



Bakalářská práce

Zařízení na drcení skelného nosiče pro 3D extruzi

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Dominik Fanta

Vedoucí práce:

Ing. Michal Starý, Ph.D.

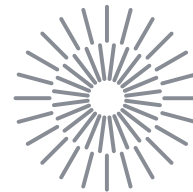
Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce:

doc. Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Zařízení na drcení skelného nosiče pro 3D extruzi

<i>Jméno a příjmení:</i>	Dominik Fanta
<i>Osobní číslo:</i>	S20000024
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra sklářských strojů a robotiky
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

Jedním z moderních trendů zpracování skla je 3D tisk. Tato inovativní technologie klade specifické požadavky na vhodnou přípravu vstupní suroviny, která je s výhodou tvořena recyklovaným sklem. Příprava skelného nosiče o požadované granulometrii vyžaduje několik kroků, od hrubého nadrcení po jemné mletí. Cílem bakalářské práce je návrh konstrukčního řešení jednoduchého zařízení pro hrubé drcení skelného recyklátu, který může být např. v podobě lahví, skla float nebo borosilikátových lahvíček.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Provést zevrubnou rešerši v oblasti technologie drcení s důrazem na sklo.
2. Ve variantách realizovat návrh koncepce mechaniky a systému pohonu zařízení pro hrubé drcení skla.
3. Zpracovat 3D model zařízení pro hrubé drcení skelného recyklátu, vč. základní výkresové dokumentace.
4. Zhodnotit přínos předloženého řešení včetně ekonomického zhodnocení.

Rozsah grafických prací: výkresová dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30 – 40 stran textu
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. BELDA, Jaroslav. *Sklářské a keramické stroje*. Sv. 1. 2. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1994.
2. HOTAŘ V., V. KLEBSA a I. MATOUŠEK. *Technologie automatické výroby skla*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 318 s.
3. Podklady na internetu (text, obrázky, videa), např.:
<http://www.odes.cz/drceni-odpadu/specialni-drtice>
<https://vvmmost.cz/drtice-skla/>
<https://produkty.xertec.cz/zpracovani-odpadu/automaticke-lisy/124-macfab-glass-crusher>

Vedoucí práce: Ing. Michal Starý, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant práce: doc. Ing. Marcel Horák, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky

Datum zadání práce: 4. listopadu 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 4. května 2024

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 4. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalovi Starému, Ph.D. za jeho rady, připomínky, ochotu a nemalou trpělivost, kterou se mnou měl. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu a nakonec, ač lehce sebestředně, i sobě za to, že jsem celé studium vydržel.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	10
1 Úvod.....	11
2 Teoretická část	12
2.1 Drcení skla a jeho využití.....	12
2.1.1 Recyklace skla	12
2.1.2 Drcení skla	13
2.1.3 3D tisk skla	14
2.2 Rešerše drtičů nerostných surovin	15
2.2.1 Čelist'ové drtiče.....	16
2.2.2 Kuželové drtiče	19
2.2.3 Válcové drtiče	23
2.2.4 Kladivové drtiče.....	26
2.2.5 Odrazové a metací drtiče	28
2.2.6 Nožové drtiče	30
2.2.7 Bubnové drtiče.....	31
2.3 Vstupní a výstupní parametry	31
2.4 Rozhodovací analýza	33
3 Praktická část	34
3.1 Rotor.....	34
3.1.1 Hlavní hřídel	35
3.1.2 Kladivo.....	36
3.1.3 Deska	37
3.1.4 Čepy.....	39
3.2 Násypka.....	40
3.2.1 Svařenec.....	41

3.2.2	Poklop	42
3.2.3	Klapka a její ovládání	42
3.3	Podstava	43
3.4	Drtič.....	44
3.4.1	Pohon drtiče	45
3.4.2	Síto	47
3.4.3	Spodní díl těla drtiče	47
3.4.4	Vrchní díl těla drtiče	48
3.4.5	Uložení rotoru	48
4	Technické a ekonomické zhodnocení	49
5	Závěr	52
	Zdroje.....	53
	Seznam příloh	56

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Název/vysvětlení	Použité jednotky
D	průměr	[m]
F_M	síla od momentu	[N]
M_k	kroučící moment	[Nm]
O	odstředivá síla	[N]
P	výkon	[W]
$S_{\check{c}}$	plocha čepu	[mm ²]
S_v	funkční plocha výstupků	[mm ²]
SPS I	Stavba a provoz strojů I – Kříž	-
ST	Strojnické tabulky – Leinveber, Vávra	-
a	skutečná osová vzdálenost	[mm]
a_0	předběžná osová vzdálenost	[mm]
b_d	šířka desky	[mm]
b_k	šířka kladiv	[mm]
$d_{\check{c}}$	průměr čepu	[mm]
d_d	průměr dna drážky pro výstupky	[m]
d_p	výpočtový průměr řemenic	[mm]
e	excentricita těžiště	[m]
h_d	výška boku drážky	[mm]
i_d	počet desek	[-]
i_{dr}	počet drážek	[-]
l_0	přibližná délka řemene	[mm]
l_p	výpočtová délka řemene	[mm]
m	hmotnost	[kg]
n	otáčky za minutu	[ot/min]
p_d	tlak na čep od desek	[MPa]
p_{Dot}	dovolený tlak na otačení	[MPa]
p_{DOV}	dovolený tlak	[MPa]
p_k	tlak na čep od kladiva	[MPa]
p_v	tlak na výstupky	[MPa]
v_o	obvodová rychlost	[m/s]
τ	smykové napětí	[MPa]
τ_{DOV}	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]

1 Úvod

Téma bakalářské práce pochází z Katedry sklářských strojů a robotiky (KSR) na Technické univerzitě v Liberci. Cílem bakalářské práce je návrh drtiče skla pro laboratorní využití.

S neustálým pokrokem ve strojírenství přicházejí i nové technologie. Mezi ně se řadí aditivní technologie, také známé pod pojmem 3D tisk. Využívají se zde různé materiály jako plasty, kovy, keramika a i sklo. 3D tisk skla je sice poměrně komplikovaná problematika, ale již existují týmy po celém světě, které se tím zabývají a dosahují pokroku v tomto odvětví. Mezi dnešní známé způsoby 3D tisku skla patří slepování tenkých vrstviček skla, extruze roztaveného skla tiskovou hlavou, fotopolymerizace polymeru, který obsahuje keramické či skelné mikročástice a laserové natavování skelného prášku. Právě výzkumem 3D tisku skla se zabývá také laboratoř KSR.

Pro zmíněnou technologii je důležitý přísun velmi malých částic skla. Ty se získávají recyklací skla a následným rozdrčením a rozemletím na požadovanou velikost. Na drcení recyklovaného skla se využívají drtiče. Drtiče nerostných surovin jsou stroje využívané v průmyslu v různých odvětvích. Slouží k drcení materiálu na menší kousky a v určitých případech i na prach. Vstupní surovinou do drtičů mohou být různé druhy hornin, jako například uhlí a vápenec, kovové rudy, biomasa, ale i recyklované suroviny, jako právě sklo. V dnešní době je používáno mnoho typů drtičů, které se od sebe liší velikostí, výkonem, provedením a způsobem drcení. Drtiče jsou nedílnou součástí výrobních řetězců a recyklačních linek umožňující zpracování a další využití surovin v průmyslu. Drtiče se také podílejí na snižování množství objemu odpadu a snižování dopadů těžby na životní prostředí.

Navržený drtič by měl být pro laboratorní účely KSR, pokud možno, jednostupňový a měl by mít menší rozměry. Primárně by se využíval na drcení střepů a jejich zdrobňování a ty by pak dále šly do mlýnku a byly by rozemlety na jemné částice a prach. Jemné částice požadované velikosti by se dále využívaly při výzkumu 3D tisku ze skla, kde by byly sintrovány laserem, nebo by byly použity k robocastingu apod.

Dvě hlavní části práce, na které je členěna, jsou teoretická a praktická část. V teoretické části bude nastíněn 3D tisk skla, drcení skla a různé typy drtičů využívaných v průmyslu k drcení surovin. Praktická část se bude týkat samotného návrhu a konstrukce drtiče skla.

2 Teoretická část

Začátek teoretické části se zabývá úvodem do problematiky drcení skla a jeho využitím. Následuje rešerše drtičů, které se používají v průmyslu při drcení nerostných surovin a různých odpadů. Na konci jsou uvedeny vstupní a výstupní parametry, jaké by měly být navrhovaným drtičem splněny a samotná rozhodovací analýza, která rozhodne o volbě typu drtiče, který se bude navrhovat.

2.1 Drcení skla a jeho využití

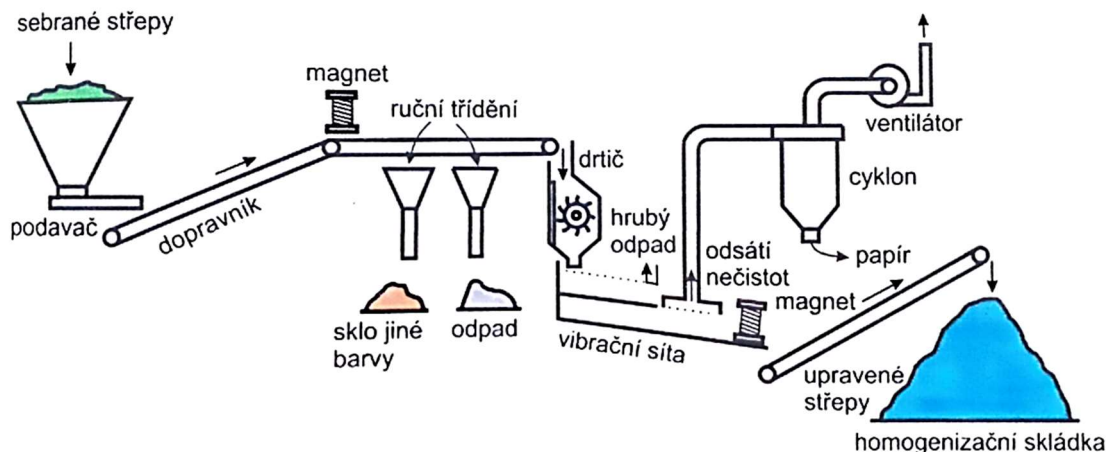
Pro opakované využívání skla je nejdříve nutné sklo recyklovat. Dále se recyklované sklo musí upravit. Tím se rozumí čištění, třídění a také drcení. Sklo se drtí z důvodu lepšího skladování, přepravy, a hlavně z důvodu přípravy recyklovaného skla na další využití. Využívat se může například do vsázky pro výrobu nového skla a také jako vstupní surovina do mlýnů, které sklo umelou na prášek. Ten se dá využít například při 3D tisku skla.

