75	95	98	20	20	20	50
	15	20	10	0	0	20	95	90	0	20	20	20	70
	16	20	10	0	0	20	90	10	0	20	20	50	80
	17	20	10	0	0	20	90	10	0	20	20	75	95

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.4.1 Vyhodnocení Tab. 8 Nastavení pro příčný sklon 1

Nejvyšší čistoty 98 % je dosaženo pro podélný sklon 14 při polootevřené škrťací klapce na čtvrté výpadové klapce. Nejhorší čistota je pro podélný sklon 1, kde při zavřené škrťací klapce nedošlo k separaci na prvních třech výpadových klapkách a na poslední byla pouhá směs.

Tab. 9 Nastavení pro příčný sklon 2

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 2													
Škrťací klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	0	20	20	20	0	0	20	20	0	0	0	20
	2	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	3	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	4	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	20	0	20	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	20	20	0	20	20	20	0	10	20	20
	7	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	8	20	20	20	10	20	20	20	20	0	10	20	20
	9	20	20	60	10	20	20	20	20	20	10	20	20
	10	20	50	60	0	20	20	20	20	20	20	20	20
	11	20	80	10	0	20	20	20	20	20	20	20	20
	12	20	80	10	0	20	20	20	60	20	20	20	20
	13	20	75	0	0	20	20	85	95	20	20	20	20
	14	20	95	0	0	20	70	95	0	20	20	20	20
	15	20	95	0	0	20	95	99	0	20	20	20	60
	16	20	0	0	0	20	95	10	0	20	20	60	80
	17	20	0	0	0	20	95	10	0	20	20	20	60

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Tab. 10 Nastavení pro příčný sklon 3

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 3													
Škrťací klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	0	20	20	20	0	0	20	20	0	0	0	20
	2	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	3	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	4	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	20	50	10	20	20	20	0	10	20	20
	7	20	20	20	60	10	20	20	20	0	10	20	20
	8	20	20	60	10	20	20	20	20	0	10	20	20
	9	20	20	70	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	10	20	70	10	0	20	20	20	20	10	20	20	20
	11	20	80	10	0	20	20	20	75	10	20	20	20
	12	20	90	10	0	20	20	40	85	10	20	20	20
	13	20	10	0	0	20	20	55	90	20	20	20	50
	14	20	10	0	0	20	80	98	10	20	20	20	55
	15	20	0	0	0	20	95	99	0	20	20	20	75
	16	20	0	0	0	20	98	10	0	20	20	50	80
	17	20	0	0	0	20	95	0	0	20	20	85	98

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.4.2 Vyhodnocení Tab. 9 a 10 Nastavení pro příčný sklon 2 a 3

Nejvyšší čistoty 99 % je dosaženo pro podélný sklon 15 při polootvřené škrťací klapce na třetí výpadové klapce. Nejhorší čistota je pro podélný sklon 16-17, kde při otevřené škrťací klapce nedošlo k separaci na 2.-4. výpadové klapce a na první byla směs.

Tab. 11 Nastavení pro příčný sklon 4

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 4													
Škrtící klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	0	10	20	20	0	0	10	20	0	0	0	20
	2	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	3	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	4	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	20	50	10	20	20	20	0	10	20	20
	7	20	20	40	80	20	20	20	20	0	10	20	20
	8	20	20	80	95	20	20	20	20	0	10	20	20
	9	20	50	90	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	10	20	85	10	0	20	20	20	55	10	20	20	20
	11	20	75	10	0	20	20	20	95	20	20	20	20
	12	20	10	0	0	20	50	70	10	20	20	20	20
	13	20	10	0	0	20	70	95	10	20	20	20	20
	14	20	10	0	0	20	75	98	10	20	20	20	95
	15	20	10	0	0	20	95	10	0	20	20	20	95
	16	20	0	0	0	20	95	10	0	20	20	50	99
	17	20	0	0	0	20	99	0	0	20	20	20	99

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Tab. 12 Nastavení pro příčný sklon 5

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 5													
Škrtící klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	10	20	20	20	0	0	10	20	0	0	10	20
	2	20	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	20
	3	20	20	20	40	0	10	20	20	0	10	20	20
	4	20	20	40	10	10	10	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	50	10	20	20	20	20	10	10	20	20
	6	20	20	55	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	7	20	50	85	0	20	20	20	20	10	20	20	20
	8	20	40	10	0	20	20	20	40	10	20	20	20
	9	20	60	0	0	20	20	20	75	10	20	20	20
	10	20	90	0	0	20	20	20	85	20	20	20	20
	11	20	95	0	0	20	20	40	90	20	20	20	20
	12	20	10	0	0	20	35	95	99	20	20	20	20
	13	20	10	0	0	20	50	80	10	20	20	20	40
	14	20	0	0	0	20	80	95	0	20	20	20	70
	15	20	0	0	0	20	95	10	0	20	20	20	85
	16	20	0	0	0	20	99	0	0	20	20	70	95
	17	20	0	0	0	20	99	0	0	20	40	95	99

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.4.3 Vyhodnocení Tab. 11 a 12 Nastavení pro příčný sklon 4 a 5

Nejvyšší čistoty 99 % je dosaženo pro podélný sklon 17 při zavřené škrtící klapce na čtvrté výpadové klapce. Nejhorší čistota je pro podélný sklon 16-17, kde při otevřené škrtící klapce nedošlo k separaci na 2.-4. výpadové klapce a na první byla směs.

