Analýza zpracování vtokových zbytků polymeru

Bc. Michal Janečka

Diplomová práce
2013

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Michal Janečka**
Osobní číslo:	**T11049**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Řízení jakosti**
Forma studia:	**kombinovaná**
Téma práce:	**Analýza zpracování vtokových zbytků polymeru**

Zásady pro vypracování:

1.Úvod
2.Rozdělení a zpracování polymerů
3.Recyklace termoplastů
4.Hodnocení fyzikálních vlastností termoplastů
5.Výběr termoplastů pro recyklaci
6.Techniky a použití technologie zpracování technologických zbytků
7.Technické srovnání použitých technik a technologií
8.Ekonomická analýza a srovnání použitých technik a technologií
9.Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1.ZEMAN, L., Vstřikování plastů 1., vydání. Praha, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
2.DUCHÁČEK, V., Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití 1., vydání. Pra-ha, 2005. 354 s. ISBN 80-7080-241-3.
3.http://www.ksp.tul.cz
4.http:// www.greiner-assistec.com

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ Fakulta technologická L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Bc. JANEČKA MICHAL Obor: ŘJ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby [1)];
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [2)];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 27.4.2013 .....

[1)] *zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:*
(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

[2)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[3)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Recyklace materiálu je v dnešní době neoddělitelnou součástí vývoje a pokroku lidstva. Šetří nejen životní prostředí, ale zároveň i znamená úsporu nákladů na jeho likvidaci. Tato diplomová práce se zabývá studiem podílu vtokového zbytku na vlastnosti dílů z termoplastu.

Klíčová slova: termoplast, vtokový zbytek, vstřikování, drcení,

ABSTRACT

Material recycling is today an integral part of the development and progress of mankind. This saves not only the environment but also saves the cost of its disposal. This thesis studies the proportion of inlet on the properties of thermoplastic parts.

Keywords: thermoplastic, inlet, injection, grind

Poděkování

Chtěl bych poděkovat společnosti Greiner assistec s.r.o. a konkrétně Ing. Michalovi Peckovi za odborné rady a ochotu, dále bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi CSc za pomoc a čas strávený konzultacemi pro zdárné vypracování této práce.

Motto

Svět sám je v neustálé přestavbě, tím spíše člověk.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD **12**

I TEORETICKÁ ČÁST **13**

1 POLYMERY **14**

1.1 DĚLENÍ POLYMERŮ 14
1.1.1 Dělení dle původu 14
1.1.2 Dělení dle struktury jednotlivých makromolekul 14
1.1.3 Dělení dle uspořádání molekul 16
1.1.4 Dělení dle teplotního chování 17
1.1.5 Dělení dle polarity 19
1.1.6 Dělení dle chemického složení 19
1.1.7 Dělení dle druhu přísad 20
1.1.8 Dělení dle výroby 21
1.2 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ 23
1.2.1 Lisování 24
1.2.2 Vytlačování 25
1.2.3 Válcování 26
1.2.4 Vyfukování 27
1.2.5 Vstřikování 29
1.2.6 Rotační natavování 32
1.3 RECYKLACE 33
1.4 REGRANULÁT 34
1.4.1 Zpracování regranulátu 34
1.4.2 Stroje na přípravu regranulátu 34

2 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ POLYMERU **38**

2.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES 38
2.2 ROZDĚLENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK 39
2.3 TAHOVÁ ZKOUŠKA 40
2.3.1 Pevnost v tahu 40
2.3.2 Pevnost v kluzu 41
2.3.3 Poměrné prodloužení 41
2.3.4 Tažnost 41
2.3.5 Zúžení 41
2.3.6 Pracovní diagram 42
2.4 TLAKOVÁ ZKOUŠKA 43
2.4.1 Pevnost v tlaku 43
2.4.2 Poměrné zkrácení 44
2.4.3 Poměrné příčné rozšíření 44
2.5 RÁZOVÁ A VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST 44
2.5.1 Rázová práce 45
2.5.2 Vrubová houževnatost 45

2.6 REOLOGICKÉ ZKOUŠKY 46
2.6.1 Index toku taveniny 46
3 SHRNUTÍ STUDIJNÍ ČÁSTI 47
II PRAKTICKÁ ČÁST 48
4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE 49
5 VÝBĚR TERMOPLASTŮ PRO RECYKLACI 50
6 RECYKLACE VE SPOLEČNOSTI GREINER ASSISTEC 51
6.1 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH ZBYTKŮ 51
6.1.1 Interní recyklace 52
6.1.2 Externí recyklace 54
7 EKONOMICKÁ ANALÝZA 56
7.1 EKONOMICKÁ ANALÝZA – VÝROBEK Z ABS – NÁVRH Č. 1 (INTERNÍ RECYKLACE) 56
7.1.1 Materiálová úspora 56
7.1.2 Provozní náklady drtiče 58
7.1.3 Amortizace drtiče 60
7.1.4 Celková roční úspora na drcení vtokových zbytků 60
7.2 EKONOMICKÁ ANALÝZA – VÝROBEK Z ABS – NÁVRH Č. 2 (EXTERNÍ RECYKLACE) 62
7.2.1 Vykupované roční množství materiálu 62
7.2.2 Ostatní náklady 63
7.2.3 Celková roční úspora na prodeji plastového odpadu 63
7.3 EKONOMICKÁ ANALÝZA – VÝROBEK Z PP – NÁVRH Č. 1 (INTERNÍ RECYKLACE) 64
7.3.1 Materiálová úspora 64
7.3.2 Provozní náklady drtiče 66
7.3.3 Amortizace drtiče 68
7.3.4 Celková roční úspora na drcení vtokových zbytků 68
7.4 EKONOMICKÁ ANALÝZA – VÝROBEK Z PP – NÁVRH Č. 2 (EXTERNÍ RECYKLACE) 70
7.4.1 Vykupované roční množství materiálu 70
7.4.2 Ostatní náklady 71
7.4.3 Celková roční úspora na prodeji plastového odpadu 71
7.5 VYHODNOCENÍ EKONOMICKÉ ANALÝZY PRO DÍL „PALUBA“ 72
7.6 VYHODNOCENÍ EKONOMICKÉ ANALÝZY PRO DÍL „HOUSING“ 73
7.7 POROVNÁNÍ METOD INTERNÍ A EXTERNÍ RECYKLACE 74
ZÁVĚR 76
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 77
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 78
SEZNAM OBRÁZKŮ 80
SEZNAM TABULEK 82

SEZNAM PŘÍLOH..... 83

ÚVOD

Lidská společnost se setkává s makromolekulárními látkami prakticky od nepaměti. I když rozvoj syntetických polymerů v moderním slova smyslu nastal až ve dvacátém století, některé polymerní materiály byly známy a používány už mnohem dříve. Zpočátku šlo ovšem o přírodní polymery. Také principy plastikářské technologie jsou mnohem starší, než se domníváme. Už ve dvanáctém století byl v Anglii založen cech zpracovatelů rohoviny. Její zpracování bylo založeno na poznatku, že rohovina při teplotě nad 125 °C měkne a dá se následně tvarovat. Pojem plasty byl odvozen z řeckého „plastein“, což v překladu znamená „tvarovat".

Počátek historie technologie vstřikování plastů je spojován se jménem John Wesley Hyatt, který spolupracoval s bratrem v roce 1870 v USA a patentoval materiál, z něhož později vznikl celuloid, včetně zařízení pro jeho vstřikování.

Technologie vstřikování termoplastů, včetně strojů a zařízení pro její realizaci, urazila od svých prvopočátků, přes masový a bouřlivý rozvoj zejména v druhé polovině minulého století až po dnešní globalizaci, velmi dlouhou a úspěšnou cestu. Díky širokým možnostem využití termoplastů, zejména v automobilovém, elektronickém a v dalších oblastech průmyslu, je tato technologie i nadále velmi perspektivní. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chlóru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití.[2]

1.1 Dělení polymerů

Polymery můžeme rozdělit do několika skupin.

1.1.1 Dělení dle původu

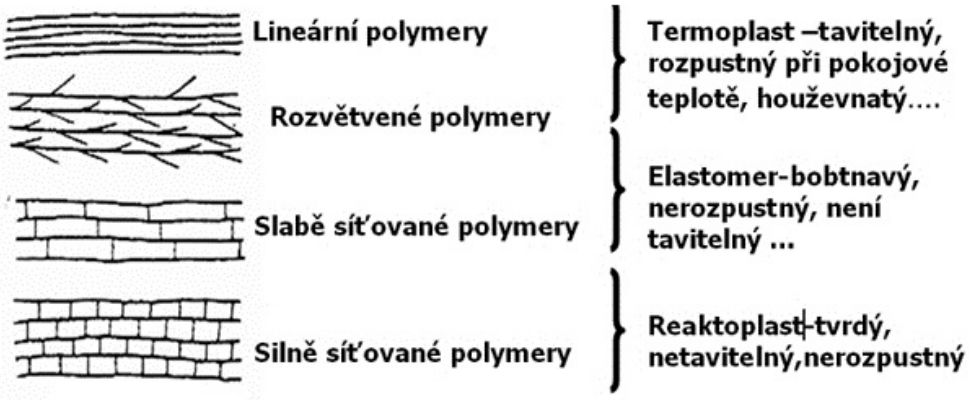
- **přírodní** – jsou založeny na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi celulózy, latexu, kaseinu, atd.
- **syntetické** – k výrobě je použita chemická cesta. [3]

1.1.2 Dělení dle struktury jednotlivých makromolekul

- **lineární makromolekuly** - vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé „jako korálky na šňůře perel“. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Polymery potom mají vyšší hustotu (např. vysokohustotní polyethylen HDPE). Lineární makromolekuly také snáze vytvářejí prostorově pravidelné shluky krystalických struktur, takže tyto polymery mají vyšší obsah krystalických podílů. Plasty s lineárními makromolekulami jsou obvykle dobře rozpustné a tavitelné (dobrá pohyblivost makromolekul), v tuhém stavu se vyznačují houževnatostí a ve formě tavenin dobrou zpracovatelností.

- **rozvětvené makromolekuly** - vyznačují se tím, že mají na základním řetězci boční větve („přívěsek na šňůře perel“). Rozvětvené makromolekuly se na rozdíl od lineárních makromolekul nemohou v důsledku bočních větví jedna ke druhé dostatečně přiblížit. Proto se vyznačují nižší hodnotou hustoty (např. nízkohustotní polyethylen LDPE). Uspořádanost jejich shluků je nízká a tudíž hůře krystalizují a mají nižší stupeň krystalinity. Rozvětvení zhoršuje i pohyblivost makromolekul a tedy i tekutost v roztaveném stavu. Boční řetězce, které způsobují oddálení sousedních makromolekul, mají za následek pokles mezimolekulárních sil a tím zhoršení většiny mechanických vlastností.

- **zesíťované makromolekuly** - v tomto případě je několik přímých, nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou propojeno vazbami, takže vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu - prostorovou síť. Takováto síť vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery vykazují vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, avšak nízkou odolnost proti rázovému namáhání. Sítě mohou být řídké (charakteristické pro elastomerní kaučukovité polymery) nebo husté (reaktoplasty).[3]



Obr. 1 Tvar makromolekul pro různé typy plastů [3]

1.1.3 Dělení dle uspořádání molekul

- **amorfní** – struktura bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globuly (nebo-li klubíčka) o velikosti 10 - 30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. [3]

Obr. 2 Amorfní struktura

- **krystalická struktura** se vyznačuje určitým stupněm uspořádanosti. Základním morfologickým útvarem jsou tzv. lamely, fibrily. [3]

Obr. 3 Krystalická struktura

1.1.4 Dělení dle teplotního chování

- **Termoplasty -** jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních newtonovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání $\boldsymbol{T_m}$ (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku $\boldsymbol{T_f}$ (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [3]

Obr. 4 Plastové díly vyrobené z PA6 GF35 pro společnost Hilti [4]

- **Reaktoplasty -** jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání v čase dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. *vytvrzování*. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [3]

Obr. 5 Svrchní otočný bakelitový vypínač

- **Elastomery –** jak název napovídá, vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Vznik spojů je aktivován teplem – vulkanizace. Okolo spojů se řetězce mohou pohybovat – elasticita. Nejpočetnější podmnožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí kaučukové směsi a procesem vulkanizace vznikají pryže. [1, 2]

Obr. 6 Pryžové těsnění

1.1.5 Dělení dle polarity

- **polární** – mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice, apod.
- **nepolární** – nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS, apod. [3]

1.1.6 Dělení dle chemického složení

- Polyolefiny
- Polystyrény
- Polyestery
- Polyamidy
- Polyuretany
- Akryláty
- Silikony
- Deriváty celulózy
- Chloroplasty
- Fluoroplasty [3]

1.1.7 Dělení dle druhu přísad

a) **Zpracovatelské přísady** - usnadňují nebo dokonce umožňují přípravu a zpracování polymerních směsí. To ovšem neznamená, že by neovlivňovaly vlastnosti konečného výrobku. Každá přísada ovlivňuje jak vlastnosti polymerních směsí, tak produktu, který je výsledkem jejího zpracování. [2]

- Plastikační činidla
- Maziva
- Separační činidla
- Změkčovadla
- Tepelné stabilizátory

b) **Antidegradanty –** přísady, které dlouhodobě chrání výrobky před vnějšími vlivy během jejich používání.

