

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

**ZAŘÍZENÍ V TECHNOLOGII VÝROBY A
RECYKLACE PLASTŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vložený papír zadání

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zařízení v technologii výroby a recyklace plastů na ČVUT v Praze, vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce prof. Ing. Tomáše Jirouta, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne.....

.....

Jméno a Příjmení

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval panu prof. Ing. Tomáši Jiroutovi, Ph.D. za odborné rady, konzultace a nesmírnou trpělivost během vypracovávání této bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá zjištěním nejvhodnější metody pro recyklaci plastů. V úvodu se nachází krátké rozdělení plastů a výběr termoplastů, pro které jsou dále popsány druhy recyklačních procesů s vlivem na kvalitu, produktivitu, ekologii atd. V druhé části jsou popsány druhy mlýnů, drtičů a výběr nejvhodnějšího druhu pro nejvhodnější rozemletí nejvíce druhů odpadních plastů. V praktické části je zvolen nejvhodnější proces regranulace s nejvhodnějším nožovým mlýnem a pro tyto parametry je počítána potřebná energetická náročnost pro rozpojování odpadních PET lahví a obvodová rychlost rotoru uvnitř nožového mlýna. Závěrem je zhodnocení volby procesu, mlýna a vypočtených výsledků.

Klíčová slova: plasty, recyklace plastů, materiálová recyklace, biotechnologické postupy, proces, regranulace, mlýny, mletí, drtiče, drcení, příkon, obvodová rychlost.

Annotation

This thesis deals with finding the most suitable methods for recycling plastics. The introduction is short division plastic and selection thermoplastics, for which they are further described species recycling processes with an impact on quality, productivity, ecology, etc. The second section describes the types of mills, crushers and selection of the most suitable species for the perfect grind many kinds of waste plastics. In the practical part is the most suitable granulation process with the most suitable knife mill and these parameters are calculated energy demands needed for disintegration of waste PET bottles and peripheral speed of the rotor blade inside the mill. Finally, the evaluation of the election process, mill and calculated results.

Keywords: plastics, plastic recycling, material recycling, biotechnological processes, process, granulation, mills, grinding, crushers, crushing, power, peripheral speed.

Obsah

Úvod	8
1 Recyklace plastů	10
1.1 Obecná recyklace plastů.....	10
1.2 Kryomletí	11
1.3 Materiálová recyklace	11
1.3.1 Regranulace – výroba regranulátu	12
1.3.2 Aglomerace	13
1.3.3 Drcení a mletí.....	14
1.3.4 Textilní recyklace	15
1.3.5 Depolymerace	15
1.4 Surovinová recyklace	16
1.4.1 Pyrolýza	16
1.4.2 Zplyňování	17
1.4.3 Biotechnologické postupy.....	18
1.5 Energetická recyklace	19
1.5.1 Spalování	19
2 Výběr druhu recyklace plastů a následného mlýna nebo drtiče	21
2.1 Drcení a mletí.....	21
2.2 Druhy drtičů a mlýnů	23
2.2.1 Nožový mlýn.....	23
2.2.2 Talířový nárazový mlýn.....	25
2.2.3 Talířový mlýn	27
2.2.4 Nosový mlýn.....	29
2.2.5 Kolíkový mlýn	30
2.2.6 Křížový mlýn	32
2.2.7 Košové mlýny	33
2.2.8 Kladivové mlýny.....	35
2.2.9 Kuličkový mlýn	36
2.2.10 Čelistový drtič	38
2.2.11 Dvouválcový drtič.....	40
2.3 Zhodnocení.....	42
3 Návrh základních parametrů nožového mlýna	45
3.1 Energetická náročnost rozpojování	45
3.2 Zhodnocení výpočtu příkonu	47

3.3	Výpočet otáček.....	48
3.4	Zhodnocení výpočtu otáček	49
Závěr	.....	51
Seznam symbolů	.....	53
Zdroje	.....	54
	Literatura	54
	Přednáška	55
	Internetové zdroje.....	55
Obrázky	.....	58
Tabulky	.....	59
Vzorce a rovnice	.....	59
Seznam příloh	.....	59

Úvod

Alexandr Parkes (1813-1890) byl prvním člověkem, který vynalezl plast, neboli materiál který byl dobře tvarovatelný. Vlivem dobré tvarovatelnosti, tepelné odolnosti a širokému spektru použití, se plastem začaly nahrazovat přírodní materiály, jako jsou dřevo, keramika, sklo atd. Dnešní plasty mají odlišnou strukturu, lepší fyzikální i chemické vlastnosti, ale podstata zůstala stejná. [1] [I]

Plasty jsou polymery, u kterých vnější namáhání má za důsledek deformace trvalého charakteru. Při běžných podmínkách jsou plasty ve většině případů tvrdé ale i křehké. Můžeme je rozdělit do dvou hlavních skupin a to na termoplasty a reaktoplasty. [1] [I]

Termoplasty: jedná se o druhy materiálu, které při zvýšení teploty měknou, neboli dostávají se do plastického stavu a můžeme je tvářet. Při zvýšení teploty ale nedochází k chemické reakci, ale pouze fyzikálním změnám. Následným ochlazením se termoplasty dostávají zpět do tuhého stavu, neboli jedná se o vratný proces. [1] [I]

Zástupci termoplastů jsou: PS (polystyren), PVC (polyvinylchlorid), PP (polypropylen), PE (polyethylen) a další. [1] [I]

Reaktoplasty: jedná se o druhy materiálu, které jsou tavitelné a tvarovatelné po určitou dobu zahřívání. Pokud dojde k dalšímu zahřívání, dochází k chemické reakci a materiál již není vratný. Tento materiál již nelze znovu tvarovat ani zahřát do taveniny. Reaktoplasty se vyznačují vysokou tepelnou a chemickou odolností, tvrdostí a tuhostí. [1]

Zástupci reaktoplastů jsou: UP (polyesterová pryskyřice), PF (fenol-formaldehydová pryskyřice), EP (epoxidová pryskyřice) a další. [1] [I]

Plasty, kterými se budu převážně zabývat a popisovat, jsou termoplasty, které mají vratný proces a nemění chemické složení.

Elastomery: jedná se o vysoce pružný materiál neboli elastický, který můžeme i za běžných podmínek deformovat, přesto u materiálu nenastává porušení. Elastomery se řadí do skupiny s vratnou přeměnou. [1] [I]

Zástupci elastomerů jsou: kaučuky z kterých se vyrábí pryže a termoplastické elastomery. [1] [I]

Zavedení pojmů plastů

PET	Polyethylentereftalát (lahve, obaly)
PE	Polyethylen (folie, sáčky)
PVC	Polyvinylchlorid (podlahové krytiny, rukavice)
PP	Polypropylen (lana, provazy)
PA	Polyamidy (sportovní oděvy, textil)
PS	Polystyren (polystyren)
UP	polyesterová pryskyřice (výroba odlitků, průmyslové podlahy)
PF	fenol-formaldehydová pryskyřice (lisovací hmoty ve strojírenství)
EP	epoxidová pryskyřice (izolanty k elektronice)
POLYHYDROXYALKANOAT	(bioplast) [2] [I].

1 Recyklace plastů

Každý z nás se setkává s plasty dennodenně a ani si neuvědomujeme, jaké množství plastu projde našima rukama. V roce 1950 se ve světě vyrobilo a spotřebovalo 1,5 mil. tun plastů, ale v roce 2013 světová výroba a spotřeba dosáhla na hranici 299mil. tun. To znamená, že v průměru každý rok spotřeba vzroste o 9%. Na rok 2020 se předpokládá výroba a spotřeba plastů okolo 400 mil. tun a v roce 2050 se zvýší na 700 mil. tun. V porovnání pro představu Čína činí 25% veškeré výroby plastů za to celá Evropa “ jen“ 20% výroby. Toto množství je ale ovlivněno tím že Čína se stává ekonomickou jedničkou na světě. [II]

Ale v dnešní době bez plastu bychom asi nedokázali žít. Z plastu se vyrábí skoro vše například: potřeby do domácnosti jako jsou koše, podnosy, krájecí prkénka a madla na nože. Dále z plastu se vyrábí velké množství hraček pro děti, podlahové krytiny, potrubí, rámy oken, kryty na elektricky vodivé části a mnoho dalšího.

Když vezmeme celkové množství komunálního odpadu, na plast připadá okolo 15% v České republice. Což na jednoho člověka připadá 28 kilogramů plastů na rok. Z těchto 28 kilogramů činí zhruba 80% obaly ze spotřebního zboží a potravin. [3]

Je tedy pro nás velmi důležité plasty třídít a hlavně recyklovat. Díky recyklaci můžeme již použitý materiál znovu využít za pomoci dané technologie a tím zároveň finančně ušetřit na nové výrobě. Zároveň základní surovinou pro výrobu plastů je ropa, neobnovitelný zdroj a zároveň podle světových průzkumů postupně dochází. Pokud tedy budeme třídít plasty, snížíme množství ropy potřebné na výrobu, snížíme náklady na nově vyrobené plasty a zároveň snížíme zátěž na životní prostředí.

Problematika třídění a znovu využití plastů mě během studia na ČVUT zaujala v posledních ročnících, kde jsem se o ní postupně dozvídal v rámci předmětů, tak zároveň od profesorů, když popisovali své zážitky z praxe. Proto jsem se rozhodl, že tato problematika bude náplní mé bakalářské práce a hlavně abych se o recyklaci a obnově plastů více dozvěděl.

1.1 Obecná recyklace plastů

Pokud vezmeme plasty, které v domácnosti vyhazujeme, vyhodíme je do žlutých popelnic, ale tím proces zdaleka nekončí. Následně je odveze svozový vůz na místo, odkud je plast nasunut na dotřídňovací linku. Zde pracovníci pořádně přetřídí plast, co lidé vyhodí. Pás tyto plasty odveze do dočasného skladu nebo rovnou pokračují jako suroviny na zpracování. Po zpracování nastává nová výroba plastových výrobků a následně jsou

odvezeny na naplnění nebo dopracování. Tento výrobek již putuje do obchodů, kde si ho lidé koupí a po spotřebování opět vyhodí. Tím se nám stává z výroby, spotřeby, vyhození a recyklace cyklus, díky kterému dokážeme v dnešní době snížit náklady jak ekonomické tak na životní prostředí. [3] [II]

Tento cyklus je ale daleko složitější a to hlavně při přeměně odpadu na nový výrobek danou technologií. A právě různé druhy technologie, jsou mojí první náplní bakalářské práce.

Druhy recyklace a technologie/procesy

Recyklaci si můžeme rozdělit do tří částí

1.) Materiálová recyklace

- a. Regranulace, aglomerace
- b. Textilní (sekání)
- c. Drcení, mletí
- d. Depolymerace

2.) Surovinová recyklace

- a. Zplyňování
- b. Pyrolýza
- c. Biotechnologické postupy

3.) Energetická recyklace

- a. Spalování [III]

1.2 Kryomletí

Jedná se o druh mletí, kdy je materiál příliš měkký, má nízkou teplotu tání, vysokou elasticitu a je ho třeba rozemlít. Tento materiál silně podchládíme zkapalněnými plyny, jako jsou dusík, vodík a oxidem uhličitým. Zmražené materiály jsou křehké a snadno se melou. Jedná se převážně o novější proces, ale velmi účinný. Tento proces je vhodný pro všechny následující technologie recyklace. [XXXIV]

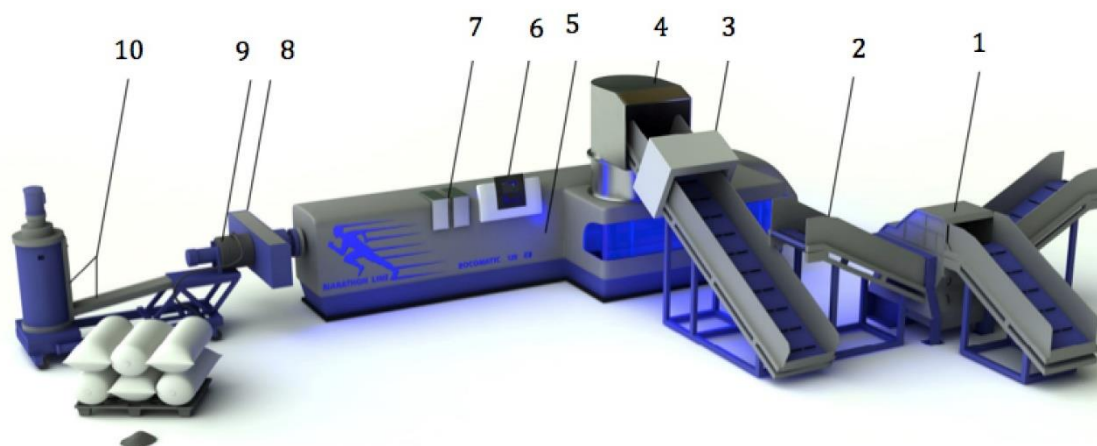
1.3 Materiálová recyklace

Materiálová recyklace je vhodná pouze v případě, pokud máme k dispozici čistý odpad jako je dobře vytríděné použité výrobky nebo plastikářské výroby např.: odpad z výroby plastových modelů. Tato recyklace je považována za jednu z nejnáročnějších díky velkému množství procesů. Nejjednodušší proces je mletí plastových výrobků a následovně tepelně mechanické zpracování rozemletých částí. Jedním z nejtěžších postupů jsou

kompatibilizační postupy, které se snaží připravit a získat vícesložkové materiály z více druhů plastů. Velkou výhodou materiálové recyklace je, že nový výrobek má velmi podobné až skoro stejné vlastnosti jako výrobek, který neprošel recyklací. Docílením takového materiálu musíme dodat stabilizátory, barviva a je třeba, aby prošel tepelnou a mechanickou úpravou. Pokud takto vyrobený plastový materiál projde zkouškami, je možné nový recyklovaný výrobek použít jako náhradu, místo výrobků které by se vyráběly z čistých surovin. [III] [IV] [V]