Tab. 13 Nastavení pro příčný sklon 6

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 6													
Škrťící klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	10	0
	2	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	3	20	20	20	20	10	10	20	20	0	10	20	20
	4	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	20	10	20	20	20	10	10	20	20
	6	20	20	40	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	7	20	20	60	10	20	20	20	20	10	20	20	20
	8	20	20	10	0	20	20	20	40	10	20	20	20
	9	20	20	10	0	20	20	20	70	10	20	20	20
	10	20	55	0	0	20	20	20	75	20	20	20	20
	11	20	10	0	0	20	20	75	99	20	20	20	20
	12	20	0	0	0	20	20	95	10	20	20	20	20
	13	20	0	0	0	20	50	95	0	20	20	20	50
	14	20	0	0	0	20	95	10	0	20	20	20	75
	15	20	0	0	0	20	90	0	0	20	20	60	99
	16	20	0	0	0	20	95	0	0	20	20	95	10
	17	20	0	0	0	20	10	0	0	20	75	99	10

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Tab. 14 Nastavení pro příčný sklon 7

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 7													
Škrťící klapka	otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka				
Klapka výpadu	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P o d é l n ý s k l o n	1	10	20	20	20	0	10	20	20	0	0	20	20
	2	20	20	20	20	0	10	20	20	0	10	20	20
	3	20	20	20	20	0	20	20	20	0	10	20	20
	4	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	10	10	20	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	10	0	10	20	20	20	0	10	20	20
	7	20	20	10	0	10	20	20	20	10	20	20	20
	8	20	20	10	0	20	20	20	40	10	20	20	20
	9	20	40	0	0	20	20	20	80	10	20	20	20
	10	20	10	0	0	20	20	40	85	20	20	20	20
	11	20	10	0	0	20	20	50	90	20	20	20	20
	12	20	10	0	0	20	40	99	0	20	20	20	40
	13	20	0	0	0	20	50	99	0	20	20	20	50
	14	20	0	0	0	20	80	0	0	20	20	20	85
	15	20	0	0	0	20	95	0	0	20	20	50	99
	16	20	0	0	0	20	99	0	0	20	20	85	99
	17	20	0	0	0	20	10	0	0	20	40	99	10

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.4.4 Vyhodnocení Tab. 13 a 14 Nastavení pro příčný sklon 6 a 7

Nejvyšší čistoty 99 % je dosaženo pro podélný sklon 16 při zavřené škrťící klapce na čtvrté výpadové klapce. Nejhorší čistota je pro podélný sklon 13-17, kde při otevřené škrťící klapce nedošlo k separaci na 2.-4. výpadové klapce a na první byla směs.

Tab. 15 Nastavení pro příčný sklon 8

Čistota směsi na odvodu v % pro příčný sklon 8													
Škrťící klapka		otevřená klapka				polootvřená klapka				zavřená klapka			
Klapka výpadu		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
P o d é l n ý s k l o n	1	20	20	20	20	10	20	20	20	0	0	20	20
	2	20	20	20	20	10	20	20	20	0	10	20	20
	3	20	20	20	45	10	20	20	20	0	10	20	20
	4	20	20	20	10	10	20	20	20	0	10	20	20
	5	20	20	20	10	10	20	20	20	0	10	20	20
	6	20	20	75	0	20	20	20	20	10	20	20	20
	7	20	20	10	0	20	20	20	50	10	20	20	20
	8	20	20	0	0	20	20	20	60	10	20	20	20
	9	20	60	0	0	20	20	50	90	10	20	20	20
	10	20	95	0	0	20	20	80	95	20	20	20	20
	11	20	10	0	0	20	20	90	99	20	20	20	20
	12	20	0	0	0	20	40	95	10	20	20	20	40
	13	20	0	0	0	20	80	10	0	20	20	20	85
	14	20	0	0	0	20	80	10	0	20	20	40	90
	15	20	0	0	0	20	95	0	0	20	20	80	99
	16	20	0	0	0	20	95	0	0	20	20	95	10
	17	20	0	0	0	20	0	0	0	20	40	99	0

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

5.4.5 Vyhodnocení Tab. 15 Nastavení pro příčný sklon 8

Nejvyšší čistoty 99 % je dosaženo pro podélný sklon 11 při polootevřené škrťící klapce na čtvrté výpadové klapce. Nejhorší čistota je pro podélný sklon 12-17, kde při otevřené škrťící klapce nedošlo k separaci na 2.-4. výpadové klapce a na první byla směs.

