



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DRTIČE NA PLASTOVÝ ODPAD

PRODUCTION OF CRUSHER ON THE PLASTIC WASTE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Květoun

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Květoun
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výroba automobilových světel a technických svítidel
Vedoucí práce:	Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba drtiče na plastový odpad

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na recyklaci plastového odpadu a konstrukci drtiče plastového odpadu.

Cíle diplomové práce:

- Literární studie zaměřená na plastové materiály a možnosti jejich recyklace.
- Přehled současné výroby drtičů.
- Návrh a zhodnocení nového typu drtiče plastů.
- Konstrukční řešení drtiče.
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. ISBN DT 678.5(075.8).

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7. růz s., CD-ROM.

HONZÍK, Roman: Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace. Biom.cz [online]. 2004-08-18 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z WWW: . ISSN: 1801-2655.

SCHEIRS, John. Polymer recycling: science, technology, and applications. New York: Wiley, c1998. ISBN j.schiers:polymerrecycling(isbn:0-471-97054-9).

AZAPAGIC, Adisa a Slobodan PERDAN, ed. Sustainable Development in Practice: case Studies for Engineers and Scientists. 2nd Edit. Chichester: John Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-71871-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

KVĚTOUN Jan: Výroba drtiče na plastový odpad

Tato práce se zaměřuje na návrh a výrobu drtiče 2H na plastový odpad pro malé firmy, domácnosti a bytové domy. Práce obsahuje stručný popis plastů, jejich vlastností a využití v praxi. Pojednává o nadměrné produkci plastů, necirkulační ekonomice odpadů a nedostatečném zpracování plastového odpadu. Jsou zde uvedeny příklady technologie sběru, třídění a recyklace a jejich možná aplikace v praxi. Součástí je přehled drtičů dostupných na českém a slovenském trhu a jejich vzájemné porovnání. Praktická část práce se soustřeďuje na samotný konstrukční návrh drtiče, jeho jednotlivé komponenty, parametry a ekonomičnost výroby. Součástí příloh je 3D model sestavy drtiče, přehled nakupovaných položek, výkresová dokumentace a fotodokumentace vyrobeného drtiče.

Klíčová slova: Drtič, plastový odpad, sběr, třídění, recyklace

ABSTRACT

KVĚTOUN Jan: Production of crusher on the plastic waste

This thesis is focused on designing and manufacturing a shredder for plastic waste 2H for small companies, households and blocks of flats. Thesis contains brief description of plastics, their properties and usage in praxis. It deals with excessive production of plastic, noncircular economy of waste and unsatisfactory processing of plastic waste. There are examples of collecting, sorting and recycling technologies and their application in praxis. It consists of current overview of shredders available on Czech and Slovak market and their comparison. Practical part of this thesis focuses on design itself, its components, parameters and economic issues of manufacturing. Annex contains 3D model of shredder assembly, bought components overview, assembly drawings and photo documentation of created shredder.

Keywords: Crusher, shredder, plastic waste, collecting, sorting, recycling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KVĚTOUN, J. *Výroba drtiče na plastový odpad*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 54 s, 4 přílohy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 23.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Děkuji celé své rodině a přítelkyni Karolíně za psychickou podporu při tvorbě této práce. Dále pak děkuji Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při FEM simulaci zatížení kolíků a per. Velký dík patří Tomáši Květounovi, který poskytl elektromotor s převodovkou a další cenné rady, Alfredovi Rezkovi, Janovi Tošerovi a Aloisovi Květounovi, kteří pomohli s realizací výroby drtiče a Janovi Pečmanovi, který poskytl část hutních materiálů k výrobě.

OBSAH

Zadání

Abstrakt, Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 Rozbor zadání	10
2 Recyklace plastových odpadů.....	11
2.1 Druhy plastových materiálů.....	11
2.1.1 Termoplasty.....	12
2.1.2 Reaktoplasty (dříve termosety či duroplasty).....	12
2.1.3 Termoplastické elastomery	13
2.1.4 Bioplasty.....	13
2.2 Sběr a třídění plastového odpadu.....	14
2.2.1 Sběr a příklady třídění plastového odpadu u producenta odpadu	14
2.2.2 Technologie třídění plastového odpadu	18
2.3 Technologie drcení plastového odpadu– přehled současné výroby drtičů	21
2.3.1 Kladivový mlýn.....	21
2.3.2 Nožový mlýn.....	22
2.3.3 Válcový drtič– jedna hřídel	22
2.3.4 Válcový drtič– dvě a více hřidelí	23
2.3.5 Přehled drtičů dostupných na trhu.....	24
2.4 Druhy recyklace plastových odpadů.....	24
2.4.1 Materiálová (fyzikální) recyklace	24
2.4.2 Chemická recyklace	24
2.4.3 Surovinová recyklace	25
2.4.4 Energetická recyklace	25
2.4.5 Praktické příklady recyklace a zpracování odpadních plastů.....	25
2.4.6 Skládkování (není druh recyklace).....	29
2.5 Shrnutí problému recyklace plastových odpadů	30
3 Návrh, zhodnocení a využití nového typu drtiče plastů.....	31
3.1 Mechanické vlastnosti drceného materiálu	34
4 Konstrukční řešení drtiče	35
4.1 Drtící komora	37
4.2 Volba motoru a převodovky	39
4.3 Volba ozubených kol	40
4.4 Volba upevňovacích a zajišťovacích elementů.....	41
4.4.1 Kolíky vs. pera	42
4.4.2 Volba spojovacího materiálu.....	45
4.5 Volba ložisek	45
4.6 Násypka	46
4.7 Rám.....	47
4.8 Příslušenství (spínač, nádoba na drť, kryt pohyblivých částí)	49
4.9 Parametry drtiče	49
5 Ekonomické vyhodnocení.....	50
6 Diskuse.....	53
Závěr	55

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

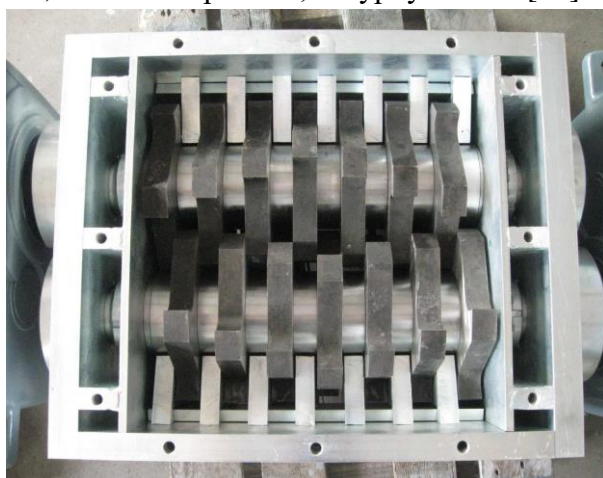
Seznam obrázků

Seznam příloh a tabulek

ÚVOD

Plasty jsou v naší společnosti a době každodenním společníkem. Jejich přínos a užitek pro technický pokrok, medicínu či z pohodlnění života je nezpochybnitelný. Avšak pokud se pohlédne za tento horizont a přejde se k otázce, jak s plasty zacházet po skončení doby jejich používání, nastává problém, co s nimi. Plasty nelze všechny recyklovat za stejných podmínek. Různé druhy mají různé teploty tavení, chemické složení a strukturu. Při jejich tavení může docházet k fázové separaci (analogie oleje a vody), což zapříčiňuje oslabení výsledného recyklovaného výrobku. Proto musí následovat proces třídění jednotlivých druhů plastů. Diverzita plastů, která se zprvu může zdát jako velká výhoda, tedy že pro každou aplikaci je člověk schopen navrhnout nejvýhodnější typ plastu, který je vyhovující a levný, se mění z hlediska zbavování plastů na velkou nevýhodu. Dnes existuje sedm skupin plastů, které se dají v České republice třídít. Ve skutečnosti existuje mnohem více druhů plastů, které do těchto skupin nespádají (zahrnují se i aditiva jako skleněná vlákna aj). Představa, že by každý musel třídít plasty přesně podle druhů (řádově stovky), je minimálně časově velmi náročná. Nicméně situace taková již dnes je a musí se řešit [1]. Plasty se vyrábějí z ropy a vyskytují se všude na planetě [73]. Dokonce i na místech, kde by člověk jejich přítomnost buď neočekával nebo nechtěl očekávat, se hromadí v menším či větším množství, viz Obr. 2. Udává se, že za největším plastovým znečištěním moří stojí deset asijských řek [3].

Česká republika nemá tak velký vliv na obsah odpadních plastů v mořích a oceánech jako přímořské státy nebo státy na březích velkých řek, ale i ona produkuje plastový odpad. Existuje velké množství vhodných řešení, které na něj lze aplikovat. Mimo skládkování, které není příliš ekologické, je to např. materiálová recyklace nebo výroba alternativních paliv aj. Pro zpracování plastového odpadu je ve většině případů nutné z něj udělat malé částičky [4]. Zde přichází motivace pro uskutečnění této diplomové práce. Vznik je zapříčiněn nedostatkem cenově dostupných drtičů na plastový odpad pro drobné podnikatele a malé firmy. Využití drtiče pro domácnosti je také možné, ale průměrná domácnost nespotřebuje tolik plastového odpadu, aby se jí drtič cenově vyplatil. Zde by se mluvilo o ekologických důvodech koupě drtiče. Pokud by se však jednalo například o bytový dům nebo sousedské sdílení drtiče, potom by se investice mohla vyplatit. Cenová relace malých drtičů na plast, viz Obr. 1, se pohybuje v ČR od 30 000 Kč do 70 000 Kč. Na ebay.co.uk lze pořídit malý drtič od 6 302 Kč do 12 000 Kč, ovšem bez pohonu, násypky a rámu [30].



Obr. 1 Dvouhřídelový drtič DR 3 [2]



Obr. 2 Surfařka na Maledivách [1]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

V roce 2010 bylo v Evropě spotřebováno cca 47 milionů tun plastů. V témže roce vzniklo 25 milionů tun plastových odpadů. Z toho cca 15 milionů tun bylo recyklováno nebo energeticky využito. Stále však zbývá přibližně 10 milionů odpadů, které jsou převážně skládkovány. Abstraktně lze říci, že Evropa za rok 2010 uložila do země asi 8 miliard EUR. Situace v Asii, která je současně největším výrobcem plastů na světě, je pak ještě horší z hlediska skládkování. Devět evropských zemí má zákaz skládkování plastů, ČR mezi ně nepatří [5]. Problém vytváření plastových odpadů lze přiblížit třemi následujícími aspekty:

- Legislativa státu dovoluje skládkování plastů, není zákon pro firmy, který ošetří nakládání s jejich výrobky po skončení doby jejich životnosti (souvisí s bodem 2),
- firmy vyrábějí výrobky, pro něž není zajištěna recyklace (např. více komponentní vstřikování), dále firmy nejsou zpravidla zodpovědné za recyklaci svých výrobků,
- společnost je postavena na základě neustálého ekonomického růstu a vzrůstající spotřebě.

Navrhovaný drtič neřeší problém plastových odpadů v globálním měřítku, ale zaměřuje se spíše na lokální zacházení s odpady. Ačkoliv velké množství lidí provádějící lokální drcení plastů má v konečném důsledku i globální efekt. Drtič by měl být schopen drit běžně tříditelné druhy plastů (PET, PE, PVC, PP, PS, OTHER), aj. Schopnost drit různé druhy materiálů závisí na volbě materiálu otáčejících se nožů, na modulu pružnosti a tloušťce drceného materiálu, výkonu motoru a celkové robustnosti drtiče.

Design nově navrhovaného drtiče vychází z původního návrhu holandského návrháře Davea Hakkense [8]. Oproti jeho návrhu se však liší v mnoha aspektech, jako např. počtem hřídel, tvarem stacionárního ostří, velikostí nebo poháněcím ústrojím a pýchovadlem. Důvodem pro vylepšení původního návrhu je zvýšení produktivity drcení, zvýšení spolehlivosti, možnost zpracovat větší komponenty. Zároveň se musí zachovat nízké náklady na výrobu, aby zůstala ekonomicky viabilní.

Při návrhu drtiče je nutné stanovit požadované parametry, kterými má drtič disponovat. Dva nejčastější ukazatele jsou výkon drtiče [kg/hod] a velikost pracovního prostoru [mm]. Dále je vhodné určit limitní parametry vstupního materiálu i požadované vlastnosti výstupní drtě. Mezi limitní parametry vstupního materiálu patří maximální rozměry, tloušťka stěny, druhy drceného materiálu, které zvládne drtič rozdrtit apod. Požadovanou vlastností drtě je velikost frakce. Tu lze převážně definovat sítím, které je umístěno pod drtičem [2].

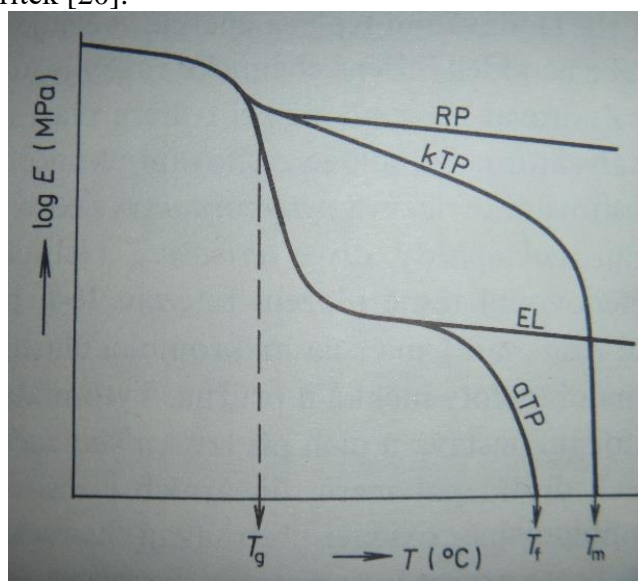
Při vytváření této práce je brán zřetel na ekologičtější a ekonomičtější použití komponent a materiálů. V rámci charakteru této práce jsou často použita řešení, která zahrnují použití komponent ze skládek, sběrných dvorů, stodol a garážových dílen. Tento způsob získávání zdrojů jednak zlevňuje výrobu a jednak přispívá k redukování odpadu, poněvadž získané komponenty či materiál by byly jinak nevyužity, spáleny nebo recyklovány za vynaložení nemalého množství elektrické energie.

2 RECYKLACE PLASTOVÝCH ODPADŮ

V současné době je na trhu technických materiálů i na běžném spotřebitelském trhu velké množství nejrůznějších druhů materiálů. Od dřeva a kůže, přes papír, sklo a kovy, po různé druhy kompozitů a syntetických polymerů. Do kategorie syntetických polymerů spadají i plastové materiály. Pokud se plasty vyskytují na trhu, je jisté, že se s nimi musí vypořádávat i odpadové hospodářství, které svým způsobem také tvoří trh. Výrobky jsou tvořeny nejen z čistých základních polymerů, ale existují například i kompozitní plasty (přidávají se různé typy vláken) nebo více komponentní vstříkované díly (např. rukojeti ručního náradí apod.). Tato materiálová rozmanitost činí sběrný, třídící a recyklační proces velmi složitým.

2.1 Druhy plastových materiálů

Plasty jsou tvořeny z polymerů, které tvoří řetězce makromolekul. Polymery jsou tvořeny z monomerů. Monomery jsou jednoduché sloučeniny, zpravidla tvořené uhlovodíky. K vytvoření polymeru je nutno „spojit“ monomery nějakým druhem polyreakce. Nejčastějšími způsoby polyreakcí jsou polymerace, polykondenzace a polyadice. Pokud se spojují monomery téhož typu, hovoří se o homopolymerech. Jestliže se spojují dva nebo více typů monomerů, výsledný produkt se nazývá kopolymer. Pokud se k těmto polymerům (tedy organickým makromolekulárním látkám) přidají různá aditiva, začíná se hovořit o plastech. Plasty lze rozdělit dle různých měřítek [20].



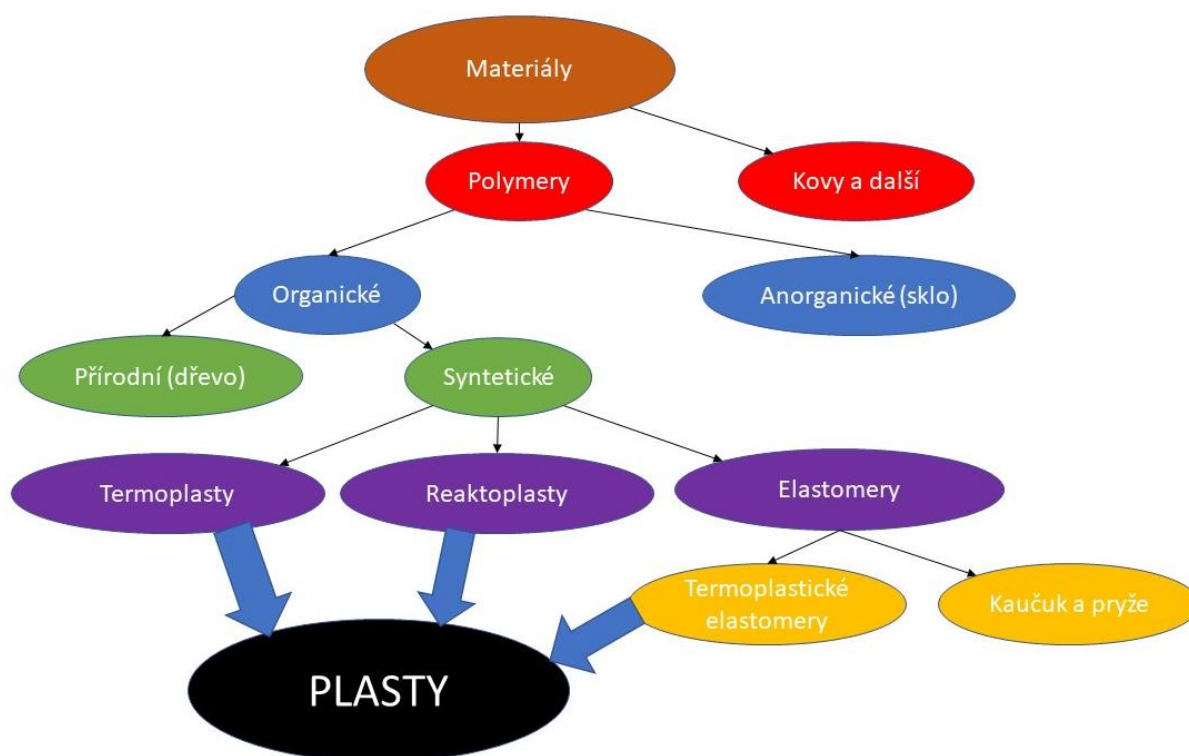
Obr. 3 Chování polymerů při změně teploty [20]

Jedním z nich je dělení podle tvaru makromolekul. Polymery mohou být lineární, rozvětvené nebo zesíťované. Lineární a rozvětvené jsou termoplasty. O tom, zda vznikne lineární nebo rozvětvený polymer zpravidla rozhoduje teplota a tlak při zpracování. Zesíťované jsou pak reaktoplasty a elastomery. U reaktoplastů se zesíťování dosáhne tzv. vytvrzováním. Vytvrzování je chemický proces, kterým prochází reaktoplasty v průběhu zpracování. Tento chemický proces spočívá v působení tepla, záření nebo síťovacích činidel. V důsledku těchto vlivů, v nichž jsou původní molekuly vzájemně pospojovány kovalentními vazbami, vzniká hustá, prostorově zesíťovaná struktura. Síťováním elastomerů (vulkanizací), vzniká pryž [22].

Jiné dělení posuzuje polymery z hlediska uspořádání nadmolekulární struktury. Toto uspořádání může být amorfní nebo semikrystalické. Obě tyto formy jsou charakteristické pro termoplasty. Amorfní termoplasty se většinou používají pouze do teploty skelného přechodu T_g , protože po překročení této teploty dochází k přechodu do kaučukovitého stavu a poklesu

mechanických vlastností. Semikrystalické termoplasty se běžně používají i nad teplotou skelného přechodu, dokáží tedy pracovat i v kaučukovitém stavu a až do teploty tání krystalů T_m , kdy přecházejí z pevného do kapalného skupenství. I u nich je znatelný pokles mechanických vlastností. Teplota skelného přechodu je u některých plastů i okolo pokojové teploty. Znárodnění změny modulu pružnosti v závislosti na teplotě u amorfních a semikrystalických termoplastů, viz Obr. 3.

Nejčastější je dělení dle chování za zvýšených teplot a při působení vnějších sil do tří skupin, viz Obr. 4. Tyto jednotlivé skupiny jsou termoplasty, reaktoplasty a termoplastické elastomery [17].



Obr. 4 Základní rozdělení plastů [podle 17]

2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou nejrozšířenější skupinou plastů (asi 90 % celkové produkce plastů) a jejich velkou výhodou je opakovaná tavitelnost. Analogicky je lze přirovnat k máslu, které když se při ohřevu roztaví, po ochlazení opět ztuhne na máslo. Lze je tedy tepelně zahřívat do tekutého stavu a opět přivádět do tuhého stavu teoreticky do nekonečna. Při každém tepelném ohřevu ovšem ztrácí část svých původních mechanických vlastností. Některé firmy dokonce uvádějí až 30% pokles hodnot. Pro různé materiály jsou to však různé hodnoty. Příkladem termoplastů je například PE (tašky, sáčky) nebo PP (kelímeček od jogurtu). Z technických termoplastů pak ABS, PA nebo PC [19].

2.1.2 Reaktoplasty (dříve termosety či duroplasty)

Reaktoplasty procházejí při zpracovatelském procesu vytvrzovacím procesem, který vede k zesíťované struktuře. Analogicky je lze přirovnat k chlebu. Ten, jakmile je jednou upečen, nelze ho znovu roztavit a získat z něj vstupní suroviny. Příkladem reaktoplastů jsou různé druhy epoxidů, polyuretany nebo fenoplasty [17].

2.1.3 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou mechanickými vlastnostmi někde mezi elastomery (ohebné, elastické) a termoplasty (snáze zpracovatelné a recyklovatelné). Je to způsobeno přítomností měkkých i tvrdých segmentů ve struktuře. Tyto segmenty jsou vzájemně nemísitelné a tvoří oddělené fáze. Při ohřevu nad teplotu tání tvrdých segmentů přechází termoplastický elastomer v taveninu, kterou lze snadno zpracovávat. Po ochlazení se tvrdé segmenty opět shlukují, tuhnou a tvoří tuhé uzly sítě fyzikální povahy. Termoplastické elastomery se mohou používat jako náhrada za pryže. Příkladem jsou „gumová“ kola na kolečkových bruslích [18].

2.1.4 Bioplasty

K problému plastového odpadu lze přistoupit dvěma způsoby. Prvním způsobem je vyrobit plasty co nejvíce odolné, aby se daly recyklovat stále dokola. Druhý přístup se dá nazvat kontrolovaným rozkladem neboli degradací [35].

Tyto plasty se nazývají plasty se zkrácenou životností nebo také bioplasty. Bioplasty mohou spadat jak pod přírodní organické polymery, tak pod syntetické organické polymery. Důležitý je způsob a doba jejich degradace. Za bioplast se dá považovat materiál, který je buď biodegradovatelný nebo je vyroben z obnovitelných zdrojů, zpravidla biomasy [34]. Jiná definice plastů se zkrácenou životností je popisuje jako polymery, jejichž organické součásti se rozloží během šesti měsíců minimálně ze 60 %. Podmínky a rychlost rozkladu jsou měřené na základě standardních testů [34]. Degradaci plastů lze rozdělit podle jednotlivých typů na chemodegradaci, fotodegradaci, termodegradaci a biodegradaci. Rozklad bioplastů by měl plně vyhovovat normě ČSN EN 13 432.

Chemodegradace je proces, který využívá prostředí jako zdroj chemicky účinných látek k vzniku degradace plastů. Používá se často v kombinaci s ostatními typy degradace. Je vhodné ji použít pro plasty, které mají ve svém řetězci zavedeny funkční skupiny (např. hydroxylové skupiny). Lze říci, že čím více je na molekule polymerů funkčních skupin, tím snadněji může probíhat chemická degradace. Existují i výjimky, jako například polytetrafluorethylen, který odolává takřka všem chemickým činidlům [34].

Fotodegradace používá jako zdroj pro degradaci sluneční svit. Fotochemické změny probíhají, absorbuje-li se světelné záření o určité vlnové délce. Např. karbonylová skupina C=O absorbuje 187 nm a 230 až 250 nm. Absorpcí se zvětší obsah energie makromolekul, která putuje do vyššího energetického stavu. Absorbovaná energie se spotřebuje jak na převod do vyššího stavu, tak na tvorbu volných radikálů v makromolekulách indukujících rozklad plastů.

Termodegradace je zapříčiněna působením vyšších teplot. Vyšší teploty mají na polymery následek fyzikální a chemický. Dochází k rozrušování chemických vazeb zpravidla v nejslabším místech nejslabších vazeb. Sloučeniny, které obsahují aktivní skupiny, odštěpují při zahřívání nízkomolekulární produkty. Se vzrůstající teplotou se zvyšuje stupeň desintegrace molekul plastů [34].

K biodegradaci dochází působením biologických činitelů jako jsou mikroorganismy, hlodavci, hmyz a především plísně. Podmínkou růstu plísní je vysoká vzdušná vlhkost. Degradaci polymeru způsobují metabolity, tedy produkty látkové přeměny metabolismu, produkované plísněmi a bakteriemi. Enzymy jako peptidáza mohou štěpit polyamidovu i esterovou vazbu [34].

Mimo výše zmíněné typy degradace existují polymery na bázi škrobu, které reagují na vodu tak, že se v ní rozpouštějí. Firma PlanticTM takovéto materiály vyrábí a deklaruje, že i po požití by neměly člověku uškodit [36]. Zástupci bioplastů jsou PLA či PHA. Bioplasty se dají drtit stejně jako ostatní plasty, ale v jejich případě to není vždy žádoucí, protože se za určitých podmínek dokáží samy rozložit. Firma Coca-cola má do roku 2020 vyrábět své lahve z přírodních produktů [7].

2.2 Sběr a třídění plastového odpadu

Základem pro efektivní recyklaci je dokonale organizovaný sběr a třídění, což je na celém světě nevyřešený problém. V ČR je situace průměrná, výjimkou je nadprůměrný sběr a využití PET. Zde patří ČR na přední místa v Evropské unii. Podle druhu, typu a zdrojů, ze kterých jsou plasty získány, je možné vybrat optimální vhodný způsob recyklace.

Typem plastů je myšlen materiál, označený obchodním názvem a kódem specifikace, se zakódovanými vlastnostmi, aplikačními možnostmi a zpracovatelností (např. Zytel® 101 NC010). Chemické složení tohoto materiálu Zytel® od firmy DuPont je PA66 [24].

Druhem plastů je myšleno základní rozlišení podle chemického složení a molekulární struktury bez označení obchodního názvu, původu a výrobce (např. PET, PA6, HD-PE). Zdroje, ze kterých lze získat plasty, se dají rozdělit do těchto skupin [5,6]:

- Plasty jediného druhu, neznečištěné: Typově tříděná surovina. Především průmyslový odpad a technologický odpad.
- Plasty jediného druhu, kontaminované: Druhově tříděná surovina po vytřídění. Opět se jedná o odpady z výroby.
- Směsné plastové odpady o známém složení: Různorodá směs plastů proměnlivého složení a kvality ze separovaného sběru plastových odpadů. Majoritní složku tvoří předměty s krátkodobou životností. Obsah PVC minimální.
- Náhodně sebraný a komunální odpad: Netříděná surovina. Znečištěný směsný odpad. Z celkového množství odpadu se předpokládá 14 % plastů. Jedná se především o obaly, domácí potřeby. Převládá PET, PE, PP PS a cca 1 % PVC.