- Světelné stabilizátory
- Antioxidanty
- Antionizanty

c) **Síťovací prostředky –** jsou přísady, které se účastní síťovacích reakcí.

- Síťovací činidla
- Aktivátory síťování
- Urychlovače síťování

d) **Přísady ovlivňující další fyzikální vlastnosti –** další běžně používané přísady, které ovlivňují vlastnosti polymerních směsí.

- Plniva
- Vyztužovadla

- Nadouvadla
- Pigmenty
- Opticky zjasňující látky
- Zvláštní přísady [2]

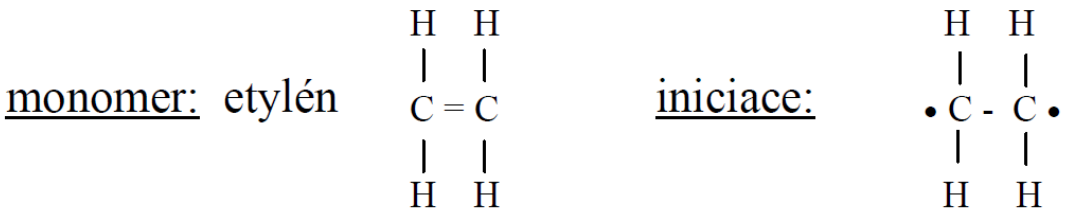
1.1.8 Dělení dle výroby

Syntetické polymery vznikají třemi základními chemickými reakcemi:

- Polymerace
- Polyadice
- Polykondenzace

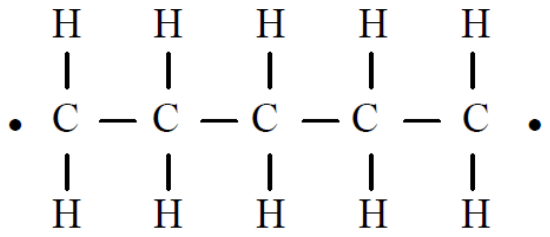
a) **Polymerace –** je řetězová chemická reakce velkého počtu molekul monomeru, při níž vznikají dlouhé makromolekuly polymeru. Při této reakci se nevytvářejí vedlejší produkty, chemické složení polymeru je stejné jako chemické složení monomeru. Produktem polymerace je makromolekulární řetězec, který narůstá do své konečné délky ve velmi krátké době. Jednotlivé děje při polymeraci:

- **Iniciace –** rozštěpení dvojné (eventuálně vícenásobné) vazby, aby se mohla polymerace rozběhnout → vzniká RADIKÁL



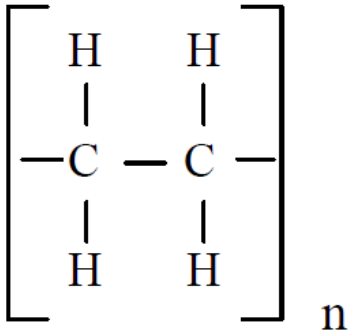
Obr. 7 Iniciace [3]

- **Propagace –** růst řetězce, vzniklý radikál reaguje s další molekulou monomeru, volný elektron se stále obnovuje na konci rostoucí makromolekuly.



Obr. 8 Propagace [3]

- **Terminace –** ukončení růstu a obnova dvojné vazby



Obr. 9 Terminace [3]

b) Polyadice – sloučeniny, jejichž molekuly obsahují násobné vazby, nebo jsou tvořeny kruhy s malým počtem členů, mohou být mimo vzájemného spojování (řetězení) schopny adičních reakcí se sloučeninami, jejichž molekuly obsahují vhodné funkční skupiny.

c) Polykondenzace – sled stejných opakujících se reakcí funkčních skupin výchozích látek. Ke vzniku polymeru je třeba, aby výchozí sloučeniny měly potřebný počet funkčních skupin, a to nejméně dvě, v každé molekule vzájemně reagující komponenty. [2]

1.2 Zpracování polymerů

Snadná zpracovatelnost je hlavní předností organických makromolekulárních látek před jinými materiály. Rozvoj jednotlivých zpracovatelských procesů rychle pokračuje. Vedle vlastností daného polymeru je důležitým kritériem pro výběr zpracovatelského procesu i požadavek na sériovost výroby, charakterizovanou na jedné straně velkými sériemi nevratných obalů (např. Kelímků pro potraviny), na druhé straně malosériovými výrobky.

Termoplastické polymery je možno udržet v roztaveném stavu dlouho beze změny, viskozita taveniny se s časem příliš nemění. Při zpracování termoplastů se používají polymery ve formě prášku, granulátu nebo ve formě polotovarů (desky, fólie).

Energie pro roztavení se do polymeru dostává jednak z vnějšího zdroje, jednak frikcí. [5]

Primární zpracovatelské postupy termoplastů:

- Lisování
- Vytlačování
- Válcování (Kalandrování)
- Vyfukování
- Vstřikování
- Rotační natavování

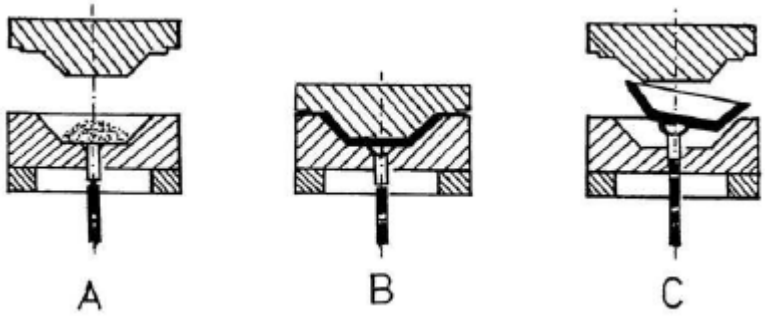
Sekundární zpracovatelské postupy termoplastů:

- Tepelné tvarování desek
- Svařování
- Lepení

1.2.1 Lisování

Lisování je nejstarším způsobem zpracování polymeru. Jeho počátky spadají do posledních desetiletí 19. století. Lisování je tváření polymeru při zvýšených teplotách a tlacích, při čemž žádaný tvar dává materiálům forma. Podle velikosti použitých tlaků se rozlišuje lisování vysokotlaké a nízkotlaké. Jako vysokotlaké se označuje lisování při tlacích nad 3MPa. [2]

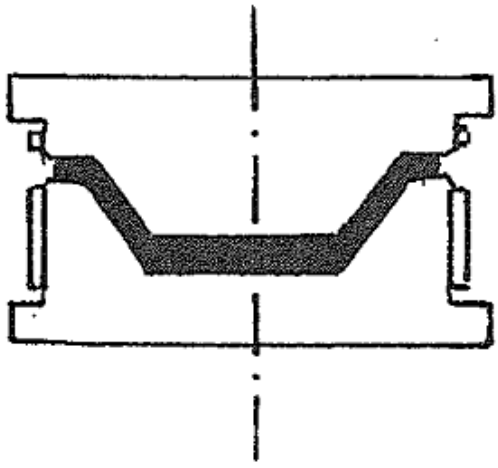
- Vysokotlaké lisování



Obr. 10 Princip vysokotlakého přímého lisování [2]

(A – plnění formy, B – vlastní lisování, C – vyjímání výlisku z formy)

- Nízkotlaké lisování



Obr. 11 Pevná forma pro nízkotlaké lisování [2]

1.2.2 Vytlačování

Vytlačování představuje kontinuální proces transformace termoplastických polymerů, při kterém se získává buď hotový výrobek, nebo polotovar. Extrudery zajišťují následující operace:

- Transport materiálu od vstupu do výstupní hubice
- Plastikace materiálu frikčním teplem i vnějším ohřevem
- Postupné zvyšování tlaku potřebného pro vytlačení taveniny hubicí

Pro vytlačování termoplastů a kaučukových směsí ve formě granulátu, aglomerátu, pelet či pásku se používají především jednošnekové stroje. Pro zpracování práškových polymer nabývají na významu i dvoušnekové vytlačovací stroje. [5]

Obr. 12 Linka na výrobu PE a PVC trubek trubiček a hadic

Hlavními oblastmi aplikace vytlačovaných výrobků jsou:

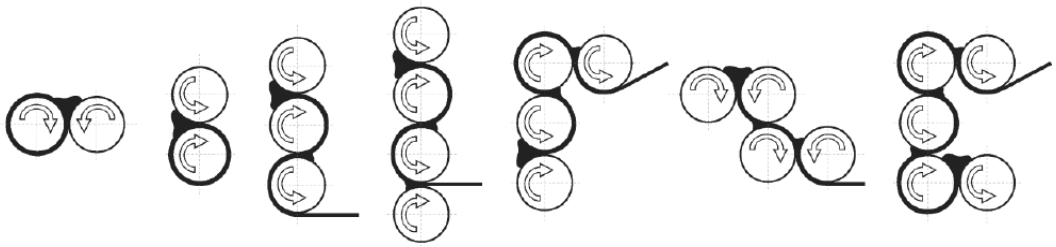
- Plné nebo duté profily
- Výroba desek nebo fólií
- Pláště kabelů, povlaky
- Výroba syntetických vláken
- Nánosy na papír a lepenky [5]

Obr. 13 Vytlačované trubky z LDPE [6]

1.2.3 Válcování

Válcování neboli kalandrování, je způsob tváření polymer, kterého se používá k výrobě fólií a desek a k nanášení polymer na textilní podložky, mezi vyhřívanými válci válcovacích strojů neboli kalandrů.

Princip válcování – první štěrbina mezi válci je zásobována páskem polymerní směsi z míchacího dvouválce, nebo kontinuálního hnětiče. Všechna přiváděná hmota však nemůže projít úzkou štěrbinou a hromadí se před ní v otáčející se roličce. Proudění v ní je takové, že spodní část fólie vystupuje ze štěrbiny prakticky nezměněna, zatímco horní část je strhávána do středu roličky a znovu hnětena. [2]



Obr. 14 Uspořádání víceválců

1.2.4 Vyfukování

Vyfukování je technologický postup výroby dutých předmětů.

- Láhve
- Tuby
- Konve
- Kanystry
- Popelnice

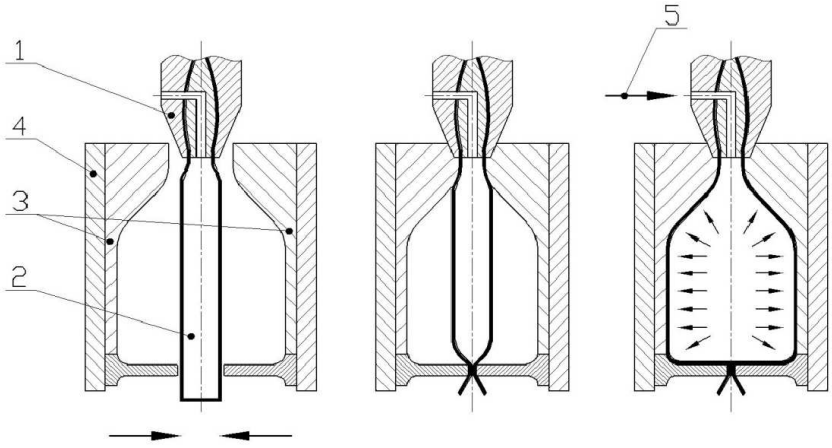
Obr. 15 Pouzdro pro motorové pily Stihl [3]

Provádí se dvěma způsoby – **výtlačným vyfukováním** (tj. vyfukováním z hadice, resp. z trubky) a **vstřikovacím vyfukováním** (vyfukováním z tzv. předlisku, přesněji výstřiku). Největší podíl vyfukovaných nádob (asi 90%) připadá na techniku výtlačného vyfukování, kterým se vyrábějí také fólie. Posuzováno podle objemu výroby. Jsou z dutých výrobků (nádob) nejběžnější lahve. Vyfukovací způsob je dovoluje vyrábět v objemech několika mililitrů, až do stovek litrů, s produktivitou u menších objemů až na 15 tisíc kusů za hodinu. [2]

a) Výtlačné vyfukování

Základem výtlačného vyfukování je vytlačování polymeru kruhovou štěrbinou. Průměr a tloušťka vytlačovací hadice jsou regulovány seřízením štěrbiny vytlačovací hlavy. Vytlačená hadice je pak sevřena do formy (většinou dvoudílné) a tlakem

vzduchu rozfouknuta do tvaru, který ji udělí forma. Pro vytlačování s obvyklými výkony do 100 kg/h se používají jednošnekové vytlačovací stroje. [2]