5.5 Vyhodnocení Nastavení fluidního splavu

Jako neoptimálnější nastavení se jeví nastavení příčného sklonu 3, podélného 15 při polootevřené klapce. Při tomto nastavení první výpadové klapce vzniká směs a na druhé je již 95 % čistota, na třetí je 99 % čistota a na čtvrtou se již nic nedostává.

5.6 Dílčí závěry

Z experimentálního měření je zřejmé, že na posuv materiálu v podélném směru má největší vliv proud procházejícího vzduchu, který při zavřené škrtkové klapce umožňoval materiálu postup až k poslední přepážce. Podélný sklon pak umožňuje jemnější nastavení postupu materiálu směrem na konec separační plochy. Naopak příčný sklon nehrál až takovou roli, ale vzhledem k sestavení celé technologie nebylo možné provést měření až do 17. bodu, ale jen do 8. viz Obr. 24, kde došlo ke kontaktu podavače a splavu.

Obr. 24 Kontakt podavače se splavem



Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Pro jednodušší nastavení bych doporučil místo škrtkové klapky použít frekvenční měnič, který by umožňoval plynulou změnu proudícího vzduchu při stálé kontrole separační plochy. Optimální poloha pro nastavování je, když materiál postupuje při otevřené klapce mezi první a druhou přepážku, v tu chvíli se nechá materiál řídit škrtkovou klapkou a lehce poupravit výpad pomocí příčného sklonu.

Fluidní splav se v tomto případě neukázal jako nejvhodnější řešení pro separaci vodičů, jelikož k jeho nastavení je třeba více času a výstupem z fluidního splavu nikdy nebyly dvě čisté složky mědi a plastu.

6 Nalezení slabého místa a návrh optimalizace

Ve stávající lince se pro daný materiál jako nejslabší článek jeví separace, tu nyní zajišťuje fluidní splav od společnosti Aquatest. Vzhledem k tomu, že prodejní čistota materiálu je dána normou ČSN EN 12861 Měď a slitiny mědi – Odpad, ve které je tento materiál brán jako Typ S-Cu-10 (granulovaný drát z mědi), je třeba dodržovat jeho čistotu, dle které je dále obchodován. Granulát by měl být bez dalších kovových látek, maximální množství nekovových látek nesmí překročit 0,2 %.

Dle těchto údajů je jasné, že pro prodej materiálu na trh je základní otázkou jeho čistota, té bylo dosahováno jen v omezeném spektru nastavení a nepodařilo se nikdy oddělit měď od izolace, která musela být opětovně separována, čímž se zhoršuje efektivita a snižuje výkon stroje.

6.1 Používané technologie pro separaci vybraného materiálu

V praxi se v technologických celcích pro recyklaci kabelů používají tři základní možnosti separace. U nejjednodušších strojů, kde jsou všechny části umístěny tak, aby tvořily jeden kompaktní celek, se využívá separace pomocí vibračních splavů, které fungují na podobném principu jako fluidní vibrační splav. Rozdíl je pouze v tom, že je výrobcem nastaven podélný sklon a vibrace, jediné co se nechá měnit, je proudění vzduchu. Výrobci těchto zařízení upozorňují na skutečnost, že je nutné počítat se ztrátami, které tvoří měď zachycená v drti izolace, ta může tvořit až 20%. V praxi například u stroje Guidetti sincro 315 eko Obr. 25 se pohybuje okolo 10%.

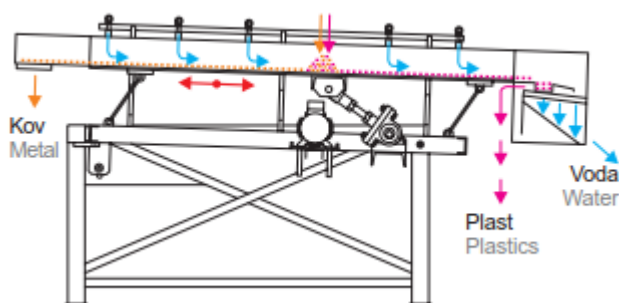
Obr. 25 Guidetti sincro 315 eko



Zdroj: <http://www.directindustry.com/prod/guidetti-srl/cable-mills-63289-1444105.html>

Druhou možností je separace pomocí vodního splavu Obr. 26. Tato metoda se používá u sofistikovanějších strojů. Zde by měla být čistota směsi 100%, ale často je problém s vlhkostí. Z tohoto důvodu se více využívá v teplejších oblastech nebo provozech, kde není problém se sušením.

Obr. 26 Vodní splav Bonanza



Zdroj: http://www.drvice.sk/download/Bonanza_prospekt.pdf

Další možností, která se k separaci využívá, je separátor kovů Obr. 27, který funguje na principu elektromagnetické indukce a odděluje materiál pomocí pohyblivých klapek. Tyto separátory se používají převážně k dočišťování po použití vibračních splavů, ale mohou být použity i samostatně.