1.3.1 Regranulace – výroba regranulátu

Pro získání regranulátu je třeba tříděný odpad. Proces přeměny odpadu na regranulát vytváří regranulační linka. Tato linka nejprve vezme přetříděný plastový odpad a rozemele ho na malé kousky. Následně je pomocí pásového dopravníku přesouvá k magnetizačnímu indikátoru kovu, který odstraní veškerý kov, který by se zde mohl nacházet. Materiál bez kovových částic je šnekově tlačěn do mixéru, kde se rozemele na velmi malé kousičky. Následně je vytlačen z mixéru a nastává tepelný proces. Během tohoto procesu lze také přidávat různá barviva, stabilizátory, maziva atd. pro zlepšení vlastností. Dalším důležitým krokem je nutné odplynění, aby v materiálu nemohli vnikat vzduchové bubliny. Takto upravený materiál přechází přes filtr taveniny a dochází ke chlazení. Posledním krokem je odstředění vody a sušení. [VI]



Obr. 1 [VI]

regranulační peletizační linka

„ 1 – drtič, 2 – pásový dopravník, 3 – magnetický indikátor kovů, 4 – mixer, 5 – vytlačovací stroj, 6 - ovládací panel, 7 – evakuační zóna odplynění, 8 – filtr taveniny, 9 – vertikální vodokružní řezací peletizační systém, 10 – vodní žlab a systém odstředění vody.“ [VI]

Pro výslednou kvalitu produktu je důležitá čistota, správné nastavení technických podmínek a snížení vlhkosti při jednotlivých operacích regranulace. Hlavně snížení vlhkosti je pro termoplasty důležité, proto dělíme zpracováváný odpad do tří skupin:

1.) Plasty nenavlhavé

Polypropylen, Polyethylen, polystyren – není třeba sušit

2.) Plasty navlhavé

Polyamid, polyoxymetylen kopolymer, High Impact Polystyren, Akrylonitril-Butadien-Styren atd. – je třeba sušit

3.) Plasty relativně málo navlhavé, ale citlivé na vlhkost

Polykarbonat, polybutylen-tereftalát, polyethyltereftalát i kompozity obsahující polymery – je třeba vysušit [VII]

1.3.2 Aglomerace

Jedná se o proces, kdy stroj zpracovává neznečištěný odpad polyolefinových folií, které vznikají při výrobách. Ze stroje, který zpracovává tento odpad, vypadnou zrna o velikosti 2-5 mm. Tato zrna se dají dále využít bez dalších úprav na výrobu recyklovaného materiálu. Přesto se často mísí s daným poměrem nového granulátu. [VIII]

Neznečištěný odpad stroj aglomeruje v cyklických dávkách. Do stroje se nasype odvážené množství (záleží na velikosti stroje) fóliového odpadu, kde rotující nože rozsekají a nadrtí materiál a zároveň vlivem tepla při sekání a drcení začíná materiál povrchově natavovat. Teplota se nadále zvyšuje, dokud nedosáhne požadované hodnoty a po daném čase se do pracovního, tepleného prostoru stříkne množství vody. Ve chvíli kdy se začne vstříkovat voda, zapne se ventilátor, aby mohla unikat pára. Tím že se materiál velmi rychle ochladí, vzniknou požadované vlastnosti a částice se shluknou v aglomerát. Aglomerát se již pouze vysune z pracovního prostoru a jako sypký materiál poslouží na výrobu nových plastových výrobků. [VIII]

Výhodou aglomerace je, že nedochází k tepelné degradaci materiálu a jeho vlastnosti se téměř nemění. Opakované zpracování tohoto materiálu přináší lepší vlastnosti a menší riziko než při použití regranulátu. Zároveň tento postup je ekonomicky lepší, to může převážně ovlivnit, že vstupní materiál není znečištěn a není jej třeba třídít. [VIII]



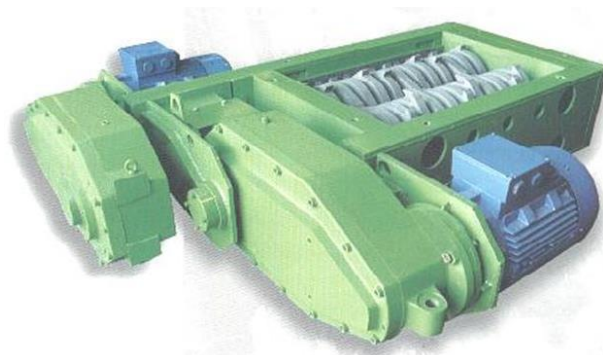
Obr. 2. [IX]

Hromada foliového odpadu

1.3.3 Drcení a mletí

Drcení a mletí odpadového plastového materiálu je velmi podobný proces předchozích dvou, ale je značně jednodušší. Většinou se jedná o stroj, do kterého se přímo vkládají kusy odpadového plastu. Velikost odpadu, který se dá vložit do takového stroje, závisí pouze na velikosti pracovní komory, kde se materiál drtí. Materiál je drcen rotujícími noži, nebo je mlet pomocí krájecích čelistí a velmi jemných nožů na menší kousky až drť.

Pokud je vstupním materiálem špinavý netříděný plastový odpad, drcený materiál je pouze možnost jak zmenšit objem odpadu. Pokud do drtiče vstupují čisté odřezky z výroby, po drcení je možné tento materiál použít na novou výrobu námi potřebných výrobků. Avšak je potřeba tuto drť chemicky nebo tepelně přepracovat a přidat surový materiál, aby vznikl plnohodnotný materiál s kvalitními vlastnostmi.



Obr. 3. [X]

Dvouválcový mlýn

1.3.4 Textilní recyklace

Jedná se o zpracování vlákenných odpadů a využití materiálu do textilních výrobků. Vstupní surovinou může být sběrný tak průmyslový odpad. U tohoto procesu je velmi důležitý a náročný první krok a to je třídění. Jelikož výsledným produktem můžou být přiměsi do bund, profesionálních dresů, sportovního oblečení, zimního oblečení atd., je třeba veškerý odpad roztrždit ne jen podle druhu ale i barvy, pevnosti, tvaru a čistoty. Po roztržení přichází druhá sekce a to je čištění. Čištění se provádí převážně mechanicky, tzv. praní a bělení a odstraňování nevláknitých částí. Následuje sekce sekání, kde se materiál rozseká na menší části na délku 50-150 mm, šířka a výška je ovlivněna velikostí a geometrii stroje. Takto velké části jsou směřovány a míchány za pomoci chemických přípravků, kde změknou a změní své vlastnosti. Jelikož takto velké části jsou stále příliš velké, je třeba materiál roztrhat na vlákna. Tato vlákna jsou lisována, aby vznikly ještě menší části a dali se lépe transportovat. Takto připravený materiál se již dá použít na výrobu oděvů, technický textil, izolace nebo do automobilového průmyslu. [XI]



Obr. 4. [XII]

Textilní recyklát

1.3.5 Depolymerace

Depolymerace je chemická reakce. Jedná se přibližně o opačný proces výroby polymerů. Reaktantem je polymer a výsledný produkt, který získáme chemickou přeměnou je monomer. Jedná se o tzv. roztrhání dlouhých makromolekulárních řetězců na malé až jednotlivé makromolekuly. [XIII]

Principem této přeměny je, že odpadový plast zahřejeme na danou teplotu a to od 500 až po 800°C, podle druhu přeměny a to bez přísunu kyslíku a se zvýšeným tlakem. [XIII]

Výhodou je možnost pracovat a znovu využít znečištěný polymerní odpad. Zároveň nově vyrobený produkt je velmi kvalitní a má srovnatelné vlastnosti s původním materiálem. Nevýhodou je komplikovaný, náročný a drahý proces. Zároveň jedná se o chemický proces, při kterém jsou používány různé chemické látky. Je třeba zabezpečit, aby neunikali a zachovalo se ekologicky přijatelné prostředí. [XIII]

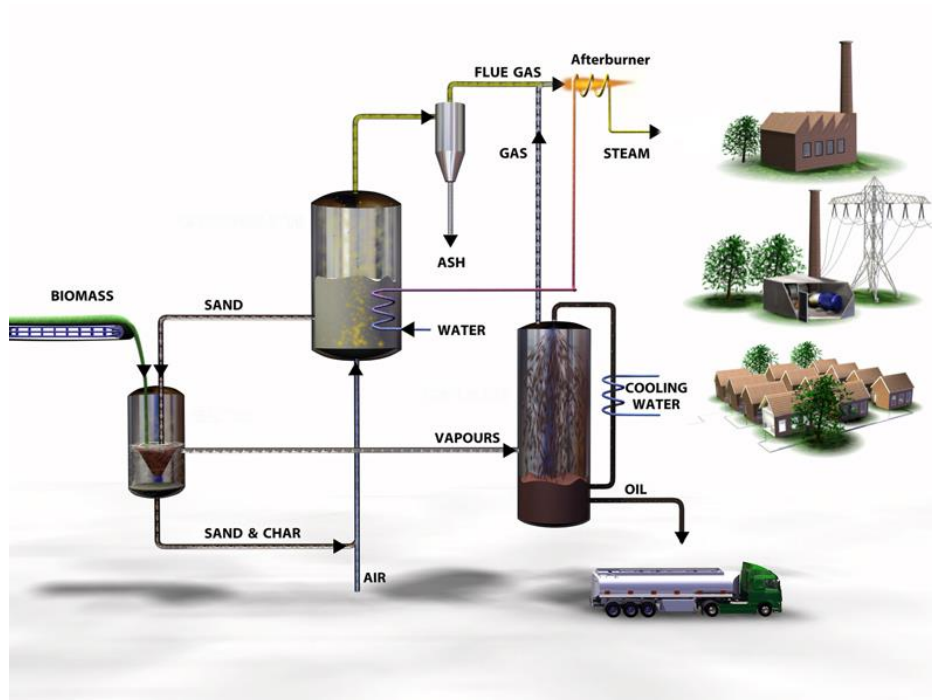
1.4 Surovinová recyklace

Surovinová recyklace je chemicko-tepelná přeměna suroviny, které se využijí na výrobu energií tepelných a elektrických. Principem je zničení materiálu a štěpení na menší molekuly a následné získání jak pevného, kapalného i plynného produktu. Můžeme recyklovat silně znečištěné plastové materiály nebo části již není možné jiným způsobem recyklovat na nový výrobek. Možnými principy recyklace jsou: zplyňování a pyrolýza. Obě varianty jsou si dosti podobné a závisí na teplotě, tlaku a obsahu oxidu. [III] [IV] [V]

1.4.1 Pyrolýza

Jedná se o teplený proces, který je založen na rozkladu organických látek bez přístupu atmosférického kyslíku. Proces má za úkol rozložit organické látky na jednodušší složky (exotermní proces) při kterém roste míra neuspořádanosti systému. Tento proces probíhá i v přírodě, ale velmi pomalu, bez ohledu zda jde o přírodní materiály nebo synteticky vyrobené. Produktem pyrolýzy je buď tuhý materiál na bázi koksu, kapalná báze motorové nafty nebo plynné báze metanu a nezkondenzované kapalně produkty. Plyny lze po vyčištění využít v průmyslu jako energie ať teplená tak elektrická. Zejména motorová nafta či syntetická ropa má velmi dobrou budoucnost v průmyslu a to převážně v době, kdy se zásoby ropy snižují. Nevýhodou je, že zkapalnění je dražší postup, než přeměna na pevnou bázi, ale má větší budoucnost. Velkou výhodou je, že proces je do jisté míry soběstačný, co se týče energetického hlediska a tepelnou energii skoro není třeba dodávat. [XIV] [XVII]

Znovu využití odpadních plastů, zde není nový materiál, z kterého by se dal vyrobit nový produkt, ale přeměna odpadního materiálu na elektrickou a tepelnou energii, který může sloužit přímo pro danou fabriku a tím se stává soběstačná a nepotřebuje dodání energii pro svůj provoz. [XIV] [XVII]



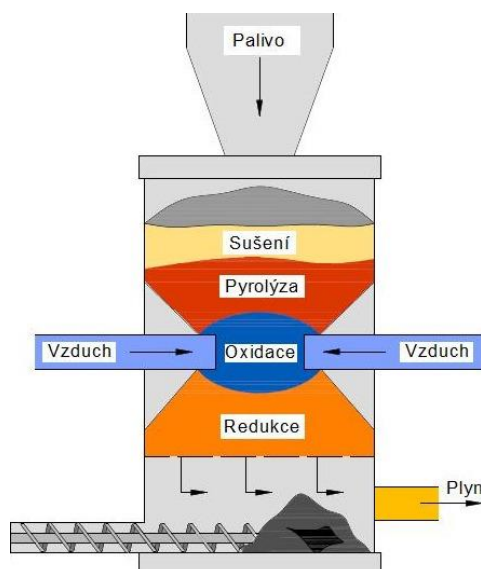
Obr. 5. [XV]

Pyrolýza – proces přeměny odpadu na výsledný produkt

1.4.2 Zplyňování

Zplyňování je termochemická přeměna uhlíkatých materiálů na pevné nebo kapalné skupenství za účelem získání energie. Zplyňování je velmi složitý proces, kterého se účastní řada procesů. Materiál musí projít nejprve sušením následně pyrolýzou, redukcí a oxidací. Postup je dosti podobný pyrolýze, jelikož částečně je v něm i obsažena. Pro první tři procesy je potřebné teplo, které je získáno oxidací. To samo napovídá, že tento princip vůči pyrolýze je založen na přísunu oxidu. Tento postup je tedy exotermní. [XVI]

Stejně jako u pyrolýzy je třeba výsledný plyn čistit, jelikož obsahuje škodlivé látky. Jedná se o částice dehtu, sloučenin dusíku a síry. Škodlivé látky a jejich množství závisí na spalovaném materiálu. Zplyňování umožňuje, využít i alternativní paliva jako propan, dūlní plyn, plasty, použité rostlinné oleje, bionaftu a mnoho dalších. Opět i zde je pro nás, vstupní materiál odpadní plast, přeměněn na energii tepelnou a elektrickou. [XVI]



Obr. 6. [XVI]

Zplyňovací proces

1.4.3 Biotechnologické postupy

Celkem novou technologií je vyrábění a akumulování polymerů pomocí bakterií. Jedná se o tzv. bioplasty. Ten to celkem nový materiál je velmi dobrou alternativou k dnešním synteticky vyráběným plastům a to i díky svým dobrým vlastnostem a přirozené biologické odbouratelnosti.