2.1.1 Recyklace skla

Využívání recyklovaného skla ve výrobě je z ekonomických důvodů velmi výhodné. Recyklované sklo může být buď vlastní, jako technologický odpad a vadné výrobky, nebo cizí, získané sběrem či výkupem. Technologický odpad a své vlastní výrobky, které jsou buď vadné nebo se neprodaly, využívají prakticky všechny sklárny, protože se jedná o tentýž materiál, co sklárny taví a používají a znají jeho složení. Naopak u skla získaného sběrem se jeho přesné složení nezná, a tak se využívá jen na obalové sklo, skelná vlákna a výrobky, kde malé rozdíly ve složení nevadí [1].

Moderní linky na úpravu střepů (Obr. 1) sestávají z [1]:

- Dopravníků
- Třidičů/separátorů – ruční/automatické (magnetické, optoelektrické třídící linky)
- Drtičů
- Sít – prosívání střepů na danou velikost
- Odsávání – odstranění nežádoucích částí (prach, papír, fólie) ze střepů



Obr. 1: Schéma linky na úpravu střepů [1]

Výhodou recyklace je, že si sklo zachovává své původní vlastnosti a výrobky z recyklovaného skla jsou zdravotně nezávadné. Recyklace skla přináší značné snížení nákladů při výrobě nového skla a šetří přírodní neobnovitelné zdroje a životní prostředí. Používání recyklovaného skla vede k úsporám energetické náročnosti výroby, snižování objemu oxidu uhličitého při výrobě skla a snížení objemu odpadu a potřeby nových skládek. Při 60% podílu střepů ve sklářské vsázce klesne energetická náročnost výroby nového skla o cca 7,5 % a objem emisí oxidu uhličitého o cca 32,1 % [2].

2.1.2 Drcení skla

Drcení skla je proces, ve kterém je sklo, jakožto vstupní surovina, drceno na výstupní surovinu menších rozměrů. Toho se využívá pro další zpracování a využití skla ve výrobním procesu. Využívat se může například ve stavebnictví, strojírenství a výrobě nového skla.

Sklo se může při malém množství drcit ručně, za použití například kladiva nebo tyče, ale to je rizikové z důvodu tříštění a odlétávání kusů střepů různé velikosti, které mohou člověka poranit. Při ručním drcení je proto nutné dbát zvýšené opatrnosti a používat ochranné pomůcky. Mnohem rychlejší, praktičtější a bezpečnější je drcit sklo v drtičích, které jsou na to určené.

Stroje na drcení odpadů a skla vyrábí v České republice například AGRO CS a.s., XERTEC a.s., Bohemia Machine s.r.o., SULAK Glass Working Machinery s.r.o., MONTS s.r.o., DEOS Technology s.r.o., ODES s.r.o., BDL Czech Republic, s. r. o.

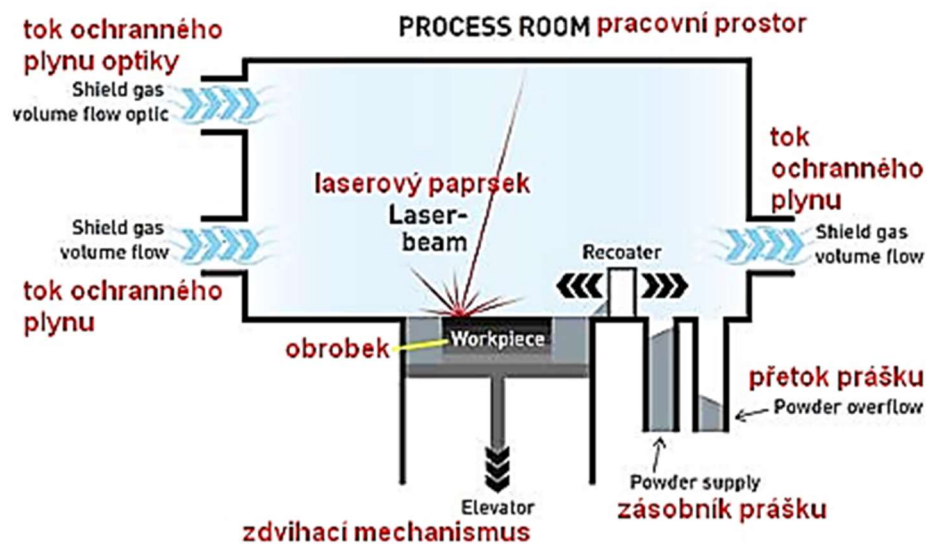
2.1.3 3D tisk skla

V dnešní době je možný 3D tisk skla čtyřmi způsoby [3]:

- Sintrování (spojování) mikročástic a nanočástic laserem po vrstvách
- Glass 3D Printing
- 3D tisk polymeru, ve kterém jsou rozptýleny mikročástice skla
- Slepování vrstviček skla

Sintrování skla funguje na stejném principu jako sintrování kovů (Obr. 2). Materiál ve formě prášku je rozprostřený po ploše a je spékán laserem. Po tom, co se speče, je na něj rozprostřena další vrstvička a celý cyklus se opakuje.

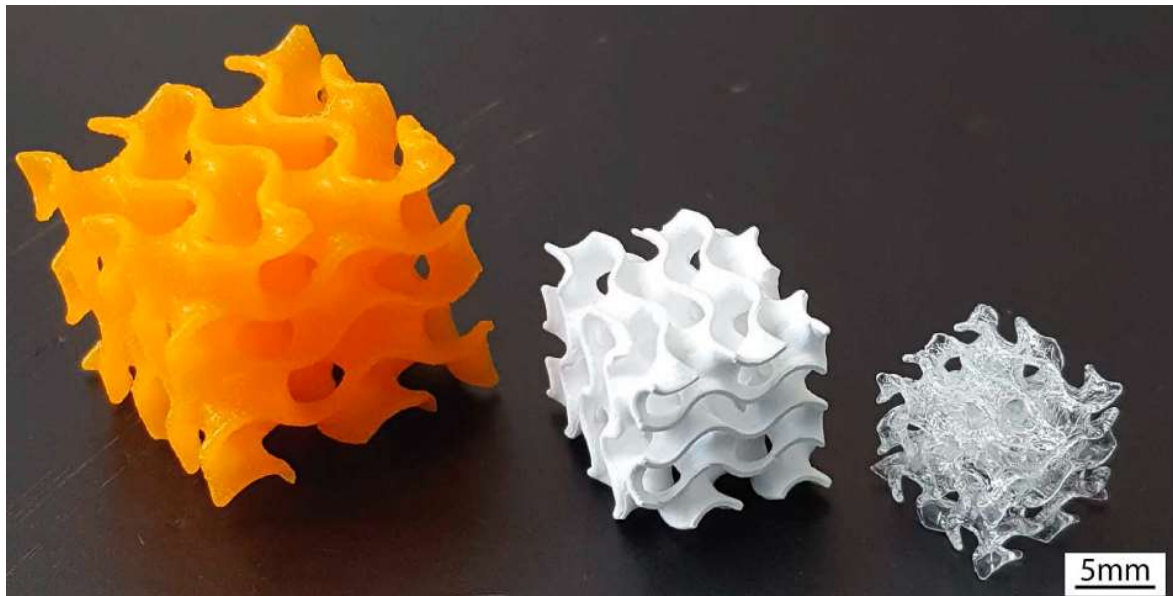
Glass 3D Printing je technika, kdy z tiskové hlavy vytéká sklo ve formě taveniny. Je to podobný princip jako ten, na kterém fungují dnešní hobby 3D tiskárny. Nastavení parametrů tisku, a i samotný tisk je složitý a pomalý proces. Nastavit parametry a zprovoznit takovéto zařízení může trvat i několik měsíců. S výzkumem této technologie jsou světová vědecká pracoviště asi nejdále [3].



Obr. 2: Princip sintrování prášku pomocí laseru [4]

3D tiskem polymeru s mikročásticemi skla se před několika lety zabývali například na Karlsruhe Institute of Technology, kde vytiskli objekt z polymeru, ve kterém byly mikročástice skla. Model se pak zahřál na takovou teplotu, kdy se polymer spálil a sklo ztvrdlo. Novější metodu vyvinuli na ETH Zurich, kde využívají fotopolymerizace

pryskyřice, ve které je obsažen keramický materiál. Následně se pak objekt zahřeje na teplotu 600 °C, při níž se spálí polymer, a pak na teplotu 1 000 °C, při které se z keramického materiálu vypálí sklo (Obr. 3). Objekt tedy ztuhne a zprůhlední, ale i se vlivem spáleného polymeru o něco zmenší [5].



Obr. 3: Sklo získané vypálením polymerní struktury [6]

3D tisk skla je ale obecně problematický. Při tisku totiž ve skle vznikají bublinky a negativně tak ovlivňují optické vlastnosti skla. Výhodou je možnost kombinovat různé materiály nebo barvy a složení skla. To by se dalo využít na tisk skla s proměnným indexem lomu. 3D tisk je vhodný také pro vytvoření vnitřní struktury ve výrobku a v budoucnu by se dal využít například i ve šperkařství [3].

2.2 Rešerše drtičů nerostných surovin

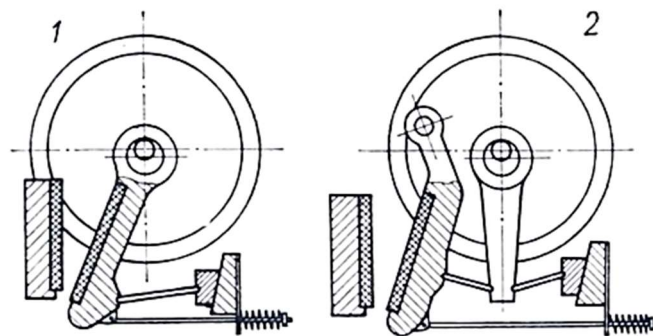
Drtiče nerostných surovin jsou stroje využívané v průmyslu v různých odvětvích. Slouží k drcení materiálu na menší kousky a v určitých případech i na prach. Vstupní surovinou do drtičů mohou být různé druhy hornin, jako například uhlí a vápenec, kovové rudy, biomasa, ale i recyklované suroviny, jako právě sklo. V dnešní době je používáno mnoho typů drtičů, které se od sebe liší, velikostí, výkonem, provedením a způsobem drcení. Drtiče jsou nedílnou součástí výrobních řetězců a recyklačních linek umožňující zpracování a další využití surovin v průmyslu. Drtiče se také podílejí na snižování množství objemu odpadu a snižování dopadů těžby na životní prostředí.