Obr. 27 Separátor Protector 50



Zdroj: <http://www.kubousek.cz/files/divize400/SS/PROTECTOR-P-PR-CZ-0509-V21.pdf>

6.1.1 Návrh náhradní technologie pro separaci vybraného materiálu

Pro stávající linku by bylo vhodné zařadit na její konec separátor kovů nebo při recyklaci kabelového odpadu nepoužívat vibrační fluidní splav, ale nahradit ho vodním splavem. Poslední možností je použít vibrační splav, ale vzhledem k výsledkům fluidního splavu a jejich podobnosti bych toto nedoporučil a to ani vzhledem ke zpracovávanému množství materiálu.

6.1.2 Výběr náhradní technologie pro separaci vybraného materiálu

Po návštěvě veletrhu IFAT v Mnichově a Strojírenského veletrhu v Brně, byl vybrán vodní splav firmy Ing. Častulík, s.r.o. typ Bonanza a separátor kovů od společnosti S+S Separation and Sorting Technology GmbH typ PROTECTOR 50 - ALLMETAL SEPARATOR. Porovnání parametrů strojů viz. Tab. 16.

Tab. 16 Parametry separátorů

Zařízení	Bonanza	PROTECTOR 50 - ALLMETAL SEPARATOR
příkon kW	5	19
výkonost kg.h ⁻¹	250	150
Cena Kč	361 057 Kč	85 566 Kč

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Vzhledem k tomu, že ani u jednoho ze zařízení nebyla možná zkouška pro ověření čistoty výsledného materiálu, která je rozhodující pro jeho prodej, bude ekonomické hodnocení velice stručné a čistě orientační. Pro posouzení a podrobnější propočty je provozní zkouška naprosto nezbytná a dle kvality výstupu tzn. čistoty mědi a izolace vodičů bude zařízení vybráno.

6.1.3 Ekonomické zhodnocení

U zařízení se předpokládá, že se bude využívat pro jednosměnný provoz, tzn. 2008 hodin za rok. Jako vstupní surovina je brán kabel s měděným vodičem, ze školní praxe a poznatků recyklačních firem je brána průměrná výtěžnost 55% mědi. Vzhledem k tomu, že u vodního splavu není udáno, kolik vody je třeba a jak často je nutné ji obměňovat, počítá se s náklady na energie u obou stejně, tzn. $19 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$. Díky tomu, že se jedná o doplnění stávající linky, není třeba ani personálních změn a bude potřeba jen zaškolení obou pracovníků, které v obou případech provede výrobce při instalaci. Obě zařízení jsou zařazena v odpisové skupině 2, takže jejich doba odpisu bude 5 let.

Pro zhodnocení efektivnosti investice byla zvolena metoda čisté současné hodnoty (ČSH), která znázorňuje rozdíl mezi diskontovanými peněžními příjmy (výnosy) z investice a kapitálovým výdajem. Jako vhodnější investice je pak brána ta, u které vyjde vyšší hodnota ČSH. (Rosochatecká, 2014)

Požadovaný úrokový výnos je 10% a je brána doba životnosti 6 let. Předpokládaný roční čistý výnos je brán za prodej vytěžené mědi s cenou granulátu $140 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$. Cash flow viz. Tab. 17, z které je zřejmé, že cash flow u obou variant bude dost veliké, aby pokrylo daňové povinnosti i odpisy.

Tab. 17 Cash flow

Zařízení	Bonanza	PROTECTOR 50	Rozdíl Bonanza - PROTECTOR 50
Příjem z tržeb	38 654 000 Kč	23 192 400 Kč	15 461 600 Kč
Výdaje na surovinu	25 100 000 Kč	15 060 000 Kč	10 040 000 Kč
Výdaje na mzdy	602 400 Kč	602 400 Kč	- Kč
Výdaje na energii	160 640 Kč	160 640 Kč	- Kč
Cash Flow	12 790 960 Kč	7 369 360 Kč	5 421 600 Kč

Zdroj: Podlešák, 2014; Měření (archiv autora)

Výpočet ČSH:

$$\check{C}SH = \sum (\text{čistý výnos} \times q^{-n}) - \text{kapitálový výdaj}$$

Varianta Bonanza:

$$\check{C}SH = 12\,790\,960 \times \frac{1,1^6 - 1}{(1,1 - 1) \times 1,1^6} - 361\,057$$

$$\check{C}SH = 43\,718\,763 \text{ Kč}$$

Varianta PROTECTOR 50 - ALLMETAL SEPARATOR:

$$\check{C}SH = 7\,369\,360 \times \frac{1,1^6 - 1}{(1,1 - 1) \times 1,1^6} - 85\,566$$

$$\check{C}SH = 32\,009\,918 \text{ Kč}$$

Na základě výsledku čisté současné hodnoty vychází jako výhodnější varianta použití vodního splavu Bonanza od firmy Ing. Častulík s.r.o..

7 Závěr

Tato práce se zabývala optimálním nastavením fluidního splavu tak, aby bylo umožněno separovat měděný granulát od granulátu izolace. Nalezení optimálního nastavení je pro použitelnost tohoto zařízení v lince pro praxi naprosto klíčové a rozhoduje o jeho použití či vyřazení z linky.