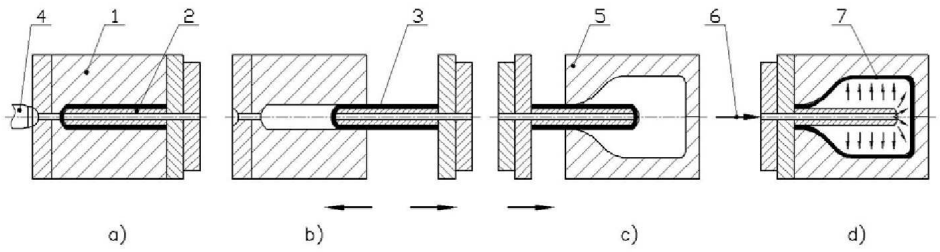


Obr. 16 Vytlačovací vyfukování

1 - Vytlačovací hlava, 2 – parizon, 3 – forma, 4 - upínací deska, 5 – přívod tlakového vzduchu

b) Vstřikovací vyfukování

Vedle výtlačného vyfukování se uplatňují při výrobě dutých předmětů, jak již bylo zmíněno, i některé další modifikace vyfukovací technologie, především vstřikovací vyfukování. Rozdíl je v přípravě předlisku, který se nevytlačuje, ale vstřikuje na trn vstřikovacím strojem. Výstřik se dopravuje revolverovým systémem, nebo kývavým pohybem k vyfukovací části zařízení, kde se po umístění ve formě vyfoukne do žádaného tvaru. [2]



Obr. 17 Vstřikovací vyfukování

1 - Vstřikovací forma, 2 – jádro, 3 – preform, 4 – vstřikovací tryska, 5 – vyfukovací forma, 6 – přívod tlakového vzduchu, 7 - výrobek

1.2.5 Vstřikování

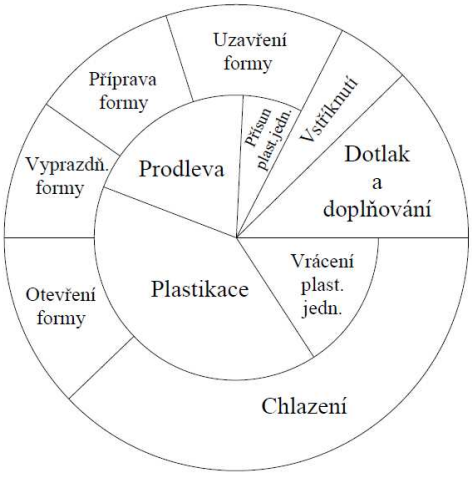
Vstřikování plastů je poměrně složitý, tepelně – mechanický proces tváření, na kterém se podílí výchozí materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást, výrobní cyklus především se vstřikovacím strojem a ostatním zařízením, umožňující přípravu taveniny a její dopravu za určitých podmínek do formy. Forma je nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást. Vlastní výroba vstřikováním pak probíhá nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji, jeho dopravě za teploty a tlaku do dutiny. [7]

- **Vstřikovací cyklus**

Vstřikovací cyklus zahrnuje dvě oblasti, jedna se vztahuje k plastikační jednotce, druhá k formě. K uzavřené formě se přisune plastikační jednotka, ze které se vstříkne zplastikovaný materiál do dutiny formy. Doba, po kterou se plní dutina formy, se nazývá doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se na materiál dále působí tlakem, který označujeme jako dotlak. Doba, po kterou působí dotlak, se nazývá doba plnění. Dotlak má za účel částečně vyrovnat vliv smrštění a zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy. [8]

Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka oddálí a začne v ní plastikace další dávky. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí. Po očištění a přípravě formy následuje další cyklus. [7]

Chlazení výstřiku probíhá z části ve formě, z části mimo ni, na chladících přípravcích k dosažení větší přesnosti. [8]



Obr. 18 Vstřikovací cyklus

- **Vstřikovací stroj**

Plně funkční vstřikovací stroj s prováděnou pravidelnou údržbou, včetně čištění olejové náplně, je samozřejmým předpokladem pro optimalizaci procesu vstřikování. Z hlediska výsledku, tj. výroby výstřiku s definovanou kvalitou, je konstrukční provedení použitého vstřikovacího stroje nedůležité. [1]

Důležitá je reprodukovatelnost nastavených výrobních parametrů, kontrolovaná zejména u dílů pro automobilový průmysl, při výrobě tzv. prvních vzorků statistickou hodnotou C_{pk}, která uvádí způsobilost procesu. [1]

Pro další práci se vstřikovací formou je nutné kromě reprodukovatelnosti parametrů zajistit správný výběr stroje, s ohledem na uzavírací sílu a kapacitu plastikační jednotky. V neposlední řadě je nutné věnovat nejvyšší pozornost zpětnému uzávěru na plastikačním a vstřikovacím šneku. [1]

Obr. 19 Vstřikovací stoj značky ENGEL

Rozdělení vstřikovacího stroje dle konstrukce:

- Horizontální
- Vertikální

Rozdělení vstřikovacího stroje dle pohonu:

- Elektrický
- Hydraulický
- Hybridní

Mezi používané modifikace vstřikovacího procesu je možno zařadit:

- Více-komponentní vstřikování

Obr. 20 rukojeť AKU – vrtačky z 2 komponentního materiálu

- GIT – vstřikování dutých dílů s využitím tlaku inertního plynu nebo vody

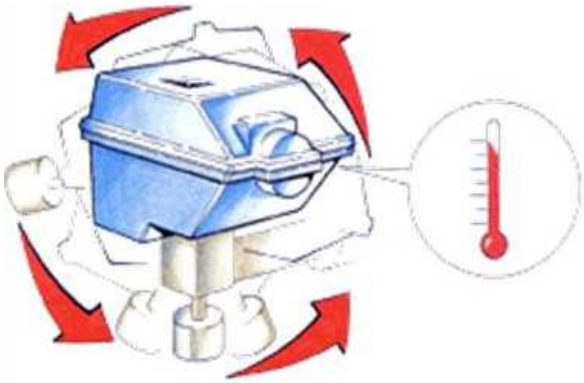
Obr. 21 Dutý díl, který je součástí kotoučové pily na beton [4]

- MuCell – vstřikování nepohledových dílů (do šneku stroje se vstřikují mikroskopické bublinky plynu). Úspora na výstřiku:
  - Redukce hmotnosti výstřiku
  - Redukce vstřikovacího cyklu
  - Redukce uzavírací síly stroje

  Orientační úspora nákladů oproti běžné technologii činí 10 %

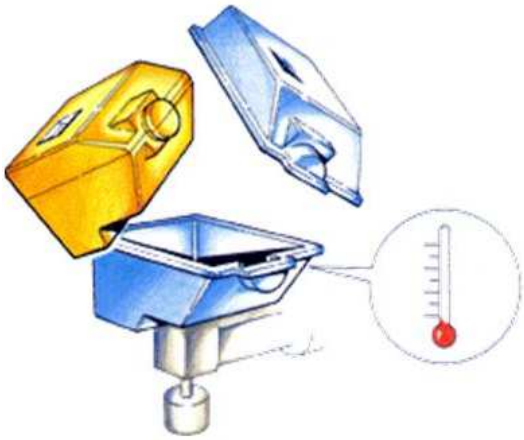
1.2.6 Rotační natavování

Proces se používá většinou pro malosériovou výrobu velkých nádob.



Obr. 22 Rotační natavování

Termoplastický práškový polymer se naplní do duté formy, která se pak uzavře a zahřeje. Jakmile se polymer roztaví, je forma podrobena dvojité rotaci, tak, aby materiál pokryl všechny stěny.



Obr. 23 Rotační natavování – vyjmutí výrobku

Všeobecně se rotačním natavováním dosáhne tak dobrých mechanických vlastností jako vyfukováním vytlačených parizonů, protože pro tuto technologii je nutno použít dobře tekuté a tudíž poměrně nízkomolekulární polymery.

1.3 Recyklace

Obrovský rozmach výroby a použití polymer má kromě velkého významu pro rozvoj národního hospodářství i své negativní vlivy. Jedním z nich je enormě se zvětšující objem odpadu polymerních materiálů. Odpad může v podstatě vznikat již při výrobě (zmetky, přetoky, odřezky, obrus apod.) – tzv. vratný odpad, nebo až po upotřebení výrobku – tzv. Odpad sběrový.

Pro každou technicky vyspělou zemi by mělo být samozřejmostí předcházet vzniku negativních důsledků ekonomického vývoje na životní prostředí, tedy na její vývoj ekologický. Přesto však technický rozvoj dosud způsoboval pravý opak a problém odpadu narůstal.

Nejjednodušší a nejméně nákladný způsob odstraňování odpadu je jejich vyvážení na skládky. Likviduje se jich tak zhruba polovina. Polymery však podobně jako sklo a porcelán nepodléhají významným chemickým změnám tak rychle, jako jiné materiály, včetně kovových a narušují proto proces přirozené homogenizace nového skládkového terénu. [2]

Přibližně 60 % všech vyrobených plastů přejde ve formě výrobků po ukončení své životnosti do komunálního odpadu. Podíl plastů v komunálním odpadu i celkový objem plastového odpadu se stále zvyšuje a v posledních letech představuje pro životní prostředí značnou zátěž. Největším zdrojem plastového odpadu jsou použité plastové obaly a multimateriálové výrobky krátké životnosti z domácností a drobných živností. [10]

Obr. 24 Skládka komunálního odpadu

1.4 Regranulát

Vadné výstřiky, odpady a vtoky vzniklé při vstřikování se mohou několikrát zpracovávat. Tato vlastnost se velmi často využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Proto se neznečištěný plastový odpad seká a drtí. Takto upravený materiál se granuluje a míchá s čistým granulátem a je opět zpracováván. Přitom obvykle nedochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu. Míra snížení závisí na velikosti podílu drceného odpadu v původním granulátu. Transparentní a silně namáhané plasty se míchat nemohou. Nesplnily by požadované vlastnosti. [9]

Při 15 – 30 % množství odpadu v granulátu se mohou vyrábět výstřiky bez podstatného vlivu na jeho vlastnosti, s rostoucím množstvím odpadu plastu, materiálové vlastnosti dále klesají. V některých případech (u nenáročných výstřiků) se vyrábí dílce i ze 100% odpadu. [9]

1.4.1 Zpracování regranulátu

Při zpracování polymerních materiálů se často setkáváme s jejich dělením. Volba příslušného zařízení závisí jak na vlastnostech děleného materiál, tak na požadavcích na připravovaný produkt. [9]

1.4.2 Stroje na přípravu regranulátu

Dělení materiálu na nepravidelné částice se zpravidla označuje jako drcení a mletí. Použitá zařízení jsou pak drtiče a mlýny. [9]

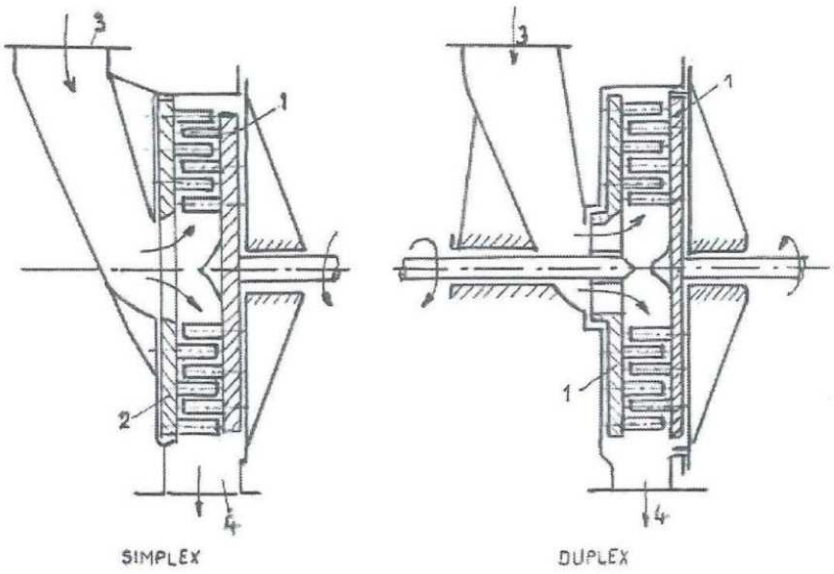
Drtiče a mlýny se používají k rozmělňování kusových nebo sypkých materiálů. Velikost částic je při tom nahodilá a charakterizuje se distribuční křivkou. Rozměr částic lze zmenšit působením tlaku, řezu nebo tření, případně jejich vzájemnými kombinacemi. Účinek sil může být klidný nebo nárazový. Podle toho bylo vyvinuto mnoho různých typů drtičů a mlýnů. [9]