Velkým problémem plastů je, že po plném využití se v zemi velmi dlouho rozkládají a to v řádu stovek let. Za to bioplasty se dokáží v zemi odbourat v rozmezí týdnů až měsíců a to do úplného rozložení.

Další zajímavou technologií a zároveň efektivnější je, využití mikrobiálních biotechnologií. Vědci našli bakterie, které přemění svojí potravu na polymer. Tato látka je velmi podobná jako synteticky vyráběný polyester. Dnes známé jako polyhydroxyalkanoáty a jeho vlastnosti se podobají polypropylenu. Další výhodou, kterou se zabývají vědci, je že nevyvolává nežádoucí reakce v organismech, z čehož se může časem profitovat ne jenom v technologii ale také ve farmaceutickém průmyslu. [XVIII]

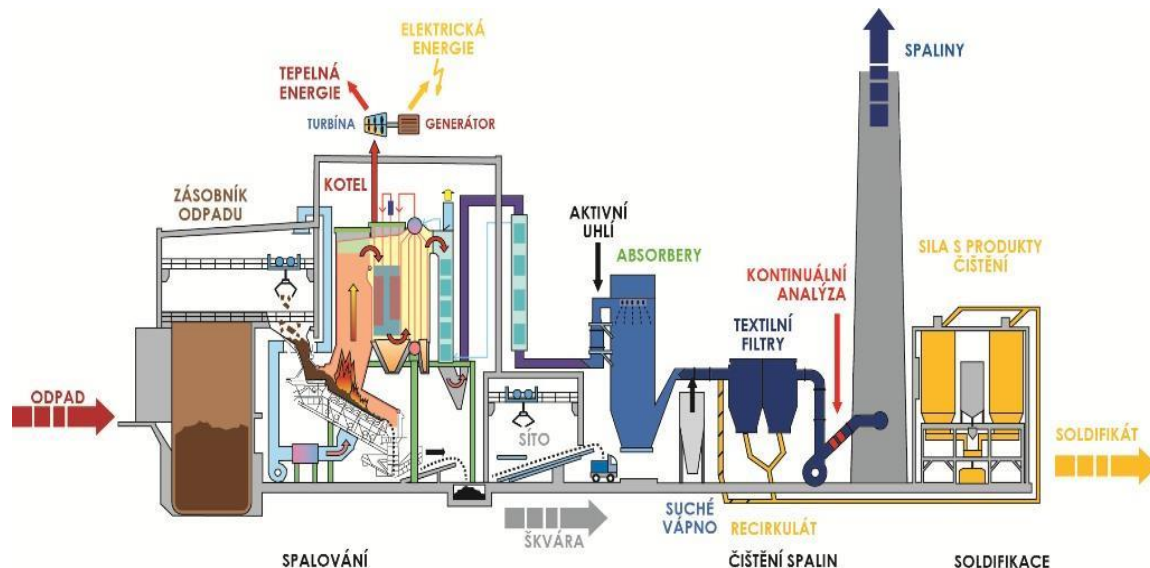
V dnešní době je zároveň otázka co s odpadními oleji, které získáváme po fritování. Tyto bakterie potřebují potravu, z kterou by přeměnili na bioplast. V Brně bylo zjištěno, že zrovna tento olej bakterie velmi dobře přeměňují a tím by se vyřešily dva problémy zároveň. Velkou škálou využití bioplastů, které bakterie vyprodukují, jsou: tenké folie, nanovlákná, různé plošné tvary, mikro a nanočástice. Největší využití se předpokládá v potravinářství a kosmetický průmysl. Asi největší a možná doposud jedinou nevýhodou je vysoká cena.

Pokud by se podařilo snížit cenu, nastal by velký boom v průmyslu s bioplasty a velký krok pro snížení syntetického odpadu. [XVIII]

1.5 Energetická recyklace

1.5.1 Spalování

Pokud odpadní plast již nelze zpracovat nebo recyklovat žádným způsobem, je možné ho využít pro získání tepelné energie a to spalováním. Tento proces má své příznivce i odpůrce. Existují spalovny, které spalují plastový odpad a vytváří teplo. Hodně lidí je stále přesvědčeno, že spalování plastů i v takto speciálně upravených spalovnách je velmi ekologicky škodlivé, kvůli toxicky znečištěnému ovzduší, v kterém se mohou vyskytovat dioxiny. Dnes však technologie pokročila tak daleko, že veškeré škodlivé látky jsou neutralizovány a převáděny na pevnou látku např. z polyamidů jsou převedeny na dusíkaté soli, které by měli být v zásadě netoxické. Pokud tato technologie opravdu funguje tak dobře jak se uvádí, je toto řešení daleko lepší a to i ekonomicky než vytvářet plastové skládky a čekat staletí než se plast rozloží bez jakéhokoliv využití. [III] [IV] [V] [XIX] [XX] [XXI]



Obr. 7. [XXII]

Proces spalování plastů

TECHNOLOGIE/ PROCES	POUŽITÍ PRO MATERIÁLY	VÝHODY	NEVÝHODY
REGRANULACE	PET, PE, PVC, PP, PMMA	PRODUKTIVITA, KVALITA, MOŽNÉ PŘÍMĚSY, EKOLOGICKÉ	TŘÍDĚNÝ ODPAD, SNÍŽENÍ VLHKOSTI
AGLOMERACE	PE	ŽÁDNÁ TEPELNÁ DEGRADACE, EKOLOGICKÉ	JEN FOLIE
DRCENÍ A MLETÍ	PET,PVC,PP PMA	UNIVERÁLNÍ	JEN JAKO MEZISTUPEŇ
TEXTILNÍ RECYKLACE	PA	EKOLOGICKÉ, NOVÉ OBLEČENÍ	PŘESNÉ TŘÍDĚNÍ, ČIŠTĚNÍ
DEPOLYMERACE	PS, PET, PMMA	KVALITA, SROVNA- TELNÉ VLASTNOSTI S PŮVODNÍM	KOMPLIKOVANÉ, VYSOKÉ PROVO- ZNÍ NÁKLADY
PYROLÝZA	PET, PE, PVC, PP, PMMA	PŘEMĚNA NA TEPELNOU A EL. ENERGII, OLEJE SOBĚSTAČNÝ PROCES	VYSOKÉ PROVO- ZNÍ NÁKLADY. NEVZNIKÁ NOVÝ MATERIÁL
ZPLYŇOVÁNÍ	PET, PE, PVC, PP, PMMA	PŘEMĚNA NA TEPELNOU A EL. ENERGII, ALTERNA- TIVNÍ PALIVA	SLOŽITÉ, SUŠENÍ NEEKOLOGICKÉ
BIOTECHNOLO- GICKÉ POSTUPY	POLYHYDRO- XYALKANOÁT	EKOLOGICKÉ, BUDOUCNOST	VELMI VYSOKÉ PROVOZNÍ NÁKLADY
SPALOVÁNÍ	PET, PE, PVC, PP, PMMA, PA, PS.....	PŘEMĚNA NA TEPELNOU A EL. ENERGII, TEPLA	NEJVÍCE ZATĚŽUJE PROSTŘEDÍ

Tab. 1.

Přehledná tabulka technologií/procesů

2 Výběr druhu recyklace plastů a následného mlýna nebo drtiče

Z výše uvedených procesů, kterou jsou zde popsány, volím jako nejvhodnější a zároveň i jeden z nejekologičtějších procesů regranulaci. Důvodem je, možné využití téměř veškerých druhů plastů, ať už suchých či vlhkých, kvůli nízké energetické náročnosti a širokému spektru možných drtičů a mlýnů, které lze použít.

Druhá část bakalářské práce, na které jsem se shodl se svým vedoucím, je zaměřena na výběr druhu mlýna na drcení plastů. Mletí je hlavním problémem, který je třeba řešit, pokud chceme odpadní plastový materiál recyklovat. Typ, velikost, chemické i mechanické vlastnosti ovlivňují druh mlýna či drtiče, který potřebujeme vlivem odpadu vybrat a řešit jeho vlastnosti a zvolit vhodné nastavení. Dalo by se říci, že každý recyklační proces je specifický, ale většinou všechny procesy začínají mletím materiálu, tím je mletí pro všechny procesy společné.

Cílem mletí je zmenšení velikosti částic, na velikost, která je potřebná pro další procesy. K rozpojování materiálu, dochází vlivem namáhání materiálu na rozbíjení, smýkání, trhání, drcení a otírání. Zpracování částic dělíme na jemné a hrubé rozpojování. Jedné rozpojování neboli mletí se provádí v mlýnech a hrubé rozpojování neboli drcení se provádí v drtičích.

Mým úkolem je poznat a popsat různé druhy mlýnů a drtičů, které by byly vhodné na drcení různých druhů plastů. V následné kapitole jsou popsány mlýny a drtiče, jejich porovnání v závěrečné tabulce a jejich výhody a nevýhody.

2.1 Drcení a mletí

Význam

Hlavním předpokladem pro drcení a mletí odpadu, pro nás plastů, je vytvoření nového materiálu ze starých a nefunkčních výrobků. Je to způsobeno vysokou cenou plastů, která vede k tomu, abychom se zabývali znovu využitím starých materiálů a tím snížili náklady na pořizování nových materiálů pro nové výrobky. Zároveň na výrobu nových plastů je vysoká energetická náročnost, která činí přibližně na 1 tunu plastů kolem 2,5 tuny ropy. Jelikož cena ropy stále stoupá a to rychleji než cena za elektrickou energii, rozhodně se nám vyplatí recyklovat. [XXIII]

Značné množství odpadu, které lze znovu využít vzniká už při samotné výrobě produktů. Jedná se o vadné výrobky, vtokové systémy, odstříky atd. Už kvůli tomu, aby se výrobci vrátil materiál na výrobu produktu, který si zakoupil, potřebuje přemýšlet, jak tento odpad znovu využije a navrátí jako recyklovaný materiál do své výroby. K tomu ale potřebuje tento odpad nejdříve rozdrtit, aby mohl dále pokračovat regranulační linkou. [XXIII]

Účel

1. Získat produkty požadované velikosti, jaké jsou požadovány odběrateli nebo jaké nám nařizují normy.
2. Získat produkty takové velikosti, jaká je potřeba z hlediska dalších postupů při jejich zpracování a úpravě.
3. Uvolnit vzájemně působící komponenty a oddělit je.
4. Promísení vhodných komponentů před dalším zpracováním.

U všech těchto kroků jsou velmi hlídány velikosti rozdrčených materiálů a množství větších rozdrčených materiálů, které může výsledná drť obsahovat. [XXIII]

Dalšími prvky, které je důležité zvážit je původ odpadu a jak byl dříve zpracován. Důležité je zda bych pouze drcený nebo drcený a regranulovaný. Pokud byl pouze drcen, je to výhoda pro tepelné materiály, aby nebyly znovu tepelně namáhány při regranulaci. Nevýhodou však je, že při drcení se nedá zaručit přesně stejná velikost pro všechny částice, ale tomu se dá předejít využitím vhodných sít. Pokud byl materiál drcen i regranulován, vzniká výhoda, že všechny částice mají již stejnou velikost. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost, která je způsobena delším procesem a hlavně sušením. Taktéž je velmi důležité a správně použít při recyklaci, že každý materiál má jiné fyzikální a hlavně chemické složení nebo prošel jinými chemickými a fyzikálními procesy. [XXIII]

Nejvýhodnější je používat rozemleté plastové odpady jako příměsi do originálního materiálu. Výhodou je zachování původních vlastností materiálu, nevýhodou je přesný výpočet množství, které je vhodné přidávat a větší náročnost na promíchání. Při míchání se přidávají různá aditiva, stabilizátory a mnoho dalších chemických látek, aby se dosáhlo lepších fyzikálních i chemických vlastností. Uvádí se, že by příměs měla činit okolo 20% a to z toho důvodu, aby odpadní materiál se protočil v recyklaci maximálně desetkrát.

V neposlední řadě, bychom si měli uvědomit, že způsob a druh drcení nám ovlivní i výslednou tvrdost, pevnost, křehkost a další vlastnosti. [XXIII]

2.2 Druhy drtičů a mlýnů

V dnešní době existuje velké množství drtičů a mlýnů, které se dají využít na daný druh drcení a mletí odpadního produktu. Každý má ale své výhody a nevýhody, různé vlastnosti a jinou energetickou náročnost.

2.2.1 Nožový mlýn

Nejpoužívanějším strojem na mletí recyklovaného plastového odpadu se používá nožový mlýn. Jedná se o stroj, který má více nožů pevně radiálně uložené kolem rotoru, které nesou další nože.

