

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Separace plastových materiálů s využitím free-fall  
elektrostatického separátoru**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan BRABEC**  
Osobní číslo: **E13B0398P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Separace plastových materiálů s využitím free-fall elektrostatického separátoru**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prozkoumejte současný stav plastového odpadového hospodářství.
2. Popište princip free-fall elektrostatického separátoru plastových materiálů.
3. Experimentálně ověřte možnosti vzájemné separace klíčových typů plastů s využitím elektrostatického principu.
4. Zhodnoťte výsledky separace a vyvodte závěry pro praxi.

Pozn. Na KTE k dispozici funkční vzorek elektrostatického separátoru.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. G. Dodbiba, J. Sadaki, A. Shibayana, and T. Fujita, Sorting Techniques for Plastics Recycling, The Chinese Journal Process Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 186, 191, 2006.
2. A. Tilmatine, K. Medles, M. Younes, A. Bendaoud, and L. Dascalescu, Roll-Type versus Free-Fall Electrostatic Separation of Tribocharged Plastic Particles, IEEE Transactions Industry Application, Vol. 46, No. 4, pp. 1564,1569, 2010.
3. M. Saeki, Triboelectric Separation of Three-Component Plastic Mixture, Particulate Science and Technology, Vol. 26, No. 5, pp. 494-506, 2008.
4. D. K. Yanar and B. A. Kwetkus, Electrostatic Separation of Polymer Powders, Journal of Electrostatics, Vol. 36, no. 2?3, pp. 257?266, 1995.
5. V. Štarman, J. Kacerovský, F. Mach, P. Karban and I. Doležel Experimental Study of Triboelectric Separator for Mixture of Plastic Particles, Proc. ISTET 2013, Pilsen, Czech Republic, 2013.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jan Kacerovský**

Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na možnosti separace plastů s využitím free-fall separátoru. Pro účely této práce bylo využito experimentálního zařízení. Ověření vychylování jednotlivých plastů a posouzení možností při separaci dvousložkových směsí vybraných plastů v jejich různých kombinacích navazuje na předešlé práce na tomto separátoru.

## **Klíčová slova**

Elektrická separace, triboelektrický efekt, free-fall separátor, měření, účinnost, plastové částice, směsi plastových částic

## **Abstract**

Submitted thesis is focused on plastic of separation using a free-fall separator. For the purpose of this thesis the experimental equipment was used. The verification of the deflection of particular plastic particles and assessment of possibilities during separation of two-component mixtures of chosen plastics in their various combinations builds on previous thesis in this separator.

## **Key words**

Electrical separation, triboelectric effect, free-fall separator, measurement, effectiveness, plastic particles, mix of plastic particles

## **Prohlášení**

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

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Jan Brabec

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Kacerovskému za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Velké poděkování náleží mé rodině za podporu, trpělivost a povzbuzování po dobu mého studia.

## Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2 SBĚR A SEPARACE PLASTOVÉHO ODPADU.....</b>	<b>12</b>
2.1 PLASTOVÝ ODPAD .....	12
2.2 TECHNOLOGIE PRO SEPARACI PLASTŮ.....	13
2.2.1 Manuální separace.....	13
2.2.2 Automatizovaná separace.....	13
<b>3 ELEKTROSTATICKÁ SEPARACE.....</b>	<b>15</b>
3.1 DESKOVÝ SEPARÁTOR PLATE-TYPE.....	15
3.2 BUBNOVÝ SEPARÁTOR ROLL-TYPE.....	16
3.3 VERTIKÁLNÍ SEPARÁTOR (FREE-FALL).....	16
3.4 NABÍJENÍ ČÁSTIC .....	17
<b>4 POPIS FREE-FALL SEPARÁTORU.....</b>	<b>18</b>
4.1 NABÍJECÍ ZAŘÍZENÍ .....	18
4.1.1 Nabíjení .....	18
4.1.1 Vysoušení.....	19
4.2 SEPARÁTOR.....	19
4.2.1 Podavač.....	20
4.2.2 Elektrody.....	20
4.2.3 Sběrné kolektory.....	21
4.2.4 Zdroj napětí .....	22
<b>5 VLASTNÍ MĚŘENÍ .....</b>	<b>22</b>
5.1 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ .....	22
5.2 POSTUP MĚŘENÍ.....	22
5.3 VYHODNOCENÍ.....	23
<b>6 JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ .....</b>	<b>24</b>
6.1 PLASTY OD FIRMY PURUPLAST.....	25
6.1.1 Copolyester termoplastický elastomer (TPC) .....	25
6.1.2 Akrylonitril-butadien-styren (ABS).....	25
6.1.3 Polyvinylchlorid (PVC).....	26
6.1.4 Polykarbonát/akrylonitril-butadien-styren (PC/ABS) .....	27
6.1.5 Polystyren (PS) – ledničky.....	28
6.1.6 Polyvinylchlorid + akrylonitril-butadien-styren (PVC+ABS) .....	28
6.1.7 Polyamide (PA6 + PA6,6).....	29
6.1.8 Polyvinylchlorid (PVC) – okna.....	30
6.1.9 Polyoxymetylen (POM) .....	30
6.1.10 Houževnatý polystyren (PS HIPS).....	31
6.2 PLASTY OD FIRMY ECO-F.....	32



6.2.1	Polyethyltereftalát (PET).....	32
6.2.2	Vysokohustotní polyethylen (HDPE).....	33
6.2.3	Polypropylen (PP).....	33
6.2.4	Polyethylen (PE).....	34
6.2.5	Polystyren (PS).....	35
6.3	SMĚSI.....	35
6.3.1	Směs TPC a ABS.....	36
6.3.2	Směs PC/ABS a ABS.....	36
6.3.3	Směs PS - ledničky a ABS.....	37
6.3.4	Směs POM a ABS.....	37
6.3.5	Směs TPC a HDPE.....	38
6.3.6	Směs PET a ABS.....	38
6.3.7	Směs TPC a PVC.....	38
6.3.8	Směs PC/ABS a HDPE.....	39
6.3.9	Směs PET a PVC.....	39
6.3.10	Směs PET a HDPE.....	40
6.3.11	Směs PA6 + PA6,6 a ABS.....	40
6.3.12	Směs PS - ledničky a PVC.....	41
6.3.13	Směs PA6+PA6,6 a HDPE.....	41
6.3.14	Směs PA6+PA6,6 a PVC.....	41
6.3.15	Směs POM a HDPE.....	42
6.3.16	Směs PC/ABS a PVC.....	42
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>43</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>		<b>46</b>

## Seznam symbolů a zkratk

T [°C].....	Teplota
rH [%].....	Vzdušná vlhkost
Pur [-,%].....	Čistota separace
Eff [-,%].....	Efektivita separace
m [g].....	Hmotnost
TPC .....	Copolyester termoplastický elastomer
ABS.....	Akrylonitril-butadien-styren
PVC .....	Polyvinylchlorid
PC/ABS .....	Polykarbonát/akrylonitril-butadien-styren
PS.....	Polystyren
PA6 + PA6,6 .....	Polyamid
POM .....	Polyoxymetylen
PS HIPS .....	Houževnatý polystyren
PET .....	Polyethylentereftalát
HDPE .....	Vysokohustotní polyethylen
PP.....	Polypropylen
PE .....	Polyethylen
PS .....	Polystyren

## 1 Úvod

První plast byl představen již v roce 1862 na Velké výstavě v Londýně, jednalo se o nitrát celulosy, který objevil Alexandr Parkes již v polovině minulého století, a představil ho veřejnosti. Po první světové válce se již začaly vyrábět první vinylové plasty (PVC, polystyren), ve 30. letech minulého století byla objevena syntéza prvního polyamidu nylonu. Masová výroba a použití plastů však započala až po druhé světové válce, kdy se stala levnou náhradou klasických materiálů, např. dřeva, skla, oceli a jiných kovů.

Od té doby stále stoupá množství vyprodukovaných plastů.

V roce 1950 se ve světě vyrobilo a spotřebovalo 1,5 mil. tun plastů, v roce 2013 již dosáhla světová úroveň výše 299 mil. tun, což představuje průměrný roční růst téměř 9 %.

Pro rok 2020 se prognózuje výroba plastů na světě ve výši 400 mil. tun, pro rok 2050 více než 700 mil. tun. [1] Tato čísla jsou alarmující také proto, že doba rozpadu jednotlivých plastů je velmi vysoká.

Například obyčejný igelitový sáček se rozkládá 25 let, plastový kelímek 70 let, PET lahve až 100 let a polystyren dokonce desetitisíce let. [2]

Některé druhy, například PVC, dokonce při rozkladu uvolňují do okolí škodlivé látky chlorovodík, dioxiny, hexachlorbenzen a polyaromatické uhlovodíky. [3] Z toho plyne, že udržitelný rozvoj výroby, zpracování a spotřeby plastů, se neobejdou bez efektivního řešení využití odpadů po skončení životnosti výrobků z těchto hmot i odpadu, který při výrobě plastových výrobků vzniká.

Podle materiálu a momentálních možností lze přistoupit k opětovnému použití výrobků, recyklaci, kompostování, energetickému využití a skládkování. [1]

Druhotné využití plastů by však nebylo možné bez sběru a kvalitní separace jednotlivých druhů.