Měření začalo probíhat na začátku akademického roku 2013/2014, kdy jako vstupní materiál byl zvolen kabel s vodičem z vlasové mědi, který způsobil zanesení separační plochy splavu, a nebylo možné provést další měření. V důsledku toho byl vybrán kabel s jiným typem měděného vodiče, který již nebyl tak jemný a lehce postupoval po splavu. Toto měření probíhalo čtrnáct dnů na přelomu srpna a září roku 2014. Bylo vyzkoušeno bezpočet nastavení, přičemž bylo změřeno a zapsáno 1 632 hodnot. Nikdy nebylo docíleno optimálního nastavení a z toho důvodu byl navržen jiný technologický systém separace.

U nově navrhovaných systémů je nutné provést provozní zkoušky, které potvrdí požadovanou čistotu výstupních materiálů. Pak v optimálním případě nebude docházet ke ztrátám mědi v izolaci a měď nebude kontaminovaná izolací. V případě, že požadovanou čistotu budou mít obě zařízení, bude třeba zjistit jejich náklady na provoz a udělat ekonomické vyhodnocení pro danou investici. V tuto chvíli se jako vhodnější zařízení jeví vodní splav.

V případě použití vodního splavu by bylo třeba vybudovat přívod vody a zároveň i odpad. Další nevýhodou tohoto řešení je vlhkost drtí. Je třeba zajistit takové skladovací prostory, kde nebude vlhkost vadit okolí a zároveň nebude zhoršovat manipulační podmínky.

Při použití separátoru kovů by nebylo třeba tolika stavebních úprav a materiál by nebyl vlhký, ale snížila by se průchodnost linkou. Menší průchodnost by znamenala možné problémy se zahlcováním linky.

Recyklace elektrozařízení je v dnešní době jedinou možností jak svět neochuzovat o drahé kovy a vzácné suroviny, bez kterých v mnoha případech nejsme schopni tvořit nové výrobky. Do budoucna je nutné, abychom byli schopni 100% využít materiálový potenciál tohoto odpadu.

8 Citovaná literatura

ALTMAN, Vlastimil. *Technologie a technika skládkového hospodářství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996, 82 s. ISBN 80-707-8355-9.

ALTMANN, Vlastimil, Petr VACULÍK a Miroslav MIMRA. *Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010, 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.

FRIML, Michal. Zpracování elektrošrotu z hlediska technologie. *Odpadové fórum*. 2006, roč. 2006, č. 11, s. 1.

CHMELA, Tomáš. Možnosti recyklace plošných spojů. *Odpadové fórum*. 2006, roč. 2006, č. 11, s. 2.

KOPAČKOVÁ, Irena. Odpadní elektrická a elektronická zařízení: Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadů v letech 2011 a 2012. *Odpadové fórum*. 2014, roč. 2014, č. 10, s. 3.

KURAŠ, Mečislav. *Odpadové hospodářství*. Vyd. 1. Chrudim: Ekomonitor, 2008, 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.

KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. 1. vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 8086832805.

ROSOCHATECKÁ, Eva. *Ekonomika podniků*. Vyd. 10. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2014, 201 s., 16 [i.e. 8] s. obr. příl. ISBN 978-80-213-2259-2.

RYŠAVÝ, Ivan. Závislost Evropy na dovozu surovin sníží i Urban Mining. *Odpady*. 2013, roč. 2013, č. 2, s. 2.

ŠŤASTNÁ, Jarmila. V Evropě se bude zpracování elektroodpadů řídit standardy. *Odpady*. 2011, roč. 2011, č. 2, s. 1.

Česká republika. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně dalších zákonů. In: (*zákon o odpadech*). v platném znění.

AQUATEST A.S. *LINKA RECYKLACE CRT OBRAZOVEK*. Mníšek pod Brdy, 2001.
Dostupné z :http://aquatest.cz.kappa.nen.cz/underwood/download/files/7.LINKA_RECYKLACE_OBRAZOVEK.pdf

Elektromagnetické pole II: Myslet jako šachista. In: *Blog.pasivnistavba.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://blog.pasivnistavba.cz/elektromagneticke-pole-ii/>

KATALOG PRODUKTŮ: PRAKAB. *Prakab* [online]. 2014 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: http://www.prakab.cz/fileadmin/content/prakab/Ke-stazeni/prakab_CZ_2014.pdf

Češi odevzdali za rok 1562 tun světelného elektroodpadu. *ParlamentniListy.cz* [online]. 2014, roč. 2014, č. 12 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/zpravy/tiskovezpravy/Cesi-odevzdali-za-rok-1562-tun-svetelneho-elektroodpadu-349875>

AQUATEST A.S. *LINKA FLUIDNÍ SEPARACE: NÁVOD K OBSLUZE A ÚDRŽBĚ LINKY FLUIDNÍ SEPARACE*. Praha, 2008.

Elektronovela: nové a přísnější recyklační kvóty. *Odpady*. 2014, roč. 2014, č. 10, s. 2.

BAT technologie v spracovaní elektroodpadu. *Komunálna energetika*. 2009, roč. 2009, č. 1, s. 4. Dostupné z: <http://www.emagazine.sk/magazine/?cislo=200901>

AQUATEST A.S. *Fluidní vibrační splav* [patent]. PV národní s žádostí o udělení patentu, 2004-541. Uděleno 14.12.2005.