- **Nožové mlýny –** rozmělňují materiál převážně řezným účinkem mlecích strojů. Řezné úhly na nožích se mění podle druhu zpracovávaného materiál. Nožové mlýny jsou řešeny v různých konstrukčních variantách. Při vertikálním uspořádání osy rotoru, je rotor uložen letmo a materiál přichází do mlecího prostoru, odsává přes rošt nebo děrovaný plech. [9]

Obr. 25 Nožový mlýn

Na nožových mlýnech se často zpracovává odpad PVC, PE, PP, houževnatého PS atd. Vyrábějí se s různými výkony. Měrná spotřeba energie se pohybuje mezi 600 až 300 $Wh.kg^{-1}$. Získaný produkt je polydisperzní a pro další zpracování se zpravidla musí třídit podle velikosti částic. [9]

- **Tlukadlové mlýny –** (někdy též kolíčkové) mlýny, dosahují mlecího účinku především údery mletého materiálu v systému krátkých čepů (kolíčků), které jsou v relativním pohybu (obr. 25). U mlýnu typu Simplex, je mlecí systém tvořen rotorem 1 a statorem2. Kolíčky jsou uspořádány v soustředných kružnicích. S rostoucím průměrem kružnice se obvodová rozteč kolíčků zmenšuje. Materiál vstupuje násypkou 3, prochází mlecím prostorem. Účinkem nárazů a odstředivých sil, odchází rozemletý výstupem 4 k třídění. Kvůli bezpečnosti, jsou v násypce uložena síta a magnetické odlučovače kovu. [9]

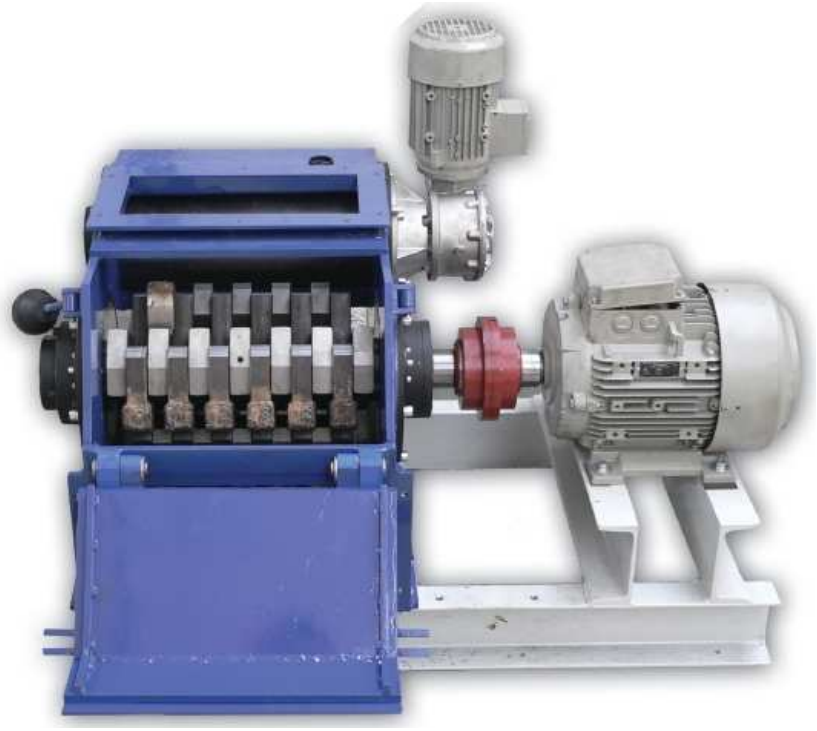


Obr. 26 Tlukadlové mlýny [9]

1 – rotor, 2 – stator, 3 – násypka, 4 - výstup

Tlukadlové mlýny se používají k mletí křehkých materiálů a barviv. Při mletí za mokra mohou též fungovat jako mlýny koloidní. [9]

- **Kladivové mlýny –** (nebo též drtiče) dosahují mlecího účinku převážně údery kladiv. Kladiva jsou volně zavěšena na rotoru. Za chodu se účinkem odstředivé síly F postaví do radiálního směru. V podstatě jde o plochá tělesa, která jsou někdy na aktivní straně vyvedena v ostří. Ve spodní části je umístěna vyměnitelná mřížka, která určuje největší velikost mletých částic. Materiál vstupuje hrdlem přes závěs, který se však může otvírat jen dovnitř. Materiál se drží v mlecím prostoru, dokud neprojde mřížkou. Rozmletý materiál se obvykle odsává do cyklonu. [9]



Obr. 27 Kladivový mlýn (drtič)

Kladivové mlýny se používají k mletí a drcení křehkých a nepříliš houževnatých materiálů. Melou se jimi odpady z PVC, PP, ABS a podobně. Aby se materiál při mletí příliš nezahříval, je třeba jemnost mletí zvyšovat postupně. Mlýny se stavějí v různých velikostech s různými výkony. Pro jemné mletí jsou kladiva složena z lamel. Provoz kladivových mlýnů bývá velmi hlučný, takže vyžadují zcela oddělené prostory. [9]

2 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ POLYMERU

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, střih, ohyb. Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatné (jednotlivě), ale v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání. Například je materiál namáhán současně tahem, ohybem i krutem. Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, pružnost aj. [11]

2.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa se připravují dvojím způsobem:

- **Přímo ze zkoušených materiálů –** jejich vulkanizací, lisováním, vstřikováním či vytvrzováním v příslušných formách, s tvarem zkušebního tělesa nebo vzorku, ze kterého se dále vysekává zkušební těleso. [12]

Obr. 28 Zkušební vzorky

- **Zkušební tělesa z hotových výrobků –** vysekáváním, vyřezáváním, nebo obráběním z polotovarů nebo hotových výrobků [12]

Často se srovnávají vlastnosti zkušebních těles připravených oběma způsoby, aby byly získány korelace mezi podmínkami, ze kterých jsou polymery zpracovávány v laboratoři a ve

výrobě. V laboratoři jsou podmínky modelovány hlavně z hlediska reprodukovatelnosti za zcela jiných tepelných a tlakových podmínek než ve výrobě. Při rozdílnosti vlastností je nutno brát v úvahu vliv tepelného přestupu, objemu, síťovacích systémů, podmínek chlazení apod. [12]

2.2 Rozdělení mechanických zkoušek

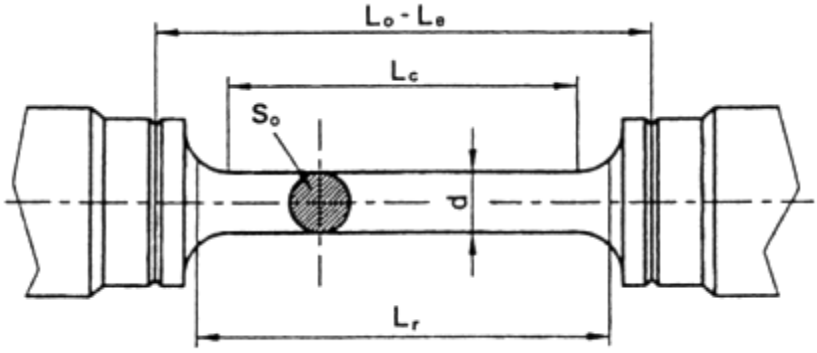
Zkoušky můžeme rozdělit na dvě základní skupiny:

- **Statické zkoušky –** tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál je zatěžován pozvolna a bez rázu, a to pouze jednou. Doba vykonávání zkoušky se může pohybovat v rozmezí několika minut až několika dnů. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti.
- **Dynamické zkoušky jednorázové –** V praxi jsou většinou výrobky namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce po případě opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nelze zjišťovat zkouškami statickými, ale zkouškami dynamickými. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení součástí, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. [11]

  Při dynamických zkouškách dochází k velmi velkému nárůstu působící síly za velmi malý časový okamžik (zlomek sekundy). Zkoušky tedy bývají provedeny rychle. [11]

2.3 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla jednou z prvních, podle které se hodnotila pevnost materiálu. Na zkušební těleso působila stále se zvětšující se síla, až došlo po určité deformaci k přetržení - destrukci materiálu. Pevnost vtahu byla vyjadřována silou, vztaženou na jednotkový průřez – tedy napětím potřebným k přetržení hmoty. Zavedením dokonalých systémů snímání napětí a deformace a jejich grafickým záznamem jsou získávány pracovní diagramy, kde celá tahová křivka poskytuje širší a přesnější informaci o deformačním chování materiálu za různých podmínek zkoušení. [12]



Obr. 29 Zkušební tyč pro zkoušku tahem

2.3.1 Pevnost v tahu

Mez pevnosti v tahu – σ_{Pt} je největší napětí, které snesl zkušební vzorek a je dáno podílem největší zátěžné síly F_{max} a původního průřezu zkušebního vzorku S_0 [13]

$$\sigma_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \qquad \left[\frac{N}{mm^2} = MPa\right] \qquad \textbf{(2.1)}$$

2.3.2 Pevnost v kluzu

Pevnost v kluzu - σ_{Kt} je napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly. Stanovíme ji ze vztahu: [13]

$$\sigma_{Kt} = \frac{F_k}{S_0} \qquad \left[\frac{N}{mm^2} = MPa\right] \qquad \textbf{(2.2)}$$

2.3.3 Poměrné prodloužení

Poměrné prodloužení – ε je dáno poměrem změny délky $\Delta L = L_u - L_o$ k původní délce tyče L_o [13]

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \qquad \left[\frac{mm}{mm} = 1\right] \qquad \textbf{(2.3)}$$

2.3.4 Tažnost

Tažnost – *A* je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech: [13]

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \qquad [\%] \qquad \textbf{(2.4)}$$

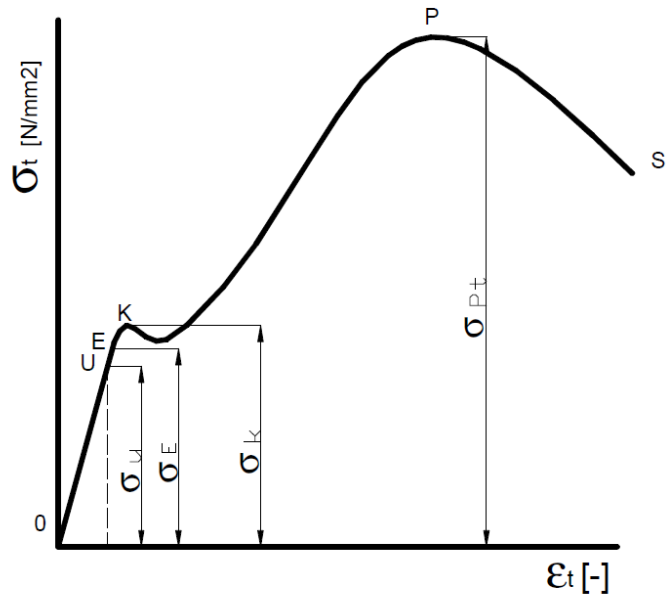
2.3.5 Zúžení

Kontrakce – *Z* je dána poměrem změny průřezu tyče po přetržení $\Delta S = (S_0 - S_u)$ a původního průřezu tyče S_0. Zúžení vyjadřujeme v procentech: [13]

$$Z = \frac{\Delta S}{S_0} = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \qquad [\%] \qquad \textbf{(2.5)}$$

2.3.6 Pracovní diagram

Trhací stroj kreslí v průběhu zkoušky tzv. pracovní diagram (závislost zatěžující síly F na změně délky ΔL). V diagramu můžeme sledovat několik charakteristických bodů a jim odpovídajících napětí:

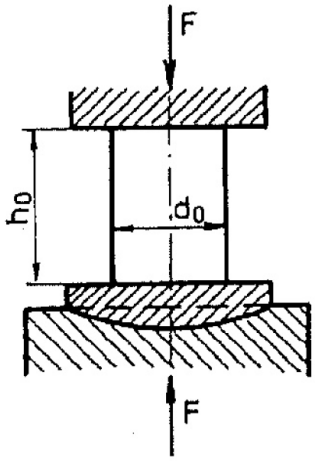


Obr. 30 Pracovní diagram

- **U – mez úměrnosti –** napětí je přímo úměrné deformaci. Do meze úměrnosti platí Hookův zákon $\sigma = \mathrm{E} \cdot \varepsilon$ V diagramu je oblast mezi body 0 – U tvořena přímkou.
- **E – mez pružnosti –** smluvní hodnota napětí vyvolávající trvalou deformaci určité velikosti (v praxi se stanovuje napětí způsobující trvalou deformaci o velikosti 0,005% L_0) Zjišťování této meze je obtížné a zdlouhavé.
- **K – mez kluzu –** napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla. U některých materiálů se projevuje výrazná mez kluzu, a proto se jako smluvní hodnota meze kluzu bere napětí způsobující trvalé prodloužení 0,2%.
- **P – mez pevnosti –** největší napětí, které snesl zkušební vzorek.
- **S –** bod, kdy dojde k přetržení zkušebního vzorku. [13]