2.2.1 Sběr a příklady třídění plastového odpadu u producenta odpadu

Tato kapitola se mimo jiné zaměřuje na to, které materiály má smysl třídit. Pokud existuje stoprocentně účinný sběrný a třídící systém, pak má smysl třídit všechny. Pokud neexistuje, je třeba tuto otázku zodpovědět ve spolupráci se sběrnými, třídícími a zpracovatelskými společnostmi. Sběrem začíná cirkulační proces nakládání s odpady. Vzhledem k lokální povaze diplomové práce bude popis sběru zaměřen pouze na oblast ČR. Sběr lze rozdělit na dvě oblasti.

První oblastí je sběr velkoobjemových plastových dílů (např. palubní desky a světlometry automobilů, části domácích spotřebičů, náradí aj.) což zahrnuje výrobky z technických plastů (PC, POM, PA, ABS, PMMA aj.) a dalších méně rozšířených plastů [22].

Druhou oblastí je sběr výrobků (především obalů), které lze třídit do žlutých kontejnerů podle normy TNI CR 14311 (dříve ČSN 770052). Přehled druhů plastů, které sem spadají, je znázorněno, viz Obr. 6.

Organizovaný sběr obou dvou oblastí je základem pro ekonomické i ekologické uspokojení trhu. V tomto ohledu nastává problém jak v systému sběru, tak v nedostatečné vzdělanosti obyvatelstva o třídění a škodlivosti plastů ve volné přírodě. Následující odstavce popisují stávající příklady z průmyslové praxe a návrh jejich řešení.

- Příklad č. 1

První příklad uvádí stavební firmu (lze si za ni dosadit prakticky kteroukoliv větší společnost), která dostává velké množství materiálu zabaleného v LDPE obalech (např. cihly, ytong, tvárnice, balení cementu aj.). Tato firma rozbalí stavební materiál a LDPE obaly se vyhodí buď do komunálního odpadu nebo v lepším případě do žlutého kontejneru. Produkce takového odpadu je v případě velké stavební firmy poměrně značná. Pokud by stavební firma vynaložila jisté úsilí a shromáždila a následně prodala tento obalový materiál, v první řadě

tím pomůže zpracovatelským firmám, které vynaloží méně energie na sběr a třídění, v druhé řadě to samotné stavební firmě přinese určitý zisk, což má kladný ekonomický důsledek a zatřetí to přispěje ke kvalitnějšímu zacházení s odpadem, a tedy životnímu prostředí. Nejdůležitější je v tomto případě zavést přímou spolupráci nebo spojení pomocí logistického prostředníka mezi stavební firmou a zpracovatelem LDPE odpadu. Stojí to čas, peníze a úsilí, ale v konečném důsledku je dopad příznivý. V praxi se tímto zabývá například firma Suez v Němčicích nad Hanou, kde existuje spolupráce se zemědělci a jejich produkcí kontaminovaného plastového odpadu.

- Příklad č. 2

Druhým příkladem je nakládání s plastovými kojeneckými lahvemi nebo kelímky u zubaře. Těchto produktů projde každý den nemocničními zařízení velké množství. Z hygienických důvodů jsou tyto produkty použity jen jednou a poté jsou likvidovány. V případě kojeneckých lahví byly dříve používány skleněné lahve, které byly po použití myty a sterilizovány. Jejich nevýhodou bylo větší riziko rozbití. Důvodem výměny za plastové lahve ovšem byla cenová politika, protože nemohly konkurovat plastovým lahvím. Z ekonomického hlediska je výměna skla za plast rozumné řešení, z ekologického je to přidělení mnohem většího množství odpadu, než které by vzniklo používáním skleněných lahví. Nicméně řešením této situace by opět byla spolupráce mezi zpracovatelskými závody a nemocničními zařízeními.

- Příklad č. 3

Třetí příklad popisuje výrobu automobilových světel. V roce 1980 byly světlometry automobilů nižší střední třídy vyrobeny z přibližně 15 dílů a jejich materiálem bylo především sklo a kov. Měly jednoduchý minimalistický design, uspokojivou funkci (avšak horší než dnes) a plnily technické normy. Oprava světlometu se často dala řešit výměnou jednoho menšího dílce (např. výměna krycího skla) a světlomet byl relativně rozebíratelný. Jeho recyklace nebyla optimální, ale díky malé rozmanitosti použitých materiálů se oproti moderním světlometům daly jednotlivé komponenty třídit. V roce 2012 obsahuje světlomet přibližně 310 komponent. Drtivá většina součástek je z různých druhů plastů, a to jak termoplastů, tak i reaktoplastů (ABS, PC, PP aj.). Běžně se vyskytují i pokovené a 2k vstříkované plasty. Design je moderní, složitý, s velkým množstvím přídavných funkcí, které slouží často k marketingovým účelům automobilky a jsou nad rámec norem. Světlomet nelze téměř rozebrat a třídit, protože krycí sklo je přilepeno k housingu, ve kterém jsou umístěny všechny komponenty. Důvodem přilepení je těsnost vůči vodě. Pokud by se našlo řešení, aby bylo krycí sklo těsné a zároveň odnímatelné, demontáž a recyklace by byly o mnoho více realizovatelné. Důvodem pro výměnu plastů za sklo a kov je nízká cena plastů, velká rozmanitost tvaru plastových dílců, nižší hmotnost a bezpečnost (ochrana chodců při nárazu). Hlavním hybatelem je však výše zmíněný design. Dle rozhovoru se členy české automobilky a českých výrobců předních světlometů bylo zjištěno, že designéři nechtějí navrhovat světla příliš jednoduchá z důvodu, že vypadají příliš levně a lidé si automobil nechtějí koupit. Konečný zákazník tak má teoreticky velkou moc změnit současné trendy. Pořadí kritérií, podle kterých se navrhuje a vyrábí světlometry lze shrnout následovně:

- Cena,
- bezpečnost,
- ekologie.

Konstrukce a technologie výroby se designu také podřizují, za předpokladu dodržení norem. Světlomet se skládá ze stovek dílů, jeho dílčí oprava je téměř nepředstavitelná, protože je vyroben s nerozebíratelnými spoji a často jednorázovými zácvakovými systémy. „Oprava“

se ve většině případů řeší výměnou celého světlometu za jiný. Recyklace takového výrobku je velmi složitá a jedná se spíše o likvidaci. Za stávajícího stavu se je nevhodnější metodou likvidace spalování. Sběr automobilových světel problémem není, automobily se ve většině případů dostanou tam kam mají (autovrakoviště, sběrné dvory). Problém je ve špatné koncepci výrobku. Ve vedení firmy a vývoji není kladen důraz na to, co bude se světlometem po skončení doby jeho životnosti. Konstruktor má přirozeně přemýšlet tak, aby udržitelnost výrobků byla samozřejmá a byla součástí koncepce návrhu [26]. Pokud by firmy mohly být alespoň částečně zodpovědné za to, co produkují, např. by se jim světlometry vracely do fabrik na demontážní linky na přepracování, výrobky by získaly například zpětnou kompatibilitu, kompletní rozborku a bylo by možné je znovu použít do nových světlometů nebo alespoň lépe vytržít k další recyklaci. Výrobky, které by tato nová kritéria nespĺňovaly, by měly být zakázány [26]. Funkční případ tohoto nového způsobu myšlení přinesla britská firma Blume, která navrhla žárovku, která má mít údajnou životnost 100 000 h. Pokud by se s ní svítilo každý den 4 hodiny, vydržela by svítit 70 let [31].

Následující dva odstavce poukazují na sběr běžného uživatelského plastového odpadu, především obalů. Údaje z GfK Consumer Panel Services, které sledují nákupy 2 000 českých a 1 500 slovenských rodin, ukazují, že v roce 2016 sbíralo a třídilo plastový odpad okolo 84 % českých domácností. To je poměrně vysoké procento, ale faktem je, že 40 až 68 % sesbíraného plastového odpadu, který se shromažďuje ve žlutých kontejnerech končí skládkováním [28]. Důvodem skládkování jsou nízké poplatky za skládkování, nízká poptávka po tříděných materiálech, nízká efektivita třídění a s ní související vysoká rozmanitost druhů a typů plastů, která je výše podrobněji rozebrána v kapitole 2.

- Příklad č. 1

První modelový příklad se zaměřuje na sběr plastu v „průměrné“ české městské domácnosti. Plastový odpad sesbíraný za tři dny, vyjma plastových lahví lze pozorovat, viz Obr. 5 vlevo. Stejně množství roztríděné dle sedmi typů patřících do žlutých kontejnerů pak lze vidět, viz Obr. 5 vpravo. Za zmínku stojí, že i zdánlivě stejně vypadající plastové krabičky, mohou být i ze třech různých typů plastů (zde PET, PP, PS) a některé nejsou označeny vůbec. Vezme-li se v úvahu bytový dům o sedmi podlažích, třech bytech na patro a předpoklad, že každá rodina z bytového domu sbírá plastový odpad, množství plastového odpadu je po týdně již natolik velké, že začíná mít smysl i pro zpracovatele plastů.

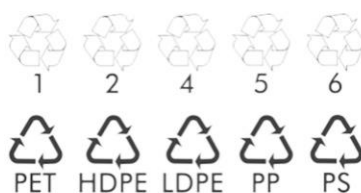
Vzhledem k nízké hustotě a „nadýchanosti“ plastového odpadu, je nutné zmenšit tento odpad na menší částice, mezi které se vejde méně vzduchu a materiál si tzv. sedne. K tomuto procesu slouží drtiče či lisy. Pokud by v takovémto modelovém bytovém domě byly rodiny, které doma sbírají a třídí nejen obecně plasty, ale i jednotlivé druhy plastů, viz Obr. 6 (nutnost mít v bytě či na chodbách alespoň 5 košů na PET, HDPE, LDPE, PP, PS), začala by se vyplácet i investice pro nákup drtiče plastového odpadu (je třeba brát v potaz nutnost obsluhy, která by zde pracovala např. jednou týdně několik hodin, a zabezpečení proti úrazu). Pro tento nadrcený a roztríděný materiál s vyšší prodejní hodnotou si mohou přijet logistické či zpracovatelské firmy dle empirické zkušenosti, obvykle jednou měsíčně. Vydělané peníze se dají použít pro potřeby obyvatel bytového domu. Zřejmou nevýhodou pro obyvatele bytového domu je nutnost třídít plasty podle sedmi kritérií. Dnešní výchova a vzdělávací systém na to zatím není nastaven, protože otázka starání se o životní prostředí není pro velkou část populace ve vyšších životních prioritách a obyvatele to „zdržuje“ od běžného života. Pokud má však tato investice za následek rapidní zvýšení efektivního zbařování se plastového odpadu, pak tato varianta, případně její různé variace, stojí za důkladné zvážení.



Obr. 5 Sbíraný plastový odpad za tři dny (vlevo), seříděný odpad dle normy TNI CR 14311 (vpravo)

- Příklad č. 2

Druhým příkladem jsou živnostníci a hobby činnosti. Z mnoha profesí lze uvést zámečníky, truhláře, instalatéry, 3D tiskaře a další. Tito řemeslníci mají společné vytváření nových výrobků či služeb, kde se využívají plasty. Každý z nich se potýká s plastovým odpadem. Jejich odpad, ať už jde o obalovou techniku, zbytky či odřezky plastů, končí často v komunálním odpadu. Nejlepším odpadem je ten, který nevznikne. Pokud se tomu nelze vyhnout, je to ten, který se dá zhodnotit. Jak je zmíněno výše, plastový odpad má velký objem, protože v sobě dokáže uchovat poměrně hodně vzduchu, jak je zmíněno v odstavci výše. Proto je zapotřebí lis nebo drtič, které zmenší částice, mezi které se vejde mnohem menší množství vzduchu a do nádoby se vejde po drcení nebo lisování materiálu více než před ním. Pokud si řemeslníci vytvoří kvalitní systém sběru a třídění jejich plastového odpadu, mohou upotřebit drtič plastového odpadu ve svém podnikání různých podobách. Jedním z příkladů je prodej drceného tříděného materiálu stejně jako ve výše uvedeném příkladu bytového domu. Další možností je pořídit si doplňující strojní zařízení jako např. extruder, vstřikovací stroj nebo tepelný lis a vyrábět druhotné výrobky k obvyklému portfoliu. Jako velmi vhodné pro 3D tiskaře se jeví pořídit či vyrobit extruder na výrobu filamentu pro 3D tiskárny. Odpadní materiál, který vzniká při tisku (ABS, PLA aj.) je obvykle vyhazován do komunálního odpadu. Z nepovedených výtisků tedy takto může vzniknout nový filament pro tvorbu dalších výrobků.

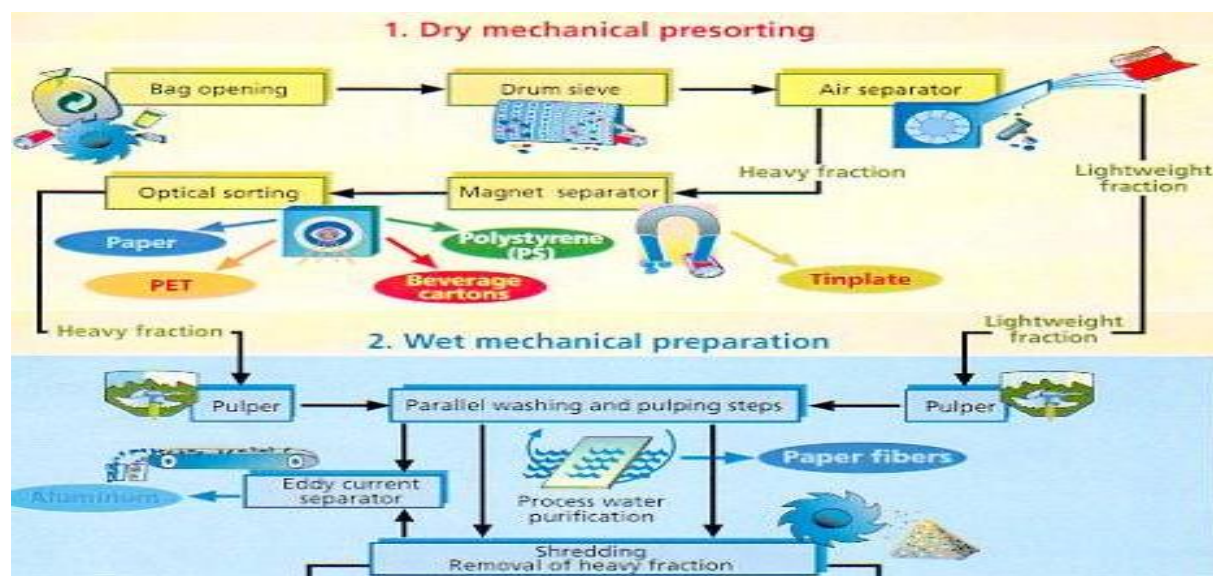


Materiál	Písmenný kód	Číselný kód
Polyethylentereftalát	PET	1
Vysokohustotní (linerání) polyetylén	HDPE	2
Polyvinylchlorid	PVC	3
Nízkohustotní (rozvětvený) polyetylén	LDPE	4
Polypropylén	PP	5
Polystyren	PS	6
Ostatní		7

Obr. 6 Znaky pro třídění plastů [25]

2.2.2 Technologie třídění plastového odpadu

Sesbíraný odpad ať už z průmyslového nebo komunálního odvětví je zapotřebí roztrždit dle různých kritérií tak, aby mohl být dále efektivně přepracován zpracovatelskými firmami. Mezi tato kritéria patří velikost, barva, chemické složení, množství škodlivých příměsí aj. Třídění plastů může probíhat buď tzv. na mokré cestě, nebo na suché cestě [22]. Proces zpracování plastů a postup směsky zpracovatelskou linkou, viz Obr. 7. Odpadní směska prochází přes bubnové síto, vzduchový separátor tzv. „odpapírkovač“, oddělení jednotlivých typů polymerů, oddělení magnetických a nemagnetických kovů, drtiče, lisy až do zpracovatelských zařízení.



Obr. 7 Proces třídění plastového odpadu [22]

- Ruční třídění

Ruční třídění probíhá většinou na dotřídřovacích linkách firem zpracovávajících plastový odpad určený k expedici do dalších zpracovatelských firem. Do dotřídřovacích linek vozí nákladní vozy obsah žlutých kontejnerů i průmyslový odpad některých firem. Obsah kontejnerů je vysypán do haly, odkud se vozí pomocí zdvižných vozíků, ručně nahrnuje nebo jinak podává k dopravníkovým pásům. Vedle pásu stojí obsluha (v ČR zpravidla 2 až 10 lidí), která ručně vybírá různé typy plastů a hází do příslušných otvorů, které jsou svedeny do kontejnerů. Třídí se například průhledné PET, barevné PET, HDPE obaly od nápojů a olejů aj. Tyto jednotlivě vytríděné materiály se následně lisují do balíků a odvázejí do zpracovatelských firem.

Materiál, který se nevhodí do žádného z otvorů projede linkou až nakonec, odkud je poslán do spaloven k energetickému využití nebo končí na skládkách. ČR bude muset díky schválenému návrhu nové směrnice z hlasování Evropského parlamentu z října roku 2018 zakázat prodej jednorázových plastů, pro které existuje jiná cenově podobná ekologická alternativa, do roku 2021. Nařízení vlády 352/2014 Sb. o plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024 má za cíl směsný komunální odpad zařadit mezi odpady, u nichž se předpokládá zákaz skládkování do roku 2024 [38].

- Automatizované třídění

Automatizované třídění plastového odpadu má vyšší vstupní investici než ruční třídění. Odpadní materiál putuje po dopravníkovém pásu stejně, jako je tomu u ručního třídění. Oproti dělníkům, kteří odpad třídí ručně, pomaleji a pouze několik hodin denně dokáže robot třídít materiál neustále, vyjma preventivních kontrol a servisu. Podmínkou je, aby se materiály na

páse nepřekrývaly, protože robot používá optického systému rozeznávání předmětů. Nutností je tedy mít širší a delší dopravníkový pás, aby se dalo vytržít stejné množství jako u ručního třídění. Příkladem jsou roboty od firmy Zen Robotics. Ty dokáží vytržít plastový odpad z komunálního odpadu. Dokáží třídít některé polymery dle chemického složení (PP, PE PET, PVC) a jsou schopni třídít dle tvaru nebo barvy. Tyto roboty jsou vhodné nejen pro plastový odpad, ale i například kovové materiály či dřevo. Nevýhodou robotů je obtížné vybírání malých plastových částí jako například PP obal od sušenky, v tomto ohledu je tedy stejná nevýhoda jako u ručního třídění. U robotizovaných procesů je však lepší perspektiva z hlediska vylepšení systému.

Třídění plastových odpadů souvisí s prací v ne vždy příjemném prostředí především z hlediska zápachu a hygienické čistoty. Proto je robotizace v této oblasti většinou firem do budoucna podporována. Firma Zen Robotics v rámci marketingu poukazuje na animovaný film Wall-e s myšlenkou, že budoucnost robotizovaného třídění odpadu není až tak vzdálená a dodávají: „Tohle je přesně práce pro ně.“ [32]

- Fluidní a flotační sedimentační postup

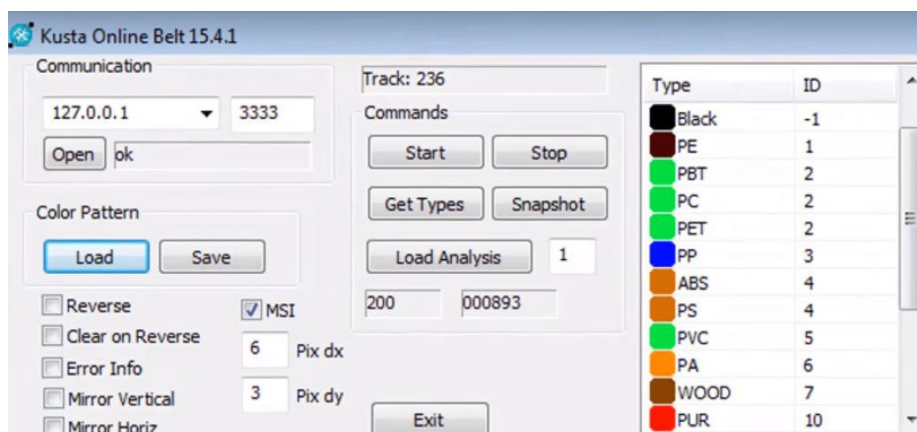
Fluidní metoda odděluje pěnové plasty od pevných ve vodní lázni. Díky vysokému obsahu vzduchu uvězněného v pěnových plastech, zůstává pěnový plast na hladině, a tím se třídí od zbytku směsi.

Flotačně sedimentační metoda pracuje s hustotou jednotlivých plastů v různě hustých kapalinách. Příkladem může být oddělení PP a PE od PS a PVC, pokud je jako médium použita voda o hustotě 1 g/cm^3 . PE a PE plave, zatímco PET a PVC klesá. K oddělení PP od PE slouží jako médium ethylalkohol o hustotě $0,93 \text{ g/cm}^3$. V něm PE klesá, PP plave. K oddělení PS od PVC slouží chlorid sodný o hustotě $1,2 \text{ g/cm}^3$. V něm PS plave a PVC klesá [45].

- Třídění založené na optickém principu

Do tohoto způsobu třídění plastů patří různé druhy spektroskopie a třídění dle barvy pomocí kamer, laserů a senzorů. Jedná se o nedestruktivní analytickou techniku. Používanými metodami spektroskopie jsou především NIR (Near infra-red), tedy spektroskopie v blízké infračervené oblasti (780–2500nm) a FTIR (Fourier transform infra-red), jejíž pracovní oblast je především (2500–25000nm). NIR dokáže proniknout více do hloubky, pokud se ale předpokládají homogenní vzorky plastů, je vhodná FTIR metoda. Princip je založen na svazku paprsků infračerveného světla, který prochází vzorkem. Každý typ chemické vazby absorbuje konkrétní vlnovou délku infračerveného záření. Záření se buď absorbuje, projde nebo se odrazí. Absorbované záření se ve výstupním grafu zobrazí jako peaky. Každý plast má svou unikátní peakovou charakteristiku. Spektrum neznámého vzorku je porovnáno se známými spektry různých plastů a podle toho, s kterým typem plastu najde spektrum vzorku shodu, o takový plast se jedná [39]. Software poté přiřadí jednotlivým materiálům různé barvy a při průchodu pod optickým rámem je zaznamenán druh materiálu. Stroje s NIR systémem vyrábí např. firma Meyer nebo LLA–instruments, viz Obr. 8.

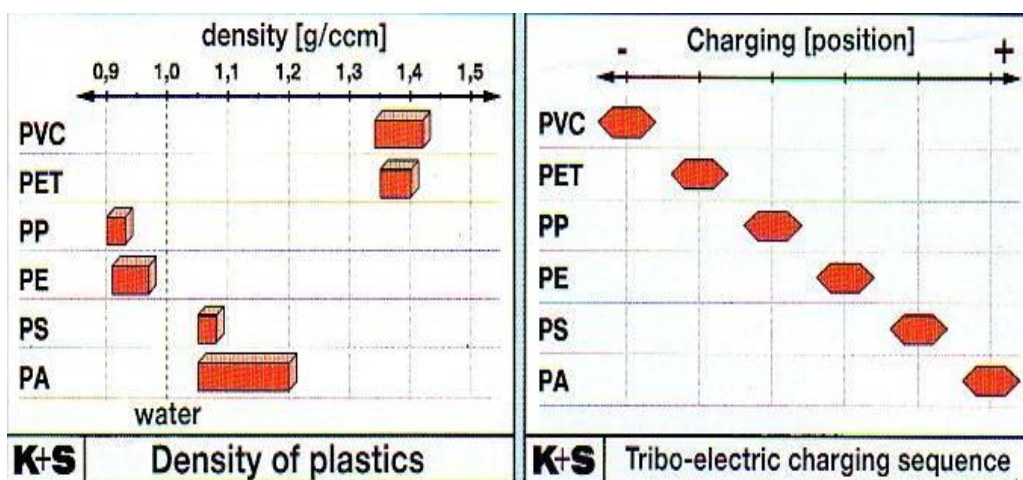
Dalšími druhy rozeznávání plastového odpadu na optickém způsobu mohou být například rentgenové záření, fluorescenční spektra nebo polarizované světlo [42, 45].



Obr. 8 Optické třídění odpadních plastů z domácností dle NIR [42]

- Separace na elektrostatickém (tribologickém) principu

Výhodou tohoto způsobu třídění je, že každý typ plastu se odděluje při jiném elektrostatickém napětí. Při vhodném naladění systému lze od sebe separovat částice, které mají velmi podobnou hustotu a lze je jen obtížně separovat flotačně sedimentačním způsobem. Posloupnost vybraných plastů z hlediska elektrostatického napětí lze vidět, viz Obr. 9 [45].



Obr. 9 Porovnání hustot a tribologických napětí vybraných plastů [22]

- Třídění na principu různého smáčení povrchu

Tato metoda se používá především pro oddělování PVC od PET, z důvodu podobné hustoty těchto dvou materiálů. Každý z těchto materiálů má jinou smáčivost. PVC částice, která dobře smáčí, se při procesu dostane do horní vrstvy pěny, čímž se oddělí od PET [22].

- Hydrocyklony (vírové třídiče) a odstředivky

Dalším příkladem třídění plastových materiálů jsou hydrocyklony a odstředivky. Pracují s různými hodnotami hustot a jejich výstupem je lehká a těžká fáze [45, 22, 55]. Třídění probíhá působením odstředivé síly, která působí na částice odpadu při spirálovém pohybu tekutiny kuželovou nebo válcovou komorou třídiče a vyvolává v radiálním směru relativní rychlost odpadu kolmou ke stěně třídiče. Uvádí plyny do rotačního pohybu, tříděné odpady se dostávají ke stěně třídiče, kde se odloučí z proudu tekutiny. Ze stěny padají odloučené částice odpadu do výsypky třídiče, z níž jsou následně odváděny [45].

2.3 Technologie drcení plastového odpadu– přehled současné výroby drtičů

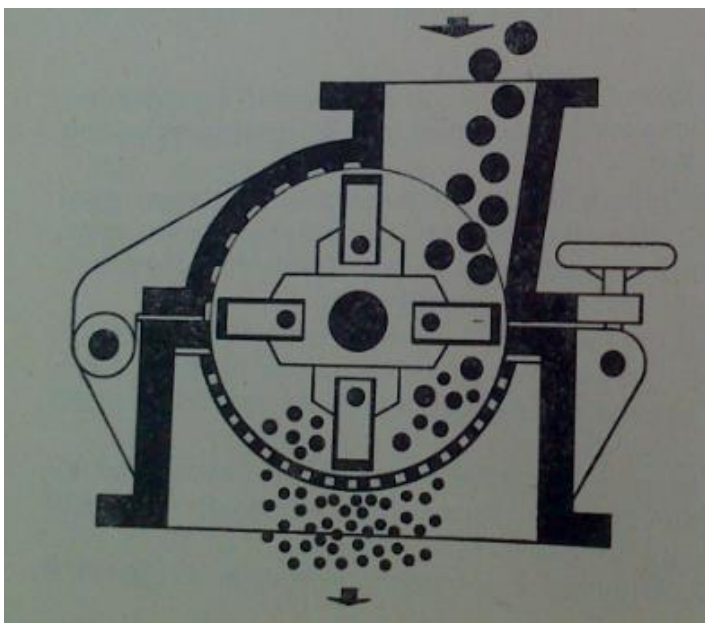
Většina zpracovatelských firem požaduje, aby se jim odpad k přepracování dostal v co nejčistší a nejlépe zpracovatelné formě. K těmto účelům slouží především drtiče. K rozrušení velkých kusů odpadu se používají i pásové pily nebo ultrazvukové řezačky. Drtič je tedy velmi důležitou součástí zpracovávání odpadů obecně. Vstupem jsou různě velké objekty, které se po průchodu drtičem mění na přibližně stejně velké kusy o menší frakci, než byla ta vstupní. Existuje mnoho druhů drtičů, které se dělí podle různých kritérií.