Drtičů máme několik druhů [7]:

- Čelist'ové
- Kuželové
- Válcové
- Kladivové
- Odrazové a metací
- Nožové
- Bubnové

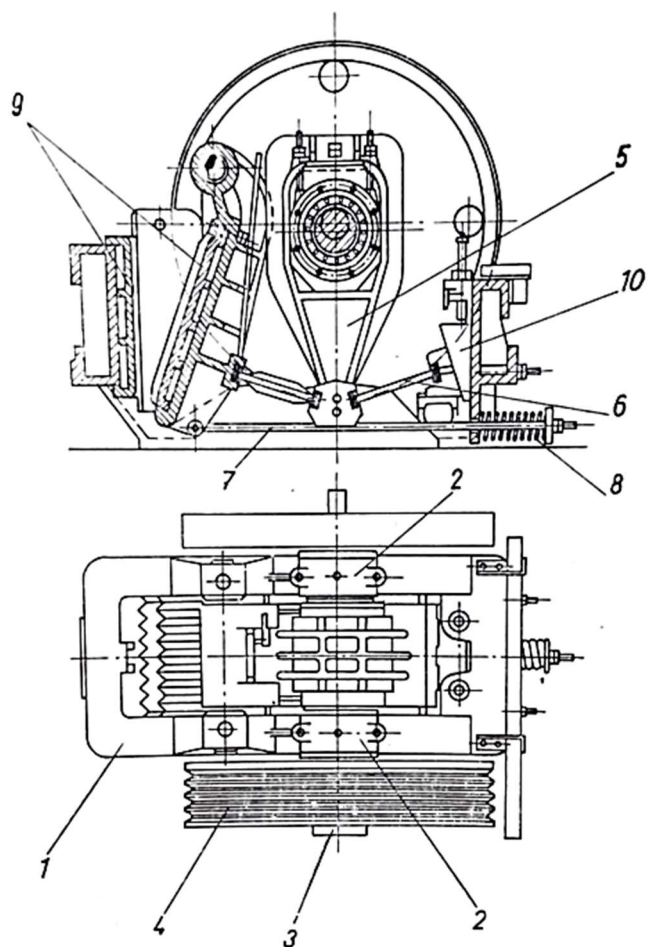
2.2.1 Čelist'ové drtiče

V čelist'ových drtičích je surovina drcena mezi dvěma čelistmi. Jedna je pevně uložena v rámu a druhá je pohyblivá. Používají se při hrubém a středním drcení pevných a křehkých materiálů. Jsou buď jednovzpěrné nebo dvouvzpěrné (Obr. 4) [7, 8].



Obr. 4: Schéma provedení čelist'ových drtičů; 1 - jednovzpěrný, 2 – dvouvzpěrný [8]

Materiál je drcen v klínovitém prostoru mezi čelistmi, které bývají zpravidla rýhované. Při přibližování čelistí je sklo drceno a při oddalování čelistí padají střepy k výpustní šterbině. Pokud jsou střepy velikosti odpovídající spodnímu okraji šterbiny v otevřeném stavu, propadnou pryč. Po stranách mívá setrvačníky, kdy jeden, a u velkých čelist'ových drtičů i oba, slouží současně jako řemenice (Obr. 5) [7, 8].



Obr. 5: Čelistový drtič dvouvpěrný; 1 - rám, 2 - ložisko, 3 - hlavní hřídel, 4 - setrvačnik, 5 - čelist drtiče, 6 - vzpěrná deska, 7 - táhlo, 8 - pružina, 9 - rýhované desky, 10 - klín [8]

Nerovnoměrný chod a dynamická nevyváženost drtiče způsobuje vibrace. Vzpěrné desky jsou dimenzovány jako pojistky proti přetížení. Pokud by do drtiče spadl nedrtitelný objekt, vzpěrná deska praskne a zamezí tak poškození drtiče. Šířka výstupní štěrbiny se dá nastavit buď úpravou klínu u zadní vzpěrné desky, změnou počtu distančních destiček či hydraulickou regulací. Úpravou šířky výstupní štěrbiny se upravuje zrnitost výstupního materiálu a lze tak reagovat i na opotřebení čelistí. Důležitou roli hraje i tzv. úhel záchytu. To je úhel rozvěru čelistí a závisí na součiniteli tření mezi sklem a čelistmi. Závisí na součiniteli tření a pokud by byl moc veliký, drcený materiál by se jen posouval mezi čelistmi a nedrtil by se [7, 8].

Čelisti bývají nejvíce namáhány ve spodní části. Proto, pokud je to možné, se čelisti po určitém čase obrací. Tím se zajistí rovnoměrné opotřebení. Musí se však brát v potaz, že při opotřebování čelistí se zvětšuje šířka výstupní štěrbiny, a tak se zvětšuje i velikost výstupního materiálu. Pohyblivé čelisti bývají na otěr namáhány až o polovinu více než

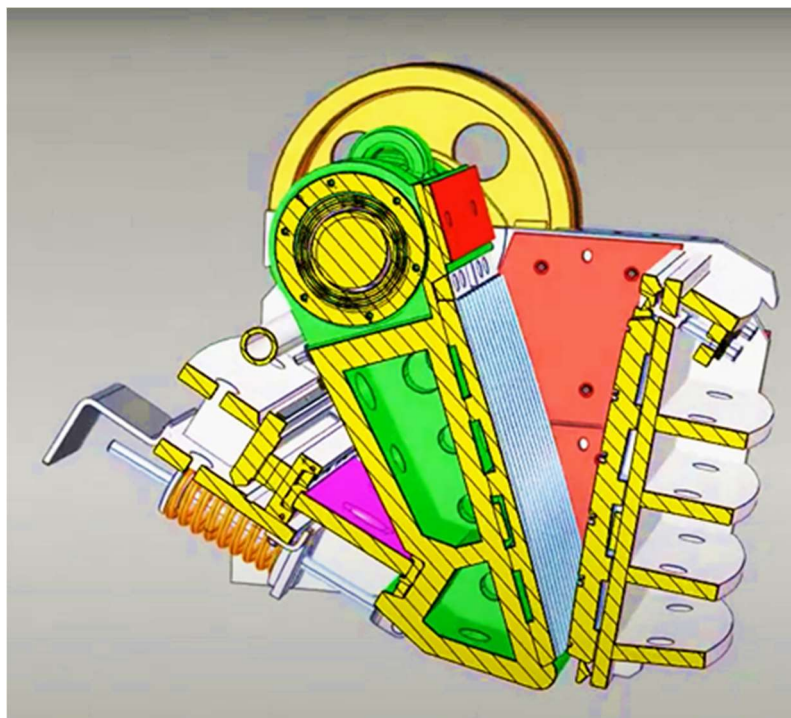
čelisti pevné, a proto se musí vyměňovat častěji. Kvůli lepšímu chodu stroje se obvykle čelisti nemění současně. Materiál čelistí je obvykle manganová ocel, protože oproti tvrzené litině má až desetinásobnou životnost. Čelisti mohou být buď rovné nebo zakřivené (Obr. 6). Výhodou zakřivených čelistí je zmenšování úhlu záchyty směrem k výpustní štěrbině, vyšší výkon, nižší spotřeba a delší životnost. Nevýhodou zakřivených čelistí ale je oproti čelistem rovným vyšší hmotnost a cena [7].



Obr. 6: Zakřivené čelisti čelistových drtičů [9]

Výkon čelistových drtičů závisí zejména na typu a velikosti stroje, drceného materiálu a na nastavení výstupní štěrbině. Spouštění i zastavování čelistových drtičů je nutné při prázdném drticím prostoru. Při spouštění potřebují větší příkon než za chodu, a proto se používají předdimenzované elektromotory, které jsou někdy i spojené s hydraulickou či mechanickou rozběhovou spojkou. Drtiče musí být mazány. Centrálním mazacím systémem jsou mazány Dosedací plochy vzpěrných desek a pouzdro kyvadla. Pokud se kyvadla uloží na pryžové silentbloky, což omezí nárazové namáhání, pak není nutné kyvadlo mazat. Ložiska musí být mazána ručně. Pro správný chod stroje je také nutno zařídit to, že nebude vstupní otvor zablokovan velkými kusy materiálu nebo že nebude drticí prostor zahlcen vlivem drcení mokrého či mazlavého materiálu [7].

Jednovzpěrné drtiče (Obr. 7) mají oproti dvouvzpěrným jen jednu vzpěrnou desku. Jejich pohyblivá čelist tak vykonává složitější pohyb. Kvůli tomu jsou ale čelisti opotřebovávány na otěr až pětikrát více než čelisti drtičů dvouvzpěrných. Výhodou drtičů jednovzpěrných oproti dvouvzpěrným je větší zdvih čelistí na vstupní části, jednodušší konstrukce, menší hmotnost a rozměry a nižší cena [7].