## **2 Sběr a separace plastového odpadu**

### **2.1 Plastový odpad**

#### **Komunální odpad**

Základem úspěšné recyklace odpadních plastů z komunálního odpadu je na počátku třídění v domácnostech a následné využívání žlutých popelnic pro separovaný odpad. O místních podmínkách systému sběru tříděného odpadu vždy rozhoduje obec, takže organizace sběru tříděného odpadu je různá. [4] Informace o druzích tříděného odpadu na samolepících popiskách odpadových nádob se v různých obcích může lišit podle možností a způsobu zpracování jednotlivých firem, které se v dané oblasti svozem a zpracováním odpadu zabývají. Zpravidla do kontejnerů patří fólie, sáčky, plastové tašky, sešlápnuté PET lahve, obaly od pracích, čistících a kosmetických přípravků, kelímky od jogurtů, mléčných výrobků, balicí fólie od spotřebního zboží, obaly od CD disků menší kusy pěnového polystyrenu a další výrobky z plastů. Naopak do kontejnerů nepatří mastné obaly se zbytky potravin nebo jakýchkoliv přípravků, obaly od žíravin a jiných nebezpečných látek, podlahové krytiny, novodurové trubky

Odpad z popelnic je svážen svozovými vozy k dotřídění, jež probíhá většinou na manuálních dotřídovacích linkách.

#### **Průmyslový a technologický plastový odpad**

Významnou součástí odpadového hospodářství v oblasti plastů je také průmyslový odpad vznikající při výrobě výrobků z plastů nebo odpad vznikající při likvidaci strojů a výrobků například aut, ledniček oken nebo elektroniky. Za jejich likvidaci je zodpovědný výrobce. Zákazník za tuto službu platí již při koupi výrobku formou tzv. recyklačního příspěvku PHE. Tento odpad je většinou zpracován přímo firmou zabývající se touto činností, nebo odvezen k dalšímu zpracování.

## **2.2 Technologie pro separaci plastů**

Kvalitním zpracováním komunálního i průmyslového odpadu se zabývají specializované firmy, které tento odpad svážejí, vykupují, třídí a následně zpracovávají na granulát nebo nové finální výrobky, například sáčky na odpadky, plastové dlaždice, kompostéry apod.

V České republice se touto činností zabývá několik firem, například Puruplast, ECO-F, Jelínek-trading a další. Kvalita a následně i cena granulátu je závislá na kvalitě třídění, které probíhá různými způsoby. [5]

### **2.2.1 Manuální separace**

Ze směsi plastů na pohyblivém pásu se ručně vybírají PET lahve, fólie a pěnový polystyren, z nichž každý druh má speciální samostatné zpracování. Pracovníci z pásu odstraňují vše, co do plastů nepatří. Dotříděné druhy plastů včetně zbylé směsi plastových odpadů se lisují do balíků a odváží k dalšímu zpracování a využití (výroba předmětů, granulát, výroba energie). [6]

### **2.2.2 Automatizovaná separace**

Ke snaze o zautomatizování separace vede několik důvodů: odstranění nepříjemné práce, zjednodušení ruční práce při recyklaci složitějších výrobků tím, že se výrobek rozdrťí, a poté jeho rozdrčené části se za pomoci automatické separace oddělí.

Automatické třídění plastů pracuje na několika principech vhodných pro určité druhy plastů a vycházejících z různých fyzikálních a mechanických vlastností plastů. Ve většině případů se jedná o oddělení jednoho druhu od zbývajících. [7] [8]

#### **Fluidní separace**

Tyto separátory se využívá nejčastěji pro oddělení pěnových plastů - jedná se o postup využívající kmitavého pohybu a současného profukování proudem vzduchu, který oddělí lehčí částice, nebo oddělí části plastů na několik skupin při podobně velkých částech podle hmotnosti a podle hustoty.

### **Flotačně sedimentační postup**

Vychází z rozdílných chemicko-fyzikálních vlastností jednotlivých povrchů materiálů určených k oddělení, především povrchového napětí. Třídění probíhá na fázovém rozhraní, například rozhraní voda vzduch. Málo smáčivé látky zůstávají na povrchu kapaliny nebo v pěně (pěnová flotace je používána nejčastěji), smáčivé klesají ke dnu. Různé plasty jsou různě smáčivé pro různé kapaliny. [9]

K oddělení PP, PE od PS, PVC se využívá voda, a pro oddělení HDPE od PP, LDPE je nutné využívat speciální tekutiny. [7]

### **Hydrocyklony**

Umožňují oddělení látek s různou hustotou pomocí odstředivých sil. Tyto síly by v gravitačním poli Země měly malý vliv na dráhu jednotlivých částic, a proto se zde využívá odporu (viskozity) vody.

### **Spektroskopické metody (NIR, FTIR)**

Tyto metody se využívají například k oddělení chlorovaných plastů. Při využití této metody se odpad nedrtí.

**NIR** (Near-infrared) spektrometry - zobrazení v blízké infračervené oblasti - Každý materiál po osvětlení odráží záření v infračervené oblasti spektra, které se liší podle druhu materiálu a je viditelné lidským okem. Senzor odraz zachytí a předá ke zpracování softwaru, poté je předmět linkou vyřazen. [10]

**FTIR** (Fourier transform infrared) spektrometry – infračervené zobrazení s Fourierovou transformací. Různé látky pohlcují různé vlnové délky světla. V případě plastů se jedná o frekvence, které odpovídají kvantům energií potřebným ke změně vibračně a rotační energie molekul (tyto energie jsou kvantovány). Tato kvanta jsou pro látku charakteristická. Výhodou interference spektra je využití celého paprsku. Pro převedení do klasického spektra je nutné využití matematické úpravy. Tento způsob umožňuje měření i silně absorbujících vzorků. [11]

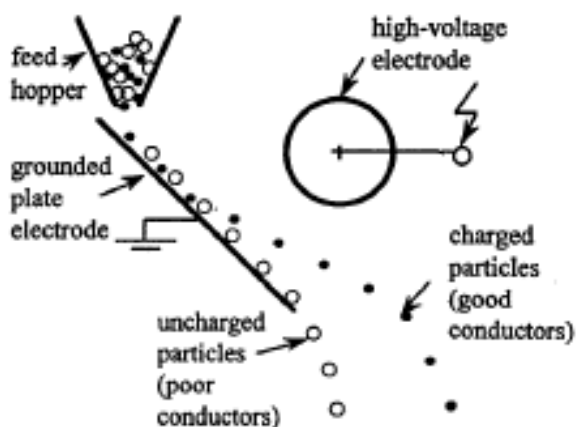
### 3 Elektrostatická separace

Využívá se pro oddělení složek suchých zrnitých směsí. Vychází především z Coulombova zákona, kdy na elektricky nabitá tělesa v elektrickém poli působí elektrická síla. Separace se skládá z několika fází – nabíjení, ovlivnění dráhy a samotná separace. Na jednotlivé částice v separátoru působí nejen elektrické síly, ale i další síly (např. gravitační, odstředivá), které ovlivňují funkčnost jednotlivých zařízení.

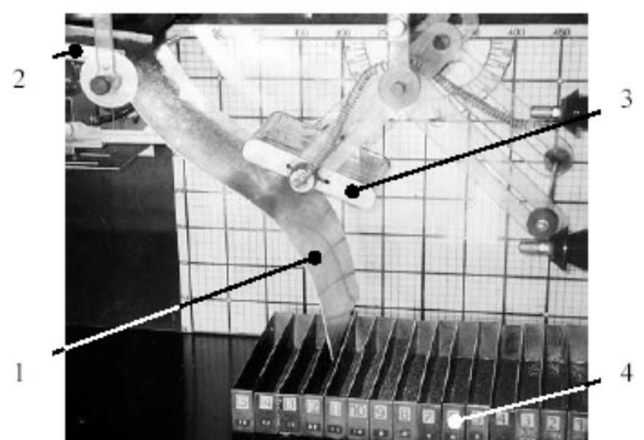
Potřeba separovat složky jak ze směsí pouze látek nevodivých tak i ze směsí vodič izolant, vyžaduje využívání několika odlišných technologií. Elektrostatické separátory je možno dělit několika způsoby. Nejčastěji se odlišují podle způsobu pohybu separovaných částic v průběhu separace. Velký význam má přitom také způsob nabíjení částic, může být využit jeden, nebo jako kombinace několika způsobů.

#### 3.1 Deskový separátor Plate-type

Využívá se pro separaci drobnozrných vodivých částic od větších částic nevodivých látek. K nabíjení částic dochází na principu vodivostní indukce. Skládá se z kovové uzemněné desky vhodně prohnuté a umístěné tak, aby nevodivé částice, u kterých nedochází k nabití, po ní sklouzly. Nad deskou je umístěna vysokonapěťová elektroda většinou oválného tvaru. Nabité vodivé částice jsou elektrodou přitahovány, a tím změny svoji trajektorii a dopadnou do větší vzdálenosti od uzemněné desky. Účinnost tohoto separátoru je ovlivněna prohnutím uzemněné desky i napětím na elektrodě a jejím postavením vůči desce uzemněné.