2.4 Tlaková zkouška

Při zkoušce se zatíží zkušební vzorek rovnoměrně rostoucí silou do okamžiku, dokud se nerozdrtí, nepraskne (u křehkých materiálů) nebo nestlačí na určitou hodnotu (u houževnatých materiálů). Používá se pro zjišťování pevnosti v tlaku, především křehkých materiálů, jako šedá litina, ložiskové kovy, keramika, stavební hmoty apod. U ocelí se tato zkouška obvykle neprovádí, protože hodnoty mezi pevnosti v tahu a tlaku jsou přibližně stejné. Zkušební tělíska mají obvykle tvar válečku v průměru d = 10 až 30mm. Výška válečku pro méně přesné zkoušky bývá rovna průměru, pro přesné zkoušky bývá výška h= (2,5 až 3) d. [13]



Obr. 31 Zkušební váleček během tlakové zkoušky

2.4.1 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku - σ_t je poměr největší zátěžné síly F_{max} (v okamžiku, kdy zkušební váleček praskne nebo se stlačí na určitou hodnotu) a původního průřezu zkušebního vzorku: [13]

$$\sigma_t = \frac{F_{\max}}{S_0} \qquad \left[\frac{N}{mm^2} = MPa\right] \qquad \textbf{(2.6)}$$

2.4.2 Poměrné zkrácení

Poměrné zkrácení (stlačení) A_t je poměr zkrácení zkušebního vzorku $\Delta h = h_o - h_u$ a původní délky zkušebního vzorku h_o: [13]

$$A_t = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 = \frac{h_0 - h_u}{h_0} \cdot 100 \qquad [\%] \qquad \textbf{(2.7)}$$

2.4.3 Poměrné příčné rozšíření

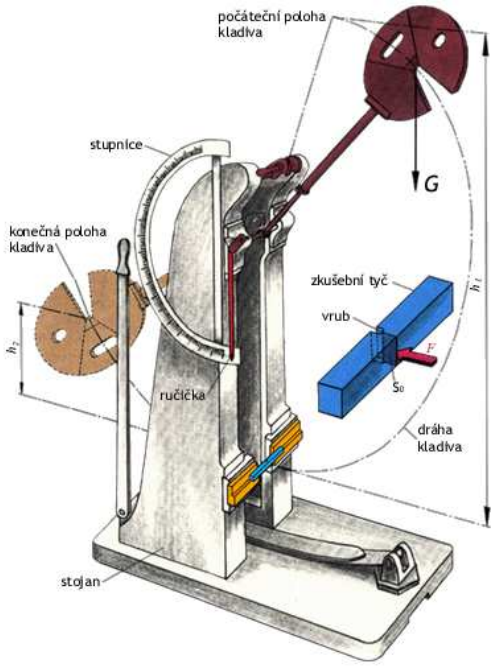
Poměrné příčné rozšíření Z_t je poměr změny průřezu $\Delta S = S_u - S_o$ a původního průřezu zkušebního vzorku S_o: [13]

$$Z_t = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100 \qquad [\%] \qquad \textbf{(2.8)}$$

2.5 Rázová a vrubová houževnatost

Tyto zkoušky se používají ke zjišťování houževnatosti materiálu. Měřítkem houževnatosti je energie potřebná k porušení zkušebního tělesa. Zkoušky se mohou uskutečnit při namáhání v tahu, tlaku, ohybu a krutu, stejně jako zkoušky statické. Nejznámější a nejpoužívanější je rázová zkouška v ohybu, která se provádí především u ocelí. Zkušební vzorky z ocelí se opatřují vrubem, protože jinak by vlivem vysoké houževnatosti ocelí nedošlo k porušení materiálu. Vrubovou houževnatost zjišťujeme na Charpyho kladivu. [13]

Průběh zkoušky: Kladivo o hmotnosti G se zvedne a upevní, v počáteční poloze H. V nejnižším bodě dráhy se umístí zkušební vzorek. Po uvolnění kladivo tyč přerazí a vykývne do konečné polohy h. Práce po přeražení tyče se nazývá rázová práce. [13]



Obr. 32 Charpyho kladivo

2.5.1 Rázová práce

Práce potřebná k přeražení tyče: [13]

$$KU = G \cdot (H - h) \qquad [J] \qquad \textbf{(2.9)}$$

2.5.2 Vrubová houževnatost

Podíl nárazové práce a původního průřezu: [13]

$$KCU = \frac{KU}{S_0} \qquad \left[\frac{J}{cm^2}\right] \qquad \textbf{(2.10)}$$

Vrubová houževnatost je závislá nejen na tvaru a velikosti vrubu, ale je také výrazně ovlivněna teplotou. Zkouška se provádí běžně při teplotě 20° C, velmi často se zjišťuje celý průběh závislosti vrubové houževnatosti na teplotě.

2.6 Reologické zkoušky

Znalosti reologických vlastností také pomáhají při výběru správného typu zpracovatelského zařízení a vhodného polymeru pro danou technologii. V současnosti je několik různých typů přístrojů, které můžeme použít na měření reologických vlastností polymerních materiálů. Mezi ně patří rotační reometry (kužel – deska, válec – válec, deska – deska) a kapilární nebo výtlačné reometry. [14]

2.6.1 Index toku taveniny

Index toku taveniny je ukazatelem tokových charakteristik termoplastických materiálů. Hmotnostní index toku taveniny (MFR) je rychlost vytlačení taveniny přes kapiláru definované délky a průměru za předepsaných podmínek. Rychlostí se stanovuje jako vytlačená hmotnost látky za určený čas. Výsledky se udávají v g/10 min. [14]

Hmotnostní index toku taveniny (MFR) se stanovuje vytlačením roztaveného plastu z válce reometru při dané teplotě a daném zatížení. Při stanovování hmotnostního indexu toku taveniny se odřezky odřezávané v určitém časovém intervalu zváží, vypočítá se rychlost vytlačování v gramech za 10 minut. Pro měření indexu toku tavenin termoplastů se nejčastěji používá zařízení nazývané výtlačný reometr. [14]

Obr. 33 Výtlačný reometr na měření hmotnostního indexu toku taveniny

3 SHRNUTÍ STUDIJNÍ ČÁSTI

Studie byla zaměřena na obecnou charakteristiku polymerů, dle několika skupin. V další fázi studie popisuje možnosti zpracování polymerů a to především technologii vstřikování, vč. jejich nových metod. V dnešní době mezi velmi diskutované téma patří recyklace, které by se měla věnovat pozornost, jelikož zemské zdroje patří mezi vyčerpatelné a je třeba zamyslet se a začít recyklovat materiály, které nám to umožňují. Důležitá je implementace regranulátu již při samotné výrobě dílů z polymerních materiálů, při které vzniká odpad. Studijní práce popisuje stroje, které dokážou polymerní materiál upravit tak, aby se mohl opětovně využít během nové výroby. Zda jsou díly s podílem recyklátu po fyzikálních vlastnostech v pořádku, je třeba prověřit mechanickými zkouškami statickými i dynamickými.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

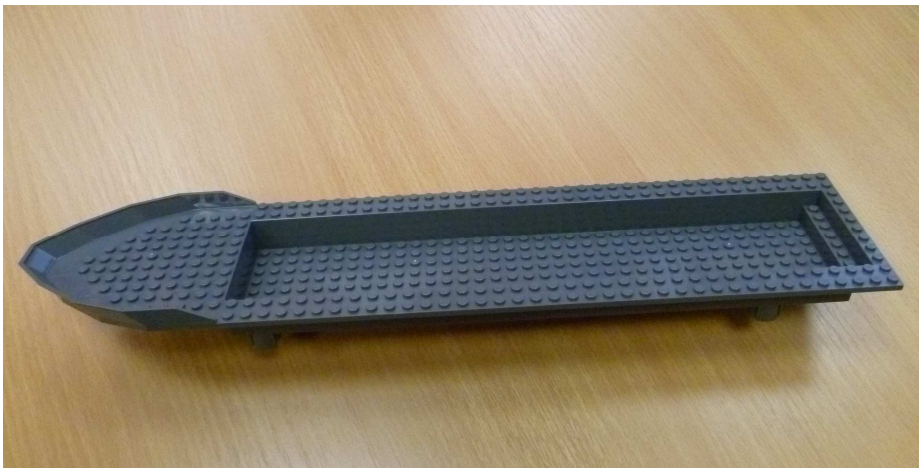
- Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout nejvhodnější způsob zpracování vtokových zbytků polymeru během výroby vstřikování
- Výběr 2 výrobků z polymerních materiálů, u kterých vzniká nezanedbatelný podíl odpadu, během procesu vstřikování
- Srovnání technik a technologií pro zpracování vtokových zbytků
- Vypracování ekonomické analýzy vybrané technologie

5 VÝBĚR TERMOPLASTŮ PRO RECYKLACI

Společnost Greiner assistec s.r.o. se zabývá výrobou plastových technických dílů technologií vstřikování. Mezi nejpoužívanější zpracovávané materiály patří PP, ABS, PA6, PS, PC, POM, PET a ostatní.

Na základě interního doporučení panem Ing. Michalem Peckou byly vybrány dva výrobky, u kterých vzniká vtokový zbytek a je nutné odpad dále recyklovat. Provedením analýzy se zjistí, která z metod recyklace je pro společnost nejefektivnější.

- ABS – výrobek ze segmentu volný čas



Obr. 34 Testovaný výrobek z ABS

- PP – výrobek ze segmentu dům a zahrada

Obr. 35 Testovaný výrobek z PP

6 RECYKLACE VE SPOLEČNOSTI GREINER ASSISTEC

Společnost Greiner assistec s.r.o. ročně nakoupí okolo 2000 t materiálu. Na výrobu hotových výrobků zpracuje cca 92 % materiálu a zbytek 8% tvoří odpad.

Obr. 36 Podíl odpadu na zpracovaném materiálu

6.1 Technologie zpracování technologických zbytků

Recyklace je ve společnosti Greiner assistec s.r.o. rozdělena na dva základní druhy

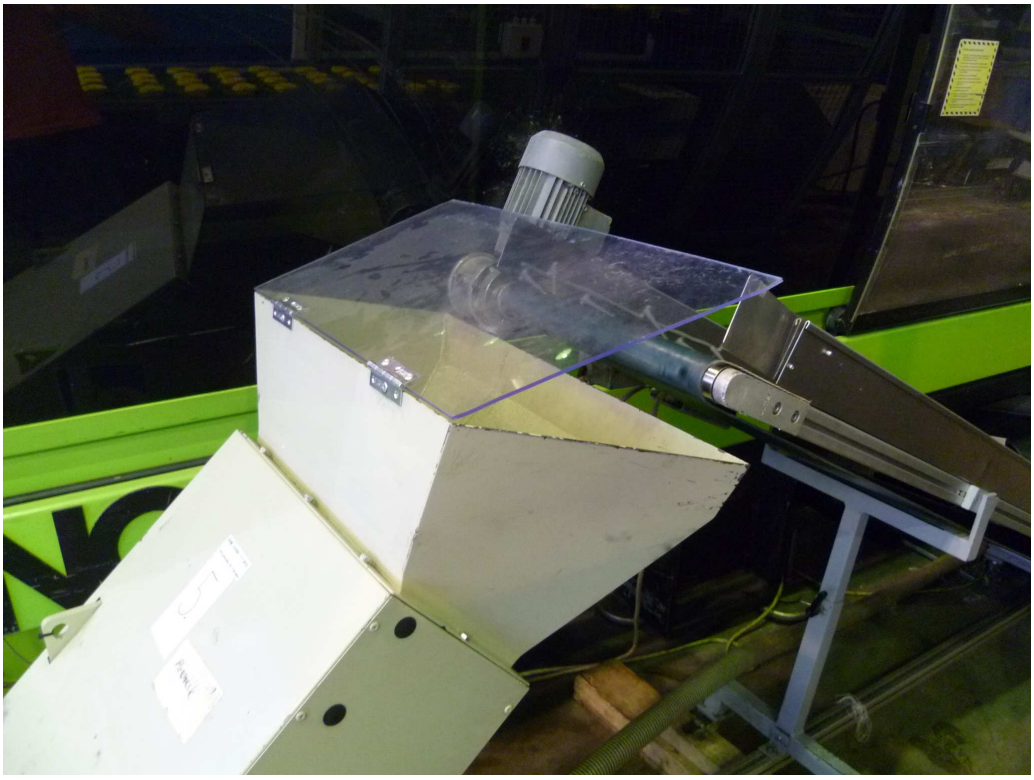
- Interní recyklace (in-line drcení, drtící mlýn)
- Externí recyklace (prodej odpadu společnostem, které odpad likvidují)

6.1.1 Interní recyklace

Vadné výstřiky, odpady a vtoky vzniklé při vstřikování se mohou několikrát zpracovávat. Tato vlastnost se velmi často využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Proto se neznečištěný plastový odpad seká, drtí a mele. Takto upravený materiál se granuluje a míchá s čistým granulátem a je opět zpracováván. Přitom obvykle nedochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu.