Obr. 7: Čelistový drtič jednovzpěrný [10]

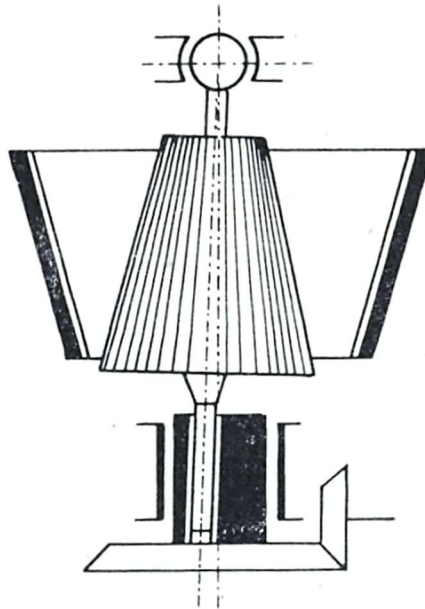
2.2.2 Kuželové drtiče

Kuželové drtiče pracují na podobném principu jako drtiče čelistové. Výkon kuželových drtičů je ale oproti čelistovým vyšší, protože se materiál drtí nepřetržitě po celou dobu otáčky výstředného pouzdra. Výkon dále závisí na drceném materiálu, vstupní a výstupní velikosti, velikosti úhlu záchyty, tvaru drtících ploch a na počtu otáček výstředného pouzdra. Dále mají kuželové drtiče oproti čelistovým klidnější chod, menší rázy, nižší spotřebu energie a nižší provozní náklady. Pořizovací cena, náročnost montáže a údržby a nároky na zástavbový prostor jsou ale vyšší. Materiál je drcen mezi drtícím kuželem a drtící pláštěm. Drtící plášť je uložen pevně a drtící kužel koná pohyb. Pohyb je trochu složitější, nejedná se jen o rotaci drtícího kužele. Kuželové drtiče se dělí dle velikosti na primární, sekundární a terciální. Důležitější je pak dělení dle tvaru drtícího kužele na [7]:

- Ostroúhlé
- Tupoúhlé

Ostroúhlé kuželové drtiče (Obr. 8) se používají k hrubému, střednímu i jemnému drcení. Drtící kužel má tvar komolého kužele s ostrým vrcholovým úhlem a je nasazen na hlavním hřídeli, který je ve spodní části výstředně umístěn v pouzdru. Při rotaci výstředného pouzdra potom drtící kužel nejen rotuje, ale také osa hlavního hřídele vytváří pomyslný plášť kužele,

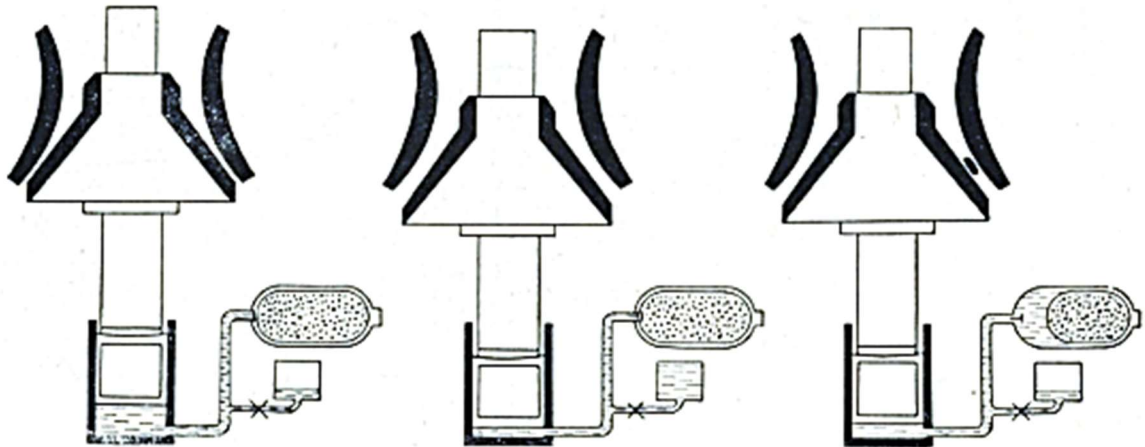
jehož vrchol je v závěsném ložisku. Materiál se drtí v místě, kde se k sobě kužel a plášť nejvíce přibližují a na opačné straně, kde se nejvíce oddalují, se posouvá k výpustní štěrbině. Úhel záchyty nesmí být větší než dvojnásobek třecího úhlu a pohybuje se mezi 18° až 29° [7].



Obr. 8: Schéma ostroúhlého kuželového drtiče [7]

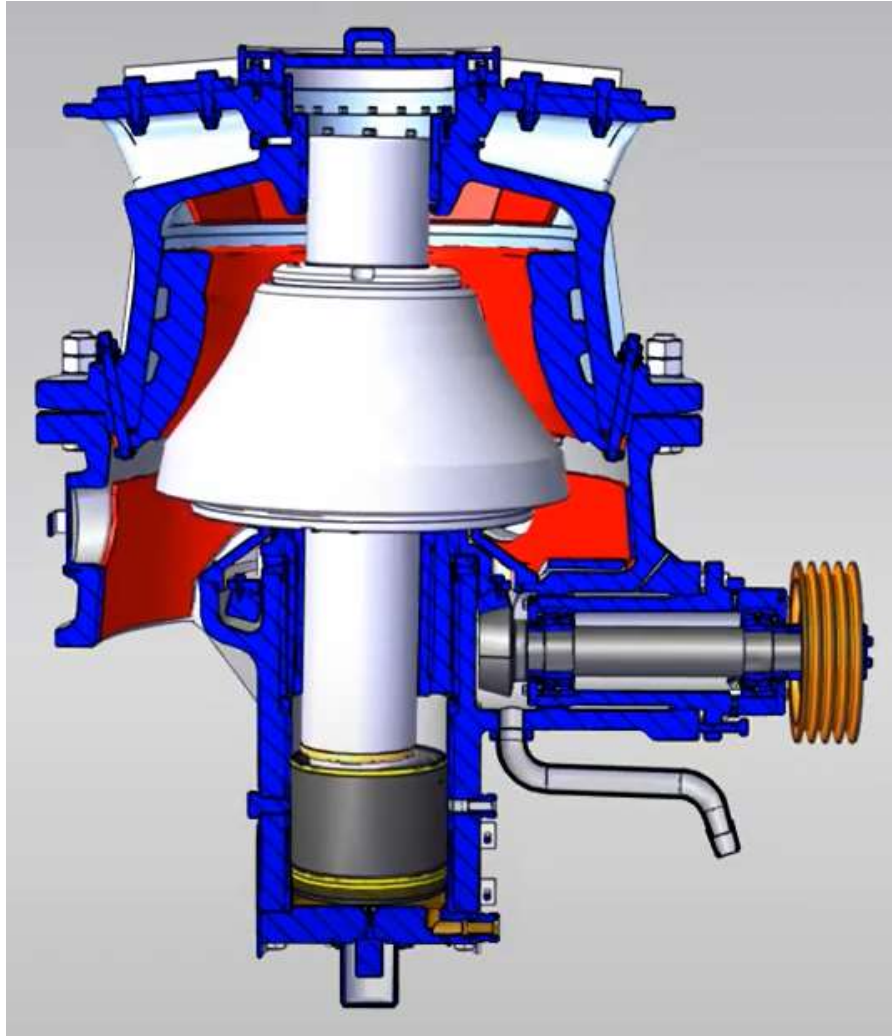
Velikost výstupního materiálu je dána mezerou mezi nejširší částí drtícího kužele a nejužší částí drtícího pláště a dá ovlivňovat zvedáním a spouštěním hlavního hřídele. Drtící kužel i drtící plášť mají pancéřové vyložení, které může být hladké nebo rýhované, to dává o něco lepší tvarovou hodnotu zrna. Vyložení kuželů a plášťů bývá vícedílné, a to horizontálně dělené, aby bylo možné vyměnit jen nejpotřebovanější části. U velkých kuželových drtičů bývá pancéřování složeno z několika pancéřovaných desek. Drtiče se musí mazat. To zajišťují na pohonu stroje nezávislé mazací stanice, které jsou velmi spolehlivé. Již při konstrukci se musí zamezit tomu, aby se mezi plochy, co o sebe třou, dostával prach. Pracovní teplota oleje je od 15 °C do 60 °C. Při spouštění ostroúhlých drtičů nesmí být v drtícím prostoru žádný materiál. Pokud má drtič boční výpust rozdrceného materiálu, může na skluzech ulpívat při malém obsahu vody rozdrcená zrna. Součástí nových typů ostroúhlých kuželových drtičů je i hydraulické zařízení, kterým se snadno nastavuje a upravuje šířka výpustní štěrbin. To může být umístěno v horní i dolní části hlavního hřídele. Pokud by se drtič z nějakého důvodu zastavil během provozu, může se namísto několikahodinového ručního odstraňování materiálu z drtícího prostoru dojet pomocí hydraulického zařízení hlavním hřídelem do dolní krajní polohy, materiál vypadne a drtič se

může spustit. Hydraulické zařízení bývá kombinováno i s hydraulickou pojistkou, která chrání drtič před poškozením vnikem nedrtitelného materiálu. Při vniknutí nedrtitelného předmětu vzroste tlak a pod pístem odeče hydraulická kapalina do nádržky v níž je natlakovaný pryžový vak (Obr. 9). Tím drtící kužel klesá, šířka výstupní šterbiny se zvětší, nedrtitelný předmět vypadne, natlakovaný pryžový vak poté vytlačí zpět hydraulickou kapalinu a drtící kužel se vrátí do původní polohy [7].



Obr. 9: Schéma hydraulické regulace a pojistky [7]

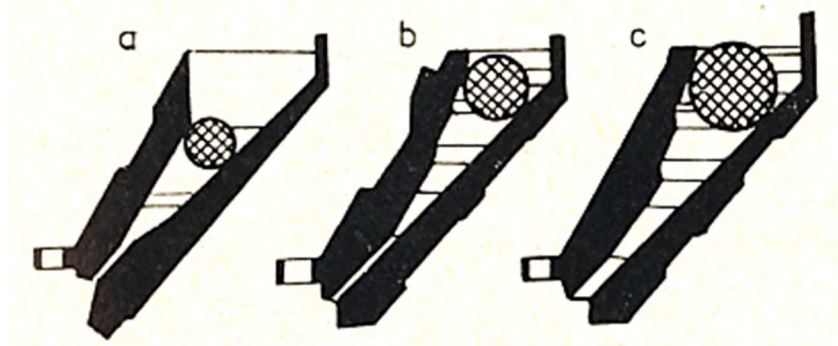
Tupouhlé kuželové drtiče (Obr. 10) se používají jen pro střední a jemné drcení. Hlavní rozdíl mezi tupouhlými a ostroúhlými kuželovými drtiči je ve tvaru a orientaci drtícího pláště. Není podmínkou, že by vrcholový úhel drtícího kužele musel být výrazně odlišný. Ostroúhlé kuželové drtiče mají vrchol pláště kužele dole, zatímco tupouhlé mají vrchol pláště nahoře. Způsob drcení je v tupouhlých kuželových drtičích stejný jako v ostroúhlých. Tupouhlé drtiče mají větší výstřednost hlavního hřídele, a proto i větší zdvih. Na horním konci hlavního hřídele je podávací talíř, který rozděljuje materiál jdoucí do drtiče. Drtící prostor je úzký, úhel záchyty malý a plášť i kužel jsou hladké [7, 11].