Obrázek 1 Princip deskového separátoru [12]



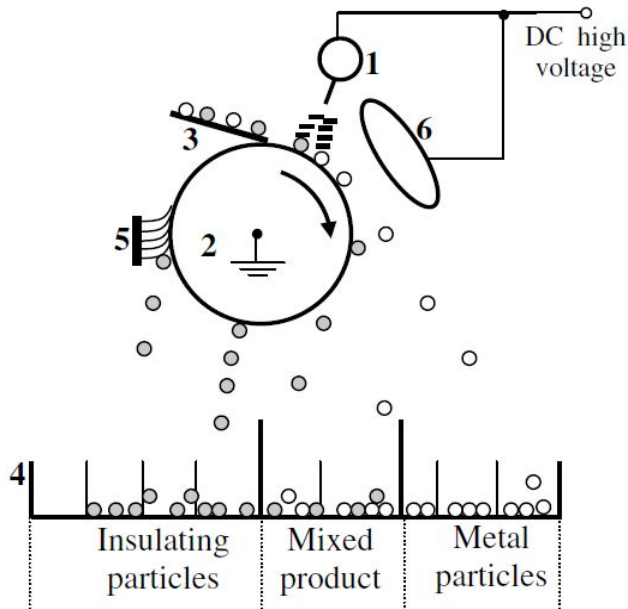
Obrázek 2 deskový separátor [13]

### 3.2 Bubnový separátor Roll-type

Je svojí stavbou a principem vhodný především pro separaci elektricky vodivých látek od nevodivých, například při recyklaci desek tištěných spojů. Pro separaci je vhodný drobně nadrcený materiál, který je přiváděn vibračním dopravníkem. [14]

K elektrování jednotlivých částic dochází pomocí sršící elektrody, která je připojena k vysokému napětí. Nabíjení částic zde probíhá na principu bombardování ionizovanými molekulami vzdušných plynů, které vznikají při korónovém výboji. Po ionizaci jednotlivých částic dojde k separaci. Elektricky vodivé částice se ale rychle vybíjí a spadnou dolů, jejich trajektorie je ovlivňována pouze gravitační a odstředivou silou způsobenou rotující elektrodou. Nevodivé látky zůstávají nabitě a na uzemněném válci ulpívají. Jsou unášeny dále, kde je nad zásobníkem oddělí smetáček.

Pro zdokonalení separace vodivých materiálů se do prostotu za sršící elektrody umísťuje jedna nebo více elektrostatických elektrod, které přitahují vodivé částice, a tím zlepšují kvalitu separace. [18]



Obrázek 3 Schéma Bubnového separátoru[15]

Obrázek 4 Bubnový separátor[15]

### 3.3 Vertikální separátor (free-fall)

Používá se k separaci rozdrčených nebo drobných granulovaných nevodivých materiálů. K nabíjení v tomto separátoru dochází na principu triboelektrického efektu, k němuž dochází



díky množství srážek částic navzájem a tření na stěnách v průběhu pohybu částic uvnitř nabíjecího zařízení způsobeného otáčením tohoto zařízení. Částice mohou získat kladný nebo záporný náboj v závislosti na druhu látky. [16]

Třídění probíhá vlivem elektrického pole, které vzniká mezi nabitými plechovými elektrodami obdélníkového tvaru, připojenými ke zdroji vysokého stejnosměrného napětí. Částice jsou vychylovány Coulombovou silou z původně svislého směru.

### **3.4 Nabíjení částic**

#### **Triboelektrický jev**

Triboelektrický náboj vzniká třením mezi dvěma povrchy různých nevodivých látek, z nichž jeden se nabíjí kladně a druhý záporně.

Pro určení vznikajícího náboje se využívají triboelektrické řady, v nichž jsou na vyšším místě látky relativně kladně nabitě proti látkám v nižší poloze řady. Důležitou charakteristikou triboelektrických látek je triboelektrická afinita  $A_{TE}$  definovaná vztahem

$$A_{TE} = Q_{TE} / W_{TL}, \quad (1)$$

v němž  $Q_{TE}$  je triboelektrický náboj a  $W_{TL}$  je práce spotřebovaná na vytvoření náboje  $Q_{TE}$ . [17]

Potřebná práce je dodávána pohybem nabíjecího zařízení a její velikost je ovlivněna rychlostí otáčení i dobou nabíjení. Velikost náboje vznikající na jednotlivých částicích závisí také na jejím povrchu, drsnosti, působících silách a vnějších podmínkách, například vlhkosti.

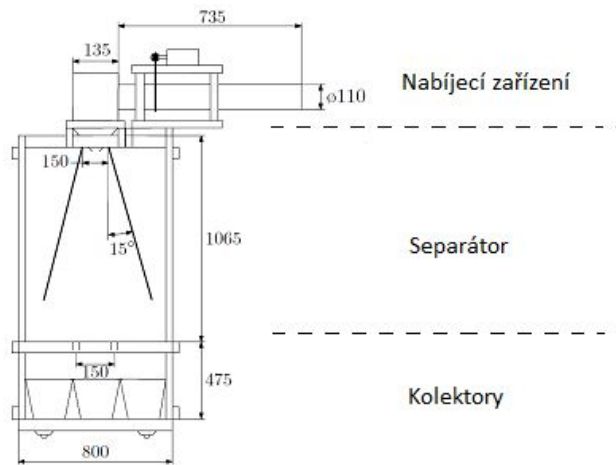
#### **Bombardování ionty**

Náboj na částicích vzniká působením iontů atmosférických plynů, vznikajících na ionizační elektrodě. [18]

#### **Vodivostní indukce**

Tělesa při kontaktu s elektricky nabitým povrchem získávají potenciál o stejné velikosti i polaritě. [19]

## 4 Popis free-fall separátoru



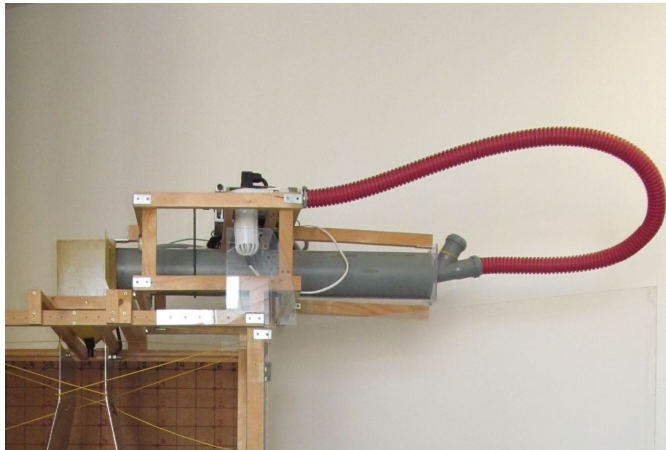
Obrázek 5 Separátor Free-Fall s popisem

### 4.1 Nabíjecí zařízení

#### 4.1.1 Nabíjení

Zařízení se skládá z rotující trubice vyrobené z PP, na vnitřní straně opatřené lamelami z kompozitu tvořeného skelnou tkaninou a epoxidovou pryskyřicí. Jedná se o obdobný materiál, který se pro své elektrické vlastnosti využívá na výrobu desek plošných spojů. Tyto lamely, kolmé na plášť válce, tvoří při nabíjení překážky tak, aby docházelo k lepšímu promíchání (či mísení) a tím k lepšímu nabíjení jednotlivých částic. Tato trubice je uchycena v dřevěné konstrukci, jež umožňuje vhodné nastavení úhlu pro vysypání částic z trubky, od vodorovné polohy pro nabíjení, po sklon 15 stupňů pro separaci. Otvor pro vstup částic, které nejsou nabitě (neutrální), je volný. Na opačné straně trubky je v průběhu nabíjení zábrana vyrobená ze skloepoxidového laminátu, která zabraňuje částicím opustit trubici, dříve než budou dostatečně nabitě.

Rotační pohyb trubice je realizován pomocí stejnosměrného motoru se jmenovitým napětím 18V. Regulace otáček je provedena pomocí změny napájecího napětí a snímače otáček. Přenos rotačního pohybu je pomocí gumového řemene.



*Obrázek 6 Nabíječ*

### **4.1.1 Vysoušení**

Pro vysoušení prostor nabíjecího zařízení je využito fěnu typu 521 od výrobce Zlatník Ostrava (seriové číslo – 44060) o výkonu 350 W, zapnutý je na maximální výkon.



*Obrázek 7 Vysoušení*

## **4.2 Separátor**

Konstrukce vlastního separátoru je sestavena z dřevěných latí. Boční průhledné stěny jsou vyrobeny z PMMA (polymethylmethakrylát) desek. V těchto deskách jsou otvory pro změny vzdáleností elektrod.

### **4.2.1 Podavač**

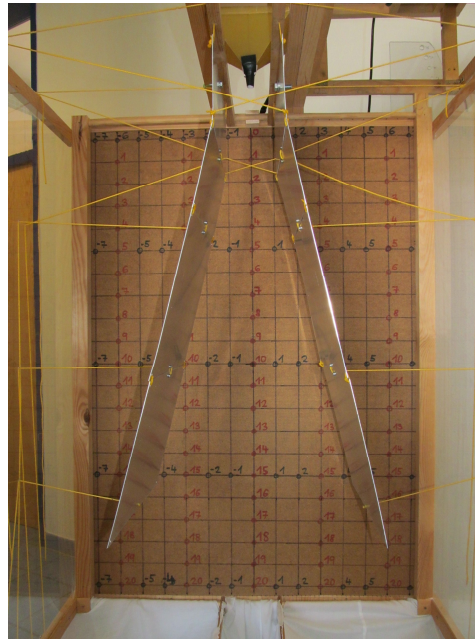
Podavač je vstupní část, jejímž úkolem je usměrnit svazek nabitých částic a zároveň co nejméně ovlivnit jejich náboj. Proto je vyroben skloepoxidového laminátu, který má dostatečně nízkou elektrickou vodivost. Gravitační síla způsobuje samovolný pohyb částic podavačem směrem dolů. Dno podavače má tvar trychtýře s vyústěním mezi elektrodami.