Seznam obrázků:

- Obr. 1* Produkce a recyklace elektroodpadů 2000-2011 v USA
- Obr. 2* Úroveň zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadů 2006-2016
- Obr. 3* Procesory, zlaté kontakty a tištěné spoje
- Obr. 4* Základní schéma technologické linky na zpracování elektroodpadu
- Obr. 5* Rozřezávání CRT obrazovky
- Obr. 6* Linka na zpracování ledniček a mrazáků
- Obr. 7* Kompaktní drtící a separační linka
- Obr. 8* Destilační zařízení na zpracování rtuti
- Obr. 9* Kab-V
- Obr. 10* Předdrtič
- Obr. 11* Nožový mlýn a síto
- Obr. 12* Blokové schéma stávající linky
- Obr. 13* Dvouhřídelový drtič Pavel Jelínek – Stroje D4
- Obr. 14* Wamag SRTK040034
- Obr. 15* Pásový dopravník
- Obr. 16* Nožový mlýn Terier G-GH 200/300 MINI
- Obr. 17* Transportní ventilátor Urban Technik VE 6000
- Obr. 18* Zásobník s vibračním podavačem ROX MX 200
- Obr. 19* Fluidní splav FS-1
- Obr. 20* Průmyslový odsavač POC – 20 JET
- Obr. 21* Postup separované směsi
- Obr. 22* Nárys a bokorys fluidního splavu
- Obr. 23* Nastavení Fluidního splavu
- Obr. 24* Kontakt podavače se splavem
- Obr. 25* Guidetti sincro 315 eko
- Obr. 26* Vodní splav Bonanza
- Obr. 27* Separátor Protector 50

Seznam tabulek:

Tab. 1 Produkce průmyslových a komunálních odpadů podle krajů v roce 2013

Tab. 2 Výskyt nebezpečných látek v elektroodpadu

Tab. 3 Skupiny elektroodpadu

Tab. 4 Skupiny elektrozařízení, které se použijí od 15. srpna 2018

Tab. 5 Průměrný obsah kovů v tištěném spoji s osazenými elektronickými součástkami

Tab. 6 Nastavení amplitudy pomocí nevážku

Tab. 7 Nastavení Fluidního splavu pro daný materiál

Tab. 8 Nastavení pro příčný sklon 1

Tab. 9 Nastavení pro příčný sklon 2

Tab. 10 Nastavení pro příčný sklon 3

Tab. 11 Nastavení pro příčný sklon 4

Tab. 12 Nastavení pro příčný sklon 5

Tab. 13 Nastavení pro příčný sklon 6

Tab. 14 Nastavení pro příčný sklon 7

Tab. 15 Nastavení pro příčný sklon 8

Tab. 16 Parametry separátorů

Tab. 17 Cash flow

Příloha 1: Seznam elektrozařízení spadajících do jednotlivých skupin stanovených v příloze č. 7 zákona a elektrozařízení vyjmutá ze skupin elektrozařízení uvedených v příloze č. 7 zákona

1 Velké domácí spotřebiče

- 1.1. Velká chladicí zařízení
- 1.2. Chladničky, kombinace chladničky a mrazničky
- 1.3. Mrazničky
- 1.4. Ostatní velká zařízení používaná pro chlazení, uchování a skladování potravin
- 1.5. Pračky
- 1.6. Sušičky
- 1.7. Myčky nádobí
- 1.8. Pečící zařízení
- 1.9. Elektrické sporáky
- 1.10. Elektrické plotny
- 1.11. Mikrovlnné trouby
- 1.12. Ostatní velká zařízení používaná k vaření a jinému zpracování potravin
- 1.13. Elektrická topidla
- 1.14. Elektrické radiátory
- 1.15. Ostatní velká zařízení pro vytápění místností, lůžek a sedacího nábytku
- 1.16. Elektrické ventilátory velké
- 1.17. Klimatizační zařízení
- 1.18. Ostatní ventilační, odsávací a klimatizační zařízení
- 1.19. Ostatní velké domácí spotřebiče v jiné podskupině neuvedené

2 Malé domácí spotřebiče

- 2.1 Vysavače

- 2.2 Čistící stroje na koberce
- 2.3 Ostatní zařízení pro čištění
- 2.4 Zařízení používaná k šití, pletení, tkaní a jinému zpracování textilu
- 2.5 Žehličky a jiné spotřebiče používané k žehlení, mandlování a další péči o oděvy
- 2.6 Topinkovače
- 2.7 Fritovací hrnce
- 2.8 Mlýnky, kávovary a zařízení pro otevírání nebo uzavírání nádob nebo obalů
- 2.9 Elektrické nože
- 2.10 Spotřebiče pro stříhání vlasů, sušení vlasů, čištění zubů, holení, masáže nebo jinou péči o tělo
- 2.11 Hodiny, budíky a zařízení pro účely měření, indikace nebo registrace času
- 2.12 Váhy
- 2.13 Elektrické ventilátory malé
- 2.14 Ostatní malé domácí spotřebiče v jiné podskupině neuvedené