Obr. 10: Tupoúhlý kuželový drtič [12]

Počet otáček je u tupoúhlých drtičů větší než u drtičů ostroúhlých. Vlivem vyšších otáček je materiál drcen z části i úderem. Vlivem vyššího zdvihu mají větší plochu výstupní šterbiny, rozdrčený materiál tak může vypadávat z drtiče rychleji, a proto mají tupoúhlé drtiče vyšší výkon. Zrnitost je dána profilem drtičího prostoru (Obr. 11) a hlavně spodní rovnoběžnou částí vyložení. Mazání drtiče je také důležité. To zajišťuje mazací zařízení drtiče, které se skládá z nádrže, čerpadla, tlakového filtru a chladiče oleje. Dříve byly pojistkou proti poškození pružiny rozmístěné po obvodu drtiče, které udržovaly plášť v normální poloze a pokud do drtiče vnikl nedrtitelný předmět, zvýšil se odpor a vzniklá síla překonala přitlačnou sílu pružin, plášť se nadzvedl a nedrtitelný předmět vypadl. Drtičí plášť byl spojen s horní částí závitem a tím se měnila šířka výstupní šterbiny. V moderních drtičích se pro ochranu stroje a nastavení výpustní šterbiny používá hydraulický systém. Ani tupoúhlé drtiče se nesmí pouštět při zaplněném drtičím prostoru. Tupoúhlé kuželové drtiče s úplnou hydraulikou mají namísto pružin hydraulické válce a šířka výstupní šterbiny lze měnit i za

chodu stroje. Při zahlcení prostoru a nechtěnému zastavení stroje se pomocí hydraulického systému může jednoduše zdvihnout drtící plášť, výstupní štěrбина se otevře, nahromaděný materiál z drtícího prostoru vypadne a drtič se může opět spustit [7].



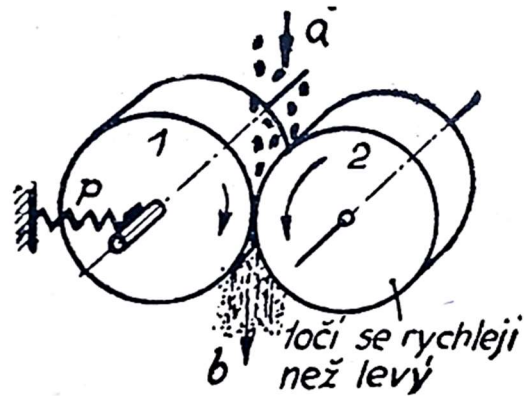
Obr. 11: Profily drtícího prostoru tupouhlého drtiče [7]

2.2.3 Válcové drtiče

Válcové drtiče se používají pro hrubé, střední a jemné drcení. Jsou tvořeni jedním nebo více válci, uloženými v ložiscích. Přičemž drtič, který by měl více válců než dva, se používá jen zřídka. Pokud je drtič jen s jedním válcem, otáčí se proti nepohyblivé čelisti. Pokud má drtič válce dva, otáčejí se proti sobě tak, aby byl vstupní materiál vtahován mezi válce a tím drcen. Válce jsou poháněny samostatně nebo společně. Pro správné plnění funkce jsou pomaloběžné. Válce jsou buď uloženy oba napevno, nebo může být jeden uložen posuvně, čímž umožňuje nastavovat mezeru mezi válci, a tedy i velikost výstupního materiálu. Posuvný válec může být i přitlačován na druhý pevně uložený válec pružinou (Obr. 12). V tom případě plní i jakousi pojistku proti přetížení. Povrch válce může být hladký, ozubený či s různými výstupky [7, 13].

Válcové drtiče s hladkými válci (Obr. 12) se uplatňují při středním a jemném drcení. Mají jednoduchou konstrukci a jsou spolehlivé. Ve válcových drtičích s hladkými válci je materiál vtahován mezi válce gravitací a třením. Zrna, která jsou menší než výstupní štěrбина mezi válci propadnou ven. Velikost vstupního materiálu závisí na úhlu záchyty. Ten musí být menší než dvojnásobek úhlu tření. Velikost úhlu záchyty ovlivňuje poloměr válců. Aby se zabránilo tomu, že by se materiál nedrtil, ale jen se posouval mezi válci, měl by být průměr drtících válců dvacetinásobkem průměru vstupního zrna. Obvodová rychlost válců nemusí být stejná. Pokud se jeden válec otáčí více než druhý, je materiál drcen tlakem a i roztíráním. Obvodová rychlost závisí samozřejmě na průměru válce a obvykle se pohybuje mezi 2 až 10 m/s. Jeden z válců bývá obvykle uložen pružně posuvně. Tím se dá nastavit šířka výstupní

šterbiny a zároveň to slouží k ochraně drtiče při vniknutí nedrtitelného předmětu. Opatřované pláště jsou buď vyměněny nebo broušeny. Některé válcové drtiče mají pláště rýhované rovnoběžně s osou válce. Takové drtiče se pak používají při hrubším drcení [7].



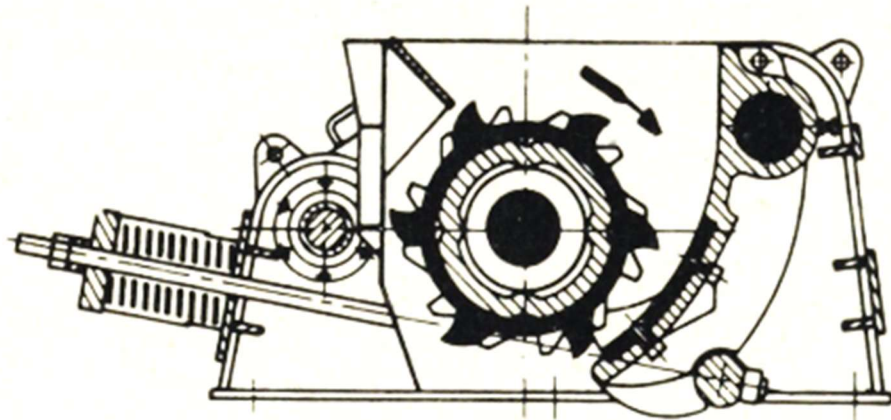
Obr. 12: Schéma válcového drtiče s hladkými válci [14]

Po obvodu drtičů s ozubenými válci jsou zuby nebo různé výstupky. Tvar zubů a výstupků, velikost válců, velikost a výkon drtiče závisí na typu vstupního materiálu a požadované velikosti výstupního materiálu. Drtící válce jsou tvořeny několika ozubenými kotouči nasazenými na jádru vedle sebe (Obr. 13). Velké drtící válce mohou být tvořeny vyměnitelnými ozubenými segmenty. Proti poškození jsou rovněž chráněny posuvným pružným uložením, a také se doporučuje před drtič zařadit magnetický odlučovač kovových nedrtitelných částic. Ozubené válcové drtiče drtí tlakem, stříhem, a pokud mají vysoké otáčky, tak i úderem [7].



Obr. 13: Malý dvouhřídelový drtič se dvěma pohony (vlevo stroj, vpravo drtící ústrojí) [15]

U jednoválcových drtičů (Obr. 14) musí být válec nutně ozubený. Materiál se drtí mezi ozubeným válcem a prohnutou čelistí. Čelist je kloubově uložena a je chráněna pružinami proti poškození vniknutím nedrtitelných předmětů. Pomocí kloubového uložení čelisti se také upravuje velikost výstupní štěrbiny. Mohou se do nich sice přivádět větší kusy vstupního materiálu, ale kvůli menší robustnosti stroje by měl být materiál méně pevný. U snadněji drtitelných materiálů se dá použít i dvoustupňový drtič, kdy se vrchní válec používá k předdrcení a spodní válec k drcení jemnějšímu [7].



Obr. 14: Jednoválcový drtič [7]

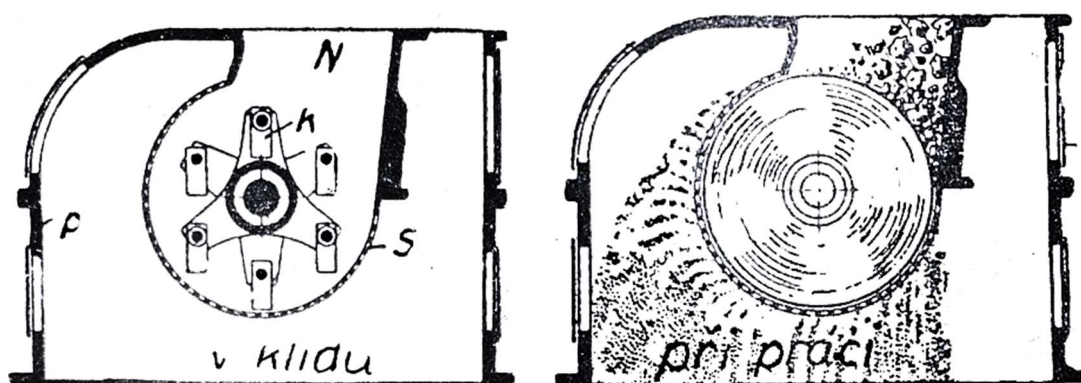
Problém by se mohl vyskytnout, pokud by průměr drceného materiálu byl moc velký. Úhel záchyty by byl tím pádem také velký, zuby válcového drtiče by se po materiálu jen smýkaly a materiál by nebyl drcen. V konkrétním případě (Obr. 15) byla nutná asistence obsluhy a ruční rozbití lahve [16].



Obr. 15: Ukázka problému s velkým průměrem drceného materiálu [16]

2.2.4 Kladivové drtiče

Kladivové drtiče (Obr. 16) se mohou používat pro hrubé, střední a jemné drcení. Hlavní částí je rotor s čepy, na kterých jsou kloubově uložena kladiva. Pokud je drtič vypnutý, kladiva vlivem gravitace visí dolů. Při zapnutí stroje se kladiva odstředivou silou narovnejí a mohou drtit vstupní materiál. Obvodová rychlost kladiv bývá mezi (13 až 20) m/s. Kladivové drtiče drtí materiál opakovanými údery kladiv, údery kladivy odmrštěného materiálu o stěnu drtiče a také vzájemnou kolizí částic materiálu. Občas bývá v násypce rošt, který zabraňuje tomu, aby se do drtiče dostali příliš velké kusy vstupního materiálu. Stěny drtiče bývají vypancéřované, aby odolaly nárazům a abrazi od mletého materiálu [7, 17–19].