*Obrázek 8 Podavač*

### **4.2.2 Elektrody**

Hlavní částí separátoru jsou dvě elektrody vyrobené z hliníkových plátů o tloušťce 1 mm a rozměrech 800x300mm, mezi nimiž vzniká elektrostatické pole. Pro snazší manipulaci při změnách polohy jsou připevněny ke konstrukci provázky. V nejužším místě mezi elektrodami je 9 cm. Pravá elektroda je připojena jako kladná, levá elektroda je záporná.

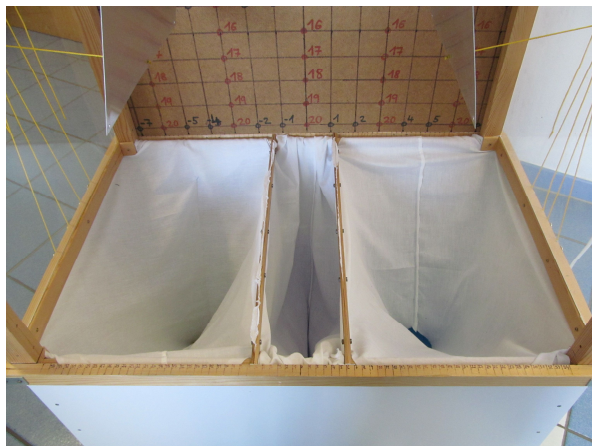


*Obrázek 9 Elektrody*

### **4.2.3 Sběrné kolektory**

Skládají se z dřevěného rámu souměrně rozdělujícího dolní prostor separátoru na tři části. Prostřední část má šířku 6 cm.

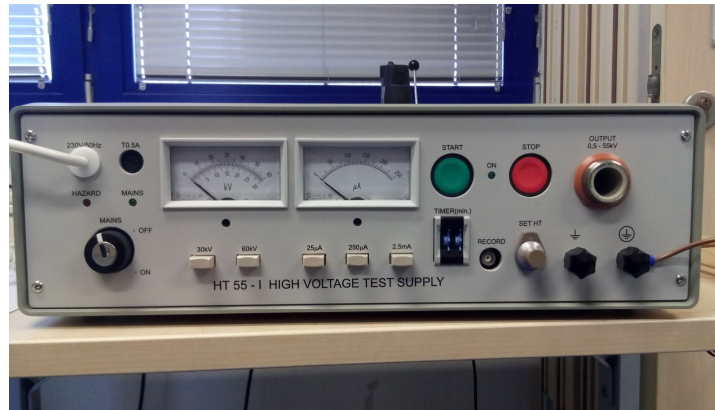
Další pohyb již oddělených částic je usměrňován textilními vložkami, na jejichž konci se nachází sběrné koše.



*Obrázek 10 Sběrné kolektory*

#### 4.2.4 Zdroj napětí

Pro generaci elektrostatického pole je použit vysokonapěťový zdroj HT 55-I HIGH VOLTAGE TEST SUPPLY s možností volby rozsahu 30 kV a 60 kV.



Obrázek 11 Vysokonapěťový zdroj

## 5 Vlastní měření

První sadou měření bylo ověřeno, na kterou stranu se jednotlivé plasty vychylují. Po vyhodnocení vychylování jednotlivých plastů byly stanoveny dvousložkové směsi.

### 5.1 Příprava měření

Po připojení desek separátoru k vysokonapěťovému zdroji byl zapojen fén a motor do elektrické sítě. Zároveň byla zapojena k notebooku vysokorychlostní kamera pro záznam padajících plastových částic mezi deskami separátoru.

### 5.2 Postup měření

#### Příprava měření

Pro přehlednost byl před každým měřením vytvořen nový soubor pro záznam videosekvence

Pro každé měření byl připraven vzorek o hmotnosti 100g, V případě směsí byly obě látky zastoupeny hmotností 50 g.

Otáčky byly nastaveny na 200 ot/min.

Poté započalo vysoušení vzduchu v trubce, v níž bude následovat nabíjení částic. Vysoušení probíhalo 120 s, za tuto dobu bylo dosaženo hodnot vlhkosti 10 - 20 % a teploty 30 - 40 °C.

### **Nabíjení a separace**

Po ukončení vysoušení byl umístěn vzorek materiálu do nabíjecí trubky (na výstupu uzavřené proti úniku částic) otáčející se na předem nastavené otáčky. Po uplynutí 120s byla vysunuta zábrana na výstupu a proběhla separace.

### **Vyhodnocení**

Po průchodu všech částic separátorem byly zváženy obsahy jednotlivých košů. Při separaci dvousložkových směsí následovalo ruční dotřídění pro určení hmotnosti nesprávně vytříděných složek.

Vysokorychlostní kamerou byl zaznamenáván záznam ze všech měření na notebooku ve formátu seq.

## **5.3 Vyhodnocení**

**Výpočet efektivnosti pro jednotlivé plasty** vychází ze vzorce

$$E_{ff} = (m_{kolektor} / m_{celková}) * 100 [\%], \quad (2)$$

kde  $m_{kolektor}$  je hmotnost plasty v kolektoru po separaci a  $m_{celková}$  je hmotnost plasty před separací. V našem případě  $m_{celková}$  je rovna 100g, proto se efektivnost rovná hmotnosti uvedené v gramech.

### Výpočet efektivnosti pro dvousložkovou směs.

$$E_{ff} = (m_L + m_P) / m_{celková} * 100 [\%] \quad (3)$$

$m_L$  - váha levého kolektoru po ručním dotřídění

$m_P$  - váha pravého kolektoru po ručním dotřídění

$m_{celková}$  - hmotnost celého vzorku

### Výpočet čistoty dvousložkové směsi (pur)

#### Pravý koš

$$pur_L = m_L / m_{Lc} \quad (4)$$

$m_L$  - váha levého kolektoru po ručním dotřídění

$m_{Lc}$  - celková váha levého kolektoru

$$pur_P = m_P / m_{Pc} \quad (5)$$

$m_P$  - váha pravého kolektoru po ručním dotřídění

$m_{Pc}$  - celková váha pravého kolektoru

#### Průměrná čistota

$$pur = (pur_L + pur_P) / 2 \quad (6)$$

## 6 Jednotlivá měření

Plasty byly získány od firem Puruplast a ECO-F. Plasty mají tvar granulátu a drti, jednotlivé informace o velikosti a hustotě jsou uvedené u jednotlivých tabulek.

U některých plastů je známo jejich původní využití v době jejich používání. U těchto plastů je toto vždy označeno v textu a tabulkách.

Hodnoty byly stanoveny na základě předchozích měření na tomto separátoru. Sledovanými veličinami byly: doba vysoušení, doba nabíjení a napětí mezi elektrodami. Optimální hodnoty byly stanoveny: doba vysoušení 120 s, doba nabíjení 120 s a napětí mezi elektrodami 45 kV. Pro označení jednotlivých kolektorů v tabulkách byly použity zkratky: PK pravý kolektor, SK střední kolektor, LK levý kolektor.



## 6.1 Plasty od firmy Puruplast

### 6.1.1 Copolyester termoplastický elastomer (TPC)

Datum měření: 20. 2. 2015

Okolní teplota: 23,9 °C

Vzdušná vlhkost: 32,8 %

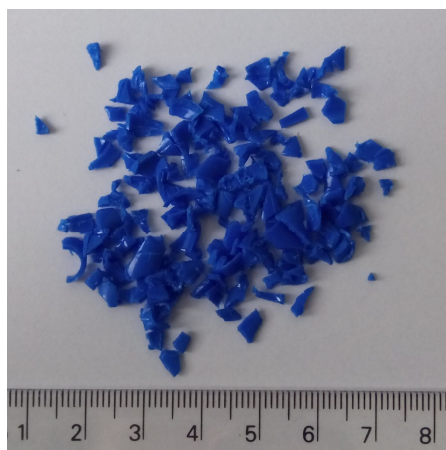
Hmotnost částice: 0,0101 g

Průměr částice: 2,52 mm

Hustota: 1,2-1,3 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
33	19	96,29	3,36	0,62
35	16,1	94,36	4,35	1,34
34,6	18,2	97,28	2,76	0,17

Tab. 1 Výsledek experimentu s TPC



Obrázek 12 TPC

TPC se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 95,98 %.

### 6.1.2 Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

Datum měření: 27. 2. 2015

Okolní teplota: 24,5 °C

Vzdušná vlhkost: 26 %

Hmotnost částice: 0,0214 g

Průměr částice: 3,4 mm

Hustota: 1,04 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
35,2	18,0	4,70	6,19	87,76
31,7	15,7	4,7	6,51	88,14
35,3	14,9	2,8	6,68	89,94

Tab. 2 Výsledky experimentu s ABS



Obrázek 12 ABS

ABS se vychylovalo do levého kolektoru s průměrnou účinností 88,61 %.