Při drcení je třeba dobře znát materiály, které budou drceny. Podle toho lze následně zvolit vhodný typ drtiče. Drtiče lze dělit na pomaloběžné (řádově jednotky až desítky otáček za minutu) a rychloběžné (řádově stovky otáček za minutu). Pomaloběžné často slouží k prvotnímu drcení velkých kusů. Oproti tomu rychloběžné se více používají k doladění výsledné velikosti frakce drti a jejich výstup má menší rozměry. U drcení plastů rychloběžnými drtiči je nutné vzít v úvahu, že některé plasty mají nízkou teplotu tavení a mohou se v drtiči částečně natavovat a ulpívat na jeho čepelích. Dalším jevem, který může nastat při špatném seřízení rychloběžného stroje je nadměrná prašnost [22, 45].

Historicky se drtiče začaly používat k drcení kamenů a rud. Dnes se pro drcení těchto materiálů a jiných důlních materiálů (uhlí) používají drtiče čelist'ové, odrazové, kuželové, kladivové nebo válcové. Pro optimální drcení plastů s jemnou výstupní frakcí se však některé drtiče nedají použít nebo by jejich využití bylo neefektivní. Jejich případné použití by mělo smysl pouze ve smyslu předdrcení velkoobjemových plastových dílů (tzv. bulk či lumps) jako nárazníků od aut, okenních profilů, zatravnovacích dlaždic, plotových planěk apod. Pro předdrcení a drcení plastů lze použít kladivové, nožové a válcové drtiče [22, 45].

2.3.1 Kladivový mlýn

Slouží k jemnému drcení měkkých a středně tvrdých nelepivých materiálů. Základní části drtiče jsou tvořeny ocelovou komorou, rotorem s pevně či otočně upevněnými rameny (kladivy), které při nárazech rozrušují materiál a sítem, které určuje výstupní velikosti drti. Tento typ drtiče se obvykle používá při zpracování stavebních a demoličních odpadů. V plastikářském průmyslu je jeho využití vhodné tam, kde se vyskytují velké objemové plastové díly, které je potřeba zmenšit na menší frakci. Tento typ drtiče není příliš vhodný pro získání frakce o velikosti 5 mm a menší [43]. Schéma drtiče, viz Obr. 10.



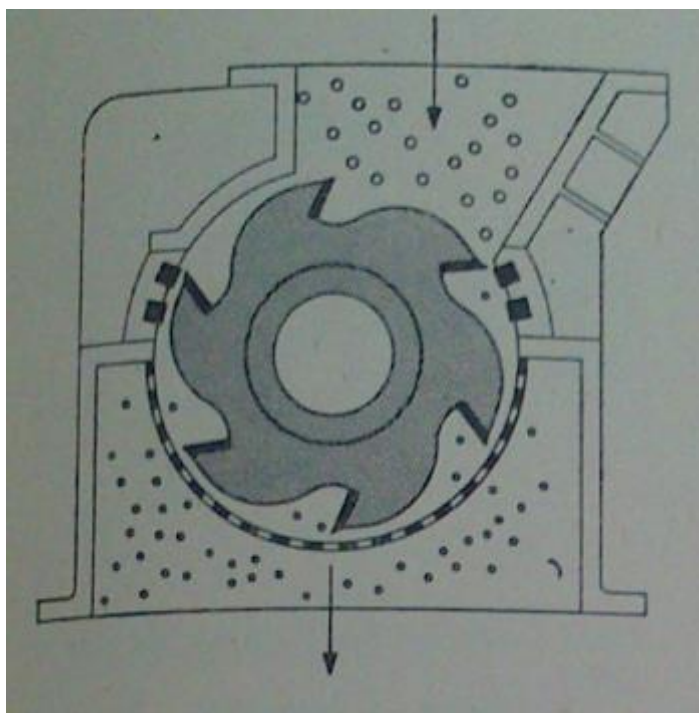
Obr. 10 Kladivový mlýn v řezu [43]

2.3.2 Nožový mlýn

Nožový mlýn je rychloběžný typ drtiče. Jeho hlavní části jsou rotující a stacionární nože. Zpravidla se skládá z dvou až šesti nožů, rotujících řádově ve stovkách otáček za minutu. Stacionární nože bývají nejméně dva, viz Obr. 11. Mezi rotujícími a stacionárními noži je vůle, díky které nože nekolidují a dochází zde ke stříhání materiálu. Velikost této vůle má velký vliv na výslednou velikost drti.

Nožové mlýny mohou dosahovat díky jejich koncepci a díky sítům velmi nízké a rovnoměrné frakce drti (řádově jednotky milimetrů). Další výhodou je, že není zapotřebí tak velkého převodového poměru, tudíž je použita menší nebo žádná převodovka. Jejich nevýhodou je poměrně vysoká hlučnost cca 90 dB, která může být odstraněna umístěním nožového mlýnu do zvukotěsného boxu. Další nevýhodou je, že nožový mlýn není vhodný pro drcení velkoobjemových symetrických dílů, protože dochází k zaseknutí drceného materiálu mezi tupé části rotoru a statoru. Naopak je vhodné drcit touto metodou dlouhé tenké trámy či desky [22].

U nožových mlýnů lze drcit materiál jak na sucho, tak i ve vodní lázni. U drcení nasucho je stroj jednodušší a jako třídící procesy lze použít vzduchové či elektrostatické metody. Nevýhodou je vysoká prašnost a rychlejší otupění břitů. U drcení ve vodní lázni je stroj složitější, odpadá však problém prašnosti a zvyšuje se odolnost břitů vůči otupění. Nastává ale problém s případnou korozí stroje a bez dalšího sušení není možné třídít materiál elektrostaticky či vzduchově [43, 44].

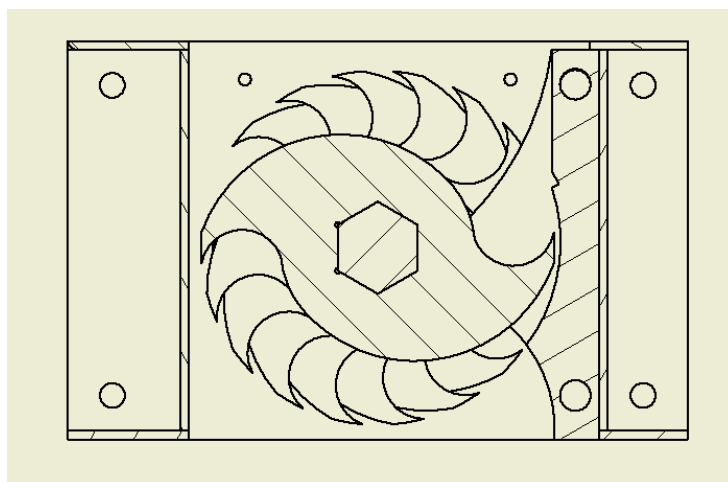


Obr. 11 Nožový mlýn v řezu [44]

2.3.3 Válcový drtič– jedna hřídel

Jednohřídelový válcový drtič je pomaloběžný typ drtiče. Jeho hlavní část tvoří pomalu otáčející se válec, který může být hladký, rýhovaný, opatřen hroty, noži, čepelemi, břitý, nálitky, či může být jinak různě tvarovaný. Proti tomuto rotujícímu válci je umístěno pevné statorové ostří různého tvaru, avšak takového, které vytváří negativ vůči rotujícímu válci, viz Obr. 12. Mezi rotujícím válcem a statorovým ostřím je vůle, která se navrhuje podle toho, jaká je požadovaná velikost výstupní frakce. Návrh této vůle se zpravidla musí vyzkoušet a upravit

v praxi dle potřeby, protože deformování, drcení, stříhání a rozrušování plastů je velmi nepředvídatelný proces. Aby byl výstup z drtiče co nejvíc homogenní, umísťují se pod drtič síta. Velikost děr sít pak definuje velikost výstupní drti. Materiál, který nepropadne sít, je znovu hnán do drtící oblasti a drtí se do té doby, dokud jeho velikost nedosáhne takových rozměrů, aby propadla sít. Obecně platí, že čím menší má výstupní frakce být, tím déle trvá proces drcení. Tento typ drtičů běžně dosahuje velikosti frakce od 5 do 100 mm [45].

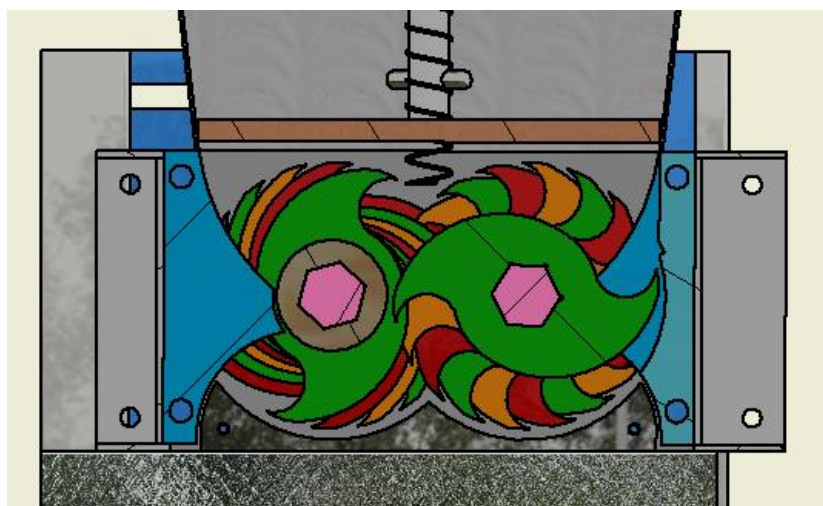


Obr. 12 Válcový drtič jednohřídelový v řezu

Výhodou válcových drtičů je tichý chod, způsobený pomaloběžným otáčením válce. Další výhodou je vysoká síla drcení, která je způsobena velkým převodovým poměrem do pomala. Drtiče tohoto typu mají vyšší krouticí moment a nižší otáčky než například nožové drtiče.

2.3.4 Válcový drtič– dvě a více hřídelí

Válcový drtič dvěma a více hřídelemi se řadí mezi pomaloběžné drtiče. Princip dvouhřídelového a vícehřídelového drtiče je stejný. Přidáním dalších hřídelí se zvyšuje drtící výkon. Vícehřídelové stroje jsou vhodné pro velké objemy materiálu a ve velkých recyklačních linkách. Princip funguje stejně jako u jednohřídelového drtiče, pouze s tím rozdílem, že drcení probíhá jak o statorová ostří, tak i mezi dvěma válci, viz Obr. 13. Válce se proti sobě mohou otáčet se stejnou i různou úhlovou rychlostí. Výhodou dvouhřídelového drtiče je větší drtící výkon a možnost zpracování větších kusů. Nevýhodou může být výstup z drtiče, který bez síta může tvořit delší pásy či větší kusy. Přidáním síta se tento problém redukuje.



Obr. 13 Válcový drtič dvouhřídelový v řezu

2.3.5 Přehled drtičů dostupných na trhu

Firem, které se v ČR zabývají výrobou drtičů na plastový odpad, není mnoho. Trh nabízí poměrně velké množství zahradních drtičů, štěpkovačů, kuchyňských drtičů, drtičů ovoce nebo hi-tech velkoobjemových drtičů nadnárodních společností, ale přímo výrobou a prodejem malých drtičů na plastový odpad se zabývá velmi málo firem. Mezi tuzemské zástupce patří Jelínek stroje, Terier, Pronext či na Slovensku Častulík [2, 57, 58, 59]. Srovnání, viz Obr. 14.

Drtič D3– Pavel Jelínek		Drtič SB1– Terier		Drtič DR120 Mini– Častulík	
Pracovní prostor [mm]	180 x 300	Šířka drtícího prostoru [mm]	500	Pracovní prostor d x š [mm]	300x350
Příkon drtiče [kW]	2 x 1,5	Délka drtícího prostoru [mm]	300 – 800	Příkon drtiče [kW]	2,2 – 7,5
Drticí výkon [kg/h]	350	Příkon drtiče [kW]	5 – 22	Drticí výkon [kg/h]	400
Hmotnost [kg]	250	Drticí výkon [kg/h]	50 – 1000	Hmotnost [kg]	480

Obr. 14 Porovnání drtičů dostupných na trhu srovnatelných s novým typem drtiče [2,57,59]

2.4 Druhy recyklace plastových odpadů

Podstata recyklace je jednoduše řečeno opětovné využití. Jinými slovy je to proces, kterým se dospěje k využití energie nebo materiálové podstaty výrobku po ukončení doby jeho životnosti. Největší ekonomický efekt přináší recyklace výrobků obsahujících materiály s velkým rozdílem mezi energetickými nároky na jejich výrobu a energetickou náročností jejich opětovného přepracování. Vzhledem k ropnému charakteru plastů a prognózám o snižování ropných zásob je pravděpodobné, že recyklace plastů bude v budoucnu v popředí ještě více než v současnosti [24].

2.4.1 Materiálová (fyzikální) recyklace

Materiálová recyklace je založena na dodávce tepelné energie a různých aditiv potřebných pro přetvoření odpadních plastů na recyklovaný materiál s novými mechanickými a vzhledovými vlastnostmi podobnými výchozímu polymeru. Pro tento typ recyklace jsou zapotřebí plasty jediného druhu neznečištěné. Do recyklačního procesu patří mletí upotřebených výrobků, mechanické zpracování drtě i kompatibilizační postupy v tavenině sloužící k přípravě vícesložkových materiálů z různých druhů odpadních plastů. Tento typ recyklace je vhodný pro termoplasty, poněvadž nemají zesíťovanou strukturu, která by tepelným působením degradovala. Udává se, že pokles mechanických vlastností oproti předchozímu stavu je cca 30 %. Toto číslo se ovšem liší spolu s druhem termoplastu [6].

2.4.2 Chemická recyklace

Tento typ recyklace je založen na chemickém rozkladu vstupního polymeru na tzv. oligomery (produkty o nižší molární hmotnosti) nebo monomery. Výhodou oproti materiálové recyklaci jsou relativně nízké nároky na čistotu vstupní suroviny. Jako nevýhodu lze označit

vysoké investiční náklady na technologická zařízení. Celkově je tento typ technologicky i ekonomicky náročnější. Dále je vhodné chemickou recyklaci spojit s již existujícími procesy (polymerační jednotka). Výstupem z chemické recyklace plastového odpadu mohou být velmi kvalitní výrobky [5,6].

Příkladem chemické recyklace je tepelná depolymerace. Některé z polymerů podléhají degradaci při vysokých teplotách tzv. zipovým mechanismem (z konců polymerních řetězců se postupně odštěpují monomerní jednotky). Tento jev lze sledovat např. u PS nebo PMMA. Takto získané monomery lze po vyčištění opět polymerovat na panenský polymer původní kvality. Dalšími příklady může být hydrolyza (alkoholyza) PET nebo PU [7].

2.4.3 Surovinová recyklace

Pokud je plastový odpad silně znečištěný a různorodý, např. frakce komunálního odpadu s hustotou vyšší než 1 g/cm^3 , je velmi obtížné získat recyklací hodnotnější materiál než vlastní surovinovou bázi. Surovinovou recyklací se rozumí rozklad polymerních složek vstupní suroviny pomocí termicky destruktivních procesů na směs kapalných a plyných uhlovodíků. Ty lze dále použít jako topné oleje nebo petrochemické suroviny [6].

Příklad surovinové recyklace je *hydrogenace* (vysokotlaký katalytický proces, kde se plasty smíchají se zbytkovými oleji a působí se na ně vodíkem při $450 \text{ }^\circ\text{C}$ a 200 barech. Asi 90 % plastů je přeměněno na olej. Lze pracovat i v metanolu.), jejímž výstupem jsou převážně kapalná uhlovodíky nebo *pyrolýza* (nízkotlaký proces za vyšší teploty za nepřístupu vzduchu), jejímž výstupem jsou koks a produkty na plyné bázi. Oba postupy patří do chemické technologie a nejsou příliš vhodné pro široké použití. Dalším příkladem je štěpení na syntézní plyn. Plasty se štěpí při $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ a 50 barech s olejem na syntézní plyn ($\text{CO} + \text{H}_2$), vhodný pro výrobu vodíku nebo metanolu. Tuto směs lze přidávat do vysoké pece, kde vzniká opět syntézní plyn, který redukuje železnou rudu [5,7].

2.4.4 Energetická recyklace

Energetickou recyklací se rozumí de facto spalování. Plasty se mohou spalovat obvykle s uhlím ve specificky konstruovaných topeništích. Je za potřebí mít vhodné a účinné filtry, které zamezí vzniku toxických plyných produktů, např. dioxinů. Spalováním vzniká teplo, jenž se využívá pro vznik elektrické a distribuci tepelné energie. Různé druhy plastů mají různé vysokou výhřevnost. Tento typ recyklace je vhodný především pro reaktoplasty [6].

2.4.5 Praktické příklady recyklace a zpracování odpadních plastů

Tato podkapitola obsahuje praktické aplikace recyklace a zpracování odpadních plastů, které se v menší či větší míře ve světě již používají. Jsou zde uvedeny příklady ze všech výše zmíněných druhů recyklace.

- Granulace

Výroba granulátu spadá do materiálové recyklace. Houževnaté plasty jako HDPE nebo HDPP lze roztrít, vyprat, zbavit kovových feromagnetických součástí na magnetických separátorech a nemagnetických součástí na nemagnetických separátorech (Eddy current separator), rozemlít za mokra ve vodě a tuto drť použít jako výchozí materiál do extruderu, kde se homogenizuje a výstupní profil nasekat na granulát [5].

Firma Galloo zpracovávající drcený odpad z automobilů (tzv. ASR – automotive shredder residue) zrecykluje ročně okolo 50 000 tun plastů (PE, PP, PS, ABS) v použitelný granulát [37].

- Extrudování (vytlačování) plastového odpadu

Tento proces spadá do materiálové recyklace. Pro netříděné odpadní plasty získané z komunálního sběru se dá využít tzv. down-cycling technologie. Princip je podobný jako u výše zmíněné granulace. Jedná se o míchání odpadní netříděné směsi plastů ve speciálním extruderu s vysokou hnětací účinností a bezprostředním vytlačováním taveniny do formy. Výhoda tohoto způsobu spočívá v získání výrobků o poměrně velkém objemu. Nevýhodou mohou být snížené mechanické vlastnosti. Výsledné aplikace tak mohou konkurovat levnějším druhům dřeva nebo betonu. Příkladem využití jsou různé typy stavebních dílců jako plotové paňky, zatravnovací dlaždice, sloupky na zpevnění břehů nebo kabelové kanály. Vynalézavosti v této oblasti se meze nekladou. Materiál se dá použít i pro zahradní nábytek, přepravní palety, stolečky do postele pod notebook aj. Zdroj [24] uvádí, že ekonomická bilance tohoto způsobu recyklace se pohybuje na hranici rentability. Firma Transform lázně Bohdaneč fungující od roku 1992 však tento způsob recyklace využívá a za dobu její existence zpracovali již 127 000 tun plastového odpadu. Obchodní značka materiálu, ze kterého své výrobky vyrábí, je Traplast™ [23,29]. Traplast pochází z komunální sféry ze žlutých kontejnerů. Ve směsi převažuje PE a PP. V menší míře se vyskytuje i PS a další plasty, které plasty mají teplotu tání krystalů vyšší, takže zůstávají neroztaveny, ale jejich obsah je tak nízký, že při výrobě nepůsobí větší potíže. Degradace tohoto materiálu probíhá velmi pomalu a jen povrchově. Životnost výrobků z tohoto materiálu je řádově až několik desítek let. I po této době je možné vysloužilé materiály z Traplastu znovu rozemlít a použít ve směsi pro výrobu nových výrobků.

Aby se spolu mohly různé plastové složky smíchat, je třeba přidání tzv. kompatibilizátorů. To dovoluje připravit taveninu i z jinak vzájemně nemísitelných materiálů (např. PP vs. PE). Kompatibilizací se rozumí postup vedoucí ke zvýšené snášenlivosti mezi jinak nemísitelnými termoplasty ve směsi snížením mezifázového napětí. Následkem je zlepšená soudržnost, a tedy kvalitnější mechanické vlastnosti. Existují různé druhy kompatibilizace. Příkladem je aditivní nebo chemická. Aditivní zahrnuje přidání speciálních přísad. Chemicky jde o blokové nebo roubované kopolymery, které mají segmenty složek strukturně podobné či shodné s kompatibilizovanými polymery. Další chemickou kompatibilizací může být novější reaktivní postup, založený na účinku vhodných iniciátorů, které způsobí chemickou reakci mezi různými plasty ve směsi [24]. Folie se zpracovávají aglomerací. To je spečení folií do formy granulí. Z nich se dále připravuje směs, vhodná pro požadovanou kvalitu výrobků. Tato celá směs odpadních plastů se dále homogenizuje, taví a je pomocí extruderu vtlačena do kovových forem. Při zpracování nesmí vznikat odpadní látky a exhaláty takového druhu a složení, aby ohrožily okolí. Výsledkem je funkční recyklovaný výrobek z odpadního plastu, jehož výroba je ovšem dražší, než pokud by byl použit nový panenský materiál [7].

- Přídavek do vozovek a pražců

Tato aplikace vyvinutá ve Finsku slouží k výrobě elastického asfaltu. Je do něj přidáváno 15 až 30 % odpadních plastů. Ve Švédsku je tato technologie testována pod jménem „rubit“, která používá především pryžový odpad. V ČR se asfaltovými výrobky s použitím odpadních plastů zabývá firma PARAMO, a.s. Pardubice. Dále lze plastový odpad i se skelnými vlákny použít pro výrobu železničních pražců, které se oproti dřevěným vyznačují delší životností a oproti betonovým lepší pružností [5]. Železniční pražce vyrábí například firma Americká firma TieTek™ [36].

Problém může představovat uvolňování plastových částic, z asfaltu při kontaktu s pneumatikami vozů, do okolní přírody.

- Chemická depolymerace PET pomocí mikrovlnného záření

AV ČR koncem roku 2013 dokončila vývoj nové technologie recyklace odpadních PET lahví. Jedná se o chemickou depolymeraci pomocí mikrovlnného záření. Výstupní složky jsou kyselina tereftalová a ethylenglykol. Polykondenzací obou složek se vytvoří nový PET materiál. Výhodou této technologie je, že není zapotřebí třídit láhve podle barvy, protože účinkem mikrovln se barvy rozloží. Po vyprání flakesů (nasekaných PET vloček) není nutné sušení. Metoda je vhodná i pro jiné PET materiály jako např. koberce či polyesterové tkaniny. Technologie nevyžaduje zvýšený tlak ani vakuum. Vyznačuje se nízkou spotřebou energie a pracovní teploty jsou v rozmezí 150-170 °C, což je cca o 100 °C méně než při materiálové recyklaci (např. „bottle to bottle“). Technologie je téměř bezodpadová a výstupní čistota produktu je vysoká, nežádoucí příměsi jsou v jednotkách ppm. Tato technologie byla chráněna patentem jak v ČR (CZ299908/PV 2007-469), tak i v některých dalších evropských zemích a Číně. Patent odkoupila polská firma s českým vlastníkem, ale do dnešního dne nebyla výroba za podivných okolností zahájena [40, 41].

- Visbreaking

Visbreaking vakuového zbytku je mírné tepelné krakování ropných zbytků za účelem snížení jejich viskozity. Do tohoto procesu lze přidat 5 až 10 % odpadních plastů. Spadá do surovinové recyklace. Rafinerie Leunawerke AG Leuna provedla zkoušky a vakuový zbytek byl úspěšně zplyňován v generátorech od firmy Shell. Tento proces slouží především pro přípravu naftových paliv nebo olejů. Proces je vhodný pro plastové tašky z PE a PP, kterých bylo v roce 2008 v EU spotřebováno asi 3,4 miliardy kusů. Sběr a zpracování probíhá především v Německu [5].

- Koksování

Tento způsob zpracování spadá do surovinové recyklace. Výhodou této aplikace je, že vstupní odpadní plasty není třeba prát a na závadu není ani obsažený papír. Existuje více variant koksování jako fluidní koksování, pozdržené koksování ropných zbytků nebo výroba hutnického koksu. Plastový odpad lze zhodnotit ve všech variantách. Ověřeným příkladem je výroba hutnického koksu z černého uhlí, kde se osvědčil přírůstek 5 až 10 % plastů [5].

- Proces Linde

Tento proces spadá do surovinové recyklace. Pokusné měření odzkoušelo štěpení vytríděné směsi polyethylenu a polypropylenu přidané až ve 20% množství k destilačnímu zbytku z reakčního produktu z hydrokrakování vakuového plynového oleje v konvekční části pyrolýzní pece při 550 až 650 °C. Postup lze provádět v již existující pyrolýzní peci a není nutné stavět nové zařízení. Spolu se začleněním do petrochemické nebo palivářské rafinerie to přispívá k výhodnému technickému i ekonomickému řešení. Předpokládaná kapacita integrované jednotky je 25 až 100 tisíc tun plastového odpadu ročně [9].

- Výroba ropy z plastového odpadu

V budoucnu je pravděpodobné, že nastane ropná krize. Plastový odpad by na tomto poli mohl hrát významnou roli. Americká firma Envion začala provozovat generátor, který mění plastový odpad vyrobený původně z ropy zpět na ropu různé kvality. Generátor dokáže zpracovat až 10 tisíc tun plastového odpadu za rok a vyrobit z něho ropu při nákladech asi 10

USD za barel (160 litrů). V dnešní době je cena surové ropy asi 60 USD za barel, tedy šestkrát vyšší. Z jedné tuny plastového odpadu může vzniknout až 240 galonů ropy, tj. přibližně 900 litrů lehké až středně těžké ropy (light to medium oil). Proces je založen na kontrolovaném zahřívání plastů za přítomnosti vzdušného kyslíku. Proces přeměny trvá několik hodin [10,11].

Krátká odbočka vede k zamyšlení, jak se dospělo do tohoto stavu. Ropa–plast–ropa. Zdroj se mění v produkt a produkt zpětně ve zdroj. Od začátku do konce tohoto procesu je spotřebováno obrovské množství energie. Užité doba výrobku přitom může být například jen 20 minut (průměrná doba použití jednoho HDPE pytlíku ze supermarketu) [12,13]. To vše především kvůli plýtvání zdroji a nedomyšlenému cirkulačnímu řetězci výrobků. Jelikož ale plastový odpad již existuje a musí se s ním správně naložit, je tento proces relativně vhodným řešením.

Na výrobu plastů se spotřebuje přibližně 8 % celosvětové produkce ropy. Pokud by USA používalo tento proces na všechny svůj plastový odpad, vyprodukovalo by přibližně 150 milionů barelů ropy ročně. To by dokázalo pokrýt celkovou spotřebu ropy v USA asi na 8 dní. Oproti tomu celoroční spotřeba ropy v ČR by pro potřeby USA stačila asi na necelé 4 dny [5]. Jinou firmou, která vyrábí ropu z plastového odpadu je Agilyx. Tato firma drží patent na technologii MPC (Mixed-plastic-to-crude-oil) a PSM (Polystyrene-to-styrene-monomer) [27].