Obr. 16: Schéma kladivového drtiče [14]

Kladivové drtiče mají 3 a více řad kladiv. Počet řad kladiv se odvíjí od délky rotoru a šířky samotných kladiv. Kladiva mohou být uspořádána v řadě vedle sebe nebo v šachovnicovém uspořádání (Obr. 17). Kladiva se při drcení opotřebovávají, a tak se někdy opotřebované plochy navařují speciálními oteruvzdornými elektrodami. Kladiva se vyrábí většinou tak, aby je bylo možné po částečném opotřebení otočit. Opotřebení kladiv závisí na typu drceného materiálu. Materiál kladiv bývá z ocelí legovaných manganem nebo chromem, nebo s příměsí niklu a molybdeny. Dobrých výsledků se dosahuje i s tepelně zpracovanými kladivy z oceli 15 260. S opotřebovanými kladivy se snižuje jejich hmotnost a tím i výkon kladivových drtičů. Čím pevnější drcený materiál je, tím těžší a rychleji otáčející se kladiva musí být. Kloubové uložení kladiv může z části sloužit jako ochrana při vniku nedrtitelných předmětů, ale to jen za podmínky, že se rotor otáčí menšími rychlostmi. Výhodou kloubového uložení kladiv je i to, že se rázy, způsobené údery kladiv, plně nepřenáší na hřídel [7, 19].



Obr. 17: Ukázka rotoru, síta a šachovnicového uspořádání kladiv v kladivovém drtiči [20]

Stupeň drcení záleží na rychlosti otáčení rotoru, počtu kladiv, a hlavně na sítu. Právě síto udává velikostí otvorů v sítu velikost výstupního materiálu (Obr. 17, Obr. 18). Síta jsou vyměnitelná a používána dle požadované velikosti výstupního materiálu. Výhodou kladivových drtičů je jejich jednodušší konstrukce, poměrně vysoká účinnost a oproti čelistovým drtičům jsou podstatně lehčí a jejich cena bývá nižší [7, 19].



Obr. 18: Výměnná síta kladivových drtičů [19]

Problémem u kladivových drtičů je vysoká prašnost při jemném drcení (Obr. 19). Prach je velmi nebezpečný pro obsluhu, protože při vdechování prachových částic vzniká neléčitelná pneumokonióza či silikóza plic [21]. Prašnost se dá vyřešit buď drcením s přívodem vody

(Obr. 20), což se ale ve zdroji [7] nedoporučuje, neboť by musely mít drtiče místo pancéřových desek pancéřové dopravníky pro odvod vzniklé suspenze/pasty. Další možností je změna síta a tím změna zrnitosti výstupního materiálu [19].



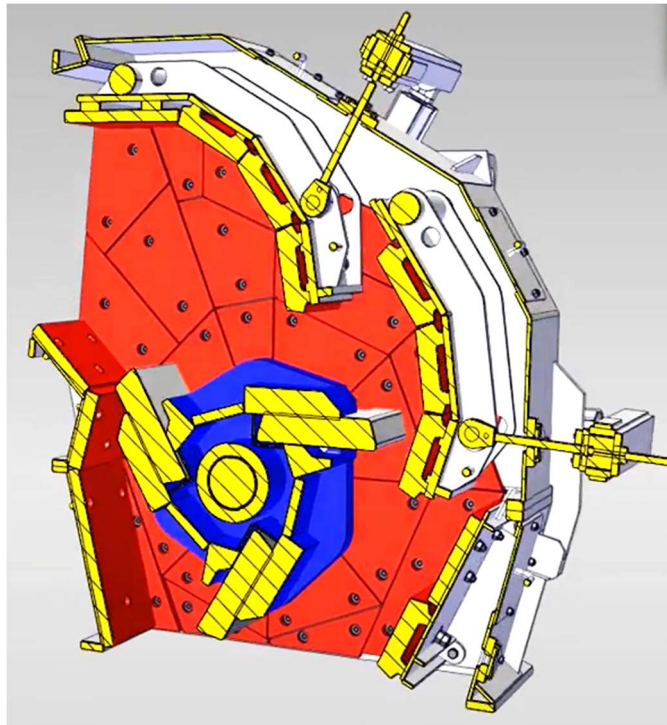
Obr. 19: Ukázka prašnosti při jemném drcení [22]



Obr. 20: Omezení prašnosti drcením s přívodem vody [23]

2.2.5 Odrazové a metací drtiče

Odrazové drtiče (Obr. 21) se používají k hrubému, střednímu a jemnému drcení méně abrazivního materiálu a svou konstrukcí se podobají drtičům kladivovým. Odrazové drtiče ale kvůli bezpečnosti při vniku nedrtitelných předmětů nemají síto a namísto kloubově uložených kladiv je jejich rotor opatřen pevně uloženými drtícími lištami. Obvodová rychlost rotoru závisí na pevnosti drceného materiálu a čím je drcený materiál pevnější, tím vyšší rychlosti odrazových lišt musí být. Obvodové rychlosti jsou nejčastěji v rozmezí od 10 do 70 m/s. Drtících lišt může být na rotoru mezi dvěma a dvanácti. Obvykle jsou ale čtyři. Vstupní materiál je ve stroji drcen jednak přímými údery drtících lišt, ale hlavně dopadem materiálu na odpružené odrazové desky, na které je vrhán právě drtícími lištami. Materiál by měl kvůli menšímu opotřebení odrazových desek dopadat na desky, pokud možno, kolmo. Opotřebení odrazových lišt bývá přesto větší než opotřebení odrazových desek. Musí se proto častěji měnit. Při vniknutí nedrtitelného předmětu do drtiče se mohou desky díky odpružení natočit, tím se zvětší výstupní šterbina a nedrtitelný předmět, také díky absenci síta pod rotorem, vypadává ven, aniž by stroj jakkoli poškodil [7].

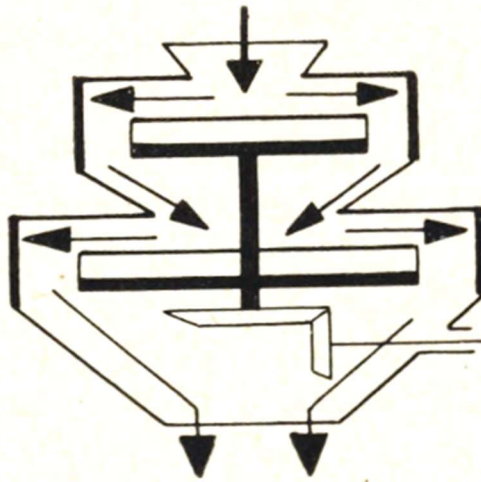


Obr. 21: Odrazový drtič HIC [24]

Jednotlivé typy odrazových drtičů se liší počtem a tvarem drticích lišt, tvarem a rozmístěním odrazových desek, velikostí a výkonem stroje. Odrazové drtiče se z důvodu rizika zahlcení stroje nehodí na drcení vlhkých materiálů a případně se před drtič zařazuje sušení. Velkým problémem odrazových drtičů je vysoký otěr drticích lišt a odrazových desek. Pro prodloužení jejich životnosti se mohou navařovat speciálními otěruvzdornými elektrodami. Pro delší životnost lišt a desek se používá ocel s obsahem manganu, chromu, molybdenu, vanadu a wolframu. S výhodou se vyrábí též lišty souměrné, které se při opotřebení dají otočit a používat dále. Pro zvýšení výkonu se mohou používat i odrazové drtiče dvourotorové, jejichž rotory se otáčí v opačném směru než rotory drtičů válcových. Výhodou odrazových drtičů je vysoký stupeň drcení, menší hmotnost a velikost, poměrně jednoduchá údržba a regulovatelný počet otáček rotoru. Nevýhodou je, že u některých typů je omezená možnost měnit zrnitost výstupního materiálu [7].

V metacích drtičích (Obr. 22) se veškerý vstupní materiál drtí úderem o pevné pancéřované vyložení stroje. Vstupní materiál je u těchto drtičů přiváděn na vodorovný kotouč opatřený radiálními lopatkami či lištami, které odstředivou silou vrhají materiál proti pevnému pancéřovanému vyložení a tím se materiál drtí. Mohou být i dvoustupňové, přičemž je spodní kotouč větší než vrchní, a to z toho důvodu, aby svou větší obvodovou rychlostí urychlil, již jednou rozdrcená, méně hmotná zrna. Nevýhodou těchto drtičů je, že se mohou

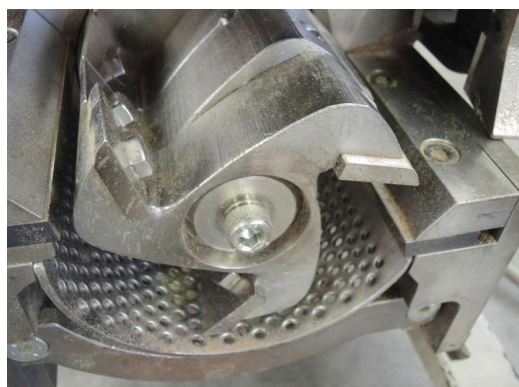
používat jen na méně pevné a neabrazivní materiály, protože se je jejich lopatky a vyložení velmi rychle opotřebovává. Proto se v praxi moc nevyužívají [7].



Obr. 22: Schéma metacího drtiče [7]

2.2.6 Nožové drtiče

Nožové drtiče (Obr. 23) se používají k drcení různých surovin, jako: plastových zmetků z výroby, elektrošrotu, kabelů a keramických surovin. Svou konstrukcí se podobají drtičům kladivovým. Drtič je vybaven podélnými noži umístěnými na rotoru a někdy i pevně na statoru. Velikost výstupního materiálu je dána výměnným sítem. Síto i vnitřní části drtiče, které přichází s drceným materiálem do styku musí být vyrobeny z ošeruvzdorného materiálu [25].



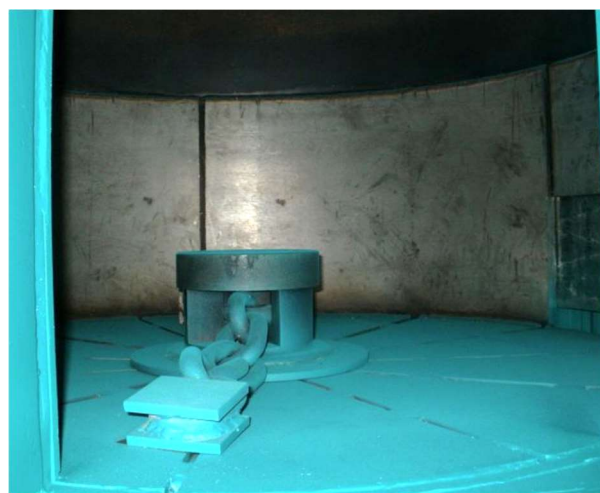
Obr. 23: Nožový drtič [26]

2.2.7 Bubnové drtiče

Bubnové drtiče se používají k drcení kompozitních, kovových a keramických materiálů, elektrošrotu, bioodpadu a dalších zemědělských produktů. Drcení probíhá lopatkami (Obr. 24) nebo řetězem (Obr. 25), který se otáčí vysokými otáčkami v uzavřeném pracovním prostoru ve tvaru truby. Na koncích řetězů je umístěné závaží, aby se řetěz vlivem odstředivé síly snáze narovnal. Nevýhodou je jen malá možnost regulace velikosti výstupního materiálu a při drcení křehkých materiálů velmi vysoká prašnost [27, 28].