### 6.1.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Datum měření: 27. 3. 2015

Okolní teplota: 24 °C

Vzdušná vlhkost: 28,5 %

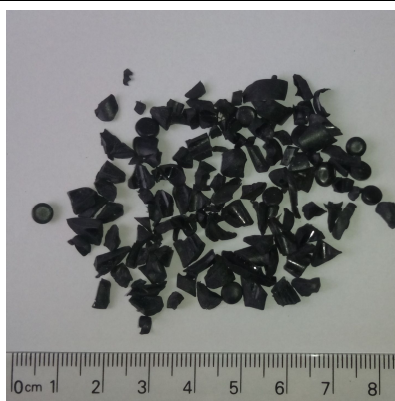
Hmotnost částice: 0,0327 g

Průměr částice: 3,57 mm

Hustota: 1,38 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
37,8	12,0	5,16	22,52	71,46
38	15	4,92	21,6	73,02
38,6	14,1	6,42	29,53	64,03

Tab. 3 Výsledky experimentu s PVC



Obrázek 13 PVC

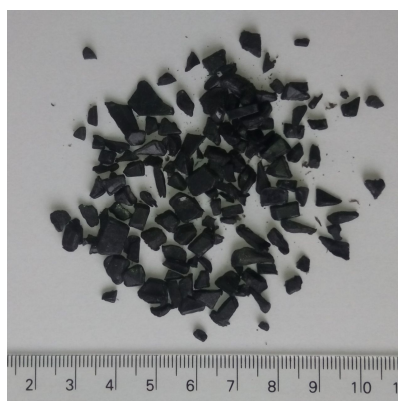
PVC se vychylovalo do levého kolektoru s průměrnou účinností 69,5 %.

#### 6.1.4 Polykarbonát/akrylonitril-butadien-styren (PC/ABS)

Datum měření: 6. 3. 2015  
Okolní teplota: 23 °C  
Vzdušná vlhkost: 33 %  
Hmotnost částice: 0,0358 g  
Průměr částice: 3,96 mm  
Hustota: 1,1 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
31,5	19,5	95,94	2,46	1,63
36	15,6	96,56	1,7	1,23
36,5	14,7	96,43	2,14	2,07

Tab. 4 Výsledky experimentu s PC/ABS



Obrázek 14 PC/ABS

PC/ABS se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 96,31 %.

### 6.1.5 Polystyren (PS) – ledničky

Datum měření: 6. 3. 2015

Okolní teplota: 23 °C

Vzdušná vlhkost: 33 %

Hmotnost částice: 0,0133 g

Průměr částice: 2,9 mm

Hustota: 1,05 g/cm<sup>3</sup>

T [°C]	rH [%]	PK	SK	LK
		m [g]	m [g]	m [g]
34,6	16,2	85,77	9,79	3,73
33,4	18	88,82	8,66	2,71
34,7	16,8	88,59	7,39	3,9

Tab. 5 Výsledky experimentu s PS – ledničky



Obrázek 15 PS - ledničky

PS se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 87,72 %.

### 6.1.6 Polyvinylchlorid + akrylonitril-butadien-styren (PVC+ABS)

Datum měření: 6. 3. 2015

Okolní teplota: 23 °C

Vzdušná vlhkost: 33 %

Hmotnost částice: 0,0367 g

Průměr částice: 4,07 mm

Hustota: 1,04 g/cm<sup>3</sup> a 1,38 g/cm<sup>3</sup>

T [°C]	rH [%]	PK	SK	LK
		m [g]	m [g]	m [g]
33,7	18,9	37,15	7,55	53,66
36,5	15,9	31,14	16,02	53,91
32,3	20,6	29,97	23,65	45,79

Tab. 6 Výsledky experimentu s PVC + ABS



Obrázek 16 PVC+ABS

PVC se vychylovalo do levého kolektoru s průměrnou účinností 51,12 %.

### 6.1.7 Polyamide (PA6 + PA6,6)

Datum měření: 6. 3. 2015

Okolní teplota: 23 °C

Vzdušná vlhkost: 33 %

Hmotnost částice: 0,1079 g

Průměr částice: 5,66 mm a 3,21 mm

Hustota: 1,14 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
38,7	13,7	90,01	5,57	4,41
38,5	13,7	89,81	5,1	4,98
37,5	15,7	89,54	5,12	4,67

Tab. 7 Výsledky experimentu s PA6 + PA6,6



Obrázek 17 PA6+PA6,6

PA6 + PA6,6 se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 89,79 %.

### 6.1.8 Polyvinylchlorid (PVC) – okna

Datum měření: 26. 3. 2015

Okolní teplota: 24 °C

Vzdušná vlhkost: 36 %

Hmotnost částice: 0,0261 g

Průměr částice: 3,31 mm

Hustota: 1,38 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
35,3	18,3	15,35	53,77	30,81
36,2	17,4	20,09	60,91	18,34
40,3	13	20,16	60,84	17,77

Tab. 8 Výsledky experimentu s PVC - okna



Obrázek 18 PVC - okna

PVC - okna se málo vychyloval z kolmého pádu, nedostatečně se nabíjel. Proto s ním nebylo počítáno při volbě směsí. Toto špatné vychylování oproti PVC bylo způsobeno dlouhým pobytem na slunci v době životnosti oken, znečištěním a další možností je rozdílná velikost částic.

### 6.1.9 Polyoxymetylen (POM)

Datum měření: 27. 3. 2015

Okolní teplota: 24 °C

Vzdušná vlhkost: 28,5 %

Hmotnost částice: 0,0117 g

Průměr částice: 2,51 mm

Hustota: 1,41 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
42,7	8,7	77,75	11,31	10,16
42,4	10	88,07	6,36	7,47
43	10,1	82,7	9,67	9,97

Tab. 9 Výsledky experimentu s POM



Obrázek 19 POM

POM se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 82,84 %.

### 6.1.10 Houževnatý polystyren (PS HIPS)

Datum měření: 26. 3. 2015

Okolní teplota: 24 °C

Vzdušná vlhkost: 36 %

Hmotnost částice: 0,194 g

Průměr částice: 3,28 mm

Hustota: 1,05 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
35	18,5	10,63	77,50	11,67
36,9	14,2	12,23	78,43	8,68
36	18	16,71	75,98	7,28

Tab. 10 Výsledky experimentu s PS HIPS



Obrázek 20 PS HIPS

PS HIPS se málo vychyloval z kolmého pádu, nedostatečně se nabíjel. Proto s ním nebylo počítáno při volbě směsí.

## 6.2 Plasty od firmy ECO-F

### 6.2.1 Polyethylentereftalát (PET)

Datum měření: 31. 3. 2015

Okolní teplota: 24,5 °C

Vzdušná vlhkost: 34 %

Hmotnost částice: 0,0166 g

Průměr částice: 2,843 mm

Hustota: 1,38 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
36	19	95,54	3,99	0,5
34	20,5	97,5	1,74	0,38
38,5	16,5	97,01	2,41	0,56

Tab. 11 Výsledky experimentu s PET



Obrázek 21 PET

PET se vychylovalo do pravého kolektoru s průměrnou účinností 96,68 %.



### 6.2.2 Vysokohustotní polyethylen (HDPE)

Datum měření: 18. 2. 2015

Okolní teplota: 23 °C

Vzdušná vlhkost: 30,5 %

Hmotnost částice: 0,0186 g

Průměr částice: 3,35 mm

Hustota: 0,95 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
36,5	15,4	6,63	23,19	70,69
35,4	16,5	5,53	20,3	74,19
33,1	20,5	6,88	25,16	68,3

Tab. 12 Výsledky experimentu s HDPE



Obrázek 22 HDPE

HDPE se vychylovalo do levého kolektoru s průměrnou účinností 71,06 %.

### 6.2.3 Polypropylen (PP)

Datum měření: 20. 2. 2015

Okolní teplota: 25 °C

Vzdušná vlhkost: 28 %

Hmotnost částice: 0,0116 g

Průměr částice: 2,86 mm

Hustota: 0,85 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
35,8	13,2	8,50	72,36	20,19
38,8	14,0	7,74	76,77	15,41
35	13,5	10,37	69,09	20,80

Tab. 13 Výsledky experimentu s PP



Obrázek 23 PP

PP se málo vychyloval z kolmého pádu, nedostatečně se nabíjel z důvodu shody použitého materiálu nabíjecí trubice a částic, a tím dostatečně nedocházelo k triboelektrickému jevu. Proto s ním nebylo počítáno při volbě směsí.

#### 6.2.4 Polyethylen (PE)

Datum měření: 20. 2. 2015

Okolní teplota: 25 °C

Vzdušná vlhkost: 28 %

Hmotnost částice: 0,0219 g

Průměr částice: 3,56 mm

Hustota: 0,93 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
35,8	13,9	16,40	53,17	30,73
38,2	12,8	16,39	54,25	29,98
33	13,6	12,85	53,88	34,24

Tab. 14 Výsledky experimentu s PE



Obrázek 24 PE

PE se málo vychyloval z kolmého pádu, nedostatečně se nabíjel. Proto s ním nebylo počítáno při volbě směsí.