3 Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení

- 3.1 Velké sálové počítače, servery
- 3.2 Minipočítače
- 3.3 Tiskové jednotky (samostatné centrální tiskárny)
- 3.4 Osobní počítače (včetně základní procesorové jednotky, myši, monitorů a klávesnic)
- 3.5 Laptopy (včetně základní procesorové jednotky, myši, monitorů a klávesnic)
- 3.6 Notebooky
- 3.7 Elektronické diáře
- 3.8 Tiskárny
- 3.9 Kopírovací zařízení
- 3.10 Elektrické a elektronické psací stroje
- 3.11 Kapesní a stolní kalkulačky

3.12 Ostatní výrobky nebo zařízení pro sběr, ukládání, zpracování, prezentaci nebo sdělování informací elektronickým způsobem v jiné podskupině neuvedené

3.13 Uživatelské terminály a systémy

3.14 Dálnopisy

3.15 Faxy

3.16 Telefony

3.17 Telefonní automaty

3.18 Bezdrátové telefony

3.19 Mobilní telefony

3.20 Záznamníky

3.21 Ostatní výrobky nebo zařízení pro přenos zvuku, obrazu a jiných informací pomocí telekomunikací v jiné podskupině neuvedené

4 Spotřebitelská zařízení

4.1 Rádiové soupravy (radiobudíky, radiomagnetofony)

4.2 Televizory

4.3 Videokamery

4.4 Videorekordéry

4.5 Hi-fi rekordéry

4.6 Audiozesilovače

4.7 Hudební nástroje

4.8 Ostatní výrobky nebo zařízení pro účely záznamu nebo reprodukce zvuku nebo obrazu, včetně signálů nebo technologií pro šíření zvuku nebo obrazu jiných než telekomunikací (spotřebitelská zařízení) v jiné podskupině neuvedené

5 Osvětlovací zařízení

5.1 Svítidla pro žárovky s výjimkou svítidel z domácností

5.2 Lineární (trubicové) žárovky

5.3 Kompaktní žárovky

5.4 Vysokotlaké výbojové světelné zdroje, včetně vysokotlakých sodíkových, halogenidových a směsných výbojek

5.5 Nízkotlaké sodíkové výbojky

5.6 Ostatní osvětlovací zařízení nebo zařízení pro šíření nebo řízení osvětlení, s výjimkou přímo žhavených žárovek v jiné podskupině neuvedené

6 Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)

6.1 Vrtačky

6.2 Pily

6.3 Šicí stroje kromě zařízení používaných v domácnostech spadajících pod skupinu 2

6.4 Zařízení pro soustružení, frézování, broušení, drcení, řezání, sekání, stříhání, vrtání, děláni otvorů, ražení, skládání, ohýbání nebo podobné zpracování dřeva, kovů a dalších materiálů

6.5 Nástroje pro nýtování, přibíjení nebo šroubování nebo pro odstraňování nýtů, hřebíků, šroubů nebo pro podobné účely

6.6 Nástroje pro pájení, svařování nebo podobné použití

6.7 Zařízení pro postřik, šíření, rozptyl nebo zpracování tekutých nebo plynných látek jinými způsoby

6.8 Nástroje pro sečení nebo jiné zahradnické činnosti

6.9 Ostatní elektrické a elektronické nástroje v jiné podskupině neuvedené

7 Hračky, vybavení pro volný čas a sporty

7.1 Elektrické vláčky nebo soupravy závodních autíček

7.2 Ruční ovladače videoher

7.3 Videohry

7.4 Počítače pro cyklistiku, potápění, běh, veslování atd.

7.5 Sportovní vybavení s elektrickými nebo elektronickými součástmi

7.6 Výherní mincovní automaty

7.7 Ostatní hračky, vybavení pro volný čas a sport v jiné podskupině neuvedené

8 Lékařské přístroje (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků)**

používané

8.1 v radioterapeutii**

8.2 v kardiologii

8.3 v hemodialýze

8.4 v respirační a anesteziologické praxi

8.5 v radioterapii**

8.6 v in-vitro diagnostice

8.7 k analýze fyziologických funkcí

8.8 k mrazení pro účely poskytování zdravotní péče

8.9 k diagnostice ultrazvukem

8.10 v dalších činnostech jako je zjišťování, prevence, monitorování, ošetření, zmírnění onemocnění, zranění nebo postižení v jiné skupině neuvedené.