- Nafta vyrobená z plastového odpadu

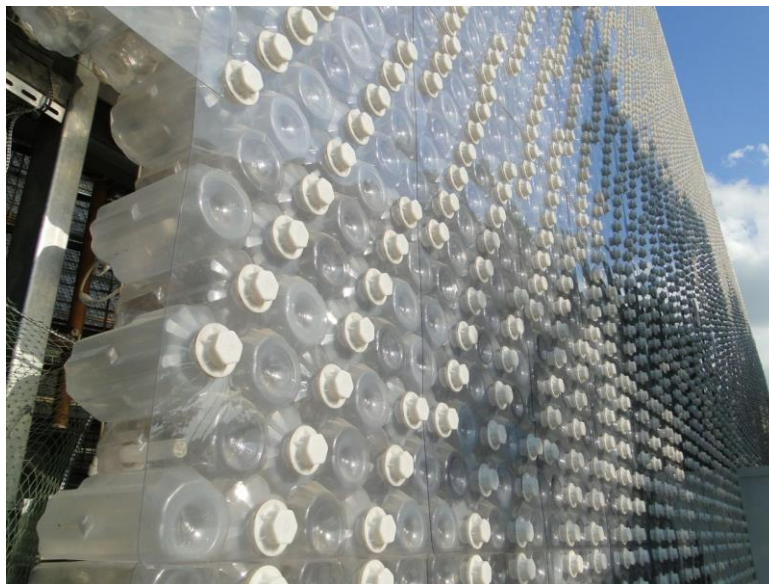
Tento proces je podobný procesu získávání ropy z plastového odpadu. Technologie KDV (Katalytische Drucklose Verölung) využívaná v polském městě Ozorków, umožňuje přeměnit plasty, staré oleje a vosky, stejně jako organické materiály jako dřevo či sláma na motorovou naftu. Na Slovensku ve firmě Enviro Lieskovec u Zvolena existuje podobný proces zpracování plastových odpadů metodou depolymerizace pomocí katalytické transformace. Na vstupu mohou být i znečištěné či druhově netříděné plasty, nebo plasty běžně se vyskytující v komunálním odpadu nebo starých automobilech. Ideálním vstupem jsou polyolefiny jako PE nebo PP, ze kterých se vyrábí například mikroténové sáčky, tašky, potravinové obaly, části domácích spotřebičů, přepravky, nádrže a další. Výsledné produkty se dají dále zpracovávat v rafinériích. V procesu vznikají současně plynné produkty, které slouží k ohřevu samotného výrobního reaktoru. Technologie dokáže zpracovat 1 000 tun plastových odpadů měsíčně a výstupem je 500 až 700 tun vysokokalorických ropných produktů použitelných jako přísady do paliv, pohonných látek nebo na výrobu nových plastů či elektrické energie [5,14].

- Výroba kompozitních materiálů

Kompozitní materiály jsou tvořené z matrice a disperze. Matrice je materiál, který drží kompozit pohromadě. Disperze jsou fáze, které by měly být v kompozitu rovnoměrně rozptýlené. Firma Miniwiz s lokací na Taiwanu, se zabývá cirkulární ekonomikou odpadů. Od založení firmy v roce 2005 vynalezli přes 1 000 znovu a znovu recyklovatelných materiálů vytvořených především z odpadu. Jedním z příkladů je kompozitní materiál pod obchodní značkou Polli-Ber™, jehož matrice se skládá z běžných uživatelských odpadních plastů a disperze se skládá z rýžových slupek, které jako odpad produkuje zemědělský průmysl. Firma se také zaměřuje na recyklaci použitých PET lahví. Z jejich materiálu Polli-Brick™ byla v Taipei postavena budova EcoARK, viz Obr. 15, která odolá požárům i zemětřesením. Na její výrobu bylo použito 1,5 milionu plastových lahví [33].

Mimo tyto druhy materiálů vyrábí Miniwiz i jiné druhy materiálů. Jeden z takových materiálů se jmenuje PlyFix™. Jedná se o univerzální materiál, které lze esteticky upravovat a formovat. Tvoří ho opět recyklované PET lahve. Vrstvy látkové hmoty vyrobené z PET jsou

stlačeny v jednolitý pevný kus, který při doteku není cítit jako klasické plasty, ale je měkký a vláknitý jako plst'. V závislosti na velikosti tlaku použitým při stlačování lze dosáhnout buď tvrdého, hustého a pevného materiálu nebo částečně flexibilního materiálu. Tak či tak, tento typ materiálu si zachovává na pohled plst'ovitý vzhled a je na teplotě na omak.



Obr. 15 EcoARK, budova vyrobená z Polli-Brick™ recyklovaných PET lahví [33]

- Výroba TAP, tuhého alternativního paliva

Tuhé alternativní palivo je tvořeno směsí odpadních plastů, hadrů, papíru a dřeva. V brněnské provozovně společnosti A. S. A., spol. s r. o. se toto palivo vyrábí a dále se využívá v cementárnách a při výrobě tepla. Při použití nesmí být zhoršeny emise ani kvalita cementu. Vstupní suroviny proto procházejí kontrolními procesy. Základním krokem je drcení odpadu, až poté dochází k prvnímu třídění. Magnetický podíl z nadrceného odpadu je zachycován v samostatné nádobě. Následuje druhý stupeň drcení s dvěma drtiči. Výstupní vločky mají rozměr přibližně 5 cm. Tato drť se již dá nazývat TAP. Je shromažďována na hromadu, kde je nakládána na vozy. Výhřevnost TAP se pohybuje mezi 18 až 25 MJ.kg⁻¹. Tento parametr je zkoumán při přejímce tohoto paliva [6]. Kanadská firma WastAway vyrábí podobný produkt pod obchodním názvem Fluff™. Tento materiál tvoří drť ze směsi komunálního odpadu, která je bez zápachu a patogenů [36].

2.4.6 Skládování (není druh recyklace)

Tento způsob zbavování se odpadu by měl být krajním řešením. Uložení na skládku nemusí být vždy principiálně závadné, ale existují druhy plastů, ze kterých se uvolňují toxické látky, které mohou například uniknout do spodních vod. Mimo to se tímto blokuje kapacita skládek. Vzhledem k tomu, že plasty jsou v podmínkách skládování prakticky nerozložitelné a jejich výroba neustále roste, příští generace budou muset tento problém řešit, pokud řešení nepředloží ta současná [6].

Nevhodné nakládání s odpady nejlépe vystihuje toto tvrzení: „Odhodit upotřebený plastový předmět kdekoliv, kde nám upadne z ruky, případně zahrnout buldozerem, jedná-li se o větší množství. Je to ostuda, že se něco takového děje a mělo by být otázkou profesionality pracujících v oboru a otázkou solidnosti každého z nás tento stav co nejdříve změnit [7].“

2.5 Shrnutí problému recyklace plastových odpadů

Po technické stránce lze říct, že je otázka recyklace odpadních plastů vyřešená, neboť existuje velká škála řešení, jak s nimi nakládat. Jedním z problémů je však fakt, že pro ekonomický provoz těchto řešení je zapotřebí velké množství vstupního materiálu. I tak se ale často jedná o procesy ekonomicky ztrátové [7]. Technickým nedostatkem zůstává nedokonalý sběr a efektivnější třídění. Sice existují různé systémy třídění či spektrometry, které dokáží zjistit složení daného plastu, ale systémy nejsou zatím dokonalé. V následujících letech by tyto aspekty měly být vyřešeny.

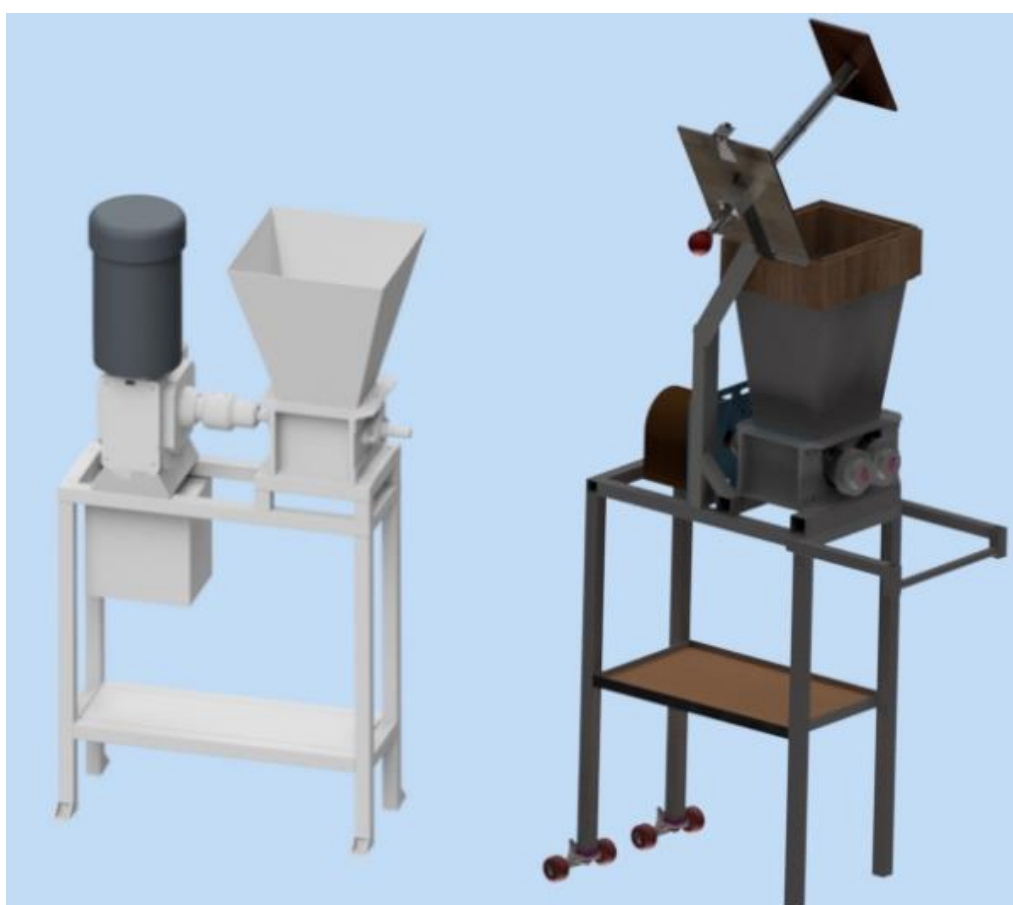
Největším problémem zůstává přístup vedení firem, vedení státu a celkově společnosti k plastovým výrobkům. Firmy by měly do nákladů na výrobu zahrnovat i náklady na likvidaci vysloužilých plastů, stát by měl tyto invence podporovat novelami zákonů, upravenou legislativou či financemi. Společnost si musí uvědomit, že pohodlí krátkodobých jednorázových plastů je přepych, který společnost nepotřebuje a k plastovým výrobkům existují v drtivé většině případů jiné udržitelnější alternativy. Plasty byly člověku velmi dobrým pomocníkem v začátku masovější industrializace od poloviny 20. století. Nyní, když známe škodlivost jejich dopadu, je načase tento problém vyřešit. Sběr, třídění a recyklace výrobků do budoucna musí fungovat lokálně. Z důvodu menšího objemu odpadu, se zvýší čistota jednotlivých frakcí, protože bude snazší materiály třidit. Odpadne uhlíková stopa za dovoz na velké vzdálenosti a daný region bude mít zodpovědnost za to, co používá.

V nedávné minulosti asijské ekonomiky, zejména Čína, skupovaly odpad z celého světa pro využití ve svém průmyslu. To je obecně ekonomicky výhodnější v zemích, kde je levná cena práce. Se vzrůstající čínskou životní úrovní v západním slova smyslu se tamním firmám přestalo vyplácet tento odpad skupovat. Do té doby evropské ekonomiky, které byly převážně orientovány na sběr nikoliv na recyklaci samotnou, nemají dnes odbytiště pro sběrný plast. V současnosti není kvůli dřívější orientaci na sběr dostatečná kapacita recyklačních zařízení pro nově vznikající množství plastového odpadu. Producentům země by měli tento problém akutně řešit. Tedy skutečnost, že Čína již nadále nehodlá být smetištěm pro celý svět, nemusí být až tak zlá, pokud to přinutí producentům země vyrovnat se s tím, co produkují, a ne pouze exportovat problém do jiných zemí. Pro udržení úrovně, na kterou jsou obyvatelé ČR zvyklí, si musí nastupující generace v ČR i rozvojovém světě uvědomit, že materiálové zdroje nejsou nevyčerpatelné, životní prostředí je dobré chránit, a že cestou ke šťastnému životu není životní styl založený na spotřebě a nadměrné energetické náročnosti, ale na rovnováze s přírodou a úctou k jejím přírodním zdrojům. Pokud se tato edukace podaří, prospěch z toho budou mít jak obyvatelé země, tak i příroda [15,16].

Ne příliš vzdálená budoucnost ukáže, jak bude svět materiálů a výrobků vypadat, protože planeta zaplavená nevyřešeným plastovým odpadem může být vážným problémem.

3 NÁVRH, ZHODNOCENÍ A VYUŽITÍ NOVÉHO TYPU DRTIČE PLASTŮ

Důvodem pro vytvoření nového typu drtiče je vyrobit cenově dostupný drtič o dostatečně velkém drticím prostoru a výkonu pro malé firmy, domácnosti a kutily. Požadavkem je získat drť plastového odpadu o frakci maximálně 5 mm v průměru. Jako výchozí podklad drtiče je uvažován drtič holandského návrháře Davea Hakkense z projektu Precious Plastic. Jeho původní typ drtiče disponuje jednou rotující hřídelí, jedním stacionárním ostřím, rámem, násypkou a elektromotorem s převodovkou [8, 52, 53]. Nově navrhovaný typ drtiče 2H má upravenou konstrukci, je osazen dvěma hřídeli, násypkou s pěchovadlem, přídatnými kolečky a rukojetí pro převoz. Porovnání výchozího a nového typu lze vidět, viz Obr. 16. Nový typ drtiče ponese označení 2H, což je odvozeno od slova dvouhřídelový.



Obr. 16 Porovnání výchozího (vlevo) [8] a nového typu drtiče 2H (vpravo)

Nový drtič by měl být konstrukčně, uživatelsky a servisně jednoduchý, účinný s dostatečným drticím výkonem, cenově dostupný, spolehlivý, tichý a bezpečný.

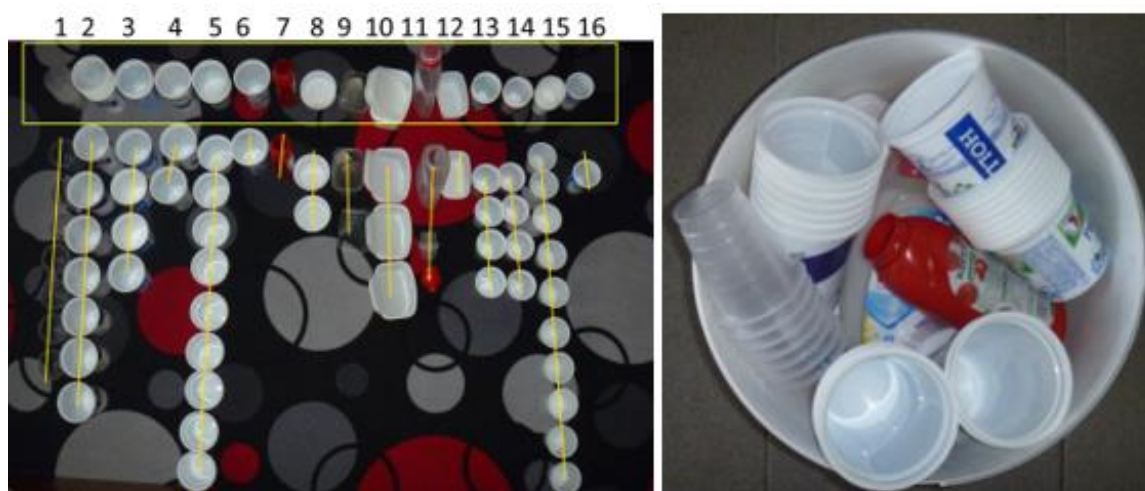
- Vstupní materiál

Plastový odpad pochází především z domácností a nejčastější drcený materiál je PE a PP. Nejčastěji drcenými objekty jsou lahvičky od šampónů, viz Obr. 17, víčka od PET lahví, kelímky od jogurtu, poškozené potravinové krabičky, nádoby na olej, obaly na prací prostředky aj. Dále by měl být drtič vhodný k drcení PET lahví, odpadu z 3D tisku (především ABS a PLA), kartáčků na zuby (PA) a plastových součástek z automobilových světlometů (PC, ABS, PP).

Materiál, které vstupuje do drticí komory musí být suchý a zbaven nečistot. Výslednou drť lze sice mýt a sušit, je to však přidaná operace navíc. Proto je preferováno drtit odpadní materiál již vysušený a očištěný. Pro vysušení materiálu je vhodné skladovat ho nejméně týden v klimatizovaných prostorách, neboť klimatizace vysouší vzduch. Existují i průmyslové sušičky na plastový odpad, vzhledem k jejich vysoké ceně a charakteru této práce nebudou uvažovány. Jako vzorky pro drcení byly vybrány PP obaly, viz Obr. 18, jejichž přesná charakteristika je k dispozici, viz příloha 2, list 4–specifikace drcení, a část krycího skla automobilu Fabia III, viz Obr. 19.



Obr. 17 Referenční příklad drceného výrobku (šampon z PE, tloušťka stěny 1 mm)



Obr. 18 Polypropylenové (PP) obaly od potravin připraveny k drcení

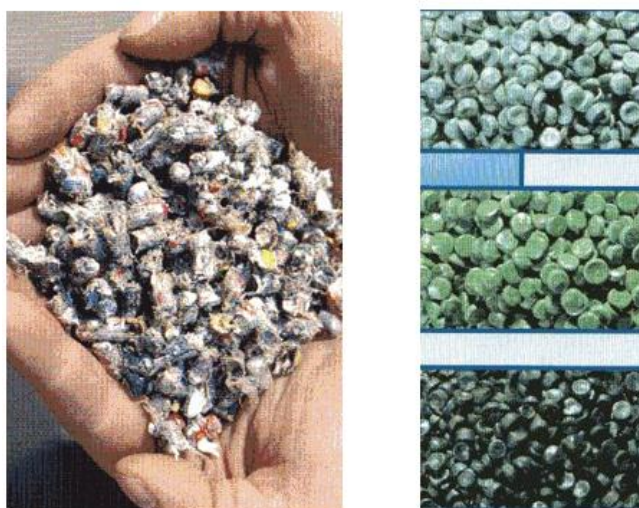


Obr. 19 Polykarbonátová (PC) část krycího skla světlometu Fabia III, připravená k drcení

- Výstupní materiál

Výstupní drť má sloužit především k technologii vytlačování (extruze) [54], výrobě regranulátu, aglomerátu [22, 55] a filamentu pro 3D tisk [52]. Pro případné další využití lze uvažovat technologii vstřikování do forem. Aglomerát vzniká tak, že materiál je ohříván (povětšinou) frikcí jen na teplotu, kdy se stává lepivým. Současně či krátce potom na materiál působí tlak či odstředivé síly, což vede ke vzniku aglomerátu. Proces aglomerace se používá především pro vlákna, fólie či pásy [55]. Vizuální rozdíl mezi aglomerátem a granulátem, viz Obr. 20. Výstupní frakce drti by neměla přesáhnout 5 mm v průměru z důvodu dalšího snadného zpracování. Výstupní materiál je vhodné skladovat v pytlích či nádobách z různých materiálů. Nejvíce preferované je použití nádoby, které jsou čisté a suché. Je též vhodné použít nádoby, které již existují a jsou k dispozici (kýble od omítky, vápna či staré sudy). Jelikož se předpokládá drcení různých druhů materiálů, je dobré si pytle či nádoby vhodně označit dostatečně velkými a trvanlivými nálepkami, případně použít nádoby průhledné.

Aglomerát versus granulát



Obr. 20 Rozdíl mezi aglomerátem (vlevo) a granulátem (vpravo) [55]

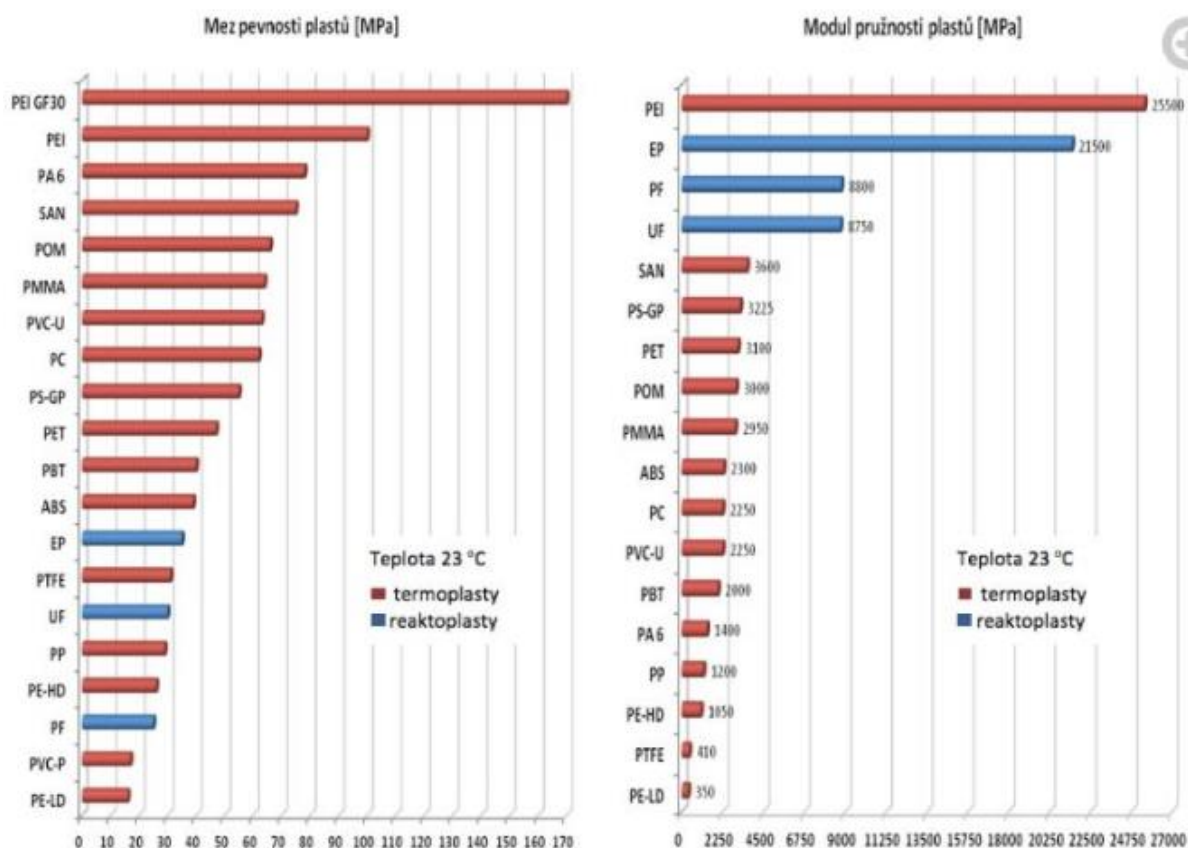
V návaznosti na další technologii zpracování je zapotřebí určit, zda je nutné materiály drtit separátně podle barvy. Pokud budoucí výrobky z drti budou sloužit k dekoračním účelům, pak je nutné zvážit drcení stejně barevného odpadu. Jestliže výrobky budou sloužit pro esteticky nenáročné díly, pak není zapotřebí drtit odpad roztríděný podle barev. Příklad drti po prvním průchodu novým typem drtiče bez síta, viz Obr. 21.



Obr. 21 Drť PP obalů vlevo, drť části krycího PC skla vpravo

3.1 Mechanické vlastnosti drceného materiálu

Mechanické vlastnosti použitých strojních částí jsou uvedeny, viz Obr. 25, Obr. 30, Obr. 34 a Obr. 37 v následujících podkapitolách. Pro výpočty a simulace se vychází se z minimálních hodnot mezí kluzu, kterou by strojní součásti neměly za provozu přesáhnout. Použití konkrétních materiálů pro jednotlivé aplikace je dále specifikováno v následujících podkapitolách. Obecně platí, že u použitých strojních materiálů nesmí být překročena mez kluzu a u drcených materiálů je třeba překročit mez pevnosti.



Obr. 22 Mez pevnosti a modul pružnosti vybraných plastů [51]

Drceným materiálem jsou plasty. Různé plastové materiály se liší například v teplotách tavení, chemickou strukturou, modulem pružnosti či mezi pevnosti. Pro rozrušení plastů je třeba mez pevnosti překročit. Nejčastěji drceným materiálem bude PE a PP. Mohou nastat i případy, kdy se bude drtit i materiál s vyšší mezi pevnosti R_m . Jako referenční hodnotu maximální mezi pevnosti bude zvolen materiál PA 6 s $R_{mPA} = 85$ MPa. Jako referenční hodnotu nejčastější mezi pevnosti drceného materiálu bude zvolen materiál PP s $R_{mPP} = 30$ MPa, viz Obr. 22.

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DRTIČE

Konstrukce drtiče koresponduje s cíli, uvedenými v kap. 3. Cílem je najít vhodné řešení, které vyhoví jak požadavkům funkčním, tak i ekonomickým a ekologickým. Tato kapitola se zaměřuje na popis a výpočty parametrů drtiče. Konstrukční návrhy a dokumentace byly vytvořeny v aplikaci Autodesk Inventor Professional 2017.

Stanovit přesný průběh sil působících při drcení je velmi obtížné, jelikož drcený materiál se může při drcení libovolně natočit a není tedy možné zjistit přesné zatížení. Výrobci drtičů odpadu (Terier, Weina) řeší konstrukci na základě zkušeností z dřívějších projektů a na základě experimentů z hotových strojů [63]. **Celkový výpočet sil a momentů při průběhu drcení se tedy zakládá spíše na odhadu, hlavní váhu mají experimentální zkoušky.** Některé z parametrů drtiče vycházejí z návrhů drtičů dostupných na internetu [53,64].

Válcový drtič ve své podstatě vlastně vstupní materiál stříhá a tím dochází ke zmenšování částic a tedy „drcení“. Pro výpočet střížné síly nutné k porušení materiálu lze vycházet ze vztahu (4.1) [71].

$$F = \tau_S \cdot S = 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot s \quad (4.1)$$

kde: F – střížná síla [N]

τ_S – střížné napětí $\tau_S = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]

S – střížná plocha $S = o \cdot s$ [mm²]

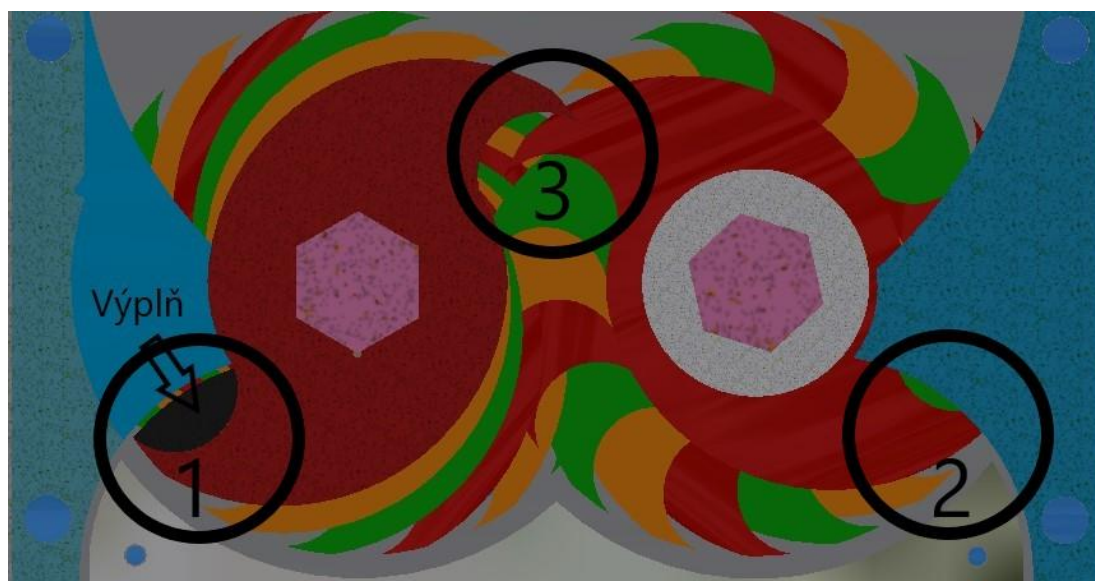
R_m – mez pevnosti drcené součásti [MPa]

o – obvod stříhané součásti [mm]

s – tloušťka stříhané součásti [mm]

Mez pevnosti drceného materiálu je pro výpočty zvolena jako maximální $R_{mPA} = 85$ MPa a jako nejčastěji používaná $R_{mPP} = 30$ MPa a $R_{mPE} = 25$ MPa.