Materiál se nasype do násypky, odkud dále přichází do komory, kde jsou nože. Jak se rotor rychle otáčí, nože rozsekají odpadní materiál na malé částice o velikosti ok síta. Během mletí dochází vlivem tření zvyšování teploty v pracovním prostoru stroje, to má za důsledek, že materiál je povrchově natavován. Když vsázka dosáhne potřebné teploty, za stálého chodu mletí materiálu, je do pracovního stroje vstřikováváno předem určené množství vody. Zároveň však musí být spuštěn odsávací ventilátor, který slouží k odsávání vznikajících par při zahřívání vody. Slouží i k odvodu vznikajících škodlivých par, které mohou unikat při natavování materiálu. Oky síta materiál (částice) propadává. Velikost síta se dá měnit a podle toho můžeme získat požadovanou velikost částic. Dokud materiál nepropadne sítem, je dále mlet noži a vrací se do oběhu mletí. Tím je zaručeno, že by se měl každý materiál po čase rozmělnit na požadovanou velikost. Nejčastěji se jedná o síto, o velikosti ok 15 mm až 25 mm. Aby se docílilo k rychlejšímu propadávání a nezanesení síta částicemi materiálu, je síto napojeno na vibrační mechanismus, který chvěje sítem a tím za pomoci gravitace dojde k rychlejšímu propadávání částic. Za částí určená pro drcení mohou být nainstalovány silné magnety, které mají magnetickou silou přichytit zbytky kovových částí. [XXIII] [4]

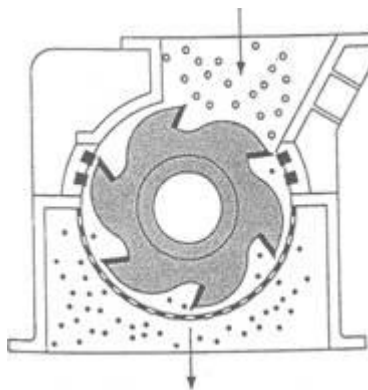
Tato metoda je vhodná třeba pro drcení odpadních plastů z kabelů. Kde se kabel rozloží na kov a izolaci. Izolace je vhozena do drtiče ale může obsahovat zbytkové množství kabelů. Tento nožový mlýn s magnetickými částmi přichytí zbytky kabelů a nedojde k poškození nožů a zanesení síta. [XXIII] [4]

Následuje prudké ochlazení, čímž se částice materiálu shluknou, v takzvaný aglomerát, který je následně z nádoby bočními dvířky vypuštěn. Tím je ukončen cyklus drcení a může se začít nový. Po daném množství cyklů je třeba drtič vyčistit od usazenin, aby nedocházelo k zanesení síta, rotoru, nabalování materiálu na nože atd. Jak často má

docházet k čištění drtiče udává sám výrobce drtiče nebo volí majitel podle potřeby čistoty materiálu. [XXIII] [4]

Aglomerát má danou sypnou hmotnost která se dá přibližně nastavit vlivem různých podmínek při drcení.

„Sypná hmotnost je hmotnost objemové jednotky hmoty kameniva ve volném sypaném nebo setřeseném stavu. Závisí i na vlhkosti kameniva.“ [XXIV]



Obr. 8. [XXIII]

Schéma nožového mlýna



Obr. 9. [XXV]

Nožový mlýn

Výhody:

- Efektivní
- Rychlost drcení
- Natahování materiálu
- Materiál se nenavíjí na rotor ani na nože
- Dokáže magneticky odstranit kovové nečistoty

Nevýhody:

- Potřeba údržby
- Cena
- Možné zanesení síta při nastavení malé velikosti ok
- Možné zanesení síta při větším natavení materiálu

Vhodné pro: regranulaci, aglomeraci, drcení a mletí, textilní recyklaci, depolymeraci, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

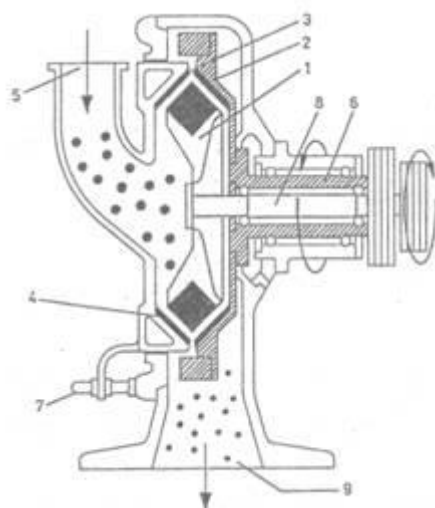
2.2.2 Talířový nárazový mlýn

Také velmi používaným strojem na drcení je talířový nárazový mlýn. Tento stroj se využívá čím dál tím více a to z toho důvodu, že dokáže sám bez dalších strojů či procesů rozemlít odpadní materiál na stejně velké kusy a to na zrnitost 100 μm . Téměř podmínkou je však, že vstupní vsázka musí již být předemletá. Nejčastěji se používá jako předchozí mlýn právě nožový. Takto malé částice materiálu slouží pro výrobu nových plastů převážně pro postupy: stříkání, fluidní nanášení a další. V dnešní době se však objevují i stroje kde vsázka může být daleko větších rozměrů a není tedy třeba mít předřadný nožový stroj. [XXIII] [4]

Do talířového nárazového mlýna se přivádí recyklovaný materiál. Tento materiál se vžene pomocí gravitace a menšího sání do pracovní komory, kde dojde ke kontaktu s rychle rotující vrtulí. Tato vrtule vrhá materiál proti bočnicím, které jsou rýhované. Jedna z bočnic je poháněná motorem v proti směru než se otáčí vrtule (rotor). Materiál je tak namáhán, až se rozpadá, trhá a mele na menší částice, vlivem nárazy na bočnice a rotor. Ve stroji zároveň probíhá vysoké turbulentní proudění, to má za následek, že je stroj třeba chladit. Tyto částice postupně dosáhnou velikosti štěrbin mezi bočnicemi. Velikosti štěrbin se dají regulovat během procesu, tím můžeme docílit vždy různých velikostí dle potřeby, aniž bychom museli zastavit stroj. Jsou však starší stroje, kdy je třeba nastavování štěrbin dělat manuálně pomocí šroubů a to při zastaveném chodu stroje. [XXIII] [4]

Důvodem proč se používají štěrbiny a ne síto s oky je na rozdíl od síta ten, že se nemusí měnit, nezanesou se a získá se materiál o menší velikosti. Dále materiál po rozemletí skrze štěrbinu putuje k výpustnímu otvoru, který se postupně rozšiřuje, aby se materiál neshlukoval a docházelo k jeho chlazení, jelikož materiál má stále zvýšenou teplotu, díky tření i přestože je stroj chlazen. Jako všechny stroje i talířový nárazový mlýn, potřebuje občasnou údržbu, aby se odstranili usazeniny ve štěrbinách nebo odstranila zbytková shluklá část částic na výpustním otvoru. Však tento proces nemusí být tak častý, pokud dochází k dostatečnému chlazení stroje. [XXIII] [4]

Tento postup je vhodný pro pevnější typy odpadního materiálu například, ochranné kryty spotřebičů, PET lahve, pevnější obaly od potravin a mnoho dalších. Není vhodný pro měkké plasty, jako jsou: folie, plachty atd. Jelikož u měkkých plastů nedochází k tak dobrému mletí při nárazech na štěrbinu a ani rychlost, kterou jsou vrženy, není vždy dostačující.



Obr. 10. [XXIII]

Schéma talířového nárazového mlýna

„1 – rotor, 2 – otáčející se rýhovaná bočnice, 3 – regulovatelná štěrbina, 4 – neotáčející se axiálně posuvná rýhovaná bočnice, 5 – plnicí hrdlo, 6 – hřídel bočnice, 7 – šrouby axiálního posunu bočnice, 8 – hřídel rotoru, 9 – výpustní otvor“ [XXIII]



Obr. 11. [XXVI]

Talířový nárazový mlýn

Výhody:

- Mletí na velmi malé částice až 100 μm
- Rychlost drcení
- Efektivní
- Štěrbiny, neusazuje se na nich zahřátý materiál
- Nastavitelná velikost štěrbin

Nevýhody:

- Potřeba předchozího stroje na namletí na menší kusy
- Chlazení
- Občasná údržba
- U starších strojů regulace během vypnutého procesu

Vhodné pro: regranulaci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

2.2.3 Talířový mlýn

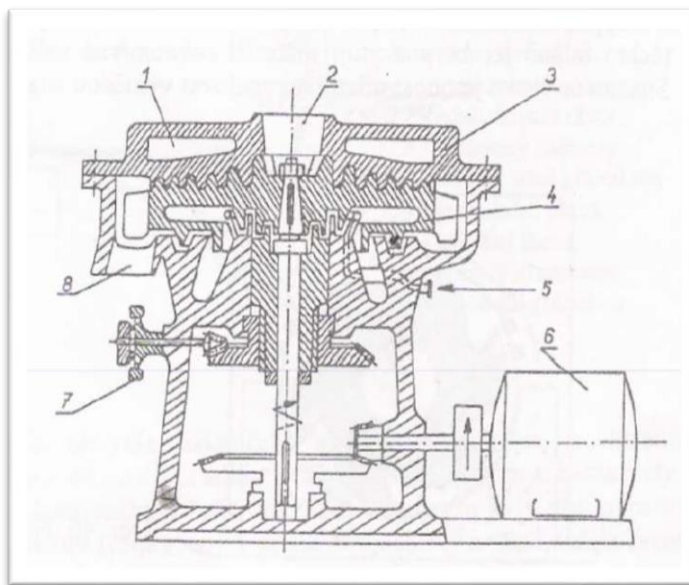
Talířový mlýn patří již k méně používaným strojům, avšak má stále své výhody. Tento stroj se převážně používá pro mletí pryže, jako jsou: holiny, kryty na bazény, gumovací pryže, chemické špunty, dané druhy folií a mnoho dalšího.

Plnicím otvorem se přivádí odpadní materiál, který vstupuje do pracovní komory, kde je postupně rozemlet na malé částice a to na 4 mm až 1 mm. Kotouč (rotor, ozubený talíř) se otáčí kolem své osy, zároveň zapadají jeho zuby do statoru, kde jsou mezi zuby malé štěrbin. Zuby jsou směrem k většímu poloměru jemnější a častěji přerušovaná, aby mohlo

dojít k rozemletí různých velikostí materiálu a materiál byl následně postupně vytlačován ven. Tyto kotouče rozemelou přivedený materiál, který je namáhán na stříh. Kotouč ke statoru je možné více přitáhnout, přitlačovacím šroubem a to i během procesu. Tím se zmenší štěrbinu a dojde k jemnějšímu mletí. Následně je materiál vytlačen do výpustního otvoru, odkud je odebírán na další proces. [4]

Velikost částic můžeme ovlivnit i rychlostí otáčení rotoru. Pokud se rotor rychleji otáčí, dochází k většímu tlaku na materiál, který se snáze rozele. Zároveň s větší rychlostí vzniká větší teplo vlivem tření, které je potřeba řešit chlazením. Jelikož při tomto procesu dochází k silnému zahřívání, které by po čase mohlo zničit zuby rotoru (odlamování kousků zubů), je třeba tento stroj chladit. Chladicí kapalina je umístěna nad zuby, aby docházelo k co nejlepšímu chlazení kotoučů. [4]

Tento stroj je náročný na údržbu, pokud odpadní materiál není dostatečně tříděn. Jelikož do stroje můžeme převážně dávat jemnější druh plastového odpadu. Při častém vkládání tvrdých částí materiál, který není tříděn, může docházet k rychlejšímu opotřebení zubů.



Obr. 12. [XXVII]

Schéma talířového mlýna

„1-vodní chlazení statoru, 2 - plnicí otvor, 3 - stator, 4 - rotor, 5 - přívod chladicí vody, 6 - motor, 7- regulace jemnosti mletí, 8 - výpustní otvor“ [XXVII]

Výhody:

- Mletí na malé částice o velikosti 4 mm až 1 mm
- Regulace velikosti částic během procesu, pomocí přitlačovacího šroubu
- Regulovatelná rychlost rotoru
- Efektivní

Nevýhody:

- Nutné chlazení
- Méně používaný
- Cena
- Mletí převážně jen měkkých druhů materiálu

Vhodné pro: regranulaci, aglomeraci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

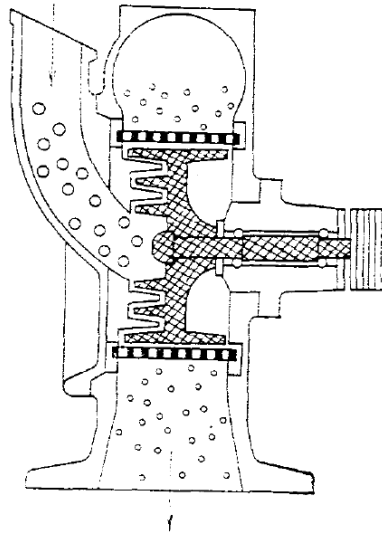
2.2.4 Nosový mlýn

Tento mlýn je výhradně používán na mletí měkkých materiálů. Navíc je daleko méně používaný než nožový mlýn.

Principem dost připomíná talířový mlýn. U nosových mlýnů je přiváděn odpadní materiál do pracovní skříně, kde jsou odlité nosové výstupky. Materiál přichází do kontaktu s rotorem, na kterém jsou nosové výstupky. Tím jak se nosové výstupky pohybují, rozemílají materiál. Materiál dále propadá sítím, velikost ok určuje velikost částic. Po průchodu sítím materiál je odváděn do výpustního otvoru. U starších typů se síta nepoužívala a materiál dále již propadal do výpustního otvoru. [4]

Nevýhodou je, že do nosového mlýna je třeba přivádět odpadní materiál již primárně nadrcený. Částice by se měly pohybovat o velikosti 5 mm až 15 mm. Nosový mlýn slouží jen k většímu rozemletí částic a to na velikost 0,06 mm až 0,1 mm podle velikosti nosů a síta. Stejně jako u talířového mlýna je třeba tento stroj chladit aby nedocházelo k přehřívání a zatížení nosů. Další stejným prvkem je, že rychlostí rotoru můžeme měnit velikosti částic. [4]

Při vložení tvrdých materiálů, může docházet k lomu nosů, což má za důsledek zničení stroje, jelikož utržený nos poškodí zbytek skříně a nemůže propadnout sítím.