Obr. 24: Drtící lopatky bubnového drtiče [28]



Obr. 25: Drtící řetěz bubnového drtiče [27]

2.3 Vstupní a výstupní parametry

Cílem bakalářské práce je navrhnout drtič skelného recyklátu do laboratoře KSR. Nejprve je ale nutné vybrat nějaký vhodný typ drtiče, který se potom bude navrhovat. Vstupní suroviny budou menších rozměrů či částečně předem rozbité. Vstupní surovinou může být například v podobě rozbitých lahví, borosilikátových lahviček, rozbitého skla float či rozbitého laboratorního skla (Obr. 26).



Obr. 26: Ukázka vstupních surovin [29–32]

Výstupním produktem z drtiče by měli být střepy o maximální velikosti cca 8–12 mm. Výstupní produkt z drtiče skla se bude využívat jako vstupní produkt do mlýnu skla (Obr. 27). Výstupním produktem z mlýnu by pak byl skelný prášek, který by se dal využít pro výzkum 3D tisku ze skla. V rámci jiné bakalářské práce se v současné době do laboratoří KSR tvoří i nový větší mlýn na sklo.



Obr. 27: Kulový mlýn KM 01/R s regulací otáček [33]

2.4 Rozhodovací analýza

V rozhodovací analýze (Tab. 1) se bude vybírat mezi drtičem kladivovým, válcovým dvourotorovým (s navařenými trny) a jednovzpěrným čelistovým. Rozhodovat se bude na základě pořadí, které se přiřadí k jednotlivým drtičům u různých kritérií. Pořadí bude:

1. Nejlepší
2. Střední
3. Nejhorší

Následně se udělá součet pořadí všech kritérií a drtič, který bude mít v součtu nejmenší číslo vyhovuje nejvíce.

Kritérií je více a záleží na zadaných požadavcích na navrhovaný stroj. První, na co se musí brát zřetel, je velikost. Dle požadavků má být stroj menších rozměrů. Dále by měla být konstrukce a údržba, jako mazání a výměna opotřebovaných součástí, co možná nejjednodušší. Drtič bude pravděpodobně stát v laboratoři na stole, a proto by neměli být vibrace moc velké. Kdyby bylo třeba změnit výstupní velikost materiálu, je důležitá možnost regulace výstupní šterbiny či jiná možnost změny výstupní velikosti. S tím souvisí i prašnost, která by měla být, ze zdravotních důvodů a z důvodu čistoty laboratoře, minimální. Zohlednit se také musí riziko nechtěného propadnutí většího kusu výstupního materiálu a také rychlost drcení, která v součtu časů ovlivňuje dobu celého experimentu a výzkumu.

Tab. 1: Rozhodovací analýza

Kritérium	Kladivový drtič	Válcový drtič	Čelistový drtič
Velikost	1	3	2
Náročnost konstrukce	1	2	3
Zabránění propadnutí většího materiálu	1	2	3
Nároky na mazání	1	1	2
Výměna opotřebovaných drtičích částí	2	3	1
Vibrace	2	1	3
Regulace výstupní šterbiny	3	2	1
Rychlost drcení	1	2	3
Prašnost	3	1	2
Celkové ohodnocení	15	17	20

Dle celkového ohodnocení je výsledek patrný. V praktické části bakalářské práce, tedy návrhu drtiče, bude navrhován drtič kladivový.

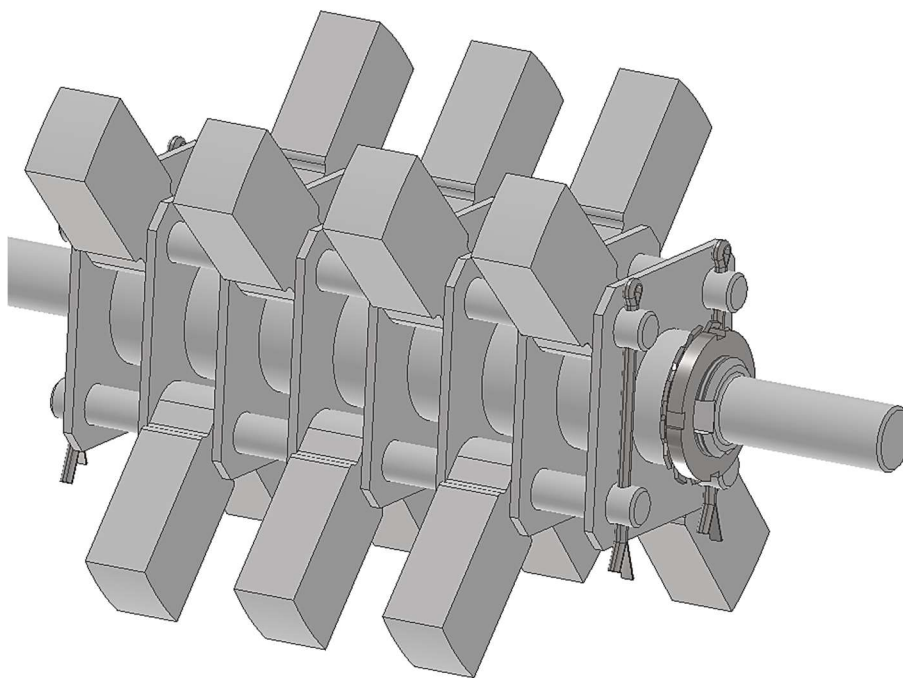
3 Praktická část

V této části se bude drtič navrhovat. Ještě před vytvořením rozhodovací analýzy a zpřesnění vstupních parametrů bylo uvažováno o drtiči, který by byl dvoustupňový. Ve vrchní části by drtil vstupní suroviny větších rozměrů a ve spodní by pak střepy zpracovával na požadovanou velikost. Od toho bylo později upuštěno a nakonec rozhodnuto, že se bude navrhovat jednostupňový drtič kladivový, protože vyšel jako nejvhodnější varianta v rozhodovací analýze. Kapitola bude členěna dle základních podsestav, celé sestavy a jejich částí. Podsestavy jsou tři, a to rotor, násypka a podstava. Hlavní sestavou je pak sestava celého drtiče včetně skříně a motoru.

Jelikož se jedná o prototyp, bude většina součástí vyrobena z konstrukční oceli třídy 11. Pokud by po zkoušce chodu stroje a jeho používání bylo potřeba vyměnit určité nejvíce namáhané díly za totožné či podobné díly z kvalitnějšího otěruvzdorného materiálu, vlivem konstrukce by to mělo být celkem snadné. To byl jeden z hlavních důvodů, proč je skříň a většina spojených dílů šroubovaná, a nikoliv svařovaná.

3.1 Rotor

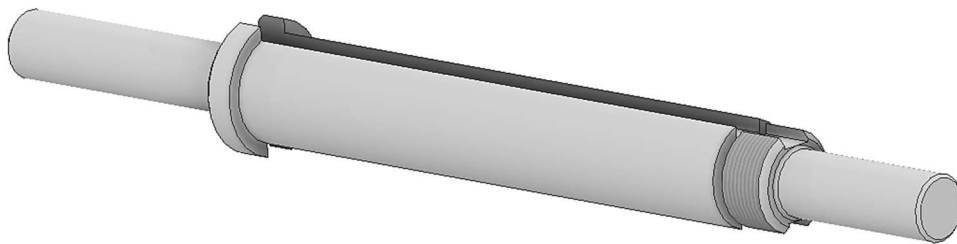
Rotor je tou nejpodstatnější částí drtiče, neboť právě on drtí vstupní surovinu nárazy rotujících kladiv. Skládá se z hlavní hřídele, kladiv, desek a čepů.



Obr. 28: Rotor

Na Obr. 28 je názorně vidět šachovnicové uspořádání kladiv. Tím, že má rotor 7 řad kladiv a je souměrný, nevznikají šachovnicovým uspořádáním zbytečně další síly na hlavní hřídel. Mezi jednotlivými deskami jsou distanční kroužky dlouhé 22 mm. Tím vznikne na každé straně kladiva 1 mm vůle. Celé je to navíc na jednom konci staženo KM maticí, aby byly desky a kroužky pevně sevřené a axiálně zajištěné.

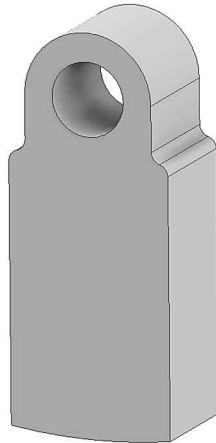
3.1.1 Hlavní hřídel



Obr. 29: Hlavní hřídel

Levé osazení na hřídeli slouží k opření první desky a zamezení jejímu pohybu v axiálním směru. Pro přenos rotace z hřídele na čepy v deskách bylo uvažováno nad více způsoby. Drážkování hřídele a desek by bylo finančně a časově náročné a pro toto použití zbytečné. Kvůli tomu, aby nepřibýly zbytečně další součásti do podstavy se upustilo i od spojení výměnným perem, při čemž by se muselo do drážky navíc vrtat a pero by se muselo na koncích seříznout, kvůli zaoblení pera. Nakonec byl přenos proveden tak, že na hřídeli jsou dvě drážky a na deskách naopak výstupky. Rozměry drážky a výstupků jsou podobné rozměrům normalizovaného pera pro tento průměr, s tím rozdílem, že namísto tloušťky pera v hřídeli, v tomto případě hloubky drážky, která je podle normy 4,7 mm bude v tomto případě 5 mm.

3.1.2 Kladivo



Obr. 30: Kladivo

Funkční plocha kladiv má šířku 20 mm. Díra pro čep je oproti průměru čepu a 1 mm větší. Tato vůle by tam měla zabezpečit kloubové uložení kladiv a snadné otočení kladiva při nárazu do pevnější vstupní suroviny. Délka kladiva je spolu se zaoblením na konci kladiva přizpůsobená k rotaci u síta. Po započtení vůle mezi čepem a deskou a mezi čepem a kladivem vychází, že kladivo bude při rotaci vzdálené od síta necelé 2 mm. To zamezí hromadění materiálu na sítu a případnému ucpání drtiče.