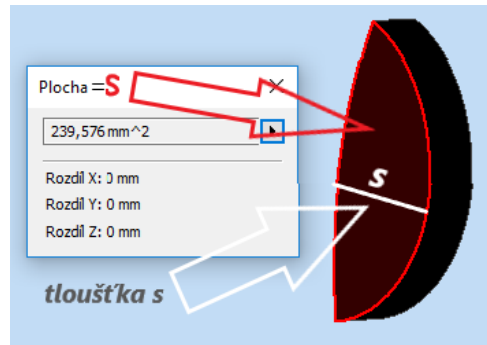
První návrh výpočtu má za úkol teoreticky přiblížit, nejhorší možný případ, který by mohl u drcení nastat. Na Obr. 23, je vyobrazená teoretická výplň, která se vejde do mezery mezi čepelí a stacionárním ostřím. Pro tento případ nelze použít klasický výpočet pro střížnou plochu, neboť tloušťka není konstantní, viz Obr. 24.



Obr. 23 Znáornění teoretické výplně a třech drtičích oblastí

Proto je jako střížná plocha vzatý průřez teoretickou výplní značený červeně. Střížná plocha S musí být vynásobena dvěma, protože je třeba uvažovat i plochu opačné strany teoretické výplně. Výslednou plochou je

$$S_2 = S \cdot 2 = 239,576 \cdot 2 \doteq 480 \text{ mm}^2. \quad (4.2)$$



Obr. 24 Plocha teoretické výplně s nekonstantní tloušťkou

Jelikož mají drtičí břity čepel tvar ostré geometrie, díky které vniká břit do materiálu postupně nikoliv celý náraz, násobí se plocha koeficientem $k_1 = 0,1$.

$$S_{2koeff} = S_2 \cdot k_1 = 480 \cdot 0,1 = 48 \text{ mm}^2 \quad (4.3)$$

Pro výpočet síly, která působí na jednu čepel, je dosaženo do vztahu (4.1).

$$F_1 = \tau_{SPA} \cdot S = 0,8 \cdot R_{mPA} \cdot S_{2koeff} = 0,8 \cdot 85 \cdot 48 = 3264 \text{ N}$$

Čepel je na drtiči rozložena rovnoměrně tak, aby jejich břity zabíraly v jinou chvíli. Zároveň je v záběru vždy pouze jeden ze dvou břitů čepel. Počet čepelí na jedné hřídeli je 13, počet na druhé hřídeli 14. Pro dosažení optimálního rozložení jsou na hřídeli tři typy čepelí, které jsou podrobněji rozepsány v kap. 4.1. Díky tomuto rozložení je první a devátá čepel natočena ve stejné pozici. Z tohoto důvodu mohou být zatížena silou F_1 za nejhorší konstelace v záběru dvě čepel na jedné hřídeli. Tento jev představuje koeficient $k_2 = 2$.

Drtič je osazen dvěma hřídelemi. Z tohoto důvodu se materiál dokáže drtit ve třech oblastech drtiče, viz Obr. 23. Tento fakt je příčinou existence koeficientu $k_3 = 3$.

Pro nejhorší možný případ a kombinaci drcení lze potom vypočítat maximální kritickou sílu:

$$F_{krit} = F_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 3264 \cdot 2 \cdot 3 = 19584 \text{ N}$$

Pro výpočet krouticího momentu potřebného na hřídeli lze vyjít ze vztahu (4.4).

$$M_{krit} = F_{krit} \cdot r = 19584 \cdot 0,06 = 1175 \text{ Nm} \quad (4.4)$$

kde: M_{krit} – kritický krouticí moment [Nm]

F_{krit} – kritická síla [N]

r – poloměr čepel [m]

Za předpokladu, že bude použit elektromotor s výkonem $P_{motor} = 1,5 \text{ kW}$ a $n_{motor} = 1560 \text{ min}^{-1}$, lze vypočítat potřebné otáčky a převodový poměr.

$$P_{motor} = M_{krit} \cdot \omega_{krit} \quad (4.5)$$

kde: P_{motor} – výkon motoru [W]

ω_{krit} – úhlová rychlost [s^{-1}]

$$\omega_{krit} = 2 \cdot \pi \cdot n_{krit} \quad (4.6)$$

kde: n_{krit} – kritické otáčky motoru [s^{-1}]

$$n_{krit} = \frac{P_{motor}}{M_{krit} \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{1500}{1175 \cdot 2 \cdot \pi} = 0,2 \text{ s}^{-1}; n_{krit} \cdot 60 = 12,19 \text{ min}^{-1} \quad (4.7)$$

Převodový poměr je získán podílem otáček motoru ku kritickým otáčkám motoru. Výkon zůstává stejný před i za převodovkou. Za převodovkou je pouze poníženo o ztráty ve tření způsobené třecími silami mezi ozubenými koly a olejem. Se zvyšujícím se převodovým poměrem roste krouticí moment a klesají otáčky. Převodový poměr pro 1,5 kW motor a výše zmíněné uvedené podmínky je vypočítán dle vztahu (4.8).

$$i_{krit} = \frac{n_{motor}}{n_{krit}} = \frac{1560}{12,19} = 127,97 \doteq 128 \quad (4.8)$$

Navrhnutí drtiče na tento kritický vypočítaný stav je možné, ale vzhledem k povaze plánovaného budoucího odpadu a následnému využití drtiče není cílem navržení na tento

kritický stav. Zároveň návrh na kritický stav zvyšuje náklady na výrobu. Proto bude drtič navržen s ohledem na faktory zmíněné níže.

Pro výpočet reálnější situace pro drcený odpad lze uvažovat tyto faktory:

- Lze zvětšit převodový poměr.
- Zmenšit průměr čepele nebo funkční velikost břitu.
- Drtit materiál o jiném průřezu.
- Drtit materiál s nižší mezí pevnosti.

Pro dosažení nových výsledků jsou provedeny výpočty dle vztahů (4.1 až 4.8) s jinými dosazenými hodnotami. Nový výpočet je indexován písmenem D . Jako drcený předmět je uvažována lahev od šampónu z PE s tloušťkou stěny 1 mm, viz Obr. 17. Je uvažováno, že při procesu drcení se k sobě stěny přitisknou, a tedy tloušťka k drcení bude dvojnásobná, což je řešeno vynásobením tloušťky s dvěma. Obvod o_D představuje obvod jednoho břitu čepele.

$o_D=64$ mm, $s=2$ mm.

F_{DK} = síla F_D vynásobená koeficienty.

$$F_D = \tau_{SPE} \cdot S = 0,8 \cdot R_{mPE} \cdot S_{2Dkoef} = 0,8 \cdot 25 \cdot 12,8 = 256 \text{ N}$$

$$S_{2Dkoef} = S_D \cdot k_1 \cdot 2 = 64 \cdot 0,1 \cdot 2 = 12,8 \text{ mm}^2$$

$$F_{DK} = F_D \cdot k_2 \cdot k_3 = 256 \cdot 2 \cdot 3 = 1536 \text{ N}$$

$$M_D = F_{DK} \cdot r = 1536 \cdot 0,06 = 92,16 \text{ Nm}$$

$$n_D = \frac{P_{motor}}{M_D \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{1500}{92,16 \cdot 2 \cdot \pi} = 2,59 \text{ s}^{-1}; n_D \cdot 60 = 155,42 \text{ min}^{-1}$$

$$i_D = \frac{n_{motor}}{n_D} = \frac{1560}{155,42} \doteq 10$$

Pro drcenou součást z PE o tloušťce 1 mm je zapotřebí navrhnout drtič alespoň na výše uvedené hodnoty s indexem D .

4.1 Drtící komora

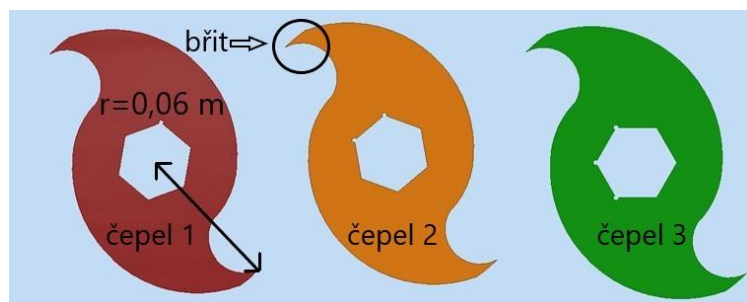
Do drtící komory vstupuje materiál shora ve formě různých tvarů a velikostí. Při průchodu komorou je materiál drcen, stříhán a deformován na takovou velikost, která dokáže projít sítím, jenž je umístěno dole pod drtičem. Drtící komora se skládá z plechu ČSN 11373 tloušťky 3 až 6 mm, které mohou být nařezány různými technologiemi. Plechy lze řezat laserem, plazmou, vodním paprskem nebo frézovat. Z hlediska přesnosti, rychlosti a lokální dostupnosti jsou díly řezány laserem. Díly, které mají atypickou tloušťku plechu, jsou vyfrézovány na frézce. Mechanické vlastnosti plechů lze vidět, viz Obr. 25. Drtící komora je převážně smontována šroubovými spoji, pouze boky drtící komory jsou svařeny.

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]	min. 370	min. 350
Mez kluzu R_e [MPa]	min. 250	min. 220
Tažnost A_{10} [%]	min. 7	min. 20

Obr. 25 Mechanické vlastnosti plechů ČSN 11373 [49]

Rotující čepele mají průměr 120 mm a tloušťku 5 mm. Jedna čepel má dva břity. Celkem jsou použity tři druhy čepelí, viz Obr. 26. První červená značená indexem 1, s jednou značkou v horním rohu vnitřního šestihranu. Druhá oranžová značená indexem 2 se dvěma značkami a s vnitřním šestihranem pootočeným o 20°. Třetí zelená je značená třemi značkami s vnitřním šestihranem pootočeným o 40° vůči první čepeli.

Počet čepelí typu 1 je použito 10 kusů. Počet čepelí typu 2 je použito 9 kusů. Počet čepelí typu 3 je použito 8. Rozložení čepelí lze vidět, viz Obr. 27.



Obr. 26 Druhy čepelí použitých v drtiči

Tvar břítů je důležitý při vnikání čepel do drceného materiálu. Proto má řezná geometrie břítů ostrý úhel. Tvar je zahrnut do výpočtu koeficientem k_1 , viz kapitola 4. Pro výpočet krouticího momentu, který dokáže vyvinout elektromotor, je použit vztah (4.5).

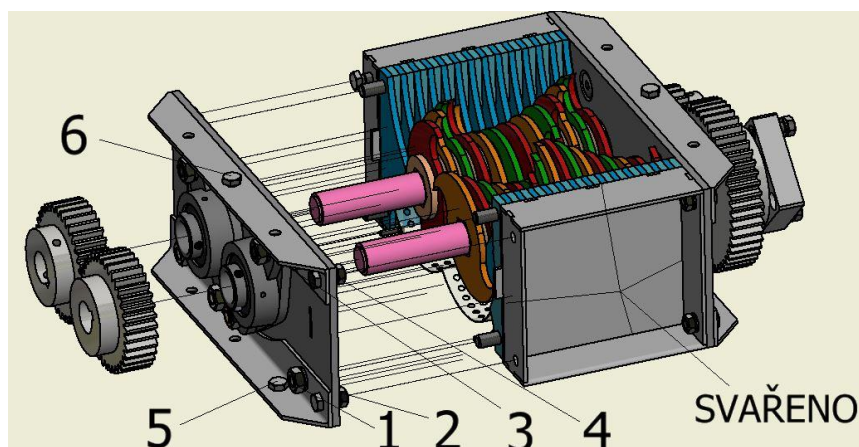
$$M_{motor} = \frac{P_{motor}}{\omega_{motor}} = \frac{1500 \cdot}{2 \cdot \pi \cdot 1} \doteq 239 \text{ Nm}$$

Krouticí moment, který dokáže vyvinout 1,5 kW elektromotor při 60 otáčkách za minutu ($60 \text{ min}^{-1} = 1 \text{ s}^{-1}$), je 239 Nm. Poloměr čepel r je 60 mm. Výpočet síly na obvodu čepel lze provést pomocí vztahu (4.4).

$$F_{motor} = \frac{M_{motor}}{r} = \frac{239}{0,06} \doteq 3983 \text{ N}$$

Síla na obvodu čepel (na špičce břítu), kterou dokáže elektromotor přenést je 3983 N.

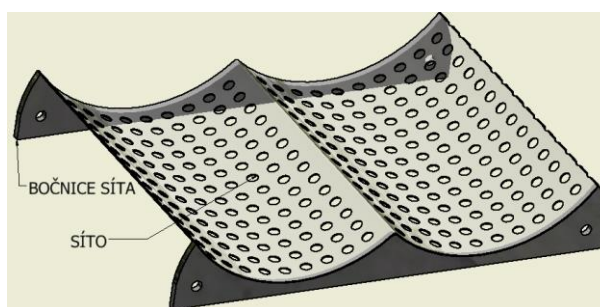
Důležitým atributem drtiče je možnost vyměnitelnosti čepelí. K takovéto situaci může dojít, pokud nastane poškození (ohnutí) čepel, otupení břítu nebo je potřeba otestovat nový druh čepelí. Drtičí komora je k rámu upevněna na čtyřech šroubech (typ šroubu č.5, viz Obr. 27). K násypce je upevněna dvěma šrouby (typ šroubu č. 6). Po povolení těchto šesti šroubů lze drtičí komoru vyjmout z rámu a položit na stůl, kde lze pokračovat v rozborce. Po vytlučení kolíků ozubených kol 2 a 3, je možné ozubená kola z hřídelí sundat. Poté zbývá už jen povolit osm šroubů (typ šroubů č. 1 až 4), které drží část jedné strany komory od zbytku komory a lze vyjmout čepel a stacionární ostří. Pokud je namontováno síto, poté je třeba povolit ještě dva šrouby, které síto upevňují na jedné straně k drtičí komoře.



Obr. 27 Rozložení části drtičí komory umožňující vyjmutí čepelí a stacionárních ostří

K dosažení požadované velikosti drti slouží síto. Síto je tvořeno plechem s oky, která mají v průměru 4,5 mm. Síta se dají měnit podle toho, jaký je požadovaný průměr výstupní drti. U tohoto typu drtiče je vhodné, pokud se materiál nejprve jednou předdrť bez síta a poté se nadrť

ještě jednou se sítem. Odpadá tak potřeba mít vysokorychlostní drtič, který by zajistil požadovanou velikost drti. Lze drit materiál rovnou s přidělaným sítem, ale pokud je do prostoru násypku vloženo najednou příliš mnoho odpadu, může dojít k zahlcení drtiče a možnému poškození síta. Pro vyladění tohoto procesu je zapotřebí buď vpravovat materiál postupně nebo provést zkoušky na reálném stroji a najít vhodné řešení tohoto případného problému. Síto pro tento drtič je vyrobeno z bubnu pračky a přivařeno na dvou stranách k bočnicím, které se drží na spodku drtičí komory na čtyřech šroubech M6, viz Obr. 28.



Obr. 28 Síto drtiče

4.2 Volba motoru a převodovky

Volba motoru vychází ze dvou základních předpokladů. Prvním je výkon a druhým počet otáček za minutu. Tento typ drtiče je pomaloběžný, proto nestačí použít pouze klasické průmyslové motory, ale je nutné za ně přiřadit ještě převodovku. Velkým zpřevodováním do pomala je dosaženo velkého krouticího momentu, který je nutný pro narušení materiálu. Volba motoru zohledňuje také napájecí soustavu. Jako vhodné se jeví použití třífázové elektromotory na 400 V nebo jednofázové elektromotory na 230 V. Z praktického hlediska a experimentálních zkoušek je vhodné, aby se otáčky pohybovaly okolo 60 min^{-1} . Při těchto otáčkách je dosaženo již poměrně velkého drtičího výkonu (kg/hod) a zároveň není zapotřebí převodovka s tak velkým převodovým číslem. Nevýhodou tohoto počtu otáček může být nedostatečný krouticí moment. To lze vyřešit použitím elektromotoru s větším výkonem. Při zohlednění ceny, výše uvedených výpočtů (4.1 až 4.7) v kapitole 4 a dostupnosti elektromotorů byl vybrán 400 V třífázový elektromotor Stephan-Werke-Hameln o výkonu 1,5 kW a 1560 min^{-1} s převodovým poměrem na převodovce i 13:1 (výstupní hřídel má 120 min^{-1}). Při hledání vhodného elektromotoru byly navštíveny sběrné dvory, bazary a internetové stránky prodejců elektromotorů. Vybraný motor sloužil jako pohon pro dopravníky, má poškozený informační štítek, viz Obr. 29, tudíž jeho další parametry nejsou známy. Nejedná se o parametricky nejlépejší motor, který by mohl být vybrán, ale je nejlepší z hlediska poměru cena/výkon.

Pokud by byly finanční možnosti investora vysoké, byl by zvolen jednofázový 230 V elektromotor MY 90 L4/1,5 kW / 1430 min^{-1} [65] a převodovka TRC 01 čelní převodovka – hřídel 20 mm s převodovým poměrem $i=53,33:1$ [66]. Při použití těchto komponent lze vyřadit ozubená kola 1 a 2 a napojit převodovku rovnou místo kola 2. Pro dosažení převodového poměru $i=106,66:1$ mohou ozubená kola 1 a 2 zůstat.



Obr. 29 Použitý elektromotor o výkonu 1,5 kW s převodovkou 13:1

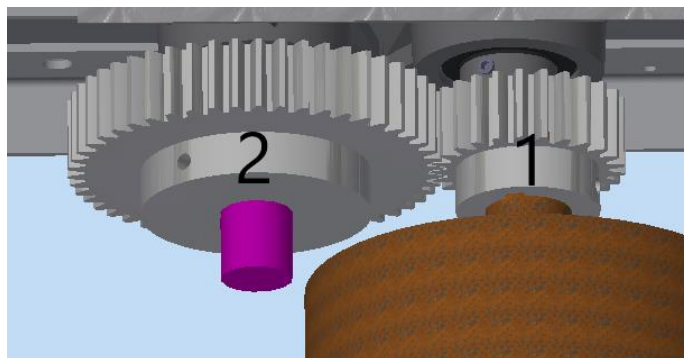
4.3 Volba ozubených kol

Ozubená kola slouží k přenosu mechanické energie z jednoho hřídele na druhý. Díky rozdílnému počtu zubů spoluzabírajících kol, lze definovat požadovaný krouticí moment a otáčky drtiče. U tohoto typu drtiče jsou použita čtyři čelní ozubená kola o modulu 2,5 mm. Pastorek o počtu 25 zubů spojený s hřídelí elektromotoru je označen indexem 1, spoluzabírající kolo o počtu 50 zubů spojené s hřídelí drtiče je označeno indexem 2, viz Obr. 31. Roztečná kružnice ozubeného kola s 25 zuby d_{r25} je 62,5 mm. Roztečná kružnice ozubeného kola s 50 zuby d_{r50} je 125 mm. Obecně se doporučuje vyhnout se soudělnému počtu zubů spoluzabírajících kol, aby nedocházelo k otěru stejných dvojic zubů, avšak pro získání požadovaného poměru 2:1, je tento počet zubů nezbytný.

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]	640 - 780	
Mez kluzu R_e [MPa]	390	
Tažnost A_{10} [%]		

Obr. 30 Mechanické vlastnosti ozubených kol ČSN 12050 [46]

Materiál použitých ozubených kol je ČSN 12 050 [46], viz Obr. 30. Výroba ozubených kol může být uskutečněna například technologií frézování, odvalováním či protahováním [47].

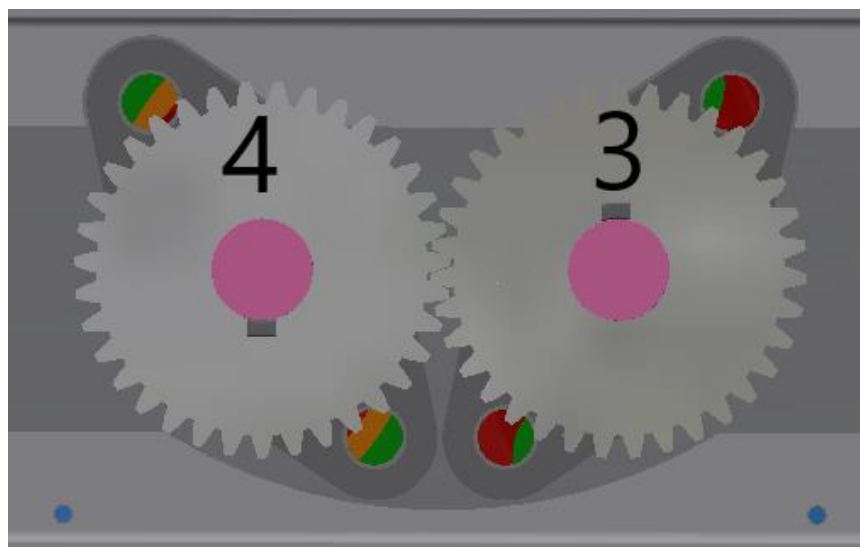


Obr. 31 Ozubené kolo 1 a 2

Jelikož je tento typ drtiče dvouhřídelový, je zapotřebí převést mechanickou energii i na druhou hřídel. Materiál hřídele je dle ČSN 11 500. Hřídelí je šestihránná tyč o průměru 27 mm. Osoustružené konce mají průměr 25 mm. U výchozího návrhu drtiče byl průměr osoustružené části hřídele jen 20 mm. Experimenty ukazují, že 19 mm hřídel se může i u těchto typů drtičů ukrotit (kvůli krutu a zatížení smykovým napětím), proto byl zvolen průměr 25 mm u kterého by ukroucení již nemělo nastat [8, 64].

Kolo označené indexem 3 leží na stejné hřídeli jako kolo 2. Kolo 3 má stejný počet zubů jako kolo 4, viz Obr. 32. Počet zubů a modul těchto dvou spoluzabírajících kol se stanoví z osové vzdálenosti, která musí být taková, aby vůle mezi čepelími jednoho válce a distančními kroužky druhého válce, nebyla příliš malá, aby nedocházelo ke kontaktu, ani příliš velká, aby nevznikaly příliš velké drcené kusy. Pro tento případ bylo zvoleno 35 zubů s modulem 2,5 mm. Roztečná kružnice ozubeného kola s 35 zuby d_{r35} je 87,5 mm. Přes vzorec (4.4) lze vypočítat sílu na obvodu ozubeného kola s 35 zuby F_{35} , po dosažení je síla 5463 N.

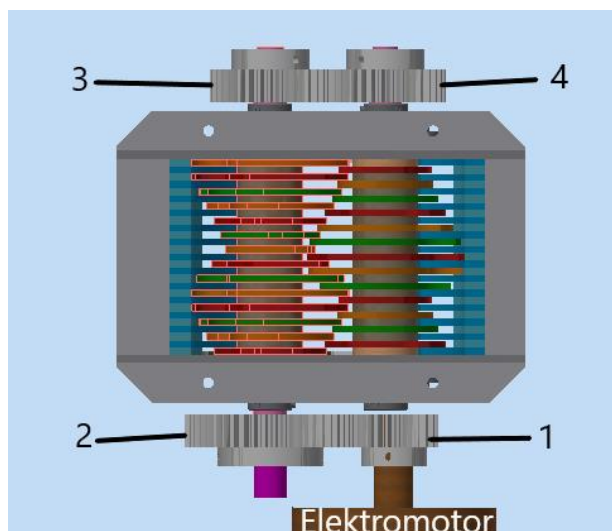
$$F_{35} = \frac{M_{motor}}{r_{r35}} = \frac{239}{\frac{d_{r35}}{2}} = \frac{239}{0,04375} \doteq 5463 \text{ N}$$



Obr. 32 Ozubené kolo 3 a 4

Použití ozubených kol 1 a 2 je dáno požadovaným převodovým poměrem. Vybraný elektromotor s převodovkou má 120 otáček za minutu. Pro dosažení nižších otáček (60 min^{-1}) a vyššího krouticího momentu je aplikován redukční poměr kol 2:1. Pokud by měl elektromotor s převodovkou rovnou výstup 60 min^{-1} , odpadla by potřeba prvních dvou ozubených kol a na elektromotor by byla napojena rovnou hřídel spojená s ozubeným kolem 3. V rámci této práce byl ovšem zvolen elektromotor s výstupem 120 min^{-1} , z důvodu uvedeném v kap. 4.2.

Kolo 1 se tedy otáčí s 120 min^{-1} . Kola 2,3 a 4 se otáčejí s 60 min^{-1} (1 otáčka za 1 sekundu)



Obr. 33 Schéma ozubení při pohledu na drtič shora

Použití ozubených kol u tohoto typu drtiče lze vidět, viz Obr. 33, kde jsou při pohledu shora vidět modře značená statorová ostří. Červená, oranžová a zelená značí čepele a hnědá barva přísluší distančním kroužkům.

4.4 Volba upevňovacích a zajišťovacích elementů

Pro zajištění správného chodu stroje, je za potřebí určit upevňovací elementy jednotlivých částí drtiče. Pro přenesení krouticího momentu od elektromotoru s převodovkou na drtičí hřídele je nutné hřídele spojit. Bylo zvoleno ozubené soukolí, které nedovoluje proklouznutí. V úvahu bylo bráno použití třecí spojky nebo klínového řemene pro případ zaseknutí drtiče, avšak pro jednoduchost, respektive kompaktnost stroje bylo pro tento drtič od těchto elementů

upuštěno. Případné zajištění bezpečnosti by do budoucna mohl představovat senzor pohybu, který by vyhodnotil zaseknutí materiálu a zastavil stroj, popřípadě by zařadil dočasně zpětný chod. Volba šroubů a vřutů je podrobněji rozepsána v podkapitole 4.4.2.

4.4.1 Kolíky vs. pera

Pro spojení ozubených kol s hřídelí existuje více možností. Při volbě, které spojení použít, je třeba uvážit kde a za jakých podmínek bude ozubené kolo pracovat. Volbu je třeba učinit s ohledem na přenášený krouticí moment, technologii a čas výroby a cenové možnosti. Typy spojení jsou například drážkovaný hřídel, systém pero–drážka, příčný kolík nebo lisování (využívá tření díky uložení s přesahem).