Obr. 13. [XXVII]

Schéma nosového mlýna

Výhody:

- Mletí na velmi jemné částice
- Regulace velikosti částic

Nevýhody:

- Potřeba primární rozemletí
- Nutné chlazení
- Málo používaný
- Pouze pro jemné materiály
- Možné zanesení síta

Vhodné pro: regranulaci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

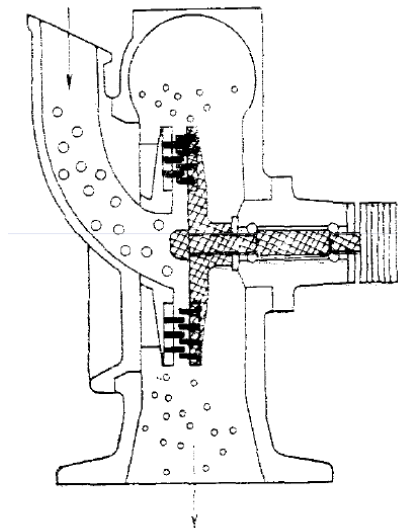
2.2.5 Kolíkový mlýn

Kolíkový mlýn je skoro stejný jako nosový mlýn. Funguje na stejném principu, akorát místo nosů jsou do rotoru vloženy pevné kolíky, které slouží jako drtič materiálu. I zde můžeme do stroje vkládat pouze jemný materiál, aby nedošlo k poškození kolíků. Velikosti kolíků často mívají různé průřezy a tvary, aby nedocházelo k nabalování materiálu, ale jeho mletí.

Tím že jedna soustava kolíků se otáčí vůči druhé pevné soustavě, dochází k namáhání materiálu na střih, které má za následek mletí na malé částice. Velikost částic můžeme

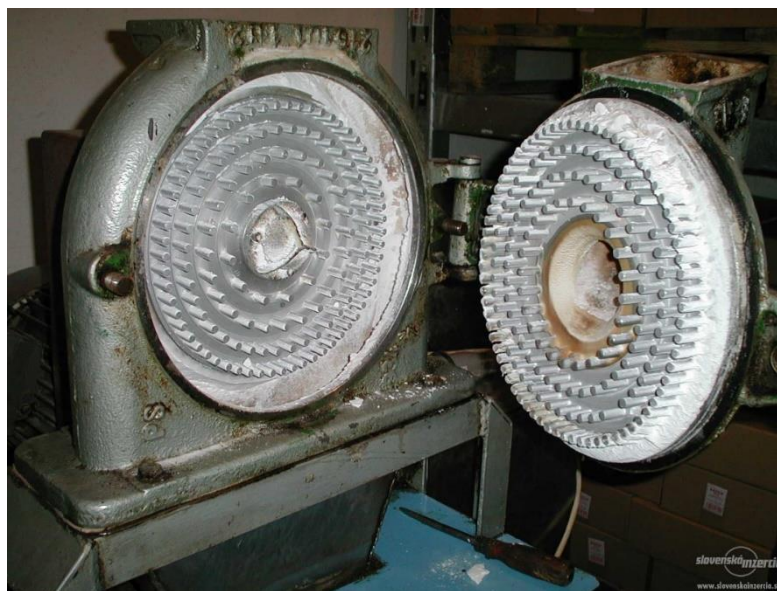
ovlivnit hned několika prvky a to: rychlostí otáčení rotoru, velikostí a tvarem kolíků, přitažením kolíků k sobě a hlavně počtem řad kolíků na rotoru. Výsledné částice mají velikost okolo 0,02 až 2 mm. [4]

Postup mletí však zůstává stejný jako u nosového mlýna.



Obr. 14. [XXVII]

Schéma kolíkového mlýna



Obr. 15. [XXVIII]

Kolíkový mlýn

Výhody:

- Mletí na velmi jemné částice
- Regulace velikosti částic
- Více řad kolíků

Nevýhody:

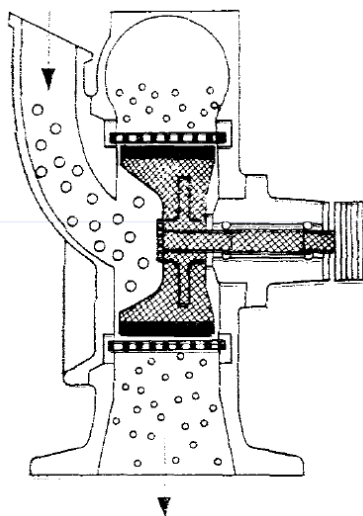
- Potřeba primární rozemletí
- Nutné chlazení
- Málo používaný
- Pouze pro jemné materiály
- Možné zanesení síta

Vhodné pro: regranulaci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

2.2.6 Křížový mlýn

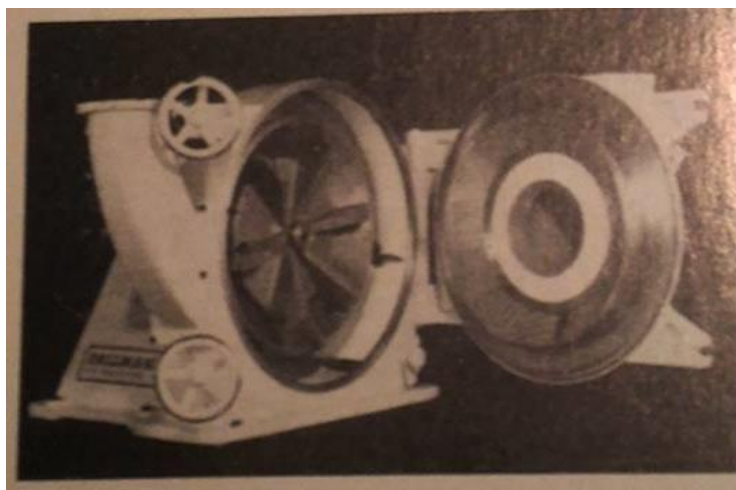
Naprosto stejným principem i funkci má křížový mlýn. Jediným rozdílem je, že místo kolíků, jsou vložena úderná ramena rotoru, která jsou uspořádána buď do kříže, nebo do hvězdice. Vstupující i výstupní velikost produktu je přibližně stejná jako u předchozího stroje.

Jedinou změnou je, že neotáčí se pouze rotor ale i jeden boční talíř v protichůdném směru. Tím dochází, že materiál je následně vrhán na úderná ramena. Tím se jednotlivá zrna materiálu otírají a zahřívají.



Obr. 16. [XXVII]

Schéma křížového mlýna



Obr. 17. [4]

Křížový mlýn

Výhody:

- Mletí na velmi jemné částice
- Regulace velikosti částic
- Protichůdný boční talíř

Nevýhody:

- Potřeba primární rozemletí
- Nutné chlazení
- Málo používaný
- Pouze pro jemné materiály
- Možné zanesení síta

Vhodné pro: regranulaci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

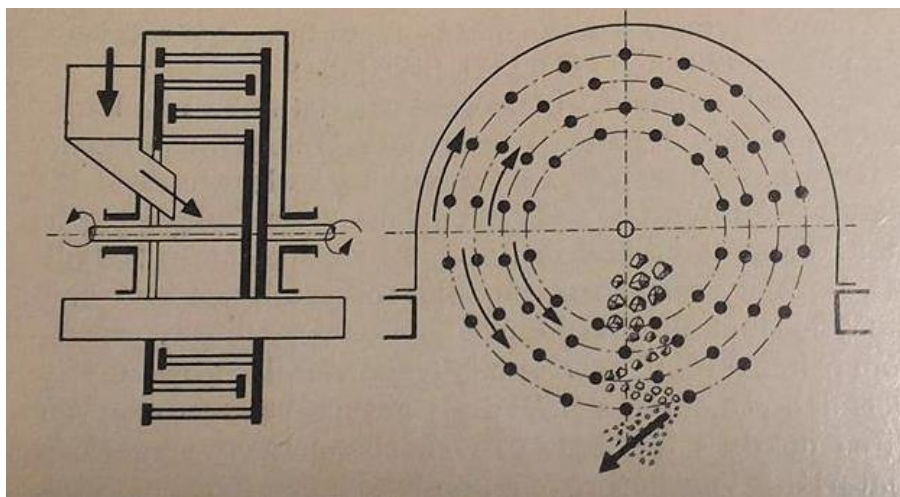
2.2.7 Košové mlýny

Košové mlýny jsou nejstaršími a kdysi nejvíce používanými rotorovými zdrobňovacími mlýny. Jedná se o stroj se dvěma soustředně do sebe vsunuté mlecí koši. Mlecí koše jsou zhotoveny z pevné oceli, tak aby vydrželi pevné pnutí a tření, které vzniká. Tyto koše jsou spojeny kolíky, tím vznikají dvě ústrojí kolíků, které se pohybují proti sobě. Počet řad kolíků je různý, nejběžněji se vyrábí 2 a 3 řadové. [4]

Materiál se přivádí do pracovní komory bočním otvorem a následně dopadá na rychle rotující kolíky. Nejprve na první řadu kolíků, které postupně zdrobní materiál na menší kusy. Následně propadá materiál na druhou řadu kolíků, která se pohybuje v opačném směru, tím

je zajištěno větší drcení na menší částice. Tento postup pokračuje, dokud materiál neprojde poslední řadou kolíků. Počet řad ovlivňuje velikost požadovaných částic. Velikost rychlosti otáčení, která je okolo 20 až 40 m/s, také ovlivňuje velikost částic. Větší rychlostí dochází k větší spotřebě ale i k zahřívání. Materiál následně již jen vypadne z odtokové části. [4]

Košové mlýny mají velké využití, jak pevných, křehkých, vláknitých, ale nejsou zcela vhodné pro plasty. Plasty a jiné melitelné materiály se nalepují na kolíky, které je třeba často měnit.



Obr. 18. [4]

Schéma košového mlýna

Výhody:

- Mletí různých materiálů
- Regulace velikosti částic
- Protichůdné kolíky
- Dlouhou dobu nejvíce používaný

Nevýhody:

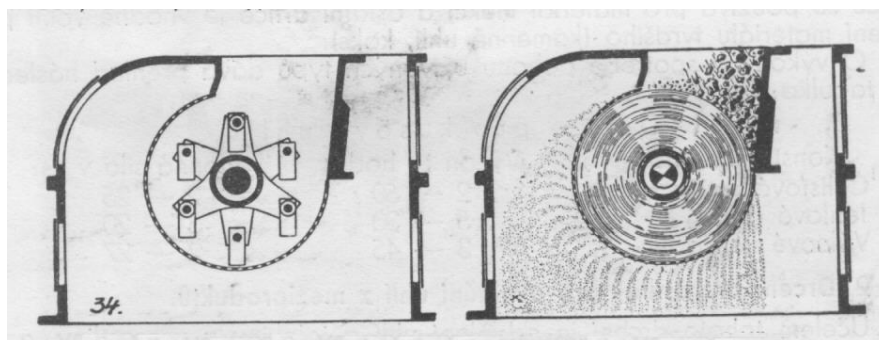
- Nutné chlazení
- Již není tolik používán
- Není vhodný pro plasty a melitelné materiály

Vhodné pro: drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

2.2.8 Kladivové mlýny

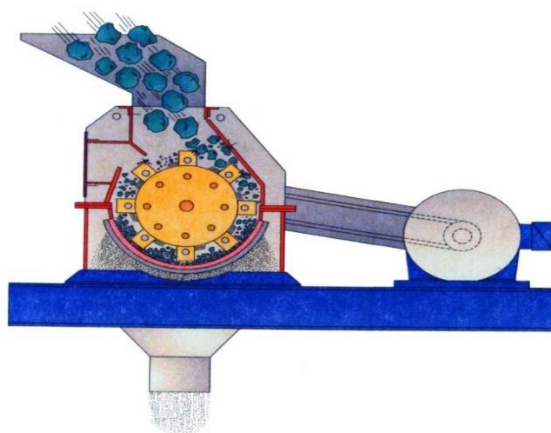
Kladivové mlýny se vyznačují tím, že mají větší počet řad na rotoru na rozdíl od drtičů, které jsou převážně jednořadové. Díky funkci změny otáčení rotoru je zamezeno či ochráněno jednostranné opotřebení kladiv. Jelikož dochází k oboustrannému opotřebení kladiv a přibližně všech stejně zároveň, je prodloužena doba životnosti. Vlivem změny otáčení rotoru, nejen že se prodlužuje životnost, ale kladiva jsou samoobnovující. Když je poničená jedna strana kladiva, otočí se směr rotace a postupně se poškozují druhá strana, tím se zároveň materiál narovná a dostává přibližně do stejné podoby, jako byl na začátku, i když ne tak zcela kvalitní. [4]

Kladivové mlýny jsou snadno opravitelné, jelikož mají velký vrchním otvírání a tím se snáze obsluha dostane k dílům, které jsou třeba vyměnit. Tento typ stroje je spíše vhodný pro nerostné suroviny, jako je uhlí, vápenec atd. Pro pasty je spíše nevhodný, jelikož je určen k mletí tvrdých materiálů. Přesto by však mohl být užitečný na mletí tvrdého plastu, i když s malou účinností a nejspíše by se materiál nabaloval na kladiva. [4]



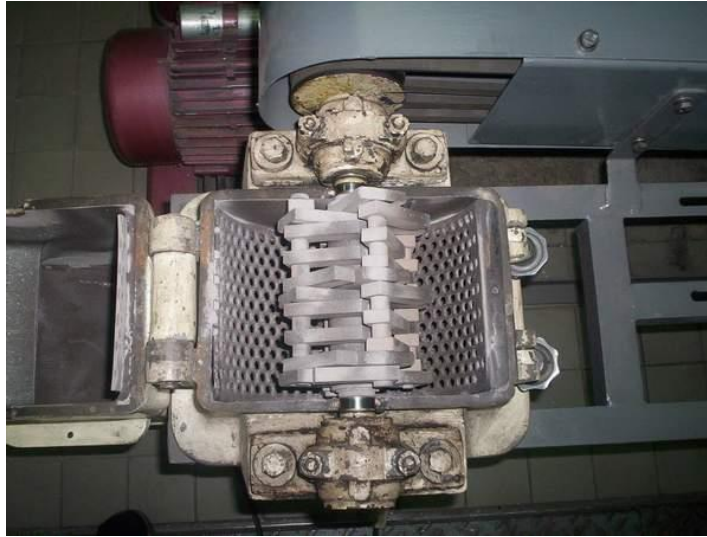
Obr. 19. [XXIX]

Schéma kladivového mlýna



Obr. 20. [XXXI]

Podrobnější schéma kladivového mlýna



Obr. 21. [XXX]

Kladivový mlýn

Výhody:

- Velmi používaný
- Rozemele i tvrdé materiály na malé částice
- Snadná údržba

Nevýhody:

- Není vhodný pro plasty, maximálně pro velmi tvrdé plasty
- Plast se na kladiva navíjí
- Cena způsobena velikostí stroje

Vhodné pro: drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

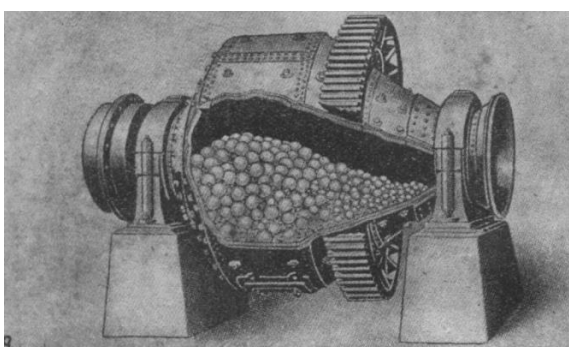
2.2.9 Kuličkový mlýn

Kuličkový neboli kulové mlýny jsou velmi používané a nenahraditelné mlýny. Dokáží rozdrtit vesměs vše co je alespoň trochu tvrdšího charakteru. Je vhodný pro mletí jak za sucha, tak za mokra.