### 6.2.5 Polystyren (PS)

Datum měření: 18. 2. 2015

Okolní teplota: 23 °C

Vzdušná vlhkost: 30,5 %

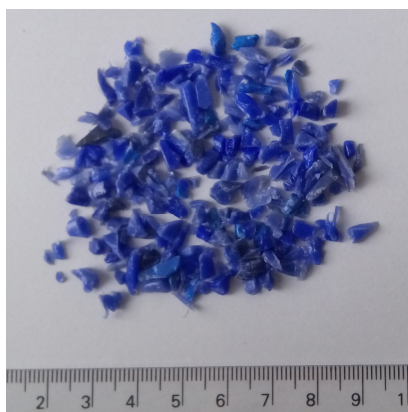
Hmotnost částice: 0,0233 g

Průměr částice: 3,49 mm

Hustota: 1,05 g/cm<sup>3</sup>

		PK	SK	LK
T [°C]	rH [%]	m [g]	m [g]	m [g]
37,2	16,4	6,29	30,76	62,34
35,2	13,9	8,22	30,64	59,94
40	11,5	9,7	34,58	55,4

Tab. 15 Výsledky experimentu s PS



Obrázek 25 PS

PS se vychylovalo do levého kolektoru s průměrnou účinností 59,23 %.

### 6.3 Směsi

Směsi byly voleny s ohledem na předchozí měření, která ukázala, kam se jednotlivé plasty vychylují. Pro určení výsledné účinnosti a čistoty výsledného separátu bylo nutné použít částice různé velikosti a různých barev. Poté jsme postupovali od nejvíce se vychylujících materiálů k hůře se vychylujícím.

### 6.3.1 Směs TPC a ABS

Datum měření: 31. 3. 2015

Okolní teplota: 26,26 °C

Vzdušná vlhkost: 26,26 %

T [°C]	rH [%]	TPC (PK)			SK m [g]	ABS (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	TPC [g]	ABS [g]		m [g]	ABS [g]	TPC [g]			
39	14,5	48,18	46,02	2,46	5,47	45,25	42,99	3,61	1,10	0,94	0,874
39,5	15	46,47	44,52	1,95	5,22	46,47	43,78	2,69	1,84	0,95	0,883
37,5	17	48,65	46,82	1,83	4,2	46,34	44,64	1,70	0,81	0,96	0,915

Tab. 16 Výsledky separace směsi TPC a ABS

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 89 % a průměrné čistoty 95 %.  
Průměrný odpad byl 1,25 g.

### 6.3.2 Směs PC/ABS a ABS

Datum měření: 17. 4. 2015

Okolní teplota: 22 °C

Vzdušná vlhkost: 22 %

T [°C]	rH [%]	PC/ABS (PK)			SK m [g]	ABS (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	PC/ABS [g]	ABS [g]		m [g]	ABS [g]	PC/ABS [g]			
40	10,2	47,6	45,29	2,31	5,04	44,20	43,43	0,77	3,16	0,97	0,887
39	12	49,75	47,08	2,67	4,8	43,95	43,07	0,88	1,50	0,96	0,902
38,8	10,6	50,29	47,84	2,45	6,02	43,27	42,49	0,78	0,42	0,97	0,903

Tab. 17 Výsledky separace směsi PC/ABS a ABS

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 90 % a průměrné čistoty 97 %.  
Průměrný odpad byl 1,69 g.

### 6.3.3 Směs PS - ledničky a ABS

Datum měření: 17. 4. 2015

Okolní teplota: 22 °C

Vzdušná vlhkost: 22 %

		PS - ledničky (PK)			SK m [g]	ABS (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
T [°C]	rH [%]	m [g]	PS ledničky [g]	ABS [g]		m [g]	ABS [g]	PC/ABS [g]			
33,5	14,5	42,57	39,82	2,75	5,49	48,87	46,81	2,06	3,07	0,95	0,866
35,8	10	46,03	43,33	2,70	6,53	46,46	43,12	3,34	0,98	0,93	0,865
32,2	11,5	48,35	44,78	3,57	5,51	46,02	41,93	4,09	0,12	0,92	0,867

Tab. 18 Výsledek separace směsi PS - ledničky a ABS

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 87 % a průměrné čistoty 93 %.  
Průměrný odpad byl 1,16 g.

### 6.3.4 Směs POM a ABS

Datum měření: 30. 4. 2015

Okolní teplota: 21 °C

Vzdušná vlhkost: 23 %

		POM (PK)			SK m [g]	ABS (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
T [°C]	rH [%]	m [g]	POM [g]	ABS [g]		m [g]	ABS [g]	POM [g]			
34	16,5	37,79	34,77	3,02	8,92	48,77	42,03	6,74	4,52	1,00	0,768
38	14	36,99	34,74	2,25	7,31	51,48	43,65	7,83	5,88	0,89	0,749
37,5	12	37,58	34,38	3,20	10,3	46,24	40,49	5,75	4,22	0,90	0,784

Tab. 19 Výsledek separace POM a ABS

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 77 % a průměrné čistoty 93 %.  
Průměrný odpad byl 4,87 g.

### 6.3.5 Směs TPC a HDPE

Datum měření: 30. 4. 2015

Okolní teplota: 21 °C

Vzdušná vlhkost: 23 %

T [°C]	rH [%]	TPC (PK)			SK	HDPE (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	TPC [g]	HDPE [g]		m [g]	HDPE [g]	TPC [g]			
35,8	15,3	42,95	34,63	8,32	23,13	33,14	25,72	7,42	0,78	0,79	0,604

Tab. 20 Výsledek separace TPC a HDPE

U této směsi bylo dosaženo efektivnosti 60 % a čistoty 79 %. Z důvodu nízké efektivnosti nebyla směs dále zkoumána.

### 6.3.6 Směs PET a ABS

Datum měření: 30. 4. 2015

Okolní teplota: 24,5 °C

Vzdušná vlhkost: 24,1 %

T [°C]	rH [%]	PET (PK)			SK	ABS (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	PET [g]	HDPE [g]		m [g]	ABS [g]	PET [g]			
37,5	13	47,42	44,89	2,53	6,06	45,54	42,5	3,04	0,98	0,94	0,874
33,5	16,5	46,15	43,65	2,50	8,05	44,83	41,53	3,30	0,97	0,94	0,852
33,2	13,8	47,53	44,42	3,11	6,7	44,58	41,77	2,81	1,19	0,94	0,862

Tab. 21 Výsledek separace směsi PET a ABS

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 84 % a průměrné čistoty 94 %. Průměrný odpad byl 1,05 g.

### 6.3.7 Směs TPC a PVC

Datum měření: 1. 5. 2015

Okolní teplota: 21 °C

Vzdušná vlhkost: 23 %

		TPC (PK)			SK m [g]	PVC (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
T [°C]	rH [%]	m [g]	TPC [g]	PVC [g]		m [g]	PVC [g]	TPC [g]			
34	17	41,1	40,44	0,66	7,05	51,80	47,47	4,33	0,05	0,95	0,879
36,5	17	39,09	37,24	1,85	10,7	49,19	42,51	6,68	0,92	0,91	0,832
35,5	16	36,42	35,54	0,88	10,3	52,39	47,69	4,70	0,89	0,94	0,798

Tab. 22 Výsledek separace

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 80 % a průměrné čistoty 93 %.  
Průměrný odpad byl 0,25 g.

### 6.3.8 Směs PC/ABS a HDPE

Datum měření: 1. 5. 2015

Okolní teplota: 21 °C

Vzdušná vlhkost: 23 %

		PC/ABS (PK)			SK m [g]	HDPE (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
T [°C]	rH [%]	m [g]	PC/ABS [g]	HDPE [g]		m [g]	HDPE [g]	PC/ABS [g]			
34,6	17,1	44,97	29,81	15,16	21,21	32,80	25,37	7,43	1,02	0,72	0,552

U této směsi bylo dosaženo efektivnosti 55 % a čistoty 72 %. Z důvodu nízké efektivnosti nebyla směs dále zkoumána.

### 6.3.9 Směs PET a PVC

Datum měření: 14. 5. 2015

Okolní teplota: 25,5 °C

Vzdušná vlhkost: 28 %

		PET (PK)			SK m [g]	PVC (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
T [°C]	rH [%]	m [g]	PET [g]	PVC [g]		m [g]	PVC [g]	PET [g]			
34,6	16,6	47,59	46,96	0,63	5,27	46,33	45,17	1,16	0,81	0,98	0,921
33,7	14	42,12	42,12	0,88	6,18	51,47	46,29	5,18	1,43	0,95	0,877
33	17	44,35	43,75	0,60	5,72	48,50	43,92	4,58	0,23	0,95	0,884

Tab. 23 Výsledek separace PET a PVC

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 89 % a průměrné čistoty 96 %.  
Průměrný odpad byl 0,82 g.