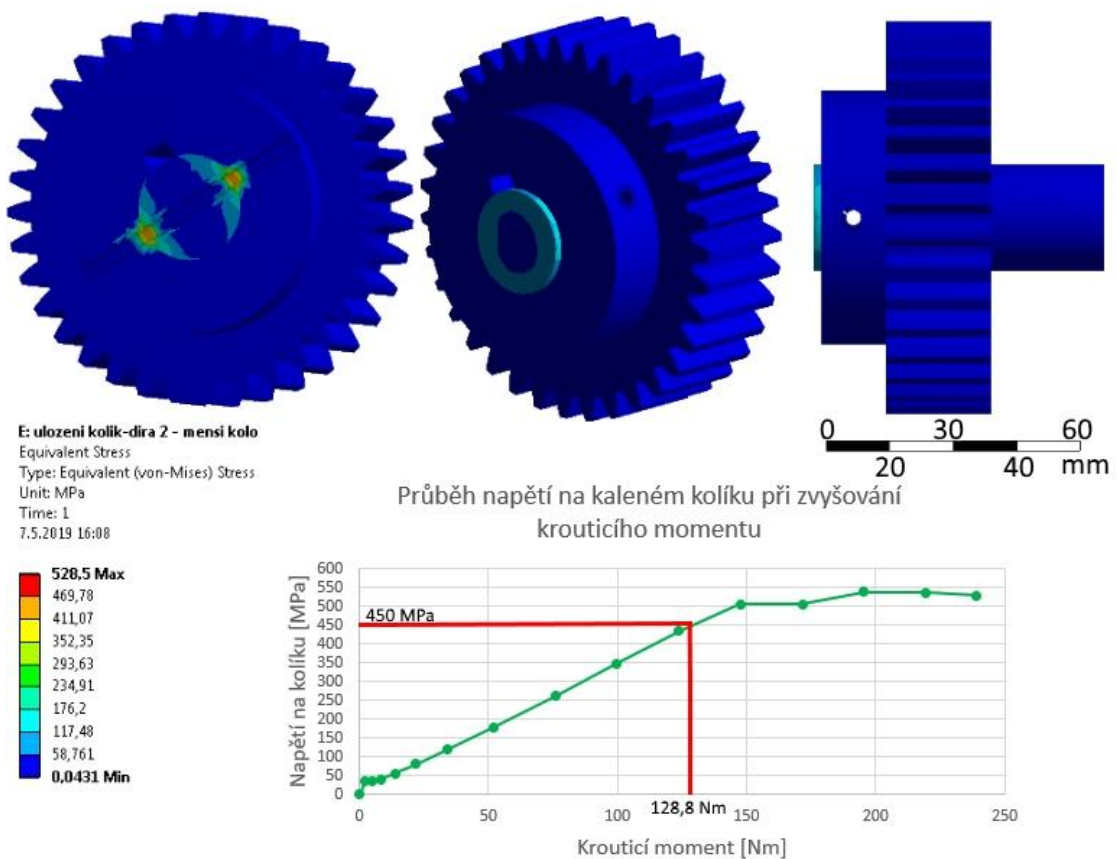
Z ekonomického hlediska vychází pro použití nejlépe příčný pružný kolík, který zamezuje pohybu ozubeného kola na hřídeli jak v axiálním, tak i radiálním směru. Existují různé typy kolíků jako např. válcové hladké, válcové pružné, kuželové aj. Pro výrobu tohoto typu spojení je postačující stojanová vrtačka či frézka, vrták do kovu a příčný kolík. Jestliže mají kolíky přenášet vnější zatížení, je vhodné provést pevnostní výpočet, který ověří únosnost ve smyku, ohybu a otlacení. Pokud kolíky nevyhovují pevnostně a hrozí, že by nezvládly přenést krouticí moment, lze použít systém pero–drážka, který je výrobně složitější, ale má vyšší únosnost.

Materiálem pro kolíky je dle ČSN 11 700.40 s mechanickými vlastnostmi, viz Obr. 34.

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]	690 - 830	
Mez kluzu R_e [MPa]	min. 355	
Tažnost A_{10} [%]		

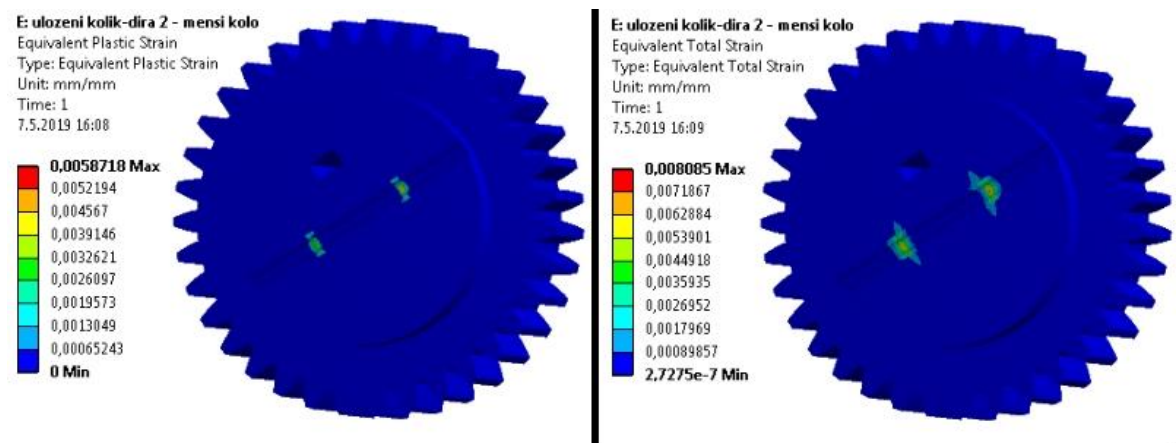
Obr. 34 Mechanické vlastnosti kolíků ČSN 11 700.20 [48]

Pro dosažení lepších výsledků uložení pružného příčného kolíku, je zapotřebí kolíky tepelně zpracovat, nejčastěji kalit. Tím je zvýšena mez pevnosti, a především mez kluzu. Díky tepelnému zpracování kolíků je možné zatížit drtič větším momentem, než by tomu bylo bez kalení. U ČSN 700.40 se zvýší mez kluzu R_e po kalení z 355 MPa na přibližně 450 MPa, kde přesná hodnota záleží na podmínkách kalení [60]. Pro zjištění vhodnosti použití systému kolík–díra byla provedena simulace v programu ANSYS 18 za odborného dohledu personálu ústavu strojírenské technologie, katedry tváření kovů a plastů na VUT. Analýza byla provedena na kole č. 3 (stejně jako kolo č. 4), s počtem zubů 35. Z hlediska namáhání by právě tato dvě kola měla přenášet největší krouticí moment. Nejmenší ozubené kolo 1 má poloviční moment oproti ozubenému kolu č. 2. Jelikož je kolo č. 2 na stejné hřídeli s kolem 3, působí na kontaktu kol č. 3 a 4 stejný moment, ale opačného směru. Tento moment je podle vztahu (4.4) větší než na kole č. 2, protože kola 3 a 4 mají menší poloměr než kolo 2. Pokud simulace vyhoví tomuto sestavení, lze kolík bezpečně použít i u ostatních ozubených kol. Použitý kalený pružný kolík ISO 8752/ A1–6x60 je schopný ve stávajícím uspořádání přenést moment 128,8 Nm, aniž by došlo k plastické deformaci kolíku, viz Obr. 35. Při překročení tohoto zatížení, nemusí ještě bezpodmínečně dojít ke ztrátě funkčnosti. Plastická deformace je velmi malá a pravděpodobně by nedošlo k totálnímu stříhu kolíku. Tento fakt je třeba ověřit praktickými zkouškami. Vhodnou zkouškou je uchycení hřídele do prismatického svěráku, přivaření dlouhé tyče s momentovým měřičem na ozubené kolo a působit tyčí, dokud u kolíku nedojde k totálnímu stříhu a moment nebude přenášen. Plastické a celkové přetvoření je znázorněno, viz Obr. 36.



Obr. 35 Znáznornění ekvivalentního napětí (von-Mises) při působení 239 Nm (vlevo v řezu, uprostřed a vpravo pohledy)

Použití systému kolík–díra se do zatížení 128,8 Nm vyplatí a nedojde ke stříhu kolíku a ztrátě funkčnosti, praktické zkoušky musí ověřit správnost hypotézy.



Obr. 36 Znáznornění plastického přetvoření (vlevo) a celkového přetvoření (vpravo)

Při použití jiného materiálu pro pružné kolíky, například některé z konstrukčních ocelí třídy 14 nebo 16 či z nástrojové oceli třídy 19 se lze dostat k hodnotám meze kluzu kolem 1000 MPa. Pružinová ocel ČSN 14 260 (54SiCr6) dosahuje smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$ až 1300 MPa [61]. Kolík z tohoto materiálu se na trhu běžně nevyskytuje, proto je použit kolík z materiálu ČSN 11700.4. Pro přibližné určení meze kluzu z meze pevnosti lze použít vztah (4.9).

$$R_e = R_m \cdot 0,67 \quad (4.9)$$

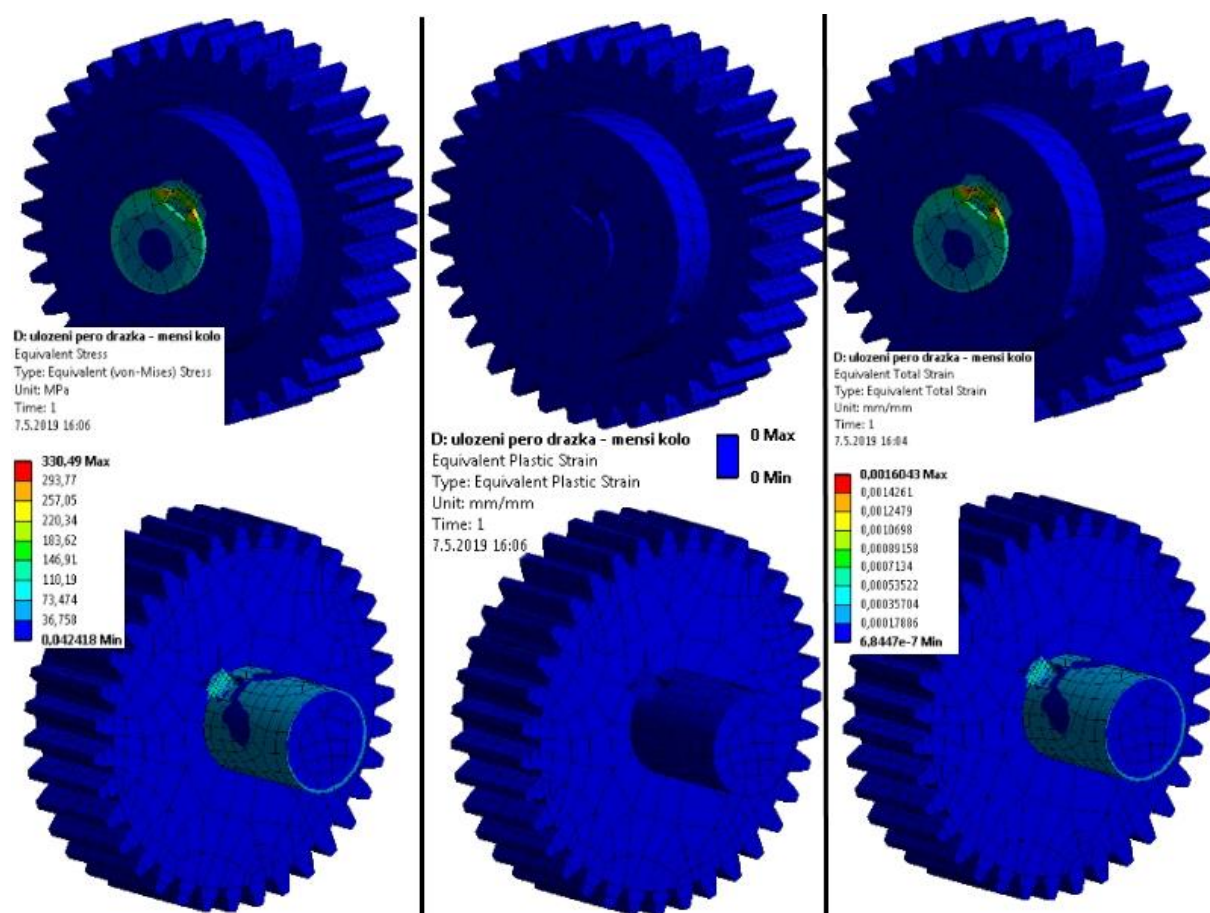
kde: R_e – meze kluzu [MPa]
 R_m – meze pevnosti [MPa]

Pokud by byl zvolen systém pero–drážka, je třeba ověřit, jestli dojde ke zvýšení únosnosti oproti systému kolík–díra. Pera zvolená pro tento typ drtiče jsou DIN 6885 A 8x7x40. Materiálem pro pera použitá u tohoto drtiče je ocel ČSN 11600 s mechanickými vlastnostmi, viz Obr. 37.

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]	590 - 710	
Mez kluzu R_e [MPa]	min. 325	
Tažnost A_{10} [%]		

Obr. 37 Mechanické vlastnosti per ČSN 11 600 [56]

Pro pera byla provedena analýza obdobně jako pro kolíky. Výsledek simulace lze vidět, viz Obr. 38. Hřídel byla v simulaci uvažována jako stacionární. Moment byl aplikován na ozubené kolo. Ze simulace je jasně zřetelné, že pero dokáže přenést větší krouticí moment. Je to především způsobené tím, že pero působí na celé šířce ozubeného kola $b=40$ mm. Tudiž se zatížení lépe rozloží. Ze simulace je zřejmé, že nedochází k žádné plastické deformaci, viz Obr. 38. Mez kluzu pro simulaci byla v programu pro materiál ČSN 11600 nastavena na $R_e=335$ MPa, nikoliv na 325 MPa jako je uvedeno, viz Obr. 37.



Obr. 38 Rozložení efektivního napětí (vlevo), plastické přetvoření (uprostřed), celkové přetvoření (vpravo)

Pro použití v novém typu drtiče bylo zvoleno použití pružných válcových kolíků. V provozu bude vyzkoušena jejich funkce. Pokud bude toto použití nevyhovující, druhou volbou bude použití upevnění ozubených kol na hřídeli pomocí pera.

4.4.2 Volba spojovacího materiálu

Mimo pera či kolíky je nutné zvolit, které šrouby, matice, podložky a vruty zvolit. Jelikož jsou u drtiče předpokládány vibrace, musí být všechny spoje zajištěny pružnou podložkou. Jedním z použitých materiálů drtiče je i dřevo, tudíž je za potřebí zvolit i správné vruty. Rozpis, cena a počet jednotlivých spojovacích materiálů (Bill of material) je k nalezení, viz příloha 2.

Šrouby jsou voleny se standardně dostupnými mechanickými vlastnostmi pevnostní třídy 8.8, kde první osmička znamená setinu meze pevnosti v tahu, druhá osmička potom procentuální poměr meze kluzu vůči mezi pevnosti. Pevnost v tahu R_m šroubů je tedy 800 MPa, smluvní mez kluzu R_e 640 MPa. U drtiče jsou použity šrouby s šestihrannou hlavou, válcovou hlavou s vnitřním šestihranem a kuželovou hlavou s vnitřním šestihranem.

Matice jsou použity standardně dostupné dle DIN 934 A2. Jedná se o metrické matice o velikostech M4, M5, M6, M8 a M10 v různých délkách v závislosti na umístění v drtiči.

Podložky jsou opět standardně dostupné bez atypických tvarů. U drtiče jsou použity podložky rozříznuté pružné DIN 128 A, a podložky ploché obyčejný DIN 125 A. Vhodnou alternativou místo těchto dvou typů podložek může být jedna podložka pružná kuželová.

Vruty jsou voleny běžné dostupné bez speciálních požadavků. Typ vrutů se nazývá univerzální se zapuštěnou hlavou.

4.5 Volba ložisek

Při volbě ložisek je nutné zohlednit, jak rychle se otáčí hřídel, jakou velikostí a jestli působí axiální a radiální síly, upevnění a složitost výměny ložiska, požadovaná trvanlivost a cena. Pro tento drtič bylo na základě zkušeností a experimentů zvoleno ložisko v ložiskovém domku UCFL 205. Jeho výhodou je snadná instalace a výměna. Oproti výchozímu jednohřídelovému návrhu, kde bylo použito ložisko UCFL 204 má ložisko UCFL 205 větší průměr vnitřní díry. Z původních 20 mm se použitím UCFL 205 zvýší průměr díry na 25 mm. Vzhledem ke zvětšení typu ložiska je zapotřebí použít větší šrouby, nebo vyrobit vložky pro stávající šrouby. U tohoto drtiče byly vysoustruženy vložky pro šrouby. Vzhledem k nízkému počtu otáček za minutu je pravděpodobná vysoká trvanlivost ložiska. Ložiska pro drtiče se navrhují na 10 000–25000 hod. Na opotřebení však mají vliv rázy a otřesy během drcení [62]. Pro stanovení velikosti a typu ložisek lze použít například elektronické výpočtáře ložisek od SKF nebo literaturu „Konstruování strojních součástí“ [62]. U tohoto drtiče jsou použita čtyři ložiska UCFL 205, viz Obr. 39.

Kromě ložiska UCFL 205 je použito ještě ložisko 6005 2RS, které slouží jako podpora pro hřídel, na které se otáčí kolo č. 2. Ložiskový domeček pro toto ložisko je vyfrézován na frézce a přichycen dvěma šrouby k modré základové desce elektromotoru viz Obr. 29.

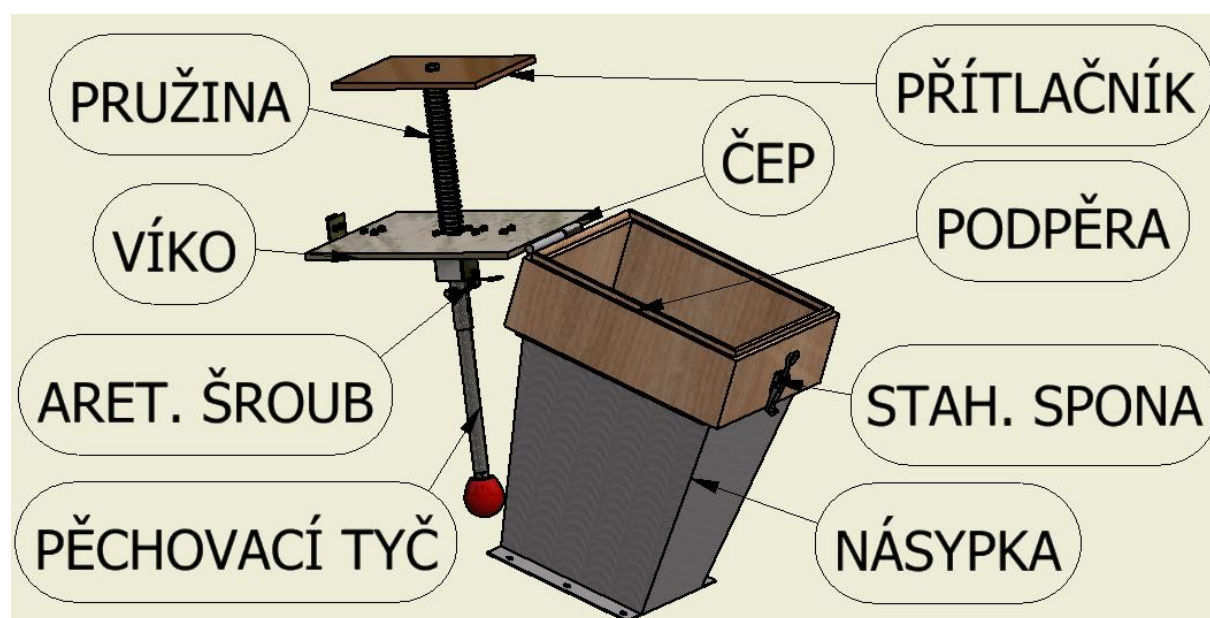


Obr. 39 Ložisko UCFL 205 [67]

4.6 Násypka

Násypka slouží k dopravování materiálu do drticí komory, schéma, viz Obr. 40. U výchozího typu drtiče je násypka jednoduchá bez jakéhokoliv krytu, viz Obr. 16. Nový typ drtiče je opatřen přítlačníkem a víkem proti vylétávání drobných kousků plastů z drtiče a násypky ven.

Princip funkce je velmi jednoduchý. Zavřené víko je pomocí stahovací spony připevněno k násypce. Pokud je uvnitř násypky materiál, pružina působí na přítlačník, který přitlačuje drcený materiál do drticí komory, která tak dokáže snáze a rychleji drit plastový odpad. Pro naplnění násypky materiálem se pýchovací tyč manuálně vytáhne proti síle působení pružiny a zaaretuje se aretačním šroubem. Po zaaretování se povolí stahovací spona a víko s přítlačníkem a pýchovací tyčí je možné kolem čepu otevřít a začít plnit násypku. Po naplnění násypky se víko s přítlačníkem a pýchovací tyčí opět zavře. Víko se zajistí stahovací sponou, odaretuje se aretační šroub a přítlačník začne opět tláčit na materiál v prostoru násypky. Detail aretace, stahovací spony a přítlačníku, viz Obr. 41.



Obr. 40 Otevřená násypka

Rozměry násypky jsou voleny tak, aby se dal bez problémů a uživatelsky pohodlně drit běžný domácí plastový odpad. Kovová část násypky má výšku 300 mm. Spodní obdélníkový prostor má rozměry 149x207 mm. Horní obdélníkový prostor má rozměry 221x279,5 mm. Kovová část násypky může být svařena z plošných dílů nebo může být naohýbána tak, aby se dali čtyři hlavní stěny smontovat šroubovými nebo nýtovanými spoji dohromady. U tohoto typu drtiče je násypka svařovaná, poněvadž není předpokládána demontáž. Výhodou svarového spoje je také větší těsnost a přiléhavost jednotlivých plechů než u šroubového spoje, takže nedochází k úniku drobných plastů ven z násypky.

Pro kovovou část násypky je použitý plech tloušťky 1 mm. Plechy lze běžně koupit v obchodech s hutními polotovary. Ve sběrných dvorech lze ovšem bez problémů po domluvě s obsluhou najít nezkorodované plechy s dobrou povrchovou úpravou z domácích spotřebičů (pračky, lednice, digestoře aj.) a odvézt je zdarma. Pro tento typ drtiče byl použitý plech z digestoře, nařezán úhlovou bruskou na požadované rozměry a svařen metodou MAG.

Podpěra, víko a přítlačník jsou vyrobeny ze dřeva. Síly, kterými působí pružina s přítlačníkem na materiál v násypce nejsou tak velké, aby bylo nutné použití kovových

materiálů. Dřevo je v této aplikaci levnější než kov, je snadněji a rychleji opracovatelné a plně dostačuje požadavkům na násypku.

Pěchovací tyč a vodící trubka (na vodící trubce je připevněn aretační šroub) jsou vyrobeny z oceli S235JR. Vodící kostka je vyrobena ze slitiny hliníku EN 573-3 AW 6060 T66 EN 755-1,2,4, protože je zapotřebí přesné vedení pěchovací tyče a zároveň zachování nižší hmotnosti víka. Rozměry dílů jsou k dispozici v příloze 1. Rukojeť pěchovací tyče musí být ergonomická. Použitou rukojetí je koule z řadicí páky Fiatu 850, což se ukázalo jako dobrá volba, protože povrchová úprava této rukojeti je velmi příjemná na dotek. Druhým kladem této rukojeti je nostalgický design, který uživatelé drtiče ocení.

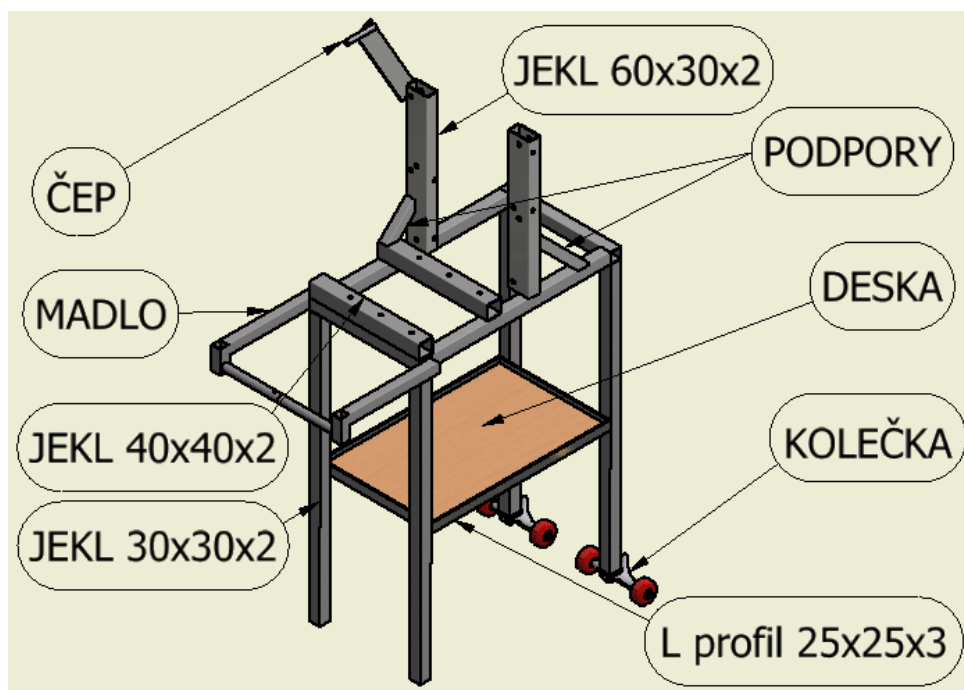
Pružina mezi přitlačníkem a víkem má průměr drátu 1,85 mm, délku 390 mm, vnější průměr pružiny je 30 mm. Pružina je navinuta dílensky ručně, protože výroba a doba dodání by byla příliš dlouhá [68]. Pro případné další vyráběné kusy drtiče je již vhodné pružiny koupit. Pružina byla navržena a vyrobena na základě experimentálních zkoušek s násypkou a drtičem. Limit pružiny byl stanoven potřebnou délkou L_8 , tj. délka při maximálním stlačení pružina, ta byla vzhledem ke konstrukci stanovena na 130 mm. Pokud by délka L_8 byla delší, nebylo by možné násypku otevřít, protože by se zasekla o dřevěnou podpěru. Pro návrh pružiny lze použít například elektronické výpočtáře pružin [69].



Obr. 41 Detail aretace (vlevo), detail stahovací spony (uprostřed), detail upevnění přitlačníku (vpravo)

4.7 Rám

Rám slouží k uchycení drtiče a zároveň ke zvýšení pracovní plochy výše tak, aby to bylo obsluze stroje ergonomicky pohodlné. Rám je osazen dřevěnou deskou, která slouží k odložení nářadí, kbelíků, vaků na drť aj. Rám je navrhnout tak, aby jakákoliv případná změna na drtiči neovlivnila adaptabilitu s rámem. Rám je možné upravovat podle potřeb obsluhy (zkrácení nohou, uříznutí, prodloužení či navaření). Rozložení a vzhled drtiče lze vidět, viz Obr. 42. Za předpokladu, že není k dispozici svářečka, lze rám převzít z jiného strojního zařízení. Ve sběrných dvorech mohou být k dispozici rámy, které po úpravách mohou sloužit stejnému účelu jako tento navrhovaný rám.



Obr. 42 Rám na drtič

Rám drtiče je převážně tvořen z uzavřených ocelových profilových tzv. jeklů. Jekly jsou z materiálu S235JR, který je dodáván se zaručenou svařitelností. Rám je svařovaný metodou MAG, použitým ochranným plynem je CO₂. Mimo jekly jsou použity též otevřené ocelové profily ve tvaru L, které mají za úkol zpevnit stabilitu rámu a také slouží jako podpora pro dřevěnou desku, na kterou se umísťuje nádoba či vak pro zachycení výstupní drtě.

Při provozu je rám s drtičem umístěn na vodorovné podlaze. Výška rámu od podlahy až po čep násypky je 1357 mm. Pro přemísťování drtiče po dílně je zapotřebí dalších elementů.

K těmto elementům patří přídavná kolečka a přídavné dvojdílné madlo. U volby koleček je jediným kritériem nosnost, kterou musí vydržet bez ztráty funkčnosti. Na trhu je velké množství dostupných koleček, které lze použít. U tohoto typu drtiče byla použita kolečka od skateboardu, jenž se ukázala jako velmi dobrou volbou, protože manipulace drtiče při přemísťování je díky kuličkovým ložiskům v kolečkách velmi snadná. Pro upevnění skateboardových koleček do drtiče je použit jekl 25x25x2, přivařený k plechu 36x36x5, viz Obr. 43.