Princip funkce je ten, že do bubnu je přiveden odpadní materiál dutým čepem. V bubnu již je dané množství kuliček o různé velikosti. Buben se otáčí a tím i kuličky, které pomocí gravitace naráží do odpadního materiálu, který při dopadu na něj rozlomí na menší části. Tento proces je říditelný pomocí rychlosti, velikosti, hmotností i tvarem kuliček a součinitelem zaplnění objemu bubnu. Všechny tyto parametry nám ovlivní výslednou velikost částic odpadního materiálu, který je požadován. Pokud by se kuličky dostali jen do

malé výšky v bubnu, rozemlely by jen obtížně a velmi malé množství materiálu. Proto je důležité zajistit, aby kuličky dosahovali co možná největší výšky, z které dopadají na odpadní materiál. Tento problém je možná ovlivnit rychlostí bubnu, nebo přivařením zarážek na buben, které vynesou kuličky výše. [4] [5]

Rozemletý materiál je dále odváděn dutým čepem na druhé straně bubnu. Tím je proces ukončen. Výhodou kuličkového neboli kulového mlýna je, že pracuje nepřetržitě, není třeba mlýn zastavovat, čistit ani měnit kuličky. Kuličky jsou vždy daleko tvrdší než odpadní materiál, takže mají dlouhou životnost a výsledný rozdrčený produkt je snadno odváděný tudíž, nedochází k zanášení. Navíc materiál se nemá na co navinout a není třeba odstraňování z daného rotoru. [4] [5]



Obr. 22. [XXXII]

Řez do kuličkového (kulového mlýna)



Obr. 23. [XXXIII]

Kuličkový (kulový) mlýn

Výhody:

- Mletí za sucha i mokra
- Rozemele téměř vše
- Není téměř třeba údržby
- Pracuje dlouhou dobu bez přerušení, tím je zaručená vysoká produktivita
- Regulovatelná velikost částic
- Velmi často používaný a oblíbená stroj

Nevýhody:

- Není zcela vhodný pro plasty, jako jsou folie atd.
- Hlučný
- Cenová náročnost při poškození

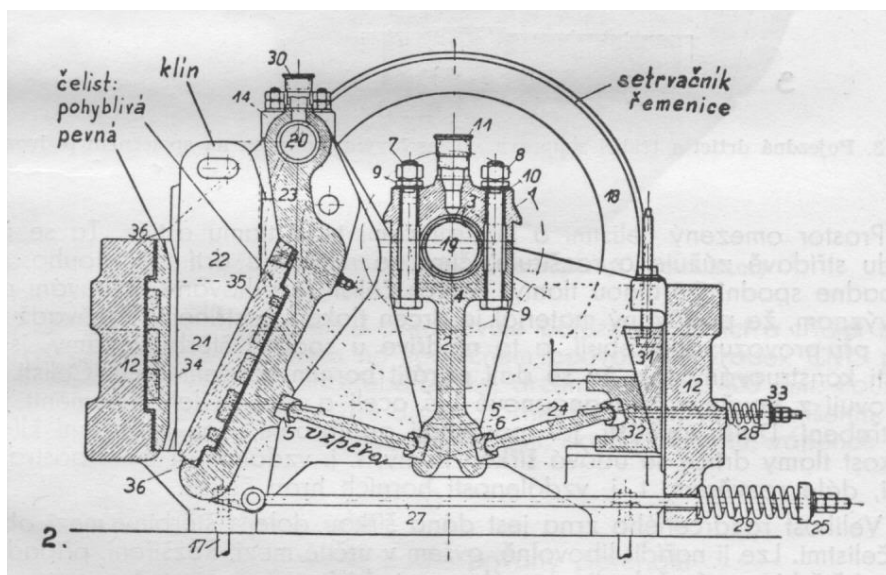
Vhodné pro: drcení a mletí.

2.2.10 Čelistový drtič

Čelistové drtiče se používají pro rychlé a jemné drcení odpadního materiálu. Nejvhodnějším je tvrdý až středně tvrdý, křehký ale i houževnatý materiál. Velkou výhodou je že rozemele prakticky každý druh materiálu. Považuje se za jeden z nejbezpečnějších drtičů.

Materiál se nasype do pracovní komory, kde je jedna čelist pevně uložena a nehýbá se. Druhá čelist je pohyblivá a upevněná na kyvadlu a vykonává pohyb vůči první uložené čelisti. Pohyb je vyvolán nepřímo pákovým mechanismem složený z několika částí (záleží na přesném modelu stroje). Právě mezi tyto čelisti propadá materiál, který je drcen. Při stlačování je materiál drcen a nepropadá, při oddalování částic se materiál gravitační silou posouvá směrem k odvodové štěrbině. Rozdíl mezi přitlačenou a uvolněnou čelistí může být až 50 mm, proto je důležité naprogramovat stroj, aby při zvětšené štěrbině nepropádal i nedrcený materiál. Musí se zohlednit tedy velikost i hmotnost materiálu. Někdy se upravuje i rýhování čelistí. Menší rýhování vyhovuje pro horniny, za to větší rýhování je vhodné pro méně tvrdý materiál, jako je třeba tvrzený plast. [4] [5]

Přestože i v tomto stroji můžeme drtit plast, není zcela vhodným a hlavně není komplexním strojem pro veškerý druh plastu, převážně pro folie, pryže atd.



Obr. 24. [XXXV]

Schéma čelistového drtiče



Obr. 25. [XXXVI]

Čelistový drtič

Výhody:

- Rozemele téměř vše
- Není téměř třeba údržby
- Produktivita
- Regulovatelná velikost částic
- Velmi často používaný

Nevýhody:

- Není zcela vhodný pro plasty, jako jsou folie, pryže atd.
- Nutné naprogramovat či regulovat šroubem velikost štěrbin při odchýlení čelisti
- Cenová náročnost při poškození čelisti

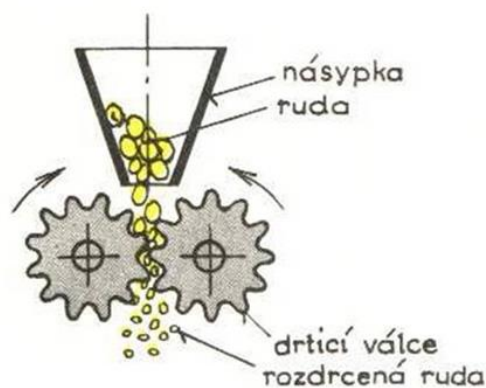
Vhodné pro: drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

2.2.11 Dvouválcový drtič

Válcových drtičů je velká škála, je mnoho typů a každý má nějakou výhodu a nevýhodu. Ale princip převážně zůstává stejný. Tento stroj je velmi oblíbený a hodně používaný.

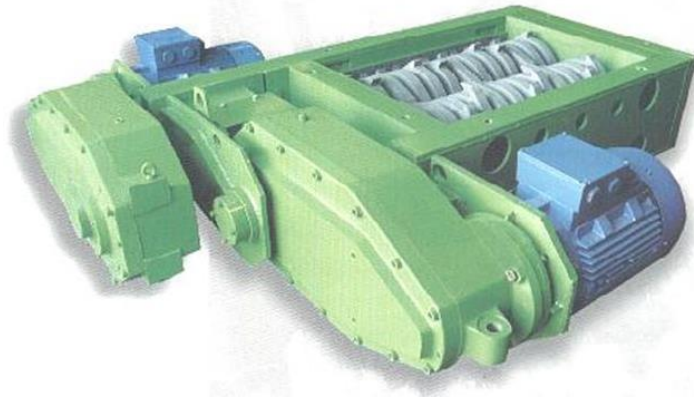
Jedná se o drcení kdy odpadní materiál je přiváděn mezi dva či více válců, které mohou být ozubené, hladké, přerušované, kladívkové, kde je materiál rozdrcen na malé kusy. Jedná se o velice rychlý a snadný proces. Nejběžnějším jsou dva válce, ale pro rozdrcení na menší velikost se používají dvě dvojice válců pod sebou, kde první rozdrtí materiál na menší kusy a druhá dvojice je k sobě blíže a má menší štěrbinu mezi sebou. Tím rozemele odpadní materiál již na požadovanou velikost částic. První dvojice bývá s menší rychlostí otáčení, aby došlo k částečnému nabalení materiálu na válec a druhý válec mohl materiál rozdrtit. Druhá dvojice je rychlejší, jelikož se již jedná o menší kusy, které se snadno rozdrtí. Někdy se u druhých válců již nejedná o drcení ale o mletí. Vše je ovlivněno velikostí štěrbin a rychlostí válců. [4] [5]

Dvouválcový drtič je vhodný téměř pro všechny materiály až na foliové, mikrotenové typy, u těch to materiálů dochází k častému nabalování na válce a tím k ničené stroje.



Obr. 26. [XXXVII]

Schéma dvouválcového drtiče



Obr. 27. . [X]

Dvouvalcový drtič

Výhody:

- Rozemele téměř vše až na velmi tenké a lehké části materiálu
- Velmi rychlé drcení
- Regulace velikosti částic
- Možné zapojení válců sériově
- Velmi používaný
- Vhodné pro pryže, pneumatiky

Nevýhody:

- Není zcela vhodný pro plasty, jako jsou folie
- Prostorově náročný
- Může dojít k zaseknutí materiálu mezi zuby válce a poškodit je

Vhodné pro: regranulaci, drcení a mletí, pyrolýzu, zplyňování, spalování.

2.3 Zhodnocení

Po drcení či mletí se provádí následovný proces na šnekových nebo hnětacích strojích, které materiál můžou jak posouvat směrem k dalším operacím tak hlavně zahřívají a míchají s dalšími příměsi, které jsou vhodné pro výsledný produkt.

Osobně pro výpočet volím nožový mlýn, jelikož rozemele každý druh odpadního plastu, ať už suchý či mokrý, větší kusy i menší podle nastavitelnosti ok v sítu, měkké materiály jako jsou folie, plachty ale i tvrdé jako jsou kryty od spotřebičů. Je velmi využívám a snadno dostupný, díky tomu je jeho pořizovací cena levnější, než stroje, které jsou pouze na jeden druh mletí či drcení. Zároveň je rychlý, produktivní a zároveň již nataví materiál, který se dále musí tavit nebo šnekem dále natavovat a přesouvat dále.

Nevýhodou je, že obsluha musí častěji čistit tento stroj a měnit manuálně síta podle velikosti, kterou požaduje zákazník.

NÁZEV	P E T	P E	P V C	P P	P M M A	VLASTNOSTI	ENERG. NÁRO- ČNOST	HODNO- CENÍ
NOŽOVÝ MLÝN	+	+	+	+	+	+ EFEKTIVNÍ, RYCHLÝ - ÚDRŽBA, MOŽNÉ ZANESENÍ SÍTA	5	5
TALÍŘO- VÝ NÁRAZ. MLÝN	+	-	+, 0	+	+	+ RYCHLOST, MLETÍ NA VELMI MALÉ ČÁSTICE -NUTNOST PŘEDCHOZÍHO STROJE	3	4
TALÍŘO- VÝ MLÝN	+	+, 0	+	-	-	+ REGULACE ČÁSTIC BĚHEM PROCESU -JEN MĚKKÉ MATERIÁLY	3	3
NOSOVÝ MLÝN	+	-	+	+	-	+ VELMI JEMNÉ ČÁSTICE -POTŘEBA PRIMÁRNÍHO ROZEMLETÍ	2	3
KOLÍKO- VÝ MLÝN	+	-	+	+	-	+ VÍCE ŘAD KOLÍKŮ - POTŘEBA PRIMÁRNÍ ROZEMLETÍ, JEN JEMNÉ MATERIÁLY	2	3
KŘÍŽOVÝ MLÝN	+	-	+	+	-	+ PROTICHŮDNÝ BOČNÍ TALÍŘ, VELIKOST ČÁSTIC - POTŘEBA PRIMÁRNÍ ROZEMLETÍ, JEN JEMNÉ MATERIÁLY	2	3

KOŠOVÝ MLÝN	-	-	-	0	0	+PROTICHŮDNÉ KOLÍKY, RŮZNÉ MATERIÁLY -NENÍ ZCELA VHO- DNÝ PRO PLASTY	4	1
KLADI- VOVÝ MLÝN	-	-	-	-	+	+ROZEMELE TVRDÉ MATERIÁLY -VHODNÝ JEN PRO TVRDÉ PLASTY	3	2
KULI- ČKOVÝ MLÝN	-	-	-	-	+	+MLETÍ ZA SUCHA I MOKRA, UNIVERZÁLNÍ, PRODUKCE -NENÍ VHODNÝ PRO MĚKKÉ PLASTY, HLUK	2	2
ČELIS- ŤOVÝ DRTIČ	-	-	-	-	+	+UNIVERZÁLNÍ, PRODUKTIVITA -JEN PRO TVRDÉ PLASTY, CENA	3	2
DVOU- VÁLCOVÝ DRTIČ	0	-	+	0	+	+UNIVERZÁLNÍ, RY- CHLOST, SERIOVÉ ZAPOJENÍ -NUTNOST PROSTORU, ZANESENÍ PŘI DRCENÍ FOLIÍ	3	4

+...je vhodný pro daný materiál
podmínek je vhodný

-...není vhodný pro daný materiál

0...zadaných

čím vyšší číslo u energ. náročnosti a hodnocení tím lepší a vhodnější

Tab. 2.