### 6.3.10 Směs PET a HDPE

Datum měření: 15. 5. 2015

Okolní teplota: 25,5 °C

Vzdušná vlhkost: 28 %

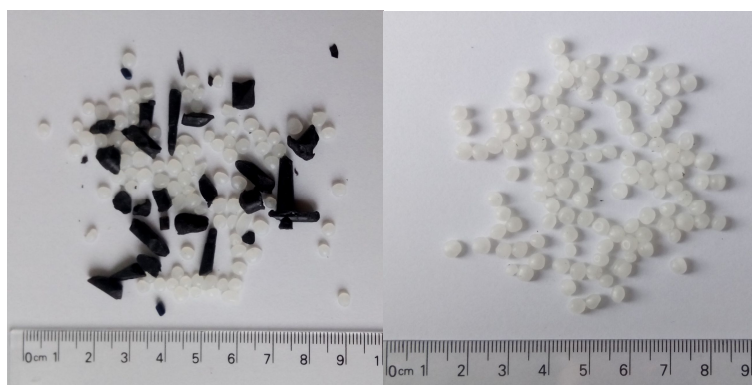
T [°C]	rH [%]	PET (PK)			SK	HDPE (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	PET [g]	HDPE [g]		m [g]	HDPE [g]	PET [g]			
37,7	14,8	36,44	13,49	22,95	42,55	19,46	9,79	9,67	1,55	0,44	0,233
36	12	36,15	11,81	24,34	41,71	20,26	11,76	8,50	1,88	0,73	0,491
35	17,3	79,15	42,70	36,45	11,87	8,73	6,37	2,36	0,25	0,64	0,236

Tab. 24 Výsledek separace PET a HDPE

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 32 % a průměrné čistoty 60 %.  
Průměrný odpad byl 0,39g. Před posledním měřením částice byly omyté čistou vodou pro ověření, zda se účinnost zvýší. Bylo zjištěno, že čistota částic nemá na výsledek měření vliv.

### 6.3.11 Směs PA6 + PA6,6 a ABS

Tato směs byla vyloučena z našeho měření. Tvarem a barevností byly velice blízké a proto by nebylo možné je dotřídit a vyhodnotit.



Obrázek 26 PA6+PA6,6 (vlevo) ABS (vpravo)



### 6.3.12 Směs PS - ledničky a PVC

Datum měření: 1. 5. 2015

Okolní teplota: 21 °C

Vzdušná vlhkost: 23 %

T [°C]	rH [%]	PS – ledničky (PK)			SK m [g]	PVC (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	PS ledničky [g]	PVC [g]		m [g]	PVC [g]	PS ledničky [g]			
36,5	16	47,33	46,52	0,81	3,21	48,79	47,76	1,03	0,67	0,98	0,943
39,7	14	46,99	46,16	0,83	5,03	47,93	46,19	1,74	0,00	0,97	0,937
40	13,8	49,06	47,94	1,12	4,54	46,40	45,75	0,65	0,05	0,98	0,924

Tab. 25 Výsledek PS - ledničky a PVC

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 80 % a průměrné čistoty 93 %.  
Průměrný odpad byl 0,25 g.

### 6.3.13 Směs PA6+PA6,6 a HDPE

Datum měření: 8. 5. 2015

Okolní teplota: 21,6 °C

Vzdušná vlhkost: 32 %

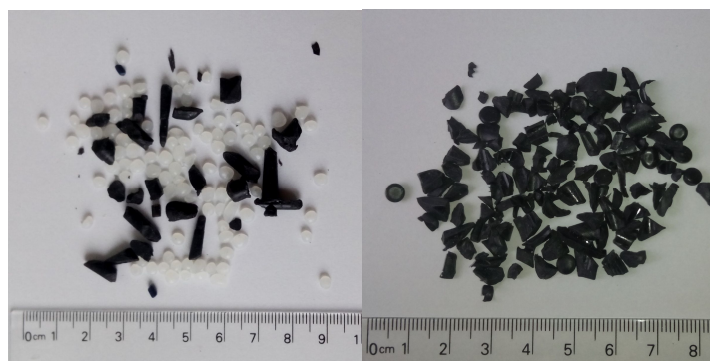
T [°C]	rH [%]	PA6+PA6,6 (PK)			SK m [g]	HDPE (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	PA6+PA6,6 [g]	HDPE [g]		m [g]	HDPE [g]	PA6+PA6,6 [g]			
36,2	13,7	46,03	41,64	4,39	12,57	41,14	37,51	3,63	0,26	0,91	0,792
37,7	12,7	47,41	41,25	6,16	14,53	37,99	34,03	3,96	0,07	0,88	0,753
34,8	14,5	46,04	35,69	10,35	18,45	35,31	30,86	4,45	0,20	0,81	0,666

Tab. 26 Výsledek PA6+PA6,6 a HDPE

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivnosti 74 %, průměrná čistota 87 % a průměrný odpad 0,18 g.

### 6.3.14 Směs PA6+PA6,6 a PVC

Tato směs byla vyloučena z našeho měření. Tvarem a barevností byly velice blízké a proto by nebylo možné je dotřídit a vyhodnotit.



Obrázek 27 PA6+PA6,6 (vlevo) PVC (vpravo)

### 6.3.15 Směs POM a HDPE

Datum měření: 8. 5. 2015

Okolní teplota: 21,6 °C

Vzdušná vlhkost: 32 %

T [°C]	rH [%]	POM (PK)			SK m [g]	PVC (LK)			Odpad	Pur [-]	Eff [-]
		m [g]	POM [g]	PVC [g]		m [g]	PVC [g]	POM [g]			
36,2	15,1	31,17	30,15	1,02	4,71	51,23	46,35	4,88	12,89	0,94	0,765
37,8	13	48,5	46,62	1,88	9,49	52,07	43,23	8,84	-10,06	0,90	0,899
35	13,5	37,32	35,79	1,53	5,23	57,73	46,48	11,25	-0,28	0,88	0,823

Tab. 27 Výsledek POM a PVC

U této směsi bylo dosaženo průměrné efektivity 78 %, průměrná čistota 90 % a průměrný odpad 6,52 g.

### 6.3.16 Směs PC/ABS a PVC

Tato směs byla vyloučena z našeho měření. Tvarem a barevností byly velice blízké a proto by nebylo možné je dotřídit a vyhodnotit.



Obrázek 28 PC/ABS (vlevo) PVC (vpravo)

## Závěr

Obsahem této bakalářské práce bylo praktické měření na triboelektrickém free-fall separátoru. V rámci práce byla provedena měření jednotlivých plastových granulátů a dvousložkových směsí.

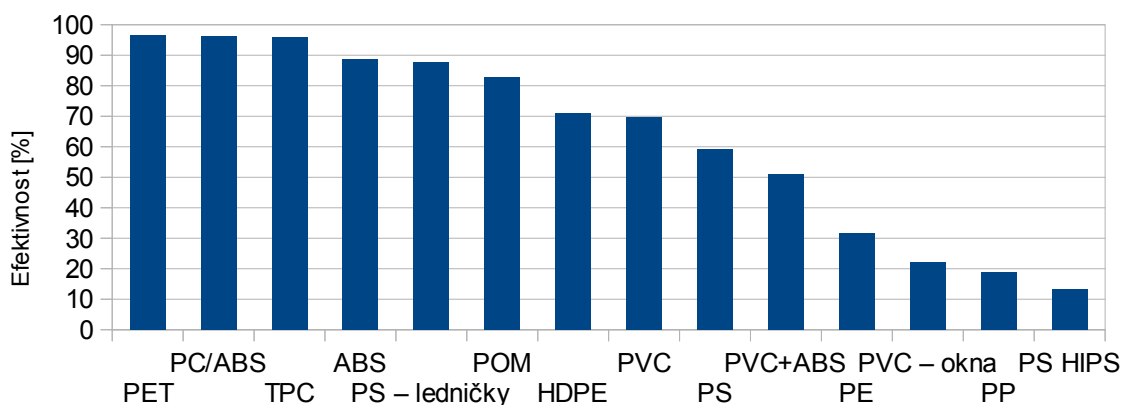
Vychýlení jednotlivých plastů s účinností nad 90 % bylo dosaženo s TPC (95,98 %), PC/ABS (96,31 %), PET (96,68 %).

Vychýlení plastů s účinností 80 - 90 % bylo dosaženo s ABS (88,61 %), PS - ledničky (87,73 %), PA6+PA6,6 (89,79 %), POM (82,84 %).

Vychýlení plastů s účinností 70 - 80 % bylo dosaženo s HDPE (71,06 %).

S ostatními plasty bylo dosaženo horší účinnosti. Velká část vzorku se nacházela ve středním kolektoru PVC (69,5 %), PS (59,23 %), PE (31,65 %), PVC - okna (22 %), PP (18,8 %), PS HIPS (13,19 %), PVC+ABS (51,12 %).

Grafické zobrazení efektivností všech plastů je zobrazeno v grafu 1.



Graf 1 Efektivnost vychylování plastů

Směsi byly voleny s ohledem na účinnost vychylování z předchozího měření jednotlivých plastů. Postupováno bylo od nejlepších po horší efektivnost vychylování. Směsi s efektivností třídění nad 90 % byly: TPC a ABS (efektivnost 90 % a čistota 95 %), PC/ABS a ABS (efektivnost 90 % a čistota 97 %), PS a PVC (efektivnost 93 % a čistota 98 %).

Směsi s efektivností třídění mezi 80 - 90 % byly: PS a ABS (efektivnost 87 % a čistota 93 %), PET a ABS (efektivnost 87 % a čistota 94 %), PET a PVC (efektivnost 86 % a čistota 96 %), TPC a PVC (efektivnost 84 % a čistota 93 %), POM a PVC (efektivnost 83 % a čistota 90 %).

Směsi s efektivností třídění mezi 70 - 80 % byly: POM a ABS (efektivnost 77 % a čistota 93 %), PA6+PA6,6 (efektivnost 74 % a čistota 87 %).