Přídavné madlo se používá z důvodu lepší ovladatelnosti drtiče při převozu a zároveň díky větší vzdálenosti madla od koleček lze působit při nadzdvihávání drtiče menší silou, než by bylo zapotřebí bez tohoto madla. Madlo je dvoupolohové. Při jeho používání je jeho delší část umístěna vodorovně, viz Obr. 42. V klidové poloze, kdy madlo není třeba používat, je delší část madla umístěna vertikálně, viz Obr. 43 nebo je madlo sundáno a umístěno mimo prostor drtiče.



Obr. 43 Sestava přídavného kolečka (vlevo), madlo v klidové poloze (vpravo)

4.8 Příslušenství (spínač, nádoba na drť, kryt pohyblivých částí)

Pro spouštění motoru je nutný spínač. Jelikož je pro pohon vybrán třífázový elektromotor, spínač musí být schopný vydržet napětí 400 V a proud 16 A. Pro zajištění bezpečného drcení je vhodné opatřit drtič reverzačním spínačem, který umožňuje chod drtiče v obou směrech. Opačný chod se využívá v případě, že se v drticí komoře naráz drtí příliš plastů a může dojít k ucpání, které způsobí, že motor je příliš zatížen, nedokáže působit dostatečným krouticím momentem, přehřívá se a může dojít až k jeho zničení. Opačného chodu je docíleno prohozením dvou fází. Z motoru vychází 4 kabely, žlutozelený, hnědý, černý a modrý. Žlutozelený je zemnicí, hnědý je fáze L3 a černý s šedým představují fázi L1 a L2. Vyměněním fází L1 a L2 na spínači je dosaženo zpětného chodu. Schéma zapojení, viz příloha 4. Reverzační spínač Apator 4G10–11–U splňuje výše uvedené požadavky a je použit pro tento typ drtiče [70]. Přepínač má tři polohy (L–0–P). V poloze L se drtič otáčí ve směru drcení, v poloze 0 je v klidu, v poloze P se otáčí proti směru drcení. Spínač se ovládá manuálně. Pro budoucí vylepšení stroje by bylo vhodné zautomatizovat zařazení zpětného chodu. To by se dalo realizovat například pomocí senzoru pohybu, který by detekoval zpomalení otáčení hřídele nebo čidla, které by při dosažení určitého krouticího momentu automaticky zařadilo dočasně zpětný chod. Návrh tohoto systému není součástí této práce.

K zachycení drti pod drtičem může sloužit jakákoliv nádoba či vak. Ty slouží k zachycení veškeré drti. Při použití nádoby či kbelíku je vhodné je opatřit límcem, který je na jednom konci uchycen ve spodní části drticí komory a na druhém konci na vrchu nádoby, do které propadá drť. Límec může být látkový, z pružného plastu či jiného materiálu.

Po odladění veškerých funkcí drtiče je vhodné všechny pohyblivé či na nečistotu náchylné díly (ozubená kola, spínač) zakrytovat, aby nemohlo dojít ke zranění obsluhující osoby či k poškození stroje. Kryt může být kovový, dřevěný či například z pevného plastu. Pokud je drtič vyráběn kusově či výjimečně malosériově, je vhodné jako kryt použít materiál, který by se jinak stal odpadním materiálem.

4.9 Parametry drtiče

Při návrhu drtiče je nutné určit parametry, kterými nový drtič disponuje. Některé parametry lze navrhnout a následně změřit či určit výpočtem, některé je zapotřebí určit experimentálně nebo odborným odhadem. Parametry jsou vyobrazeny, viz Obr. 44.

Rozměry drticího prostoru byly odměřeny nejprve v modelářském CAD programu Autodesk Inventor Professional 2017 a následně porovnány se skutečnými měřeními na vyrobeném drtiči. Hmotnost komponent byla získána z „ivlastností“ programu Autodesk Inventor Professional 2017 a následně byly zváženy komponenty na mincích. Vzhledem k tomu, že měření a vážení stroje může být díky povaze stroje pouze orientační, nejsou použity přesné měřicí přístroje, ale pouze dílenská měřidla (svinovací metr, mincíř), u kterých lze uvažovat přesnost měření $\pm 2\text{mm}$ resp. $\pm 3\text{kg}$.

Průměr výstupní drti je definován sítím o určitém průměru ok. Tento typ drtiče disponuje sítím s kruhovými oky o průměru 4,5 mm. Pokud je síto odstraněno, velikost drti není definována, neboť při průchodu drtičem bez síta nemusí dojít k úplnému rozdrcení, ale pouze k částečnému podrcení za vzniku dlouhých táhlých pruhů. Po opakovaném drcení bez síta lze již dosáhnout poměrně kvalitní drti o průměru cca 5-10 mm.

Počet použitých komponent je rozepsán, viz příloha 2, list 1,2 a 5.

Počet drticích úseků je znázorněn viz Obr. 23.

Drticí výkon byl měřen na vzorku plastových výrobků znázorněných, viz Obr. 18. Jednotlivé obaly byly postupně vhazovány do drticí komory, po vypadnutí drti jednoho obalu ven z drticí komory byl vhozen do násypky další obal.

	Nový typ drtiče – 2H	
Délka drtícího prostoru [mm]	207,5	*: Velikosti drti 4,5 mm dosáhne drtič se sítím o průměru ok 4,5 mm. Bez síta a po opakovaném drcení (2x až 5x) dosáhne drti o průměru 5-10 mm.
Šířka drtícího prostoru [mm]	149	
Hmotnost drtící komory [kg]	30	** Počet použitých komponent je orientační a může se lišit +- 10 ks. Do čísla 388 jsou započteny i šrouby, matice apod.
Hmotnost násypky [kg]	4	***: Stupnice od 1 do 10, kde 1 je nejhorší a 10 nejlepší. Stupnice je subjektivní dle názoru autora. Pro detailnější stupnici by byl zapotřebí statisticky významný počet dobrovolníků, kteří by stroj vyzkoušeli a ohodnotili.
Hmotnost rámu s motorem [kg]	50	
Hmotnost drtiče [kg]	84	****: Drtící výkon byl měřen na vzorku drti o hmotnosti 600 g. 600 g bylo nadrceno za 3,6 minuty. Po převodu na hodiny lze uvažovat drtící výkon 10 kg/h.
Průměr výstupní drti [mm]	4,5 (5-10*)	
Počet hřídelí	2	*****: Cena 18399 Kč předpokládá, že veškerý materiál je koupený nový. Nejdražší zakoupenou položkou je elektromotor s převodovkou, jejichž cena dohromady činí 10243 Kč. Cena 6011 Kč ukazuje skutečnou cenu, za jakou byl prototyp drtiče 2H vyroben. Snížení nákladů bylo možné především vzhledem k získání kovových a dřevěných odřezků z lokálních dílen a použití dílů ze sběrných dvorů. Ani jedna z cen nezahrnuje elektřinu, spotřební materiál (vrtáky, kotouče, svařovací drát) a čas strávené práce.
Počet použitých oz. kol [ks]	4	
Průměr hřídelí [mm]	25	
Počet drtících úseků	3	
Počet použ. komponent [ks]	388**	
Násypka	Ano	
Pěchovadlo	Ano	
Složitost konstrukce	7/10***	
Složitost obsluhy a servisu	8/10***	
Drtící výkon [kg/h]	10–20****	
Výkon motoru [kW]	1,5	
Spolehlivost	Nutno podrobit zkouškám	
Bezpečnost	8/10***	
Cena [Kč]	18399 (6011*****)	

Obr. 44 Parametry nového typu drtiče 2H

5 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Ekonomické vyhodnocení obsahuje informace o tom, za jakou cenu je možné drtič vyrobit. Náklady se skládají z fixních nákladů, které se nemění s objemem produkce a variabilních nákladů, které se mění v závislosti na objemu produkce. Mimo finanční náklady je dobré zvažovat i nefinanční náklady. Mezi ty se řadí například psychické náklady, které reprezentuje příjemnost pracovního prostředí, časový tlak na zaměstnance či jasná vize a přehledný výrobní plán. Vzhledem ke kusové výrobě a nízkému objemu produkce drtiče není zapotřebí počítat s variabilními náklady. Dále je zapotřebí určit orientační čas výroby, který je zapotřebí k celkovému vyrobení jednoho drtiče.

Před samotným začátkem výroby je nutné udělat průzkum trhu, analýzu cen a nabídek konkurence. Průzkumem trhu bylo zjištěno, že na českém trhu nebyl nalezen nový cenově dostupný drtič s veškerým vybavením, který by stál 5 000 – 30 000 Kč. Analýzou cen a nabídek konkurence bylo zjištěno, že drtiče, které by bylo možné využít pro stejný účel drcení, stojí použité na bazarech od 30 000 Kč výše. Výrobce drtičů Pavel Jelínek na emailový dotaz ohledně ceny nového stroje neodpověděl. Avšak vzhledem k internetovým nabídkám majitelů drtičů na bazarech a údajích o jejich kupní ceně lze předpokládat, že ceny drtičů pro podobné použití se pohybují okolo 50 000 Kč. Často mají mnohonásobně vyšší drtící výkon, viz Obr. 14, ovšem nepodávají žádné informace o velikosti frakce výstupní drti.

Náklady pro tento typ drtiče jsou rozděleny do dvou kategorií. První kategorie je tvořena veškerým materiálem, ze kterého je drtič vyroben. Seznam nakupovaných položek je k dispozici, viz tabulka 1. Rozšířená tabulka položek s internetovými i neinternetovými odkazy pro nákup je dostupná, viz příloha 2, list 1 a 2. Druhou kategorií tvoří položky, které se přímo či nepřímo promítají do ceny, ale netvoří přímo drtič samotný. Do této druhé kategorie spadá cena práce, elektřiny, nástrojů, pohonných hmot. Investice do výrobních strojů není započtena při kalkulaci drtiče.

Stroje, které jsou pro výrobu drtiče zapotřebí:

- Laserová (či jiný druh) vypalovačka–plechy na drticí komoru, čepele aj.
- Frézka– L profily pro uchycení drticí komory
- Stojanová vrtačka–vrtání díry pro kolík do oz. kol a hřídelí
- Soustruh– vložky pro šrouby do ložisek UCFL 205, případné protahování per
- Ruční vrtačka, úhlová bruska, přímočará pila, svářečka MAG

Náklady na nástroje, které jsou pro výrobu drtiče zapotřebí, viz příloha 2, list 3:

- Řezný kotouč
- Svařovací drát
- Pilový plátek
- Sada vrtáků klíčů, závitníků a bitů
- Svěrák, kladivo
- Stahovák ložisek a ozubených kol

Celkem: 4 656 Kč

Náklady na měřicí přístroje, které jsou pro výrobu drtiče zapotřebí, viz příloha 2, list 3:

- Posuvné měřítko, svinovací metr, úhelník

Celkem: 560 Kč

Náklady na ostatní položky započítané do kalkulace výroby drtiče, viz příloha 2, list 3:

- Čas práce člověka 40 h (200 Kč/h), spotřeba energie 100 kWh (1 kWh= 4,34 Kč)
- Elektrina (svícení, topení), pohonné hmoty

Celkem: 8 744 Kč

Náklady na položky, ze kterých je drtič vyroben, viz tabulka 1. Více informací o nakupovaných položkách, viz příloha 2, list 1 a 2:

Celkem: 18 399 Kč

Cena drtiče při započítání všech položek, kromě investic do strojů činí: **32 359 Kč**, výpočtem $4\ 656+560+8\ 744+18\ 399=32\ 359$ Kč.

Cena drtiče při předpokladu dobře vybavené dílny pouze s náklady za materiál činí: **18 399 Kč**.

Cena drtiče při předpokladu dobře vybavené dílny s náklady za materiál a práci je: **27 143 Kč**.

Cena drtiče při předpokladu dobře vybavené dílny s náklady pouze za zakoupený materiál, při uvažování sehnání materiálu ve sběrných dvorech a lokálních dílnách a práci činí: $6\ 011+8\ 744=14\ 755$ Kč. Prodejní cena by z marketingových důvodů mohla být 14 999 Kč, protože optický rozdíl mezi 14 755 Kč a 14 999 Kč nehraje pro zákazníka příliš velkou roli, protože opticky se cena stále drží po 15 000 Kč.

Nejdražší položkou na seznamu je elektromotor s převodovkou. Pokud ho lze sehnat ze sběrného dvora či z druhé ruky jedná se o významné snížení výrobních nákladů.

Tab. 5.1 Seznam nakupovaných položek (rozšířená verze, viz příloha 2, list 1 a 2).

NÁZEV	POLOŽKA	Umístění	POČET [KS, m]	CENADPH	CENACELKEM
Kolík kolo 3 a 4	Kolík 6x60 ISO 8752/A1	hřídel v drt. komoře, kola 3 a	2	5,98	11,96
Kolík kolo 1	Kolík 6x50 ISO 8752/A1	hřídele v drtící komoře, kolo	1	4,78	4,78
Kolík kolo 2	Kolík 6x80 ISO 8752/A1	hřídele v drtící komoře, kolo	1	7,41	7,41
Ložiskový domeček 1, 2, 3, 4	Ložiskový domek UCFL 205	hřídele v drtící komoře	4	110,11	440,44
Lož. 6005 2RS+seg. do 47	Lož. 6005 2RS+seg. do 47	oz. Kolo 2, modrá zákl. deska	1	35	35
Lož. Domek na 6005 2RS	Lož. Domek na 6005 2RS	Modrá deska základová	1	100	100
Ozubené kolo 1	Oz. Kol. čel M 2.5 s náb. 25 z.	hřídele v drtící komoře	1	206,79	206,79
Ozubené kolo 2	Oz. Kol. čel M 2.5 s náb. 50 z.	hřídele v drtící komoře	1	726,73	726,73
Ozubené kolo 3 a 4	Oz. Kol. čel M 2.5 s náb. 35 z.	hřídele v drtící komoře	2	372,2	744,4
Přepínač rezezační (L-O-P)	Apator 4G10-11-U	Spínač	1	349,21	349,21
Koncovka 400V/ 16A	CEE vidlice 4P/16A/400V IP44	Koncovka do sítě napětí	1	69	69
Štáhovací spona	Štah. Spona KIPP K0051	podpora násypky	1	200	200
Laserové plechy	Laserové plechy	Drtící komora	1	2500	2500
Pojezdová kola	Pojezdová kola	Převoz rámu, do nohou vsun.	2	118	236
Jekl 30x30x2	Jekl 30x30x2	Konstrukce rámu	5	64,13	320,65
Jekl 40x40x2	Jekl 40x40x2	Ustavení drtící komory	1	89,54	89,54
Jekl 25x25x2	Jekl 25x25x2	podpory zákl. desky, madlo	1	50,82	50,82
Jekl 60x30x2	Jekl 60x30x2	Jekl 60x30x2	1	102,73	102,73
Trubka D16x1,5	Trubka D16x1,5	trubka na čep	1	24,8	24,8
L 30x30x3	L 30x30x3	Uchycení drtící komory	2	49,61	99,22
L 25x25x3	L 25x25x3	zpevnění rámu, položení	2	43,85	87,7
Šestihran 27 mm	Šestihran 27 mm	hřídele v drtící komoře	1	210	210
Dřevěná podpora 19x121	Dřevěná podpora 19x121	Podpora víka násypky	1	10	10
Dřevěná deska pro vše	Dřevěná deska pro vše	Přítlačník, víko, deska, spínač	1	354,53	354,53
Pásová ocel 40x3	Pásová ocel 40x3	Víko	1	65,39	65,39
Pružina 1,6x30,5x128x11,25	Pružina 1,6x30,5x128x11,25	Pěchovací tyč, přítlačník, víko	3	17	51
Trubka D22x2	Trubka D22x2	Vodící tyč na rukojeť, madlo	1	38,72	38,72
Trubka D18x1,5	Trubka D18x1,5	Pěchovací tyč, madlo	1	28,07	28,07
Drát 1 mm	Drát 1 mm	Aretační zajištění násypky	1	105	105
Rukojeť M10 40 mm	Rukojeť M10 40 mm	Pěchovací tyč	1	46,03	46,03
Jekl 50x30	Tyč 12 mm	Čep otáčení násypky	1	29,78	29,78
Šroub imb., záp. Hlava	Šroub záp. M4x10 DIN 7991	Štáhovací spona	4	0,45	1,8
Podložka na M4 pružná	Podl.pruž.vykl.4.1DIN128A	Štáhovací spona	4	0,31	1,24
Matka M4	Matice přesná M4 DIN 934	Štáhovací spona	4	0,26	1,04
Šroub šestihran M8x16	Šroub šes. M8x16 DIN 933	Komora+násypka,	6	1,06	6,36
Podložka na M8 pružná	Po pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Komora+násypka,	6	0,59	3,54
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Komora+násypka,	6	1,1	6,6
Šroub šestihran M8x20	Šroub šes. M8x20 DIN 933	Komora boky	8	1,19	9,52
Podložka na M8 pružná	Po. pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Komora boky	8	0,59	4,72
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Komora boky	8	1,1	8,8
Podložka na M10 pružná	pruž. v. 10,2 DIN 128A	Protinože zvenku	8	0,91	7,28
Matka M10	Matice přes. M10 DIN 934 A2	Protinože zvenku	8	2,42	19,36
Šroub imb., záp. Hlava M4x8	Šroub záp. M4x8 DIN 7991	Násypka na dřevěnou	4	0,4	1,6
Šroub šestihran M4x16	Šr. šestihran M4x16 DIN 933	Vrch násypky	7	0,39	2,73
Podložka na M4 plochá	Podl. plo. 4,3 DIN 125A A2	Vrch násypky	7	0,09	0,63
Podložka na M4 pružná	Po pruž. vykl. 4,1 DIN 128A	Vrch násypky	7	0,31	2,17
Matka M4	Matice přesná M4 DIN 934	Vrch násypky	7	0,26	1,82
Závitová tyč M10 1 metr	Závit. tyč M10 1m DIN 975	Protinože	1	30,47	30,47
Šroub šestihran M8x20	Šroub šes. M8x20 DIN 933	Přítlačník	1	1,19	1,19
Podložka na M8 pružná	Po. pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Přítlačník	1	0,59	0,59
Podložka na M8 plochá	Podl. plo. 4,3 DIN 125A A2	Přítlačník	1	0,37	0,37
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Přítlačník na vodící tyč	1	1,1	1,1
Šroub šestihran M4x16	Šr. šestihran M4x16 DIN 933	Vrch násypky do vodící	4	0,39	1,56
Podložka na M4 plochá	Podl. plo. 4,3 DIN 125A A2	Vrch násypky do vodící	4	0,09	0,36
Podložka na M4 pružná	Po pruž. vykl. 4,1 DIN 128A	Vrch násypky do vodící	4	0,31	1,24
Šroub šestihran M5x16	Šroub šes. M5x16 DIN 933	Aretační zajištění násypky	3	0,44	1,32
Matka M5	Matice přesná M5 DIN 934	Aretační zajištění násypky	2	0,32	0,64
Matka M10	Matice přes. M10 DIN 934 A2	Vodící tyč na rukojeť	1	2,42	2,42
Šroub imb., záp. Hlava	Šroub záp. M4x10 DIN 7991	Násypka na dřevěnou	4	0,45	1,8
Šroub šestihran M4x16	Šr. šestihran M4x16 DIN 933	Síto	4	0,39	1,56
Podložka na M4 pružná	Po pruž. vykl. 4,1 DIN 128A	Síto	4	0,31	1,24
Šroub šestihran M8x80	Šroub šes. M8x80 DIN 933	Spínač	2	3,09	6,18
Podložka na M8 pružná	Po. pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Spínač	2	0,59	1,18
Podložka na M8 plochá	Podl. plo. 4,3 DIN 125A A2	Spínač	2	0,37	0,74
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Spínač	2	1,1	2,2
Šroub šestihran M8x80	Šroub šes. M8x80 DIN 933	Modrá deska	4	3,09	12,36
Podložka na M8 pružná	Po. pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Modrá deska	4	0,59	2,36
Podložka na M8 plochá	Podl. plo. 4,3 DIN 125A A2	Modrá deska	4	0,37	1,48
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Modrá deska	4	1,1	4,4
Šroub válcový imbus M8x25	Š. Vál. Im M8x25 DIN 912 8.8	Ložiskový domeček atypický	2	1,61	3,22
Podložka na M8 pružná	Po. pruž. vykl. 8,1 DIN 128A	Ložiskový domeček atypický	2	0,59	1,18
Matka M8	Matice přesná M8 DIN 934	Ložiskový domeček atypický	2	1,1	2,2
Šroub imb., záp. Hlava	Šroub záp. M10x25 DIN 7991	Ložiskový domeček typický	8	4,5	36
Podložka na M10 pružná	pruž. v. 10,2 DIN 128A	Ložiskový domeček typický	8	0,91	7,28
Matka M10	Matice přes. M10 DIN 934 A2	Ložiskový domeček typický	8	2,42	19,36
Elektromotor	Elektromotor	rám, modrá zákl. deska	1	3608,22	3608,22
Převodovka	Převodovka	elektromotor, modrá zákl.	1	6634,43	6634,43
Plech 1x1000x2000	Pl. černý za stud. 1 mm	Násypka kovová část, síto	1	554,11	554,11
Hliníková vodící kostka	Hliník. tyč čtve. 40X40x55	Násypka	1	31,32	31,32
	Celkem				18398,99

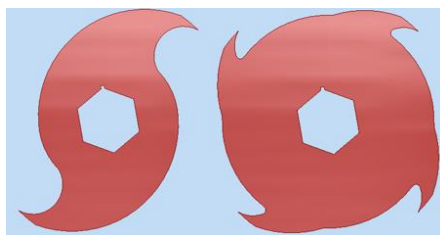
6 DISKUSE

Při návrhu a výrobě drtiče se vyskytly problémy, které bylo nutno řešit. Vyřešení nastalých problémů se ukázalo jako klíčové pro jeho správné fungování. První problém se ukázal po naskládání čepelí a vymežovacích kroužků na hřídel. Vzhledem k tomu, že čepele a vymežovače jsou vypalovány z plechu, který nemusí mít konstantní tloušťku (po změření tloušťky čepelí se ukázalo, že mají tloušťku 6,02 mm), došlo k tomu, že mírně přesahovaly z šestihranné části hřídele, protože ta byla vyrobena s přesnější tolerancí. To mělo za následek zadírání se o stěny drticí komory a o stacionární ostří. To činí problém ze dvou důvodů. První je ten, že to ubírá sílu motoru a lze pak drtit jen menší objekty. Druhý problém je způsoben tím, že jsou malé částičky kovu obrušovány z čepelí a padají do drti, čímž jí částečně znehodnocují. I když lze kovové částičky z drti odstranit, je to operace navíc. Řešení tohoto problému přineslo jemné zfrézování dvou krajních vymežovačů na tloušťku 5,5 mm. Výsledkem bylo drcení, kdy čepele vázly o boky drticí komory a stacionární ostří mnohem méně, tak, že se s hřídelem dalo volně otáčet rukou. Pro úplné odstranění zadírání je zapotřebí podrobná analýza, přesné měření a poté drobné úpravy na potřebných místech v podobě tenkých planžetek nebo zbroušení čepelí a následně před použitím drtiče všechny šrouby na drticí komoře a ložiskách utáhnout a zkontrolovat, zda to ještě někde vázne.

Dalším problémem se ukázalo být použití kolíků. Pokud byly jednotlivé odpady vhazovány do drtiče jednotlivě, drtič vše bez problému rozdrtil. Pokud do sebe ovšem byly vloženy např. čtyři kelímky najednou a vhozeny do drtiče, pružné kalené kolíky nevydržely a stříhly (zlomily) se přesně v místě, kde přechází vnější průměr hřídele na vnitřní průměr díry ozubeného kola, viz Obr. 46. Odstranění zlomeného kolíku je velký problém, protože nejde vyklepat kladivem, ale musí se odfrézovat. Tím byla defacto potvrzena hypotéza, že kalené kolíky jsou vhodné pouze do určitého přenášeného krouticího momentu viz podkapitola 4.4.1. Proto pokud by byl ještě někdy drtič vyráběn, rozhodně by byla použita pera i za cenu vyšších nákladů na výrobu. Drážky pro pero lze do hřídele frézovat válcovou či kotoučovou frézou. Protahování drážky pro pero ve vnitřním průměru ozubeného kola lze provést na protahovačce či soustruhu pomocí protahovacího nože. Kolíky lze ovšem s výhodou použít proti axiálnímu posouvání ozubeného kola na hřídeli. Obecně lze shrnout několik scénářů, v průběhu kterých může dojít k poškození nebo zastavení drtiče.

- Motor nemá dostatečný krouticí moment–zastavení či přehřátí [64], zvětšit i
- Hřídel se ukrotí [64] – zvětšit průměr hřídele
- Zuby ozubených kol se opotřebují– použití lepšího materiálu pro ozubená kola
- Vnitřní šestihran čepelí se smekne na hřídeli–použití tisícihranu, drážkovaný hřídel
- Čepele se zdeformují či odírají o stacionární ostří– dotáhnout drtič, zvětšit vůle
- Kolík se zlomí–řešení viz výše (použití pero–drážka)

V případě, že motor není dostatečně silný na to, aby dokázal rozdrtit plastový odpad, je možné tento problém řešit několika způsoby. Jedním z nich je změnit tvar čepele tak, aby záběrná část břitů byla menší a zabírala tím pádem méně do drceného materiálu, viz Obr. 45. Lze také přidat více břitů, což může naopak drticí výkon zvýšit.



Obr. 45 Možná změna tvaru čepele a zvýšení počtu břitů

Další možností, jak docílit drcení, pokud není motor dostatečně silný, je zvětšit převodový poměr tak, aby se hřídel otáčela s menšími otáčkami a zvýšil se krouticí moment.

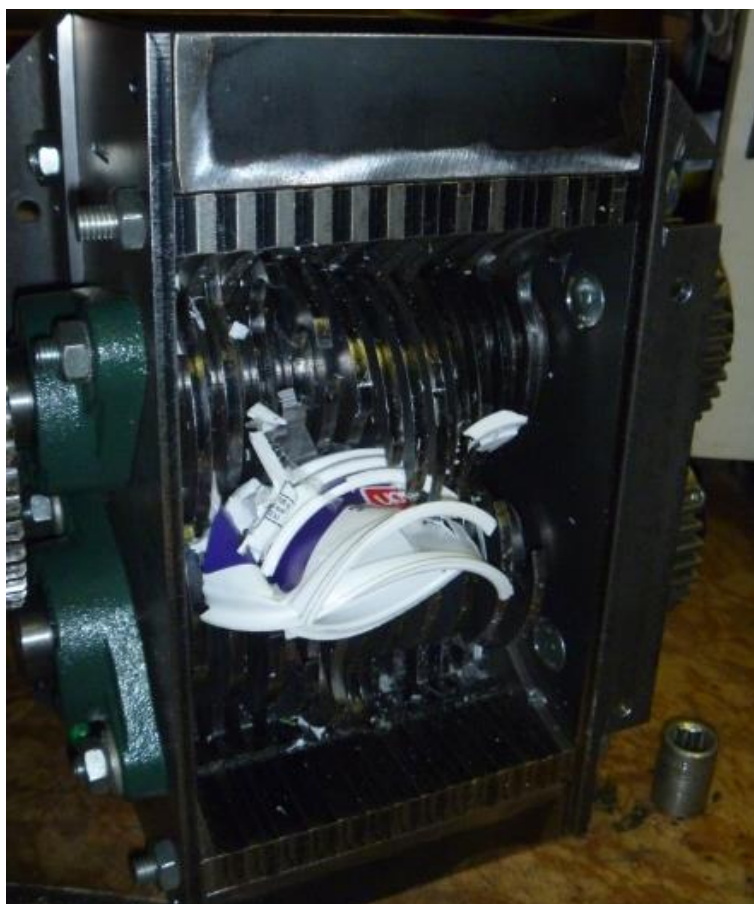
U skladování plastového odpadu je velmi doporučeno, aby byl čistý, umytý a suchý. Pokud jsou splněna tato kritéria, lze se vyhnout plísním, zápachu a následným problémům při čištění drtiče a dalším zpracování drti.