Přehledná tabulka mlýnů a drtičů

3 Návrh základních parametrů nožového mlýna

V poslední části své bakalářské práce, se pokusím využít znalostí, které jsem získal během psaní své práce. Jedná se o návrh výpočtu pro energetickou náročnost mlýna neboli výpočet potřebného příkonu na mletí. V předchozích kapitolách jsem popsal a zvolil nejvhodnější metodu a nejvhodnější mlýn, kde z těchto parametrů budu vycházet. Tedy volím proces regranulaci a typ mlýna nožový.

Materiál, který budu drtit, volím PET láhve. Volím je z toho důvodu, jelikož jsou jak v České republice, tak ve světě hodně používané, mají ideální tvrdost, houževnatost, snadno se rozemelou na nožovém mlýnu a hlavně tento odpadní produkt, je často používaný jako recyklační příměs do nových produktů.

Dále potřebuji zvolit výkonost mlýnu. Jedná se o hodnotu hmotnosti, kterou mlýn bude drtit za hodinu nebo den. Po přečtení skript a konzultaci s vedoucím bakalářské práce jsem se rozhodl volit 1 tunu na den. Jelikož PET lahve jsou velice lehké, je potřeba velké množství PET lahví. Proto tuto hodnotu udávám na den a ne na hodinu.

Souhrn:

Proces	Regranulace
Mlýn	Nožový
Druh odpadního materiálu	PET lahve
Výkonost	1 t/den
Příkon potřebný na mletí	?

Tab. 3.

Tabulka zadaných typů

3.1 Energetická náročnost rozpojování

„Určení energie potřebné pro rozpojování vychází z předpokladu, že změna měrné energie potřebná pro rozpojování je nepřímo úměrná D^r , tedy lze psát“ [4]

$$-\frac{de}{dD} = CD^{-r} \quad (3.1.)$$

Hodnota r se volí podle hodnot, které jsou v tabulkách

- 1) Podle Rittingera, kde $r = 2$, jedná se o částice o velikosti $D < 0,5$ mm
- 2) Podle Bonda, kde $r = 1,5$, jedná se o částice o velikosti $0,5$ mm $< D < 50$ mm
- 3) Podle Kicka, kde $r = 1$, jedná se o částice o velikosti $D > 50$ mm [4]

Integrací získáme rovnici

$$1) e = - \int_{D_1}^{D_2} C_R D^{-2} dD = C_R \left[\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right] \quad (3.2.)$$

$$2) e = - \int_{D_1}^{D_2} C_B D^{-1,5} dD = 2C_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right] \quad (3.3.)$$

$$3) e = - \int_{D_1}^{D_2} C_K D^{-1} dD = C_K \ln \frac{D_1}{D_2} \quad (3.4.)$$

Pro svůj výpočet volím výslednou velikost částic 5 mm, počáteční velikost 80 mm, tudíž budu se řídit výpočtem podle Bonda, kde $r = 1,5$. Velikost částic 5 mm by měla zaručit dostatečně malou velikost částic, pro následný proces na výrobu regranulátu. Následný proces tyto částice zahřeje, roztaví na taveninu, do které se přidají aditiva. Tedy rozemletí na 5 mm částice, stačí na následný proces a dalo by se říci, že mletí je pouze mezikrokem výsledného produktu. Dále musím získat konstantu C_B . Konstanta C_B závisí na vlastnostech materiálu, je experimentálně stanovena a lze ji nalézt v literatuře, např.: Hydromechanické procesy II. Tuto konstantu jsem bohužel nenašel. S vedoucím bakalářské práce jsme se dohodli na hodnotě $C_B = 350 \text{ Ws} \cdot \text{m}^{0,5} \cdot \text{kg}^{-1}$. Odhad vycházel ze zjištění hustoty PET lahví a následného porovnání s jinými materiály přibližné hustoty a zprůměrováním jejich hodnot C_B .

Vzhledem k tomu, že ve firmách je provoz na dvě směny, uvažujeme-li dvousměnný provoz po 8 hodinách, je třeba změnit výkonost z 1t/den na 1t za 16 hodin.

Výpočet příkonu potřebného k mletí PET lahví z velikosti 80 mm na 5 mm, při požadované výkonosti mlýnu 1 t/den:

Proces	Regranulace
Mlýn	Nožový
Druh odpadního materiálu	PET lahve
Výkonost	1 t/16 hod.
D_1	80 mm
D_2	5 mm
C_B	$350 \text{ Ws} \cdot \text{m}^{0,5} \cdot \text{kg}^{-1}$
Hustota	1380 kg/m^3
Energie potřebná na mletí	?
Příkon potřebný na mletí	?

Tab. 4.

Tabulka zadaných hodnot pro výpočet příkonu

Výpočet energie

$$e = 2C_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right] \quad (3.5.)$$

Dosazením do rovnice získáme

$$e = 2 \cdot 350 \left[\frac{1}{\sqrt{5 \cdot 10^{-3}}} - \frac{1}{\sqrt{8 \cdot 10^{-2}}} \right] = 7425 \text{ J} \quad (3.6.)$$

Výpočet příkonu

$$P = e\dot{m} \quad (3.7.)$$

Dosazením do rovnice získáme

$$P = 2C_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right] \cdot \dot{m} = 2 \cdot 350 \left[\frac{1}{\sqrt{5 \cdot 10^{-3}}} - \frac{1}{\sqrt{8 \cdot 10^{-2}}} \right] \cdot \frac{10^3}{57600} = 129 \text{ W} \quad (3.8.)$$

3.2 Zhodnocení výpočtu příkonu

Po stanovení hodnot a konstant, jsem použil vzorce ze skript, pro výpočet potřebného výkonu na mletí v nožovém mlýnu. Nejprve jsem stanovil energii potřebnou na mletí $e = 7425 \text{ J}$ a následně jsem vypočetl výsledný příkon $P = 129 \text{ W}$. Tato hodnota není vysoká, jelikož PET materiál nemá velkou houževnatost při mletí. Zároveň vlivem malé hmotnosti PET lahví a zároveň celkem velkému objemu, je požadovaná hmotnost za 16 hodin, po 8 hodinách na dvě pracovní směny. I tento faktor hodně ovlivňuje výsledný příkon.

Výsledný příkon je jen zhruba 10% z celkového příkonu na nožový mlýn. Těchto 10% se uvádí, že je potřeba pouze na dezintegraci (rozemletí) odpadního PET materiálu. Velké množství připadá na ztráty. Z tohoto důvodu volím pohon nožového mlýnu alespoň s příkonem 1,5 kW.

Proces	Regranulace
Mlýn	Nožový
Druh odpadního materiálu	PET lahve
Výkonost	1 t/16 hod.
D ₁	80 mm
D ₂	5 mm
C _B	350 W·s·m ^{0,5} ·kg ⁻¹
Hustota	1380 kg/m ³
Energie potřebná na mletí	7425 J
Příkon potřebný na mletí	129 W

Tab. 5.

Tabulka s vypočteným příkonem

3.3 Výpočet otáček

Výpočet otáček z obvodové rychlosti vychází ze vztahu

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (3.9.)$$

Hodnota D je průměr rotoru, který volím 400 mm. Tato hodnota je dostačující pro mletí PET lahví o průměru 80 mm na 5 mm. Obvodovou rychlost volím $v = 76 \div 117$ m/s a to z odhadu provedenou s vedoucím práce. Pro výpočet volím $v = 90$ m/s.

Proces	Regranulace
Mlýn	Nožový
Druh odpadního materiálu	PET lahve
Výkonost	1 t/16 hod.
D ₁	80 mm
D ₂	5 mm
C _B	350 W·s·m ^{0,5} ·kg ⁻¹
Hustota	1380 kg/m ³
Energie potřebná na mletí	7425 J
Příkon potřebný na mletí	129 W
D rotoru	400 mm
v	90 m/s
Počet otáček	?

Tab. 6.

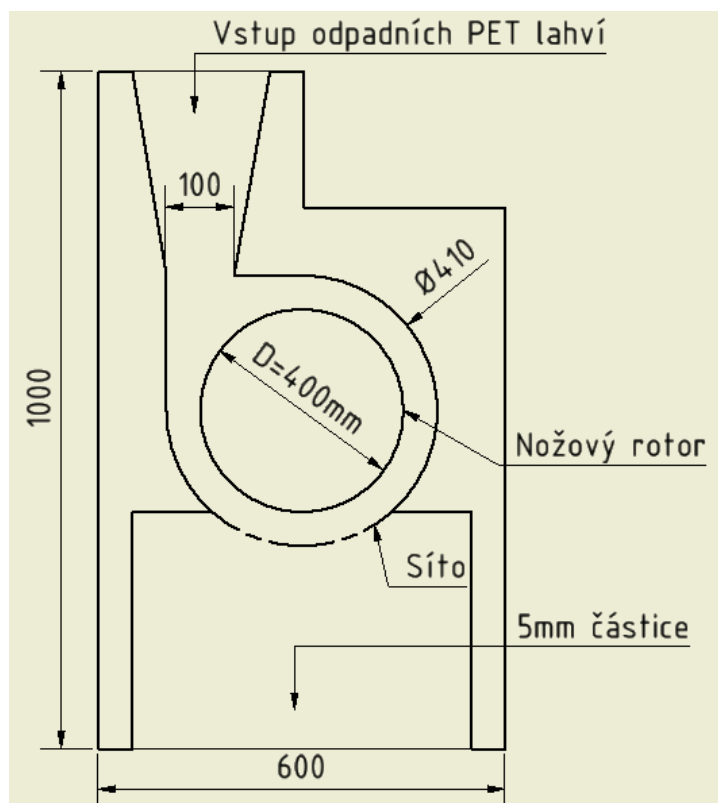
Tabulka zadaných hodnot pro výpočet obvodové rychlosti

Dosazením do rovnice získáme

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{90 \cdot 60}{\pi \cdot 0,4} \cong 4300 \text{ ot/min} \quad (3.10.)$$

3.4 Zhodnocení výpočtu otáček

Po dosazení hodnot do rovnice, výsledné otáčky jsou $n = 4300 \text{ ot/min}$. Zvolená obvodová rychlost a vypočtené otáčky jsou vyhovující pro mletí PET lahví o průměru 80 mm na 5 mm.



Obr. 28.

Schéma na výpočet navrhovaného nožového mlýna

Proces	Regranulace
Mlýn	Nožový
Druh odpadního materiálu	PET lahve
Výkonost	1 t/16 hod.
D_1	80 mm
D_2	5 mm
C_B	$350 \text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{0,5}\cdot\text{kg}^{-1}$
Hustota	1380 kg/m^3
Energie potřebná na mletí	7425 J
Příkon potřebný na mletí	129 W
D rotoru	400 mm
v	90 m/s
Počet otáček	4300 ot/min

Tab. 7.

Tabulka s vypočtenou obvodovou rychlostí

Nožový mlýn, podle schéma není třeba chladit. Zahřívání při příkonu $P=1,5\text{kW}$, obvodové rychlosti $v = 90 \text{ m/s}$ a otáčkách 4300 ot/min není vysoké a zároveň velká část tepla se odvede konvekcí a v rozemletých částech.

Závěr

Účelem mé bakalářské práce bylo převážně, seznámit se s technologiemi recyklací plastů a znovu využití materiálu. Dozvěděl jsem se o nových technologiích, jak znovu využít plasty v průmyslu, ale i k běžnému životu. Nejvíc mě překvapily dvě technologie, a to, textilní recyklace a biotechnologické postupy. Textilní recyklace je založena na rozdrčení plastů na malé kousky (vlákénka) a pomocí dané technologie se využijí jako vlákna do textilního průmyslu. V dnešní době se používají převážně pro dresy hráčů, nebo do izolací, ale i v automobilovém průmyslu. Biologické postupy jsou velkou novinkou v průmyslu ale i postupně na trhu. Jedná se o bakterie, které požírají lidský odpad, převážně tuky. Tím že požírají tuky, vytváří látku, která je velmi podobná plastům, jedná se o takzvané bioplasty, které mají ne jen velmi podobnou strukturu která je vidět běžným okem, ale i podobné mechanické vlastnosti. Jelikož tato technologie je velmi mladá, je otázkou zda se v běžných technologiích v průmyslu bude plně využívat. Rozhodovat budou určité náklady na výrobu bioplastů, délka doby po kterou bakterie budou žít nebo produkovat látku ze které vzniká bioplast. U dalších technologií jsem si převážně prohloubil znalosti.

V druhé části jsem se zaměřil na volbu drtičů a mlýnů, které by bylo vhodné použít pro komplexní drcení plastového odpadního materiálu. Po prostudování a zjištění výhod a nevýhod jednotlivých strojů jsem dospěl k závěru, že nejefektivnějším a zároveň nejkompexnějším mlýnem je nožový mlýn. Dokáže rozemlít jak tvrzené druhy plastů, tak i jemné folie a mikroténové sáčky, aniž by docházelo k nabalování na rotor. Zároveň je regulovatelný pomocí více druhů a velikostí síťky, skrze které propadávají již namleté částice.