Interní recyklaci můžeme rozdělit na dva způsoby zpracování:

- **In-line drcení –** po procesu vstřikování získáme hotový výstřik + vtokový zbytek. Vtokový zbytek putuje přímo po dopravníkovém pásu do drtiče, který rozmělňuje vtok na požadovanou velikost částic, které se smíchají s čistým granulátem k opětovnému použití. Regranulát putuje in-line bez přidané manipulace, která nám zajišťuje dokonalou čistotu regranulátu. Drtič se nachází v pracovním prostoru u vstřikovacího stroje.



Obr. 37 Drtič zapojený v In-line okruhu

- **Drtící mlýn –** společnost Greiner assistec s.r.o. využívá drtící mlýn pro zpracování vadných výstřiků nebo výstřiků z nájezdů výroby. Jedná se především o výstřiky nadměrných velikostí, které není možno zpracovávat in-line drcením. Drtící mlýn se nenachází na vstřikovně, jsou zde větší požadavky na velikost pracoviště z důvodu:
  - Větší rozměry zpracovávaných výstřiků
  - Manipulace
  - Skladování

Obr. 38 Pracoviště na drcení nadrozměrných vadných výrobků a vtoků

6.1.2 Externí recyklace

Externí recyklace je ve společnosti Greiner assistec s.r.o. zajištěna specializovanými společnostmi, které odpad vykupují pro další zpracování. Výkup plastového odpadu zajišťují 3 společnosti. V roce 2012 bylo vykoupeno 66,115 tun plastového odpadu. Jedná se především o materiály, které nejsou vhodné pro další zpracování z důvodu:

- Požadavek zákazníka
- Požadavky na fyzikální vlastnosti výstřiku
- Ekonomická efektivita

Výstřiky se vkládají do označených košů s nápisem „zmetky“, které jsou k dispozici u každého vstřikovacího stroje.

Obr. 39 PVC pytle s plastovým odpadem ABS

Plastový odpad je rozdělen dle druhu polymeru:

- PP
- ABS
- PS
- PA
- POM
- PC

Každý druh polymeru má svou předepsanou výkupní cenu, která se po dobu 1 roku nemění.

Naplněné a označené pytle plastového odpadu se následně skladují na předepsaném místě na dvoře v areálu společnosti.

Obr. 40 Skladování odpadu na volné ploše

7 EKONOMICKÁ ANALÝZA

Obecný trend středně velkých a velkých výrobních závodů je snižování výrobních nákladů optimalizací výroby a procesu. Provedením ekonomické analýzy se zajistí návrh na nejekonomičtější využití plastového odpadu, který vzniká v průběhu výroby jako vedlejší produkt.

7.1 Ekonomická analýza – výrobek z ABS – návrh č. 1 (interní recyklace)

Výpočet efektivnosti recyklace vtokových zbytků u výrobku „Paluba“.

Název dílu	Paluba
Materiál	Lustran 211sc
Počet otisků	1
Cyklus (s)	35
Váha zdvihu (g)	142
Váha dílu (g)	109
Váha vtoku (g)	33
Roční množství (ks)	580 000

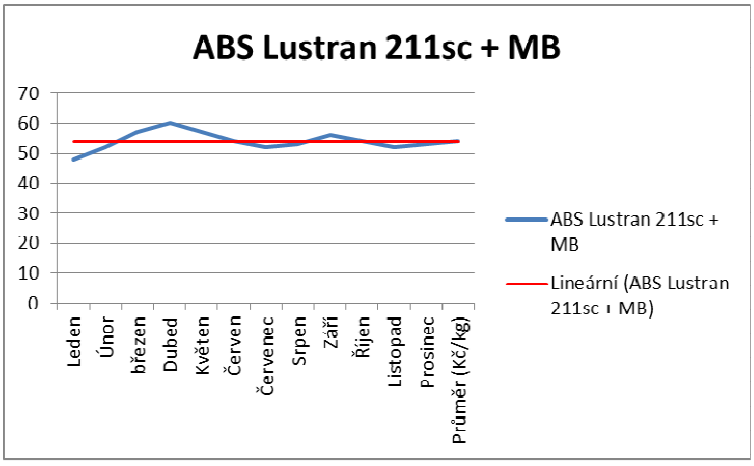
Tab. 1 Technická data - Paluba

7.1.1 Materiálová úspora

Cena materiálu je fixována na měsíční bázi.

Typ materiálu	Leden	Únor	březen	Dubed	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Průměr (Kč/kg)
ABS Lustran 211sc + MB	48	52	57	60	57	54	52	53	56	54	52	53	54

Tab. 2 Vývoj ceny materiálu ABS Lustran 211sc vč. MB (Kč/kg)



Obr. 41 Trend ceny materiálu ABS Lustran 211sc + MB (Kč/kg)

Průměrná cena materiálu ABS Lustran 211sc vč. masterbatche v roce 2012 → **54 Kč/kg**

a) Roční spotřeba materiálu

Dáno:

Roční množství = 580 000 ks

Váha zdvihu = 0,142 kg

Průměrná cena materiálu = 54 Kč

$$\text{Materiálové náklady} = 580000 \cdot 0{,}142 \cdot 54 = \mathbf{4\ 447\ 440\ Kč} \qquad \mathbf{(7.1)}$$

b) Snížená spotřeba materiálu

Dáno:

Váha zdvihu = 0,142 kg

Váha dílu = 0,109 kg

$$\text{Využití materiálu} = 0{,}109 \cdot \frac{100}{0{,}142} = \mathbf{76{,}76\%} \qquad \mathbf{(7.2)}$$

$$\text{Snížená spotřeba materiálu} = 100 - 76{,}76 = \mathbf{23{,}24\ \%} \qquad \mathbf{(7.3)}$$

c) Celková úspora materiálu

Dáno:

Materiálové náklady = 4 447 440 Kč

Snížená spotřeba materiálu = 23,24 %

$$\text{Celková úspora materiálu} = 4447440 \cdot \frac{23{,}24}{100} = \mathbf{1\ 033\ 585\ Kč} \qquad \mathbf{(7.4)}$$

7.1.2 Provozní náklady drtiče

Volba drtiče je přímo závislá na množství podrceného polymeru v závislosti na čase. Určí se z množství vtokových zbytků, které vzniknou při výrobě výstřiků za hodinu, a podle nich se vybere vhodný typ stroje.

Volba stroje → **ZERMA GSL 180/120**

Stroj byl vybrán na základě:

- Podrceného polymeru v závislosti na čase – 3,4 Kg/h
- Strojového portfolia fy Greiner assistec s.r.o.
- Zkušeností technického projektového managera Ing. Michala Pecky

Obr. 42 Drtič ZERMA GSL 180/120

Typ drtiče	ZERMA GSL 180/120
Průměr rotoru (mm)	180
Rotační nože (ks)	2 x 4
Standartní motor (KW)	2,2
Standartní vstup do násypky (mm)	350 x 350
Zpracované množství Kg/h	45
Hmotnost (kg)	120

Tab. 3 Technické parametry drtiče ZERMA GSL 180/120

a) Celkový čas produkce drtiče

Dáno:

Roční množství = 580 000 ks

Počet otisků = 1

Cyklus = 35 s

Celkové roční vytížení drtiče $= \frac{580000}{1} \cdot \frac{35}{3600} =$ **5639 h**

(7.5)

b) Celkové náklady na elektrickou energii drtiče

Dáno:

Celkový čas produkce drtiče = 5639 h

Příkon drtiče = 1,1 kW (uvažováno s max. vytížením provozu z 50%)

Cena za kWh el. = 2,41

Celkové náklady na el. energii drtiče $= 5639 \cdot 1{,}1 \cdot 2{,}41 =$ **19 949 Kč** **(7.6)**

7.1.3 Amortizace drtiče

Do celkových nákladů drcení vstupují náklady s pořízením drtiče. Je nutné náklady na drtič amortizovat do ceny drtě.

a) Amortizace drtiče na jednotku hodiny

Dáno:

Pořizovací cena nového drtiče ZERMA GSL 180/120 = 67 065 Kč

Počet let odpisu drtiče = 3

$$\text{Amortizace drtiče na jednotku hodiny} = \frac{67065}{3 \cdot 365 \cdot 24} = \mathbf{2{,}55\ Kč/h} \qquad \mathbf{(7.7)}$$

b) Celkové náklady na amortizaci drtiče

Dáno:

Celkové roční vytížení drtiče = 5639 h

Amortizace drtiče na jednotku hodiny = 2,55 Kč/h

$$\text{Celkové náklady na amortizaci drtiče} = 5639 \cdot 2{,}5 = \mathbf{14\ 379\ Kč} \qquad \mathbf{(7.8)}$$

7.1.4 Celková roční úspora na drcení vtokových zbytků

Porovnání nákladů s úsporami na projektu „Paluba“ u interní recyklace.

Interní recyklace	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)
Materiál	-	1 033 585
Provoz drtiče	14 379	-
Amortizace drtiče	17 199	-
Celkem	1 002 007	

Tab. 4 Vyhodnocení úspory interní recyklace projektu Paluba

Využití interní recyklace na výrobku „Paluba“ se sníží roční náklady o 1 002 007 Kč.

Obr. 43 Drcení vtokového zbytku a opětovné použití u projektu Paluba

Obr. 44 Finální výrobek Paluba z čistého granulátu + regranulátu

7.2 Ekonomická analýza – výrobek z ABS – návrh č. 2 (externí recyklace)

Výpočet efektivnosti recyklace vtokových zbytků u výrobku „Paluba“.

7.2.1 Vykupované roční množství materiálu

Cena odpadu je fixována na základě roční báze. Za polymer ABS je cena nastavena na hodnotě 3,5 Kč/kg

a) Roční vyprodukované množství odpadu

Dáno:

Roční množství = 580 000 ks

Váha zdvihu = 0,142 kg

Váha dílu = 0,109 kg

Roční množství odpadu $= 580000 \cdot (0{,}142 - 0{,}109)$ = **19 140 kg** **(7.9)**

b) Roční zisk z prodeje odpadu

Dáno:

Roční vyprodukované množství odpadu = 19 140 kg

Výkupní cena odpadu ABS = 3,5 Kč/kg

Roční zisk z prodeje odpadu $= 19140 \cdot 3{,}5 =$ **66 990 Kč** **(7.10)**

7.2.2 Ostatní náklady

Do prodeje odpadu specializovaným společnostem vstupuje náklad na obalový materiál, který vypadá jako zanedbatelná položka, ovšem v roční produkci je třeba i s touto položkou kalkulovat.

a) Roční náklady na obalový materiál „PVC pytle“ na uskladnění odpadu

Dáno:

Roční vyprodukované množství odpadu = 19 140 kg

Průměrné množství odpadu v 1 pytli = 17 kg

Cena 1ks PVC pytle = 9,3 Kč

$$\text{Roční náklady na obalový materiál odpadu} = 9{,}3 \cdot \frac{19140}{17} = \mathbf{10\ 471\ Kč} \qquad \mathbf{(7.11)}$$

7.2.3 Celková roční úspora na prodeji plastového odpadu

Porovnání nákladů s úsporami na projektu „Paluba“ u externí recyklace.

Interní recyklace	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)
Prodej odpadu	-	66 990
Obalový materiál	10 471	-
Celkem	56 519	

Tab. 5 Vyhodnocení úspory externí recyklace projektu Paluba

Využití externí recyklace na výrobku „Paluba“ se sníží roční náklady o 56 519 Kč.

7.3 Ekonomická analýza – výrobek z PP – návrh č. 1 (interní recyklace)

Výpočet efektivnosti recyklace vtokových zbytků u výrobku „Housing“.

Název dílu	Housing
Materiál	Mosten MT230
Počet otisků	8
Cyklus (s)	12
Váha zdvihu (g)	82,68
Váha dílu (g)	9,835
Váha vtoku (g)	4
Roční množství (ks)	8 000 000

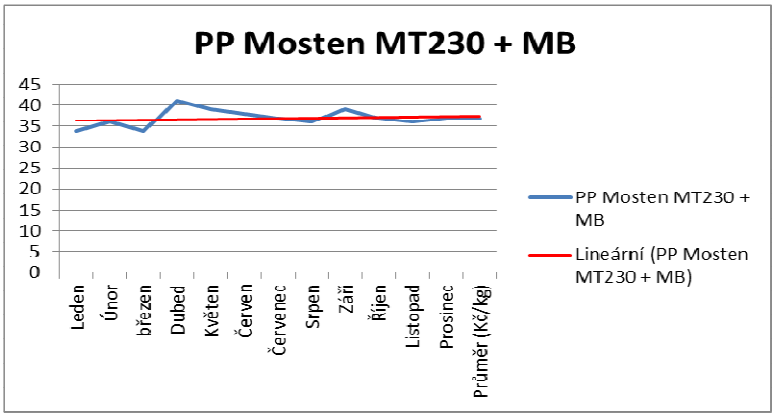
Tab. 6 Technická data – Housing

7.3.1 Materiálová úspora

Cena materiálu je fixována na měsíční bázi.