9 Přístroje pro monitorování a kontrolu

9.1 Detektory kouře

9.2 Regulátory topení

9.3 Termostaty

9.4 Přístroje pro měření, vážení nebo seřizování pro domácnosti nebo užívané jako laboratorní zařízení

9.5 Ostatní monitorovací a kontrolní přístroje používané v průmyslových zařízeních (např. v kontrolních panelech)

9.6 Ostatní přístroje pro monitorování a kontrolu v jiné podskupině neuvedené

10 Výdejní automaty

10.1 Výdejní automaty na horké nápoje

10.2 Výdejní automaty na horké nebo chlazené lahve nebo konzervy

10.3 Výdejní automaty na tuhé výrobky

10.4 Výdejní automaty na peníze

10.5 Veškerá zařízení, která vydávají automaticky všechny druhy výrobků v jiné podskupině

neuvezená

Elektrozařízení vyjmutá ze skupin elektrozařízení uvedených v příloze č. 7 zákona

1. Výrobky, pro které není elektrický proud hlavním zdrojem energie např. plynový hořák s el. ovládním, s výjimkou elektrických nebo elektronických součástí např. termostat, které mohou být z výrobku vyčleněny.

2. Výrobky, pro které elektronické součásti nejsou nezbytně nutné pro splnění jejich základní funkce, např. blahopřání, mluvicí hračka.

3. Zařízení s elektrickými a elektronickými součástkami, které jsou stálou součástí jiného celku např. autorádio, osvětlení v letadle.

4. Velké stacionární průmyslové nástroje tj. stroje nebo systémy sestavené kombinací jednotlivých zařízení nebo systémů za účelem společného provozu v jednom celku a ke specifickému účelu.

5. Zařízení určená výlučně pro obranu státu, splňující definici elektrozařízení***

6. Lékařské přístroje, které jsou implantované nebo infikované.

7. Běžné, přímo žhavené žárovky a svítidla pro zářivky z domácností.

Poznámka:

+ členění podle skupin se vztahuje i na elektrozařízení nepocházející z domácností

** V zákoně č. 123/2000 Sb., o zdravotnických prostředcích a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, jsou lékařské přístroje uvedeny jako zdravotnické prostředky.

*** nakládání s radioaktivními odpady je v působnosti zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů

Příloha 2

Obr. 1p: Vibrační podavač s prvně testovaným materiálem



Zdroj: PODLEŠÁK, 2013; Měření (archiv autora)

Obr. 3p: Vážení prvních vzorků



Zdroj: PODLEŠÁK, 2013; Měření (archiv autora)

Obr. 2p: Nožový mlýn



Zdroj: PODLEŠÁK, 2013; Měření (archiv autora)

Obr. 4p: Vibrační podavač s drtí po kladivovém drtiči



Zdroj: PODLEŠÁK, 2013; Měření (archiv autora)

Obr. 5p: Fluidní splav



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 7p: Dávkování materiálu pomocí vibračního podavače



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 6p: Nastavení příčného sklonu



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 8p: Stupnice nastavení příčného sklonu



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 9p: Materiál na separační ploše splavu



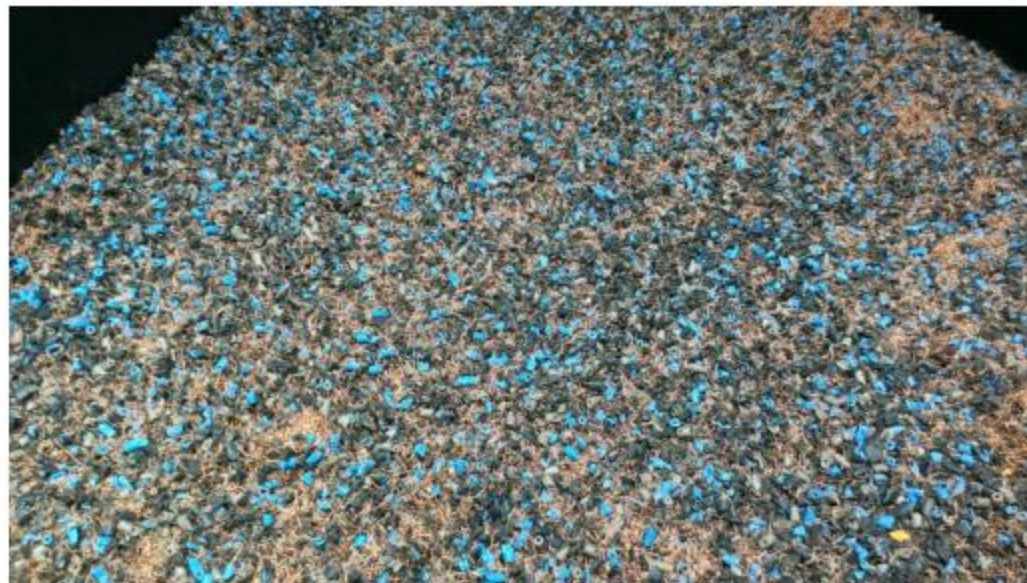
Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archív autora)

Obr. 11p: Materiál na separační ploše splavu detail 2



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archív autora)

Obr. 10p: Materiál na separační ploše splavu detail 1



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archív autora)

Obr. 12p: Detail separovaného materiálu



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archív autora)

Obr. 13p: Plnění zásobníku pomocí dopravníku



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 15p: Separování materiálu na splavu 2



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 14p: Separování materiálu na splavu



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)

Obr. 16p: Separování materiálu na splavu 3



Zdroj: PODLEŠÁK, 2014; Měření (archiv autora)