V třetí části své bakalářské práce jsem se zaměřil na jednu konkrétní metodu (technologie) zpracování odpadních plastů a znovuvyužití. S vedoucím bakalářské práce jsme se dohodli, že technologie, kterou se budu zabývat je regranulace, na kterou provedu reálný výpočet. Jedná se o metodu, kde odpadní materiál je rozdrčen na velmi malé kousky, které jsou dále upraveny tepelně. Během tepelného procesu se dají přidávat různá barviva, která ovlivní vzhled dále vyráběného produktu. Velmi důležité u regranulace je po tepelném procesu, odplynění, aby nevznikali bublinky v granulátu a následně nezneškodily mechanické vlastnosti plastů. Granulují se materiály i podle míry vlhkosti drceného materiálu, ale převážně se preferují vysušené odpadní materiály, jelikož se lépe drtí a nenabalují se na stroje, které je drtí.

Výpočet je zaměřený na potřebný příkon pro rozemletí jedné tuny odpadních PET lahví, za 16 hodin v nožovém mlýnu. Velikost vstupního materiálu je 80 mm a je třeba ji rozemlít na velikost částic 5 mm. Pomocí tabulek jsem zjistil konstantu C_B , nutnou pro výpočet podle Bonda, který udává, že horní index r ve výpočtu podle zvolené velikosti výsledných částic odpadního materiálu, je hodnota $r = 1,5$. Následným výpočtem jsem vypočetl, potřebný příkon pro rozemletí PET lahví, který činí $P=129$ W. Tato hodnota není vysoká, jelikož PET materiál nemá velkou houževnatost při mletí. Zároveň vlivem malé hmotnosti PET lahví a zároveň celkem velkému objemu, je požadovaná hmotnost za 16 hodin, po 8 hodinách na dvě pracovní směny. I tento faktor hodně ovlivňuje výsledný příkon.

Výsledný příkon je jen zhruba 10% z celkového příkonu na nožový mlýn. Těchto 10% se uvádí, že je potřeba pouze na dezintegraci (rozemletí) odpadního PET materiálu. Velké množství připadá na ztráty. Z tohoto důvodu volím pohon nožového mlýnu s příkonem 1,5 kW, obvodovou rychlostí $v = 90$ m/s, otáčkách $n = 4300$ ot/min pro průměr rotoru 400 mm.

Osobně se myslí, že regranulace je prozatím jednou z nejlepších technologií jak znovu využít odpadních plastů, jelikož se využije velké množství odpadu a navíc je možné granulát použít na velkou škálu nových produktů. Zároveň si myslím, že biotechnologické postupy jsou technologií budoucnosti. Bohužel, zatím je technologie na začátku svého vývoje a je velmi nákladná.

Seznam symbolů

C	konstanta pro výpočet energetické náročnosti rozpojování	$[\text{Ws}\cdot\text{m}^{0.5}\cdot\text{kg}^{-1}]$
C_B	konstanta podle Bonda	$[\text{Ws}\cdot\text{m}^{0.5}\cdot\text{kg}^{-1}]$
C_K	konstanta podle Kicka	$[\text{Ws}\cdot\text{m}^{0.5}\cdot\text{kg}^{-1}]$
C_R	konstanta podle Rittingera	$[\text{Ws}\cdot\text{m}^{0.5}\cdot\text{kg}^{-1}]$
D	průměr	[mm]
e	měrná energie	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}]$
n	frekvence otáčení	$[\text{s}^{-1}]$
\dot{m}	výkonost	[t/hod]
P	příkon	[W]
v	obvodová rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
r	horní index, konstanta	

Zdroje

Literatura

- [1] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01507-6.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [3] ŠŤASTNÁ, Jarmila. *Kam s nimi: jak správně třídit odpady a všechno, co s tím souvisí : s průvodkyní Martinou Vrbovou*. Praha: Česká televize, 2007. Edice České televize. ISBN 978-80-85005-72-1.
- [4] DINTER, Oskar. *Drcení a mletí nerostných surovin*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [5] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03302-3.
- [6] LOWRISON, George Charles. *Crushing and grinding: the size reduction of solid materials*. London: Butterworths, 1974. ISBN 0408705744
- ORK. Recyklace plastů je úkolem oběhového hospodářství. *Odpady*. 2014, **24**(10), 25-26. ISSN 1210-4922.
- GALLAGHER, John, Patrick YANAHAN a Jacky CHENG. Jak rozumět současným trendům v recyklaci plastů. *Plasty a kaučuk*. 0710, **44**(9), 260-261. ISSN 0322-7340.
- BUBENÍČEK, Alex. Drtit nebo lisovat plasty? *Odpady*. 2012, **22**(9), 14. ISSN 1210-4922.
- STARÝ, Zdeněk. *Recyklace smíšeného plastového odpadu: Recycling of commingled plastic waste*. 2006.
- TUPÝ, Michael, Josef ZVONÍČEK a Dagmar MĚŘÍNSKÁ. Problematika recyklace PVB fólie určené pro bezpečnostní skla. *Plasty a kaučuk*. 2008, **45**(7), 208-211. ISSN 0322-7340.
- EHRIG, R. J. *Plastics recycling: Products and processes*. Munich: Hanser Publishers, 1992.
- Plastic recycling systems*. Ansfelden: EREMA Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH, 2002.

Přednáška

Přednášky Ing. Krátký Lukáš, Ph.D. Process Engineering 2016 v Po 17:45

Internetové zdroje

[I] Plasty. *Https://publi.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<https://publi.cz/books/180/04.html>

[II] Využití plastových odpadů. *Http://stavba.tzb-info.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21].

Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/11996-aktualni-udaje-o-plastech-a-vyuziti-plastovych-odpadu>

[III] Využití plastů. *Https://is.mendelu.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/2062/Knihovna%20k%20projektu/Recykla%C0n%DD%20technologie.pdf>

[IV] Recyklace plastů. *Https://otik.uk.zcu.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2707/DP_Menclova.pdf?sequence=1

[V] Materiálová recyklace. *Http://www.enviweb.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné

z: <http://www.enviweb.cz/clanek/recykl/88360/moznosti-recyklace-plastu>

[VI] Regranulace. *Https://publi.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<https://publi.cz/books/183/19.html>

[VII] Rozdělení plastů. *Http://m.mmspektrum.com/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<http://m.mmspektrum.com/clanek/problematika-vstrikovani-recyklovanych-termoplastu>

[VIII] Aglomerace. *Http://www.sekon.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<http://www.sekon.cz/zpracovani-odpadu01.html>

[IX] Obrázek foliové hromady. *Http://www.derter.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné

z: <http://www.derter.cz/o-nas/4-prumyslove-a-ostatni-odpadni-plasty>

[X] Obrázek dvouválcového drtiče. *Http://slideplayer.cz* [online]. [cit. 2017-01-21].

Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/5874309/>

[XI] Textilní odpad. *Http://www.ecoservis.eu* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z:

<http://www.ecoservis.eu/recyklace-stareho-textilu>

[XII] Obrázek textilní odpad. *Http://www.ecoservis.eu* [online]. [cit. 2017-01-21].

Dostupné z: <http://www.ecoservis.eu/recyklace-stareho-textilu/textilni-recyklac>

- [XIII] Depolymerizace. *Http://www.lbgmoravia.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.lbgmoravia.cz/?page=depolymerizace-plastu>
- [XIV] Pyrolýza. *Http://www.enviweb.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/94618/pyrolyza-odpadu-moderni-zpusob-jejich-zneskodneni>
- [XV] Obrázek pyrolýzy. *Http://oenergetice.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/>
- [XVI] Zplyňování. *Http://vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [XVII] Pyrolýza. *Http://www.strobo.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.strobo.cz/img/down_soubor1091.pdf
- [XVIII] Bioplast. *Http://www.chempoint.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/ekologicky-setrne-plasty-vyrabene-z-odpadu>
- [XIX] Spalování. *Http://www.veronica.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.veronica.cz/otazky?i=261>
- [XX] Spalování. *Http://ekolist.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/spalovani-plastu-lze-ziskat-konkretni-udaje>
- [XXI] Spalování. *Http://www.olbramkostel.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.olbramkostel.cz/jake-skodliviny-vznikaji-palenim-komunalniho-odpadu-predevsim-plastu-v-domacich-kamnech-a-kotlich/d-1395/p1=67>
- [XXII] Obrázek spalování. *Http://docplayer.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1266592-Projekt-evvo-stredni-skoly-technicke-a-zemedelske-mohelnice-kam-s-odpady-stredni-skola-technicka-a-zemedelska-mohelnice-1-maje-2-789-85-mohelnice.html>
- [XXIII] Drcení a mletí. *Http://www.ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm
- [XXIV] Sypná hmotnost definice. *Https://www.hgf.vsb.cz/cs/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/kamenivo.html>

[XXV] Obrázek nožového mlýna. *Http://www.kubousek.cz/cz.html* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/cz/divize-periferie/rapid/nozove-mlyny/nozove-mlyny-rada-600.html>

[XXVI] Obrázek talířový nárazový mlýn. *Http://www.perryczech.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.perryczech.cz/nabidka-stroj-a-technologie/40-odstedivky-taliove/268-taliova-odstedivka-nagema.html#>

[XXVII] Obrázky mlýnů. In: *Http://www.utb.cz/* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/36171>

[XXVIII] Obrázek kolíkový mlýn. *Http://stroje.slovenskainzercia.sk/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://stroje.slovenskainzercia.sk/potravinarske-stroje/inzerat/1388031-mlyn-na-sypke-a-praskove-hmoty-ponuka-bratislava-iii/>

[XXIX] Schéma kladivový mlýn. *Http://www.hornictvi.info/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_uhli/01.htm

[XXX] Obrázek kladivový mlýn. *Http://idoc.vsb.cz/xwiki/wiki/infra/view/servery/homen* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~r1e60/FOTKY/drceni4.jpg>

[XXXI] Podrobné schéma kladivového mlýna. *Http://web.hammermills.com/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://web.hammermills.com/download-the-how-does-a-hammer-mill-work-factsheet>

[XXXII] Pohled do kuličkového mlýna. *Http://www.hornictvi.info/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_rudy/03.htm

[XXXIII] Obrázek kuličkového mlýna. *Http://b2b.bridgat.com/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://b2b.bridgat.com/cs/index.php?page=images&id=68802&f=http%3A%2F%2Fb2bimg.bridgat.com%2Ffiles%2Fball_mill_cement_mill_1.jpg

[XXXIV] Kryomletí. *Http://www.chemicke-listy.cz/cz/index.html* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_01_21-26.pdf

[XXXV] Schéma čelistového drtiče. *Http://www.hornictvi.info/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://www.hornictvi.info/prirucka/up_rudy/01.htm

[XXXVI] Obrázek čelistový drtič. *Http://bagry.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: http://bagry.cz/cze/clanky/vystavy/co_zajimaveho_prinesl_veletrh_expo_mokra_2012_zajemcum_o_stavebni_a_tezebni_stroje/celestovy_drtic_resta_dcj_900x600

[XXXVII] Schéma dvouálcový drtič. *Http://www.strojirenstvi.wz.cz/* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: *http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/01zelezo.php*

Obrázky

Obr. 1. regranulační linka

Obr. 2. Hromada foliového odpadu

Obr. 3. Drtič odpadu (mletí odpadu)

Obr. 4. Textilní recyklát

Obr. 5. Pyrolýza – proces přeměny odpadu na výsledný produkt

Obr. 6. Zplyňovací proces

Obr. 7. Proces spalování plastů

Obr. 8. Schéma nožového mlýna

Obr. 9. Nožový mlýn

Obr. 10. Schéma talířového nárazového mlýna

Obr. 11. Talířový nárazový mlýn

Obr. 12. Schéma talířového mlýna

Obr. 13. Schéma nosového mlýna

Obr. 14. Schéma kolíkového mlýna

Obr. 15. Kolíkový mlýn

Obr. 16. Schéma křížového mlýna

Obr. 17. Křížový mlýn

Obr. 18. Schéma košového mlýna

Obr. 19. Schéma kladivového mlýna

Obr. 20. Podrobnější schéma kladivového mlýna

Obr. 21. Kladivový mlýn

Obr. 22. Řez do kuličkového (kulového mlýna)

Obr. 23. Kuličkový (kulový) mlýn

Obr. 24. Schéma čelistového drtiče

Obr. 25. Čelistový drtič

Obr. 26. Schéma dvouválcového drtiče

Obr. 27. Dvouválcový drtič

Obr. 28. Schéma na výpočet navrhovaného nožového mlýna

Tabulky

Tab. 1. Přehledná tabulka technologií

Tab. 2. Přehledná tabulka mlýnů a drtičů

Tab. 3. Tabulka zadaných typů

Tab. 4. Tabulka zadaných hodnot pro výpočet příkonu

Tab. 5. Tabulka s vypočteným příkonem

Tab. 6. Tabulka zadaných hodnot pro výpočet obvodové rychlosti

Tab. 7. Tabulka s vypočtenou obvodovou rychlostí

Vzorce a rovnice

(1.1.) Vzorec určení energie potřebné pro rozpojování

(1.2.) Vzorec pro integrační výpočet energie podle Rittingera

(1.3.) Vzorec pro integrační výpočet energie podle Bonda

(1.4.) Vzorec pro integrační výpočet energie podle Kicka

(1.5.) Vzorec pro výpočet příkonu

(1.6.) Rovnice pro výpočet příkonu s dosazenými čísly

(1.7.) Vzorec pro výpočet obvodové rychlosti

(1.8.) Rovnice pro výpočet obvodové rychlosti s dosazenými čísly

Seznam příloh

CD s kompletní bakalářskou prací