Typ materiálu	Leden	Únor	březen	Dubed	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	**Průměr (Kč/kg)**
PP Mosten MT230 + MB	34	36	34	41	39	38	37	36	39	37	36	37	**37**

Tab. 7 Vývoj ceny materiálu PP Mosten MT230 vč. MB (Kč/kg)



Obr. 45 Trend ceny materiálu PP Mosten MT230 + MB (Kč/kg)

Průměrná cena materiálu PP Mosten MT230 vč. masterbatche v roce 2012 → **37 Kč/kg**

a) Roční spotřeba materiálu

Dáno:

Roční množství = 8 000 000 ks

Váha zdvihu = 0,08268 kg

Průměrná cena materiálu = 37 Kč

Počet otisků = 8

$$\text{Materiálové náklady} = \frac{8000000}{8} \cdot 0{,}08268 \cdot 37 = \mathbf{3\ 059\ 160\ Kč} \qquad \mathbf{(7.12)}$$

b) Snížená spotřeba materiálu

Dáno:

Váha dílu + vtoku = 0,010335 kg

Váha dílu = 0,009835 kg

$$\text{Využití materiálu} = 0{,}009835 \cdot \frac{100}{0{,}010335} = \mathbf{95{,}16\%} \qquad \mathbf{(7.13)}$$

$$\text{Snížená spotřeba materiálu} = 100 - 95{,}16 = \mathbf{4{,}84\ \%} \qquad \mathbf{(7.14)}$$

c) Celková úspora materiálu

Dáno:

Materiálové náklady = 3 059 160 Kč

Snížená spotřeba materiálu = 4,84 %

$$\text{Celková úspora materiálu} = 3059160 \cdot \frac{4{,}84}{100} = \mathbf{148\ 063\ Kč} \qquad \mathbf{(7.15)}$$

7.3.2 Provozní náklady drtiče

Volba drtiče je přímo závislá na množství podrceného polymeru v závislosti na čase. Určí se z množství odpadu, které vznikne při výrobě výstřiků za hodinu a podle ní se vybere vhodný typ stroje.

Volba stroje → **RAPID 150 - 21**

Stroj byl vybrán na základě:

- Podrceného polymeru v závislosti na čase – 1,2 Kg/h
- Strojového portfolia fy Greiner assistec s.r.o.
- Zkušeností technického projektového managera Ing. Michala Pecky

Obr. 46 Drtič RAPID 150 -21

Typ drtiče	RAPID 150 -21
Průměr rotoru (mm)	150
Rotační nože (ks)	3 x 3
Standartní motor (KW)	2,2
Standartní vstup do násypky (mm)	210 x 150
Zpracované množství Kg/h	40
Hmotnost (kg)	160

Tab. 8 Technické parametry drtiče RAPID 150 -21

a) Celkový čas produkce drtiče

Dáno:

Roční množství = 8 000 000 ks

Počet otisků = 8

Cyklus = 12 s

$$\text{Celkové roční vytížení drtiče} = \frac{8000000}{8} \cdot \frac{12}{3600} = \mathbf{3333\ h} \qquad \textbf{(7.16)}$$

b) Celkové náklady na elektrickou energii drtiče

Dáno:

Celkový čas produkce drtiče = 3333 h

Příkon drtiče = 1,1 kW (uvažováno s max. vytížením provozu z 50%)

Cena za kWh el. = 2,41Kč

$$\text{Celkové náklady na el. energii drtiče} = 3333 \cdot 1{,}1 \cdot 2{,}41 = \mathbf{8\ 836\ Kč} \qquad \textbf{(7.17)}$$

7.3.3 Amortizace drtiče

Do celkových nákladů drcení vstupují náklady s pořízením drtiče. Je nutné náklady na drtič amortizovat do ceny drtě.

a) Amortizace drtiče na jednotku hodiny

Dáno:

Pořizovací cena nového drtiče = 80 000 Kč

Počet let odpisu drtiče = 3

$$\text{Amortizace drtiče na jednotku hodiny} = \frac{80000}{3 \cdot 365 \cdot 24} = \mathbf{3{,}05\ Kč/h} \qquad \mathbf{(7.18)}$$

b) Celkové náklady na amortizaci drtiče

Dáno:

Celkové roční vytížení drtiče = 3333 h

Amortizace drtiče na jednotku hodiny = 3,05 Kč/h

$$\text{Celkové náklady na amortizaci drtiče} = 3333 \cdot 3{,}05 = \mathbf{10\ 166\ Kč}$$

(7.19)

7.3.4 Celková roční úspora na drcení vtokových zbytků

Porovnání nákladů s úsporami na projektu „Housing“ u interní recyklace.

Interní recyklace	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)
Materiál	-	148 063
Provoz drtiče	8 836	-
Amortizace drtiče	10 166	-
Celkem	129 061	

Tab. 9 Vyhodnocení úspory interní recyklace projektu Housing

Využití interní recyklace na výrobku „Housing“ se sníží roční náklady o 129 061 Kč.

Obr. 47 Drcení vtokového zbytku a opětovné použití u projektu Housing

Obr. 48 Finální výrobek Housing z čistého granulátu + regranulátu

7.4 Ekonomická analýza – výrobek z PP – návrh č. 2 (externí recyklace)

Výpočet efektivnosti recyklace vtokových zbytků u výrobku „Housing“.

7.4.1 Vykupované roční množství materiálu

Cena odpadu je fixována na základě roční báze. Za polymer PP je cena nastavena na hodnotě 1,5 Kč/ kg.

a) Roční vyprodukované množství odpadu

Dáno:

Roční množství = 8 000 000 ks

Váha zdvihu = 0,08268 kg

Váha dílu = 0,009835 kg

Počet otisků = 8

$$\text{Roční množství odpadu} = \frac{8000000}{8} \cdot 0{,}08268 - (8 \cdot 0{,}009835) = \mathbf{4\ 000\ kg} \qquad \mathbf{(7.20)}$$

b) Roční zisk z prodeje odpadu

Dáno:

Roční vyprodukované množství odpadu = 4 000 kg

Výkupní cena odpadu ABS = 1,5 Kč/kg

$$\text{Roční zisk z prodeje odpadu} = 4000 \cdot 1{,}5 = \mathbf{6\ 000\ Kč} \qquad \mathbf{(7.21)}$$

7.4.2 Ostatní náklady

Do prodeje odpadu specializovaným společnostem vstupuje náklad na obalový materiál, který vypadá jako zanedbatelná položka, ovšem v roční produkci je třeba i s touto položkou kalkulovat.

a) Roční náklady na obalový materiál „PVC pytle“ na uskladnění odpadu

Dáno:

Roční vyprodukované množství odpadu = 4 000 kg

Průměrné množství odpadu v 1 pytli = 17 kg

Cena 1ks PVC pytle = 9,3 Kč

$$\text{Roční náklady na obalový materiál odpadu} = 9{,}3 \cdot \frac{4000}{17} = \mathbf{2\ 188\ Kč} \qquad \mathbf{(7.22)}$$

7.4.3 Celková roční úspora na prodeji plastového odpadu

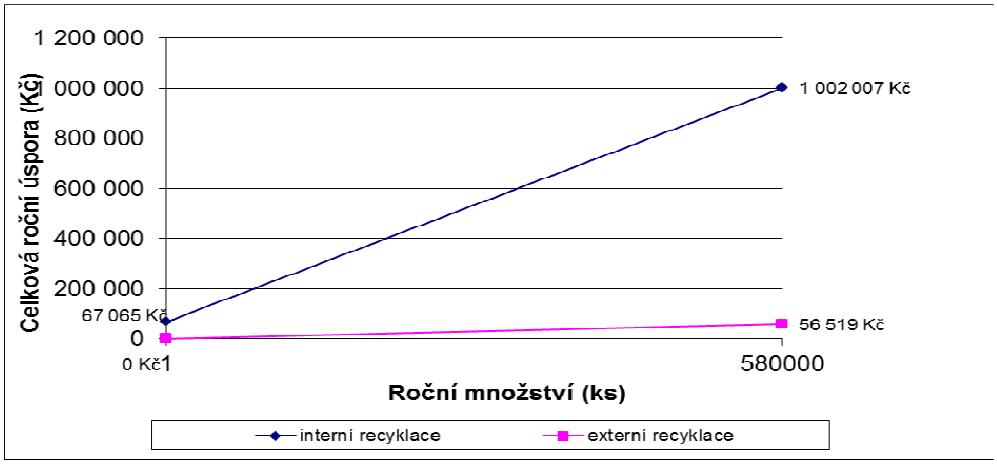
Porovnání nákladů s úsporami na projektu „Housing“ u externí recyklace.

Interní recyklace	Náklady (Kč)	Úspora (Kč)
Prodej odpadu	-	6 000
Obalový materiál	2 188	-
Celkem	3 812	

Tab. 10 Vyhodnocení úspory externí recyklace projektu Housing

Využití externí recyklace na výrobku „Housing“ se sníží roční náklady o 3 812 Kč.

7.5 Vyhodnocení ekonomické analýzy pro díl „Paluba“



Obr. 49 Porovnání ročních úspor pro díl „Paluba“ interní vs. externí recyklace

U návrhu č. 1 se využívá interní recyklace vtokových zbytků polymeru ABS Lustran 211sc.

Vtokový zbytek putuje přímo po dopravníkovém pásu do drtiče, který rozmělňuje vtok na požadovanou velikost částic, které se smíchají s čistým granulátem k opětovnému použití.

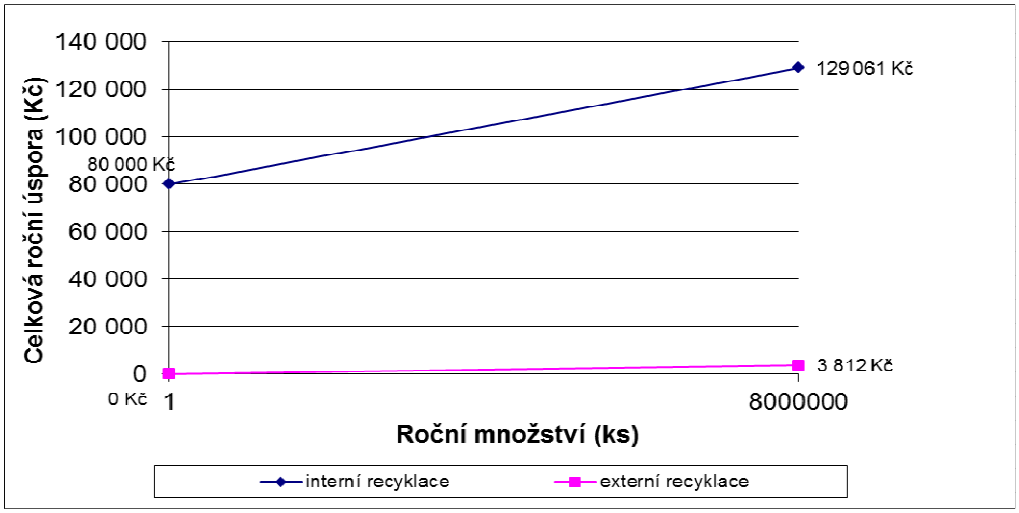
U návrhu č. 2 se využívá externí recyklace vtokových zbytků polymeru ABS Lustran 211sc.

Externí recyklace je ve společnosti Greiner assistec s.r.o. zajištěna specializovanými společnostmi, které odpad vykupují pro další zpracování.

Fixní náklady u návrhu č. 1 jsou na jeden vyhotovený kus 67 065 Kč a tvoří je pořizovací cena drtiče. Ve srovnání s návrhem č. 2 jsou prvotní investice 0 Kč, jelikož odkup odpadu zajišťují externí společnosti. U návrhu č. 1 jsou prvotní náklady vyšší, ale velkosériovou výrobou je celková úspora 1 002 007 Kč proti 56 519 Kč u návrhu č. 2. Analýza neuvažuje o velikosti výrobních dávek a z tohoto důvodu se neuvažuje o nákladech pracovníka u návrhu č. 1 na zapojení drtiče a u návrhu č. 2 náklady na pracovníka za manipulaci PVC pytlů s odpadem. Režie společnosti se neuvádějí, protože jsou u obou metod stejné a započítávají se do celkové ceny plastového dílu.

Pro roční sérii 580 000 ks se volí zpracování vtokových zbytků → **interní recyklací**

7.6 Vyhodnocení ekonomické analýzy pro díl „Housing“



Obr. 50 Porovnání ročních úspor pro díl „Housing“ interní vs. externí recyklace

U návrhu č. 1 se využívá interní recyklace vtokových zbytků polymeru PP Mosten MT230.

Vtokový zbytek putuje přímo po dopravníkovém pásu do drtiče, který rozmělňuje vtok na požadovanou velikost částic, které se smíchají s čistým granulátem k opětovnému použití.