Návrhy, jak zlepšit drtič do budoucna jsou mimo výše zmíněných například přidání automatické změny chodu při přehlcení drtiče, přidání průhledného průzoru v násypce (např. PMMA), aby bylo možné sledovat podrobněji drticí proces a tím ho lépe zanalyzovat a vylepšit. Průzor lze umístit buď do víka násypky a přidat průhledný přitlačník, či do kovového těla násypky.

Pokud nedojde k požadovanému nadrcení během jednoho průchodu drtičem, je vhodné vhodit drť do drtiče znovu a nechat drtit do té doby, než bude dosaženo požadované velikosti. Pokud bude docházet k příliš častému zahlcení, je vhodné nejprve drtit bez síta a teprve později síto umístit pod drticí komoru. Pokud je problém s prohýbáním síta, je zapotřebí zvolit plech o větší tloušťce, např 2 nebo 3 mm.

Jestliže se někdo, kdo čte tuto práci rozhodne pro realizaci tohoto drtiče, doporučuji nevzdávat se při prvních potížích. Chce to pevné nervy, ale je třeba mít na mysli, že často se v historii nepovedlo vše na první pokus. Pokud něco nepůjde podle plánu, je třeba vytrvat. Můj první pokus drcení před vyladěním trval 9 sekund, než došlo ke zlomení příčného kolíku. Druhý a třetí trval 2 minuty. Po několika úpravách a zkouškách však dokáže drtič fungovat bez problémů a spolehlivě drtí plastový odpad, kterého je všude kolem bohužel přespříliš.

Zajímavým využitím plastového odpadu do budoucna by mohla být tepelná izolace budov pomocí plastových bloků, které v sobě obsahují velké procento vzduchu, tedy dobrého izolantu.



Obr. 46 Drticí komora při průchodu čtyř kelímků vložených do sebe– následkem je zlomený kolík na kole 2

ZÁVĚR

Teoretický základ práce se opírá o problematiku plastových odpadů v 21. století. Jsou zde uvedeny základní informace o plastech, jejich rozdělení, chování za vysokých teplot a použití v praxi. V této práci jsou také přehledně uvedeny aktuální technologie a trendy ve sběru, třídění a recyklaci. Jednotlivé technologie jsou stručně popsány a jsou u nich uvedeny relevantní příklady z praxe. Jedna z kapitol se věnuje popisu a shrnutí problému plastových odpadů a navrhuje některá z možných řešení nakládání s odpady. Jednotlivé návrhy se snaží poukázat na praktické použití ve společnosti. V teoretické sekci jsou dále uvedeny příklady drtičů dostupných na českém a slovenském trhu. Parametry a účel těchto drtičů jsou přibližně srovnatelné s nově navrhovaným typem drtiče 2H.

Nový typ drtiče 2H, viz Obr. 47, který je navržen a popsán v této diplomové práci, slouží především k drcení plastového odpadu produkovaného domácnostmi. Zkoušky potvrdily, že je možné drtit jak domácí odpad zejména z polypropylenu a polyethylenu, tak i plastové části automobilových světel. Drceny byly konkrétně polypropylenové obaly od potravin a mycích prostředků a polykarbonátové krycí sklo. Drtič váží 84 kg, rozměry drtičího prostoru jsou 207,5x149 mm. Rozměry drtiče jsou 1530x650x370 mm. Drtičí výkon, kterým disponuje drtič 2H je přibližně 10-20 kg/h. Výstupní drť je definována sítím o průměru ok 4,5 mm. Výslednou drť lze využít především pro technologii vytlačování, ze které mohou vznikat nové výrobky jako desky, latě a další různé polotovary [72]. Dalším příkladem využití může být výroba regranulátu, aglomerátu a filamentu pro 3D tisk. Dále lze drť uvažovat pro technologii vstřikování do forem. Výroba drtiče trvá jedné osobě přibližně jeden pracovní týden. Cena materiálu na výrobu drtiče je 6011 Kč respektive 18 399 Kč. První uvedená cena nezapočítává nakupování všech položek, ale vychází ze sehnání dílů z druhotných zdrojů, druhá uvedená cena předpokládá nakupování všech nových dílů za maloobchodní ceny. Při započtení ceny práce, elektřiny, pohonných hmot a marketingové přírážky, by byl prototyp tohoto drtiče prodejný za 14 999 Kč. Konstrukční a ekonomické údaje jsou uvedeny uvnitř práce a v přílohách této práce. Kapitola 6 rozebírá reálné problémy drtiče, řešení, úpravy a případná vylepšení, které do budoucna mohou vylepšit současný drtič 2H.



Obr. 47 Porovnání vyrobeného drtiče s CAD modelem vytvořeném v programu Autodesk Inventor Professional 2017

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PERRONE, Tomasso. The Maldives is home to an island made of rubbish. *Lifegate* [online]. Italy, 2014, 21 October 2014 [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://www.lifegate.com/people/news/alison-teal-maldives-rubbish-island>
2. Dvouhřidelové drtič D3-D4. *Pavel Jelínek– stroje* [online]. 2010 [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <http://www.jelinek-stroje.cz/produkty-dvouhridelove-drtice-d3-4-detail-6>
3. 90 % veškerých plastů se do oceánů dostane jen z deseti řek Asie a Afriky. *Ekolist.cz* [online]. Praha, 9. Mar 2018 [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/90-veskerych-plastu-se-do-oceanu-dostane-jen-z-deseti-rek-asie-a-afriky>
4. Vše o plastu. Jak vzniká, kde se používá a jak končí. *Idnes.cz* [online]. Praha, 17. Aug 2018 [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/pravdy-a-myty-o-plastech-prehled.A180816_091220_eko-zahranicni_nio
5. *Odpady: Sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*. 3. upr. a dopl. vyd. Brno: Cerm, 2014. ISBN 978-80-7204-884-7.
6. *Efektivní způsoby zpracování odpadů: Recyklace*. Brno: Úst. proc. a ekol. inženýrství, 2011. ISBN 978-80-214-4240-5.
7. LOYDA, Miloslav, Vlastimil ŠPONER, Ladislav ONDRÁČEK, Alexandr BAREŠ a KOLEKTIV. *Svařování termoplastů*. 2.vyd. Praha: UNO Praha spol, 2011. ISBN 978-80-904949-0-9.
8. HAKKENS, Dave. Download kit. *Precious Plastic* [online]. Eindhoven, 2013, 24. March 2016 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://preciousplastic.com/en/videos/download.html>
9. SCHEIRS, John a Walter KAMINSKY. *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. New York: John Wiley, 2006. ISBN 9780470021521.
10. RIDDEN, Paul. Envion oil generator turns plastic waste into oil. *New Atlas* [online]. Maryland, 2009 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://newatlas.com/envion-plastic-waste-to-oil-generator/12902/>
11. MAKURATH, Todd. Envion EOG promo. *Vimeo* [online]. 2011 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://vimeo.com/15914628>
12. Dvě stě tašek na hlavu je moc: Evropa omezí igelitky. *Aktuálně.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/schvaleno-evropa-omezi-igelitove-tasky/r~62b8bd36ed9a11e496f2002590604f2e/>
13. Konec igelitovým sáčkům? Češky vymyslely ekologickou náhradu. *Aktuálně.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://magazin.aktualne.cz/dobre-zpravy/ceske-studentky-vyhlasily-boj-igelitovym-pytlikum/r~a66d485cfa0711e493f4002590604f2e/?redirected=1549965357>
14. BACULÍK, Tomáš. Castor & Pollux, a. s. spúšťá skúšobnú prevádzku spracovania odpadových plastov. *Zvolen.dnes24.sk*[online]. Zvolen, 2010 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://zvolen.dnes24.sk/castor-pollux-a-s-spusta-skusobnu-prevadzku-spracovania-odpadovych-plastov-70681>
15. Český surfař si užíval na Bali. Teď tu zachraňuje planetu. *Aktuálně.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://magazin.aktualne.cz/cesky-surfari-si-uzival-na-bali-nyni-zachranuje-planetu/r~9e9ec520e27d11e4994f002590604f2e/?redirected=1550005123>
16. Ekonomika recyklace plastů nefunguje. Proč? *Průmyslová ekologie.cz* [online]. 2016, 2018 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/103693/ekonomika-recyklace-plastu-nefunguje-proc.aspx>

17. KANDUS, Bohumil. *Přednášky z předmětu Technologie zpracování plastů: Úvod, rozdělení plastů*. Brno, 1994.
18. Termoplastické elastomery. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy, 2016 [cit. 2019-02-15]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/23.html>
19. MOHRMANN, Pavel. Ach ty statistiky: Produkce a odpady z plastů. *Průmyslová ekologie.cz* [online]. 5.6. 2018 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/104079/ach-ty-statistiky-produkce-a-odpady-z-plastu.aspx>
20. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981. ISBN 04-234-81.
21. POSPÍŠIL, Ladislav. Recyklace termoplastů, termosetů a pryží: Recyklace termosetů. Recyklace PET, 5. přednáška. In: *Slideplayer: Recyklace plastů & pryží MU PŘF* [online]. Brno, 14. 10. 2014 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5988229/>
22. POSPÍŠIL, Ladislav. Recyklace termoplastů, termosetů a pryží: Sběr, identifikace třídění odpadu. Operace na mokré a suché cestě. 3. přednáška. In: *Slideplayer: Recyklace plastů & pryží MU PŘF* [online]. Brno, 4. 10. 2010 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5646726/>
23. POSPÍŠIL, Ladislav. Recyklace termoplastů, termosetů a pryží: Praktické příklady z literatury a praxe, výrobky, patenty. In: *Docplayer* [online]. Brno, 9. 12. 2014 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11702199-Prakticke-priklady-z-literatury-a-praxe-vyrobky-patenty-recyklace-termoplastu-termosetu-a-pryti.html>
24. Odolnost plastů vůči degradaci a stárnutí: Recyklace. *Katedra materiálu, Technická univerzita v Liberci: Studijní podklady, nekovové materiály* [online]. Liberec, 2010, 7.9.2004 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NEM.htm
25. Jak třídit plast. In: *Respono* [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.respono.cz/jak-tridit-odpad/jak-tridit-plast/>
26. Svět budoucnosti II (Rêver le futur): 5 - Budoucnost odpadů. In: *Youtube* [online]. 2016, 5. 2. 2019 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=MsGNflw_9cE
27. *Agilyx: Frequently asked questions* [online]. Portland, Tigard, 2019 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.agilyx.com/about-us/faqs>
28. *The changing character of household waste in the Czech Republic between 1999 and 2009 as a function of home heating methods*. Czech Republic, 2013, **33**(9).
29. Transform lázně Bohdaneč a.s.: O nás, Materiál Traplast. *Recyklace* [online]. Pardubice, 1992, 2018 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.recyklace.cz/eshop/material-traplast>
30. SHREDDER MINI INDUSTRIAL SHREDDER RECYCLE WASTE MANAGEMENT CRUSHER GRINDER. *Ebay* [online]. 2. 2. 2019 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://www.ebay.co.uk/itm/SHREDDER-MINI-INDUSTRIAL-SHREDDER-RECYCLE-WASTE-MANAGEMENT-CRUSHER-GRINDER/264179616070?_trkparms=aid%3D222007%26algo%3DSIM.MBE%26ao%3D2%26asc%3D20140122125356%26meid%3De569ace180de408c9d278878b050be62%26pid%3D100005%26rk%3D1%26rkt%3D12%26sd%3D264053341366%26itm%3D264179616070&_trksid=p2047675.c100005.m1851
31. *Blume: One life, one light* [online]. Hoddesdon, 2014, 2017 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.blumelabs.com/>
32. The right robot for each sorting task: 5. Rigid plastics. *Zenrobotics* [online]. Helsinki [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://zenrobotics.com/solutions/applications/>

33. Miniwiz, architecture: EcoARK. *Miniwiz.com* [online]. Taipei, 2010 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: http://www.miniwiz.com/solution_detail.php?id=1
34. HONZÍK, Roman: Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace. *Biom.cz* [online]. 2004-08-18 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>>. ISSN: 1801-2655.
35. BODZAY, Brigitta a György BÁNHEGYI. Polymer waste: Controlled breakdown or recycling?. *International Journal of Design Sciences and Technology* [online]. 2016, 2016, **22**(2), 109-138 [cit. 2019-03-05]. ISSN 1630-7267. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=16307267&AN=117908918&h=qrVWmYmfO%2bqvF9A%2fN3aOvXrIXRheYhDeAa5cph%2fV%2fiQ9NKTWBYOhn%2bSrM7IVkh9CYaXr3FPVgdq1frmIefkRA%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCriNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d16307267%26AN%3d117908918>
36. CONNACHER, Ian. *Addicted to plastic: Plasty kolem nás* [online]. Canada, 2008 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://www.sprword.com/videos/addictedtoplastic/>
37. Recycling plastics from automotive shredder residues:: a review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*[online]. Japan, 2014, 20 March 2014, **16**(3), 398-414 [cit. 2019-03-06]. DOI: 10.1007/s10163-014-0244-z. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261559596_Recycling_plastics_from_automotive_shredder_residues_A_review
38. ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024: Nařízení. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2014, ročník 2014, částka 141, 352/2014 Sb. Dostupné také z: <https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=1A9ED7F11A20B986C1257E2E00422918&action=openDocument>
39. Comparing the NIR spectroscopic method with FTIR/FT-NIR. *Allied scientific pro* [online]. Quebec, 2018 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://alliedscientificpro.com/blog/welcome-to-our-blog-1/post/comparing-the-nir-spectroscopic-method-withftir-ft-nir-37>
40. Unikátní technologie recyklace PET obalů míří do výroby: Objev vědců z Ústavu chemických procesů Akademie věd ČR. *AV ČR: Tisková zpráva* [online]. Praha, 2013 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/opencms/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/tiskove-zpravy/old/140325-TZ-unikatni-technologie-recyklace-pet-obalu-miri-do-vyroby.pdf>
41. *Detektivní chemická fraška o šesti dějstvích* [online]. 9.2.2018 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.ireporter.cz/2018/02/25/detektivni-chemicka-fraska-o-sesti-dejstvich/>
42. Analysis of plastics, electronic plastics, PCB, PET-flakes, paper and C&D recycling: Analysis of plastics in recycling by NIR hyperspectral camera KUSTA1.9MSI. *Lla-instruments: Waste sorting & recycling* [online]. Stuttgart, 12.6.2015 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.lla-instruments.com/process-analysis/waste-sorting-recycling.html>
43. KUTA, Antonín. Mletí a zpracování odpadu plastů. Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 1999, s. 44-48. ISBN
44. ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. ISBN DT 678.5(075.8).
45. JUNGA, Petr, Tomáš VÍTĚZ a Petr TRÁVNÍČEK. *Technika pro zpracování odpadu 1*. [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2015 [cit. 2019-04-19]. ISBN 978-80-7509-207-6. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technika_pro_zpracovani_odpadu_1_junga_a.pdf

46. CZ Ferrosteel: ČSN 11600- konstrukční ocel [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>
47. KVĚTOUN, Jan. *Porovnání možností výroby ozubených kol kovových a plastových*. Brno, 2017. 40s, 6 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus
48. CZ Ferrosteel: ČSN 11600- konstrukční ocel [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11700.pdf>
49. CZ Ferrosteel: ČSN 11600- konstrukční ocel [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11373.pdf>
50. Hodnoty mezi pevností, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel. *E-konstruktor* [online]. 30.07.2013 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
51. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery: Mechanické vlastnosti polymerů – statické namáhání* [online]. Svitavy, 2016 [cit. 2019-04-21]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
52. *Precious Plastic.com* [online]. Netherlands, 2013 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://preciousplastic.com/>
53. Precious Plastic- Build the Shredder. *Youtube* [online]. 2016, 24.3.2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=VFIPXgrk7u0>
54. Precious Plastic- Build the Extrusion. *Youtube* [online]. 24.3.2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=p4NoY33-Tfo&t=737s>
55. POSPÍŠIL, Ladislav. Recyklace termoplastů, termosetů a pryží: Zpracovatelské technologie v tavenině. Aditiva pro recykláty. *Slideplayer* [online]. 4.10.2010 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5642753/>
56. CZ Ferrosteel: ČSN 11600- konstrukční ocel [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11600.pdf>
57. *Terier: Drtiče a recyklační linky* [online]. Chrastava, 2010 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.terier.cz/>
58. Drtič plastů pomaloběžný. *Pronext* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.pronext.cz/cs/stroje/drtice-plastu/33-drtic-plastu-pomalobezny.html>
59. Ing. Častulík s.r.o.: *drviče plastov, granulátory, recyklácia káblov* [online]. Bratislava, 2018 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.drvice.sk/>
60. Nelegované konstrukční oceli podle EN 10025: Přehled mechanických vlastností oceli podle EN 10025. *Bolzano* [online]. Kladno, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-mechanickych-vlastnosti-oceli-podle-en-10025-nove>
61. Pružinové oceli pro zušlechťování podle ČSN EN 10089: Přehled vlastností oceli 54SiCr6. *Bolzano* [online]. Kladno, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane>
62. SHIGLEY, Joseph. E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 3. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
63. ŠEBESTA, K. *Konstrukce drtičky plastových dilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 81 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. David Paloušek, Ph.D.

64. FURZE, Colin. Making a Shredder for my Letterbox. *Youtube* [online]. 15. November 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ku9W-pqDLdw>
65. Elektromotor MY 90 L4 / 1,5 kW / 1430 ot min-1. *Elektromotory- převodovky s.r.o* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.prevodovky-elektromotory.cz/1400-ot-min-1-2/elektromotor-my-90-14-1-5-kw-1430-ot-min-1.html>
66. TRC01 čelní převodovka - hřídel 20mm. *Elektromotory- převodovky s.r.o* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.prevodovky-elektromotory.cz/trc/trc01-celni-prevodovka-hridel-20mm.html>
67. Ložisko s domečkem UCFL 205: Obchodní číslo:10791042050C. *Agrozet* [online]. České Budějovice, 2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.agrozet.cz/e-shop/lozisko-s-domeckem-ucfl-205-d39241.html>
68. Making Springs At Home. *Youtube* [online]. 25. 2. 2016 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jAawhg6JtyY>
69. Technické výpočty: Výpočty pružin. *E-konstrukter* [online]. 2013 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/137-vypocet-pruzin/138-pruzina-vinuta-tlacna/148-navrh-tlacne-pruziny-dle-rozmeru>
70. Apator 4G10-11-U vačkový spínač vestavný reverzační. *Elektrotechmat.cz* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektrotechmat.cz/Apator-4G10-11-U-vackovy-spinac-vestavny-reverzacni-d249.htm?tab=description>
71. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření, a nástroje*. Brno: Cerm, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
72. HAKKENS, Dave. Precious Plastic V2 - Promo. *Youtube* [online]. 24.3.2016 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=8J7JZcsoHyA>
73. AZAPAGIC, Adisa a Slobodan PERDAN. *Sustainable development in practise: Case studies for engineers and scientists*. 2nd ed. Chichester: Wiley–blackwell, 2011. ISBN 978-0-470-71871-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
b	Šířka ozubeného kola	[mm]
d_{r25}	Průměr roztečné kružnice ozubeného kola 1	[mm]
d_{r35}	Průměr roztečné kružnice ozubeného kola 3 a 4	[mm]
d_{r50}	Průměr roztečné kružnice ozubeného kola 2	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_1	Síla, která působí na jednu čepel	[N]
F_{krit}	Maximální kritická síla v drtiči	[N]
F_{35}	Síla na obvodu kola 3 a 4 při 239 Nm od motoru	[N]
F_{motor}	Síla na obvodu čepele při plném zatížení	[N]
F_D	Síla drticí návrhová	[N]
F_{DK}	Síla drticí návrhová násobená koeficienty	[N]
i_D	Převodový poměr návrhový	[-]
i_{Krit}	Převodový poměr kritický	[-]
k_1	Koeficient vnikání do materiálu	[-]
k_2	Koeficient počtu souběžně vnikajících čepelí	[-]
k_3	Koeficient počtu drticích úseků	[-]
M_{krit}	Krouticí moment kritický	[Nm]
M_D	Krouticí moment drticí návrhový	[Nm]
M_{motor}	Krouticí moment motoru při plném zatížení	[Nm]
n_{motor}	Otáčky motoru	[min ⁻¹]
n_D	Otáčky návrhové	[min ⁻¹]
O_D	Obvod čepele	[mm]
P_{motor}	Výkon motoru	[kW]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{mPA}	Mez pevnosti polyamidu	[MPa]
R_{mPE}	Mez pevnosti polyethylenu	[MPa]
R_{mPP}	Mez pevnosti polypropylenu	[MPa]
r_{r35}	Poloměr roztečné kružnice ozubeného kola 3 a 4	[mm]
r	Poloměr čepele	[mm]
S_2	Plocha teoretické výplně	[mm ²]
S_{2koef}	Plocha teoretické výplně vynásobená koeficientem k_1	[mm ²]
S_{D2koef}	Obvod čepele vynásobený tloušťkou drceného kelímku	[mm ²]
s	Tloušťka drceného kelímku	[mm]
T_g	Oblast (teplota) skelného přechodu	[°C]
T_m	Teplota tání krystalů	[°C]
λ	Vlnová délka	[nm]
τ_{SPA}	Střížné napětí- polyamid	[MPa]
τ_{SPE}	Střížné napětí- polyethylen	[MPa]
ω_{motor}	Úhlová rychlost motoru	[min ⁻¹]
ω_{krit}	Úhlová rychlost kritická	[min ⁻¹]
2H	Označení nového navrhovaného drtiče	
3D	Tří dimenzionální	
AV ČR	Akademie věd České republiky	
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	
ASR	Automotive shredder residue	
CAD	Computer aided drawing	
CO	Oxid uhelnatý	
ČR	Česká republika	

POKRAČOVÁNÍ SEZNAMU POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EU	Evropská unie
FTIR	Fourier transform infra red
H ₂	Vodík
Kč	Koruna česká, měna
MAG	Metallic active gas- Obloukové svařování tavící se elek. v a. plynu
NIR	Near infra red
OTHER	Další druhý plastů
PA	Polyamid
PA66	Polyamid 66
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PEHD	Vysoko hustotní polyethylen
PELD	Nízko hustotní polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PLA	Polylaktid
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
TAP	Tuhé alternativní palivo
USD	Americký dolar, měna
Zytel	Obchodní označení pro PA66
%	Procento
°	Stupeň, jednotka úhlu
A	Ampér, jednotka proudu
bar	Bar, jednotka tlaku
dB	Decibel, jednotka hladiny intenzity zvuku
gal	Galon, jednotka objemu
g/cm ³	Gram na centimetr krychlový, jednotka hustoty
kg	Kilogram, jednotka hmotnosti
kg/h	Kilogram za hodinu, jednotka drticího výkonu drtiče
l	Litr, jednotka objemu
t	Tuna, jednotka hmotnosti
V	Volt, jednotka napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dvouhřídelový drtič DR 3 [2].....	9
Obr. 2 Surfařka na Maledivách [1]	9
Obr. 3 Chování polymerů při změně teploty [20].....	11
Obr. 4 Základní rozdělení plastů [podle 17]	12
Obr. 5 Sesbíraný plastový odpad za tři dny (vlevo), setříděný odpad dle normy TNI CR 14311 (vpravo)	17
Obr. 6 Znak pro třídění plastů [25]	17
Obr. 7 Proces třídění plastového odpadu [22].....	18
Obr. 8 Optické třídění odpadních plastů z domácností dle NIR [42].....	20
Obr. 9 Porovnání hustot a tribologických napětí vybraných plastů [22]	20
Obr. 10 Kladivový mlýn v řezu [43].....	21
Obr. 11 Nožový mlýn v řezu [44].....	22
Obr. 12 Válcový drtič jednohřídelový v řezu	23
Obr. 13 Válcový drtič dvouhřídelový v řezu	23
Obr. 14 Porovnání drtičů dostupných na trhu srovnatelných s novým typem drtiče [2,57,59]	24
Obr. 15 EcoARK, budova vyrobená z Polli-Brick™ recyklovaných PET lahví [33].....	29
Obr. 16 Porovnání výchozího (vlevo) [8] a nového typu drtiče 2H (vpravo).....	31
Obr. 17 Referenční příklad drceného výrobku (šampon z PE, tloušťka stěny 1 mm)	32
Obr. 18 Polypropylenové (PP) obaly od potravin připraveny k drcení.....	32
Obr. 19 Polykarbonátová (PC) část krycího skla světlometu Fabia III. připravená k drcení.....	32
Obr. 20 Rozdíl mezi aglomerátem (vlevo) a granulátem (vpravo) [55].....	33
Obr. 21 Drť PP obalů vlevo, drť části krycího PC skla vpravo	33
Obr. 22 Mez pevnosti a modul pružnosti vybraných plastů [51]	34
Obr. 23 Znázornění teoretické výplně a třech drtičích oblastí	35
Obr. 24 Plocha teoretické výplně s nekonstantní tloušťkou	36
Obr. 25 Mechanické vlastnosti plechů ČSN 11373 [49].....	37
Obr. 26 Druhy čepelí použitých v drtiči	38
Obr. 27 Rozložení části drtičí komory umožňující vyjmutí čepelí a stacionárních ostří	38
Obr. 28 Síto drtiče.....	39
Obr. 29 Použitý elektromotor o výkonu 1,5 kW s převodovkou 13:1	39
Obr. 30 Mechanické vlastnosti ozubených kol ČSN 12050 [46].....	40
Obr. 31 Ozubené kolo 1 a 2	40
Obr. 32 Ozubené kolo 3 a 4	41
Obr. 33 Schéma ozubení při pohledu na drtič shora	41
Obr. 34 Mechanické vlastnosti kolíků ČSN 11 700.20 [48]	42
Obr. 35 Znázornění ekvivalentního napětí (von-Mises) při působení 239 Nm (vlevo v řezu, uprostřed a vpravo pohledy).....	43
Obr. 36 Znázornění plastického přetvoření (vlevo) a celkového přetvoření (vpravo).....	43
Obr. 37 Mechanické vlastnosti per ČSN 11 600 [56]	44
Obr. 38 Rozložení efektivního napětí (vlevo), plastické přetvoření (uprostřed), celkové přetvoření (vpravo).....	44
Obr. 39 Ložisko UCFL 205 [67].....	45
Obr. 40 Otevřená násypka.....	46
Obr. 41 Detail aretace (vlevo), detail stahovací spony (uprostřed), detail upevnění přítlačníku (vpravo).....	47
Obr. 42 Rám na drtič.....	48
Obr. 43 Sestava přídatného kolečka (vlevo), madlo v klidové poloze (vpravo)	48
Obr. 44 Parametry nového typu drtiče 2H	50
Obr. 45 Možná změna tvaru čepelí a zvýšení počtu břitů	53
Obr. 46 Drtičí komora při průchodu čtyř kelímků vložených do sebe– následkem je zlomený kolík na kole 2.....	54
Obr. 47 Porovnání vyrobeného drtiče s CAD modelem vytvořeném v programu Autodesk Inventor Professional 2017	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: CAD model celé sestavy drtiče ve formátu step

Příloha 2: BOM– Bill of material, specifikace drcení, počet dílů, parametry, seznam pro výrobu

Příloha 3: Výkresová dokumentace sestavy drtiče

Příloha 4: Fotodokumentace drtiče 2H + náčrt schématu zapojení reverzačního spínače

SEZNAM TABULEK

Tab 5.1: Seznam nakupovaných položek (rozšířená verze, viz příloha 2, list 1 a 2).