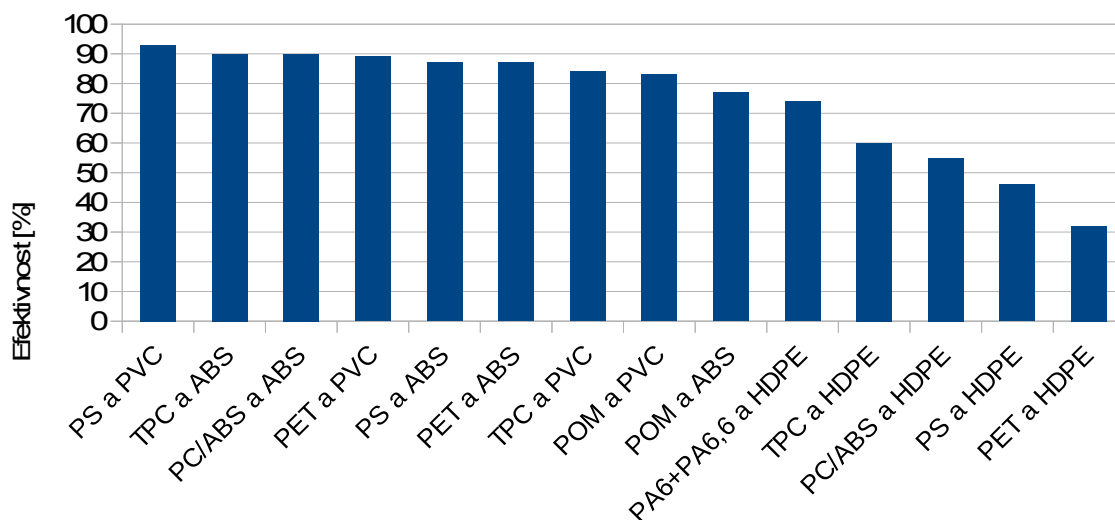
Směsi s efektivností pod 70 % byly: TPC a HDPE (efektivnost 60 % a čistota 79 %), PC/ABS a HDPE (efektivnost 55 % a čistota 72 %), PS a HDPE (efektivnost 46 % a čistota 69 %), PET a HDPE (efektivnost 32 % a čistota 60 %). Tyto směsi nejsou vhodné pro tento typ separace.

Možností vylepšení separace je několik. Je možné zvýšit dobu nabíjení částic, změnit hodnotu napětí mezi elektrodami nebo také změnit geometrii elektrod.

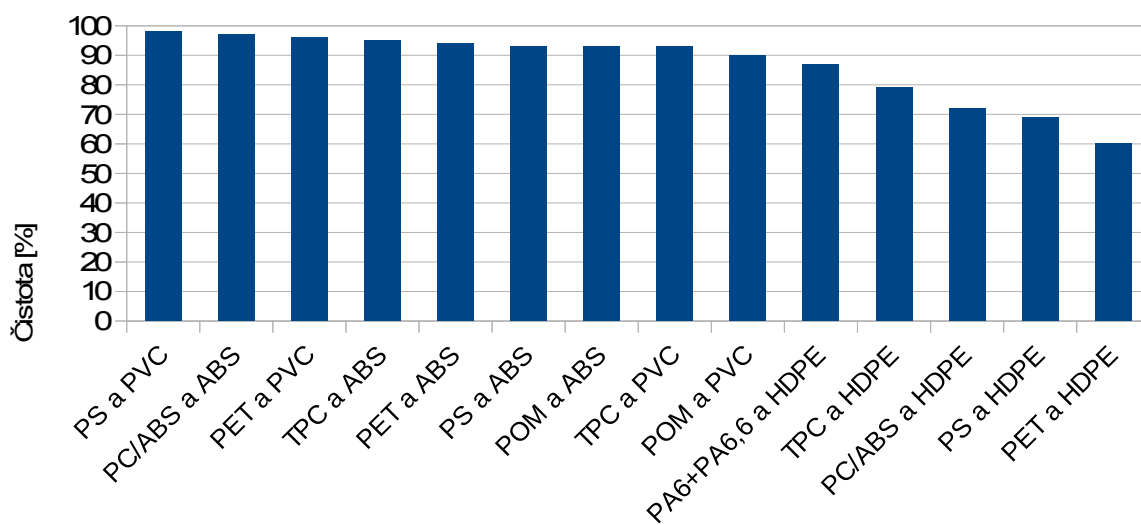
Efektivita třídění směsí je graficky zobrazena v grafu 2 a čistota je vyobrazena v grafu 3.

	Eff [%]	Pur [%]
PS a PVC	93	98
TPC a ABS	90	95
PC/ABS a ABS	90	97
PET a PVC	89	96
PS a ABS	87	93
PET a ABS	87	94
TPC a PVC	84	93
POM a PVC	83	90
POM a ABS	77	93
PA6+PA6,6 a HDPE	74	87
TPC a HDPE	60	79
PC/ABS a HDPE	55	72
PS a HDPE	46	69
PET a HDPE	32	60

Tab. 28 Seřazené směsi podle efektivnosti



Graf 2 Efektivnost třídění směsí



Graf 3 Čistota jednotlivých směsí

## **Seznam literatury a informačních zdrojů**

- [1] Aktuální údaje o plastech a využití plastových odpadů [online]. [Cit. 3.6.2015].  
Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/11996-aktualni-udaje-o-plastech-a-vyuziti-plastovych-odpadu>
  
- [2] Odpady [online]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z:  
<http://www.krasec.cz/krasec/otazkydetail/479>
  
- [3] Proč si nehrát s PVC? aneb čím PVC škodí [online]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z:  
<http://arnika.org/proc-si-nehrat-s-pvc>
  
- [4] Jak správně třídít [online]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z:  
<http://www.jaktridit.cz/cz/trideni/jak-spravne-tridit-barevne-kontejnery/plast>
  
- [5] Co znamená princip RRR [online]. [Cit. 24.5.2015]. Dostupné z:  
[http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=odpady:jak\\_se\\_tridi\\_a\\_recykluji\\_plasty](http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=odpady:jak_se_tridi_a_recykluji_plasty)
  
- [6] Třídění odpadů v Jihočeském kraji, co se děje s odpadem [online]. [Cit. 3.6.2015].  
Dostupné z: <http://www.jihocesketrideni.cz/co-se-deje-s-odpadem>
  
- [7] Recyklace plastů [prezentace]. [Cit. 14.4.2015]. Dostupné z:  
[http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/14\\_%20RECYKLACE%20PLASTU.pdf](http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/14_%20RECYKLACE%20PLASTU.pdf)
  
- [8] Ondřej Maliník, Možnosti recyklace elektronického odpadu, Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009, 51 str., [online]. [Cit. 6.5.2015]. Dostupné z:  
[https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/9274/malan%C3%ADk\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/9274/malan%C3%ADk_2009_bp.pdf?sequence=1)
  
- [9] Princip flotace [online]. [Cit. 10.5.2015]. Dostupné z:  
[http://hgfl0.vsb.cz/546/Flotace/text\\_2.htm](http://hgfl0.vsb.cz/546/Flotace/text_2.htm)
  
- [10] Představení automatické třídící linky s NIR detekcí [online]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/predstaveni-automaticke-tridici-linky-s-nir-detekci/>

- [11] IR a UV VIS spektroskopie [prezentace]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z:  
<http://physics.ujep.cz/~mkormund/P219/NanoMataChar-prednaska3.pdf>
- [12] VLAD, Simona, Michaela MIHAILESCU, Dan RAFIROIU, Alexandru IUGA a Lucian DASCALESCU. Numerical analysis of the electric field in plate-type electrostatic separators. *Journal of Electrostatics*. 2000, 48(3-4): 217-229. DOI: 10.1016/s0304-3886(99)00067-4.
- [13] Numerical Computation of Conducting Particle Trajectories in Plate-Type Electrostatic Separators
- [14] DASCALESCU, L., A. MIHALCIOIU, A. TILMATINE, M. MIHAILESCU, A. IUGA a A. SAMUILA. A linear-interaction model for electrostatic separation processes. In: *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344)* [online]. 2002 [cit. 2015-06-04]. DOI: 10.1109/ias.2002.1042741.
- [15] Electrostatic separators of particles: Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures
- [16] TILMATINE, Amar, Karim MEDLES, Mohamed YOUNES, Abdelber BENDAOUD a Lucian DASCALESCU. Roll-Type Versus Free-Fall Electrostatic Separation of Tribocharged Plastic Particles. *IEEE Transactions on Industry Applications* [online]. 2010, 46(4): 1564-1569 [cit. 2015-06-04]. DOI: 10.1109/tia.2010.2049553.
- [17] [online]. [Cit. 3.6.2015]. Dostupné z:  
<http://sodomkalubomir.blog.cz/1308/triboelektrina-a-triboluminiscence-polymeru-a-nanovlaken-1>
- [18] IUGA, AI, et al. Corona-electrostatic separators for recovery of waste non-ferrous metals. *Journal of Electrostatics*, 1989, 23: 235-243 s.
- [19] TAYLOR, J. B. Dry electrostatic separation of granular materials. In: *Industry Applications Society Annual Meeting, 1988., Conference Record of the 1988 IEEE*. IEEE, 1988. 1741- 1759 s.