U návrhu č. 2 se využívá externí recyklace vtokových zbytků polymeru PP Mosten MT230.

Externí recyklace je ve společnosti Greiner assistec s.r.o. zajištěna specializovanými společnostmi, které odpad vykupují pro další zpracování.

Fixní náklady u návrhu č. 1 jsou na jeden vyhotovený kus 80 000 Kč a tvoří je pořizovací cena drtiče. Ve srovnání s návrhem č. 2 jsou prvotní investice 0 Kč, jelikož odkup odpadu zajišťují externí společnosti. U návrhu č. 1 jsou prvotní náklady vyšší, ale velkosériovou výrobou je celková úspora 129 061 Kč proti 3 812 Kč u návrhu č. 2. Analýza neuvažuje o velikosti výrobních dávek a z tohoto důvodu se neuvažuje o nákladech pracovníka u návrhu č. 1 na zapojení drtiče a u návrhu č. 2 náklady na pracovníka za manipulaci PVC pytlů s odpadem. Režie společnosti se neuvádějí, protože jsou u obou metod stejné a započítávají se do celkové ceny plastového dílu.

Pro roční sérii 8 000 000 ks se volí zpracování vtokových zbytků → **interní recyklací**

7.7 Porovnání metod interní a externí recyklace

Základní srovnání externí a interní recyklace pro díly Paluba a Housing.

Paluba	Interní recyklace	Externí recyklace
Materiál	Lustran 211sc	Lustran 211sc
Roční množství (ks)	580 000	580 000
Váha dílu (g)	109	109
Odpad na 1 ks (g)	33	33
Roční množství odpadu (kg)	19 140	19 140
Úspora (Kč)	1 033 585	66 990
Náklady (Kč)	31 578	10 471
Celkové roční úspory (Kč)	**1 002 007**	**56 519**

Tab. 11 Rozdíl mezi interní a externí recyklace pro díl „Paluba“

Rozdíl mezi náklady interní recyklace a externí recyklace u dílu „Paluba“ je trojnásobný, avšak celkové roční úspory interní recyklace je sedmnácti-násobný ve srovnání s recyklací externí. Velký podíl recyklátu u tohoto projektu a schválení zákazníkem opětovného použití regranulátu do výroby řadí interní recyklaci jako nejvhodnější způsob zpracování vtokových zbytků a je úspornější o 945 488 Kč než externí recyklace.

Housing	Interní recyklace	Externí recyklace
Materiál	Mosten MT230	Mosten MT230
Roční množství (ks)	8 000 000	8 000 000
Váha dílu (g)	9,835	9,835
Odpad na 1 ks (g)	0,5	0,5
Roční množství odpadu (kg)	4 000	4 000
Úspora (Kč)	148 063	6 000
Náklady (Kč)	19 002	2 188
Celkové roční úspory (Kč)	**129 061**	**3 812**

Tab. 12 Rozdíl mezi interní a externí recyklace pro díl „Housing“

Celkové roční úspory z interní recyklace 129 061 Kč není příliš hodně. Velice zajímavým faktem je samotné porovnání celkových ročních úspor. Interní recyklace je více než třiatřiceti-násobná.

Ne vždy, je na první pohled menší úspora ve srovnání s jinými technologiemi malou úsporou. Interní recyklace je o 125 249 Kč ziskovější, než externí recyklace u dílu „Housing“.

ZÁVĚR

V teoretické části je rozebrána studie dělení polymerů, jejich zpracování a hodnocení. Na základě teorie vstřikování a drcení z teoretické části diplomové práce se aplikuje a využívá těchto znalostí pro zpracování analýzy v praktické části.

V praktické části diplomové práce byly zvoleny dva vstřikované díly, které se vyrábí z rozdílných polymerů. Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit, která z metod recyklace je ekonomicky nejvýhodnější pro zpracování vtokových zbytků, které vznikají jako vedlejší produkt u dvou vybraných vstřikovaných dílů.

U vybraných vstřikovaných dílů se jedná o velkosériovou produkci nad 500 000 ks ročně. Z pohledu recyklace se porovnávaly náklady mezi interní recyklací – vlastním zpracováním vtokových zbytků a externí recyklací – prodej vtokových zbytků specializovaným společnostem, které z odpadů dále zpracují regranulát pro další využití.

U interní recyklace se musí vhodně zvolit drtič dle vybraných kritérií. Po důkladné volbě drtiče nic nebrání nasazení vstřikovací formy na vstřikovací stroj, nastavení technologie a spuštění výroby. Po téměř jednosměnném provozu dochází ke sběru všech vstupních dat (cyklus stroje, váha dílu, váha vtoku, spotřeba drtiče).

Ve finanční analýze se porovnávají náklady, respektive úspory, mezi jednotlivými druhy recyklace, pro každý vstřikovaný díl.

Na základě výsledků z analýzy vyplývá, že středně velké a velké výrobní závody, které vyrábí plastové díly vstřikováním, využívají interní drcení vtokových zbytků u materiálů, které jsou tohoto procesu uzpůsobené. Touto cestou dochází nejen ke snižování materiálových nákladů, ale také ke snaze zlepšení životního prostředí.

Externí recyklace je vhodná pro materiály, které nejsou vhodné pro opětovné používání, nebo pro jakékoliv výrobky, u kterých zákazník požaduje výrobu pouze z nerecyklovaného materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ZEMAN, L., *Vstřikování plastů* 1., vydání. Praha, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

[2] DUCHÁČEK, V., *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití* 1., vydání. Praha, 2005. 354 s. ISBN 80-7080-241-3.

[3] http://www.ksp.tul.cz

[4] http:// www.greiner-assistec.com

[5] VESELÝ, K., *Polymery* 1., vydání. Brno, 1992. 178 s. ISBN 80-02-00951-7.

[6] http:// www.dplast.cz

[7] BOBČÍK, L. a kol., *Formy pro zpracování plastů I. Díl – Vstřikování termoplastů* 2., opr. vydání. Brno, 1999. 133 s.

[8] MENGES, G., MICHAELI, W., MOHREN, P., *How to make injections moulds.*Cincinnati (Ohio): Hanser / Gardner, 2011. 3. ISBN 1-56990-282-8. Venting of moulds, s. 259-269.

[9] doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc., Ing. Michal Staněk, Ph.D., Ing. David Maňas, Ph.D., *Výrobní stroje a zařízení1 – Stroje gumárenské a plastikářské* 1, Vyd. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 1. Vydání, ISBN 978 – 80 – 7318 – 596 - 1

[10] http:// www.imaterialy.cz

[11] Miroslav Hluchý a kolektiv. *Strojírenská technologie 1 : Nauka o materiálu.,* vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.

[12] doc. Ing. Miroslav Schätz, CSc., Ing. Petr Vondráček, CSc., *Zkoušení polymerů.,* vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979.

[13] NEDBAL, R., *Maturitní témata ze strojírenské technologie*. Skripta, Zlín, 2005. 153 s. ISBN není

[14] http:// www.mmspektrum.com/pdf/c090111.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam symbolu	Jednotky
T_m	Teplota tání	°C
T_f	Teplota viskózního toku	°C
σ_{Pt}	Mez pevnosti v tahu	MPa
σ_{Kt}	Pevnost v kluzu	MPa
σ_t	Pevnost v tlaku	MPa
σ	Napětí	MPa
F_{max}	Zatěžující síla	N
F_k	Zatěžující síla	N
S_Δ	Poměr změny průřezu	mm
S_0	Původní průřez zkušebního vzorku	mm
S_u	Průřez zkušebního vzorku po zatížení	mm
ε	Poměrné prodloužení	-
ΔL	Poměr změny délky	mm
L_0	Původní délka zkušebního vzorku	mm
L_u	Délka zkušebního vzorku po zatížení	mm
Z	Kontrakce	%
A	Tažnost	%
A_t	Poměrné zkrácení	%
Δh	Poměr změny délky	mm
h_0	Původní délka zkušebního vzorku	mm
h_u	Prodloužená délka zkušebního vzorku	mm
Z_t	Poměrné příčné rozšíření	%
KU	Rázová práce	J

KCU	Vrubová houževnatost	$\left[\frac{J}{cm^2}\right]$
HDPE	High density polyetylen	
LDPE	Low density polyetylen	
PE	Polyetylen	
PP	Polypropylen	
PS	Polystyren	
POM	Polyoxymetylen	
PC	Polykarbonát	
PET	Polyethylentereftalát	
PVC	Polyvinilchlorid	
PA	Polyamid	
ABS	Akryl-butadien-styren	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Tvar makromolekul pro různé typy plastů [3] 15
Obr. 2 Amorfní struktura 16
Obr. 3 Krystalická struktura 16
Obr. 4 Plastové díly vyrobené z PA6 GF35 pro společnost Hilti [4] 17
Obr. 5 Svrchní otočný bakelitový vypínač 18
Obr. 6 Pryžové těsnění 18
Obr. 7 Iniciace [3] 21
Obr. 8 Propagace [3] 22
Obr. 9 Terminace [3] 22
Obr. 10 Princip vysokotlakého přímého lisování [2] 24
Obr. 11 Pevná forma pro nízkotlaké lisování [2] 24
Obr. 12 Linka na výrobu PE a PVC trubek trubiček a hadic 25
Obr. 13 Vytlačované trubky z LDPE [6] 26
Obr. 14 Uspořádání víceválců 26
Obr. 15 Pouzdro pro motorové pily Stihl [3] 27
Obr. 16 Vytlačovací vyfukování 28
Obr. 17 Vstřikovací vyfukování 28
Obr. 18 Vstřikovací cyklus 29
Obr. 19 Vstřikovací stoj značky ENGEL 30
Obr. 20 rukojeť AKU – vrtačky z 2 komponentního materiálu 31
Obr. 21 Dutý díl, který je součástí kotoučové pily na beton [4] 31
Obr. 22 Rotační natavování 32
Obr. 23 Rotační natovování – vyjmutí výrobku 32
Obr. 24 Skládka komunálního odpadu 33
Obr. 25 Nožový mlýn 35
Obr. 26 Tlukadlové mlýny [9] 36
Obr. 27 Kladivový mlýn (drtič) 37
Obr. 28 Zkušební vzorky 38
Obr. 29 Zkušební tyč pro zkoušku tahem 40
Obr. 30 Pracovní diagram 42
Obr. 31 Zkušební váleček během tlakové zkoušky 43

Obr. 32 Charpyho kladivo 45
Obr. 33 Výtlačný reometr na měření hmotnostního indexu toku taveniny 46
Obr. 34 Testovaný výrobek z ABS 50
Obr. 35 Testovaný výrobek z PP 50
Obr. 36 Podíl odpadu na zpracovaném materiálu 51
Obr. 37 Drtič zapojený v Inline okruhu 52
Obr. 38 Pracoviště na drcení nadrozměrných vadných výrobků a vtoků 53
Obr. 39 PVC pytle s plastovým odpadem ABS 54
Obr. 40 Skladování odpadu na volné ploše 55
Obr. 41 Trend ceny materiálu ABS Lustran 211sc + MB (Kč/kg) 56
Obr. 42 Drtič ZERMA GSL 180/120 58
Obr. 43 Drcení vtokového zbytku a opětovné použití u projektu Paluba 61
Obr. 44 Finální výrobek Paluba z čistého granulátu + regranulátu 61
Obr. 45 Trend ceny materiálu PP Mosten MT230 + MB (Kč/kg) 64
Obr. 46 Drtič RAPID 150 -21 66
Obr. 47 Drcení vtokového zbytku a opětovné použití u projektu Housing 69
Obr. 48 Finální výrobek Housing z čistého granulátu + regranulátu 69
Obr. 49 Porovnání ročních úspor pro díl „Paluba“ interní vs. externí recyklace 72
Obr. 50 Porovnání ročních úspor pro díl „Housing“ interní vs. externí recyklace 73

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Technická data - Paluba 56
Tab. 2 Vývoj ceny materiálu ABS Lustran 211sc vč. MB (Kč/kg) 56
Tab. 3 Technické parametry drtiče ZERMA GSL 180/120 58
Tab. 4 Vyhodnocení úspory interní recyklace projektu Paluba 60
Tab. 5 Vyhodnocení úspory externí recyklace projektu Paluba 63
Tab. 6 Technická data – Housing 64
Tab. 7 Vývoj ceny materiálu PP Mosten MT230 vč. MB (Kč/kg) 64
Tab. 8 Technické parametry drtiče RAPID 150 -21 66
Tab. 9 Vyhodnocení úspory interní recyklace projektu Housing 68
Tab. 10 Vyhodnocení úspory externí recyklace projektu Housing 71
Tab. 11 Rozdíl mezi interní a externí recyklace pro díl „Paluba“ 74
Tab. 12 Rozdíl mezi interní a externí recyklace pro díl „Housing“ 74

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD – elektronická podoba práce