Dle maximální obvodové rychlosti kladiv, která by se dle rešerše měla pohybovat mezi (13 až 20) m/s bude vybírán vhodný elektromotor.

Vztah pro výpočet obvodové rychlosti

$$v_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (1)$$

Kde:

v_o – obvodová rychlost [m/s]

D – průměr [m]

n – otáčky za minutu [ot/min]

Tento vztah je dále nutno upravit pro výpočet otáček. Maximální vzdálenost kladiv od středu je při rotaci 98,2 mm, takže na průměru 196,4 mm.

$$n = \frac{v_o \cdot 60}{\pi \cdot D} \quad (2)$$

Výpočet maximálních otáček

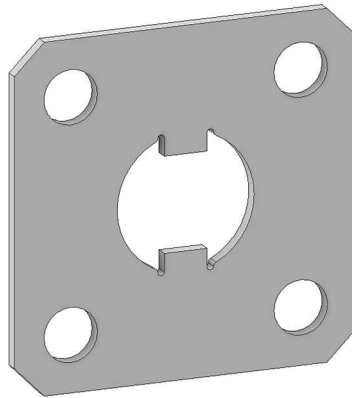
$$n = \frac{v_o \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{20 \cdot 60}{\pi \cdot 0,1964} = 1\,944,87 \text{ ot/min} \quad (3)$$

Výpočet minimálních otáček

$$n = \frac{v_o \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{13 \cdot 60}{\pi \cdot 0,1964} = 1\,264,16 \text{ ot/min} \quad (4)$$

Byl zvolen elektromotor 1AL80B-4 v patkovém provedení od firmy VYBO ELECTRIC a.s., který má výkon 0,75 kW, otáčky 1 400 ot/min a průměr výstupní hřídele 19 mm.

3.1.3 Deska



Obr. 31: Deska

Deska má tloušťku 3 mm. Díry v rozích desky jsou určeny pro čepy. Z důvodu možných nepřesností při výrobě mají oproti čepu 0,5 mm vůli. První varianta desky byla tvaru kruhového, ale z důvodu vzniku menšího množství odpadu při výrobě byla zvolena deska tvaru čtvercového. Výstupky, jak bylo psáno výše, mají funkční výšku 5 mm. U začátku výstupků je malé zaoblené vybrání proti koncentraci napětí. Výstupky je ještě třeba zkontrolovat na otláčení.

Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 750}{2 \cdot \pi \cdot 1400} \approx 5,12 \text{ Nm} \quad (5)$$

Kde:

M_k – kroutící moment [Nm]

ω - úhlová rychlost [rad/s]

P – výkon [W]

Výpočet síly od kroutícího momentu

$$F_M = \frac{Mk}{d_d/2} = \frac{5,12}{0,022/2} = 465,45 \text{ N} \quad (6)$$

Kde:

F_M – síla od momentu [N]

d_d – průměr dna drážky pro výstupky [m]

Výpočet plochy výstupků

$$S_v = b_d \cdot h_d \cdot i_d \cdot i_{dr} = 3 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 2 = 192 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Kde:

S_v – funkční plocha výstupků [mm²]

b_d – šířka desky [mm]

h_d – výška boku drážky [mm]

i_d – počet desek [-]

i_{dr} – počet drážek [-]

Výška boku drážky je sice dle modelu 4,199 mm, ale ve výpočtech bylo kvůli možné nepřesnosti počítáno se 4 mm.

Výpočet tlaku na výstupky

$$p_v = \frac{F_M}{S_v} = \frac{465,45}{192} = 2,42 \text{ MPa} < p_{DOV} \quad (8)$$

Kde:

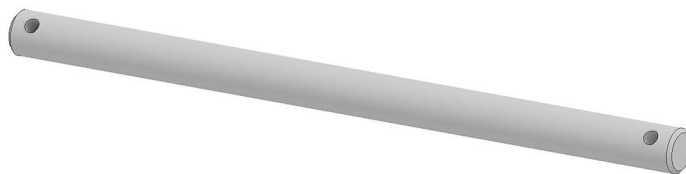
p_v – tlak na výstupky [MPa]

$p_{DOV} = 90 \text{ MPa}$ – dovolený tlak, dle SPS I (s.90) [34]

Výsledný tlak na výstupky je menší než dovolený, a proto konstrukce vyhovuje.

Nutno podotknout, že reálný tlak bude o něco menší, protože jsou desky přes osazení a distanční kroužky stažené na jednom konci KM maticí. Tím se mezi jednotlivými díly rotoru vytvoří třecí vazba.

3.1.4 Čepy



Obr. 32: Čep

Čepy mají průměr 12 mm a slouží ke kloubovému uložení kladiv. Čepy jsou uloženy v deskách s vůlí 0,5 mm. Na obou koncích jsou díry pro závlačky na zajištění čepu a desek. V první variantě byly čepy namísto závlaček zajištěny pojistným kroužkem, ale kvůli tomu, že by výroba desek a distančních kroužků musela být velmi přesná a kvůli bytelnosti byly nakonec zvoleny závlačky.

Výpočet úhlové rychlosti

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1400}{60} = 146,61 \text{ rad/s} \quad (9)$$

Hmotnost kladiva je dle softwaru Autodesk Inventor Professional 2023 0,267 kg. Excentricita těžiště bude ve výpočtech 108 mm, přestože skutečná je o něco menší.

Výpočet odstředivé síly

$$O = m \cdot e \cdot \omega^2 = 0,267 \cdot 0,108 \cdot 146,61^2 = 619,8 \text{ N} \quad (10)$$

Kde:

O – odstředivá síla [N]

m – hmotnost [kg]

e – excentricita těžiště [m]

Výpočet napětí ve stříhu

$$\tau = \frac{O}{2 \cdot S_{\check{c}}} = \frac{O}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{619,8}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 2,74 \text{ MPa} < \tau_{DOV} \quad (11)$$

Kde:

τ – smykové napětí [MPa]

$S_{\check{c}}$ – plocha čepu [mm²]

$d_{\check{c}}$ – průměr čepu [mm]

$\tau_{DOV} = 50 \text{ MPa}$ – dovolené napětí ve smyku, dle ST (s.55) [35]

Kontrola otláčení čepu od kladiva

$$p_k = \frac{O}{b_k \cdot d_i} = \frac{619,8}{20 \cdot 12} = 2,58 \text{ MPa} < p_{Dot} \quad (12)$$

Kde:

p_k – tlak na čep od kladiva [MPa]

b_k – šířka kladiv [mm]

$p_{Dot} = 24 \text{ MPa}$ – dovolený tlak na otláčení, dle SPS I (s.76) [34]

Kontrola otláčení čepu od desek

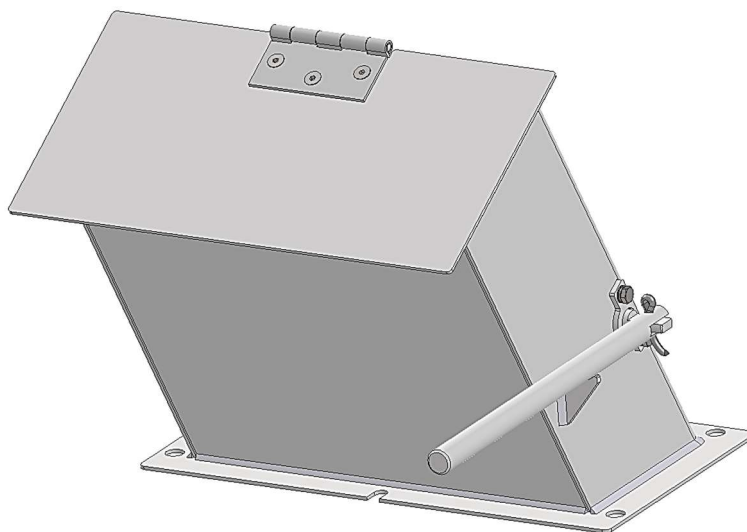
$$p_d = \frac{O}{2 \cdot b_d \cdot d_i} = \frac{619,8}{2 \cdot 3 \cdot 12} = 8,61 \text{ MPa} < p_{Dot} \quad (13)$$

Kde:

p_d – tlak na čep od desek [MPa]

Jelikož jsou vypočítané hodnoty napětí ve stříhu, otláčení čepu od kladiva a otláčení čepu od desek menší než hodnoty dovolené, konstrukce vyhovuje.

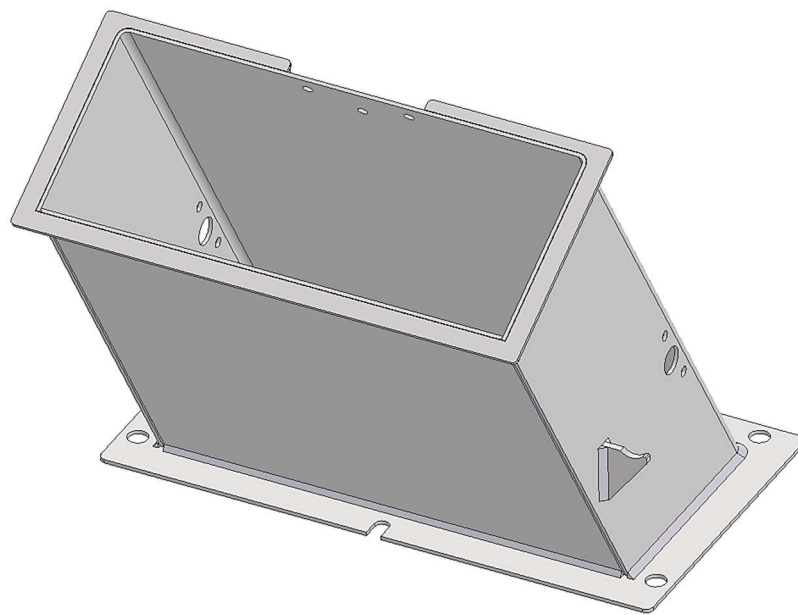
3.2 Násypka



Obr. 33: Násypka

Násypka u drtiče slouží k přívodu vstupní suroviny do drtiče a také jako bezpečnostní prvek. Skládá se ze svařence, klapky uvnitř násypky a jejího ovládání a poklopu s těsněním. Násypka je zkosená o 60° tak, aby se materiál, který se drtí po směru hodinových ručiček otáčejícím se rotorem, pokud možno nevracel zpět do násypky. Výhodou pak také je to, že před spuštěním střepů do drtiče nejsou střepy plnou vahou na klapce, ale z velké části také na předním plechu. Jako další výhoda se může brát i menší výška násypky, a celého drtiče, vlivem zkosení.

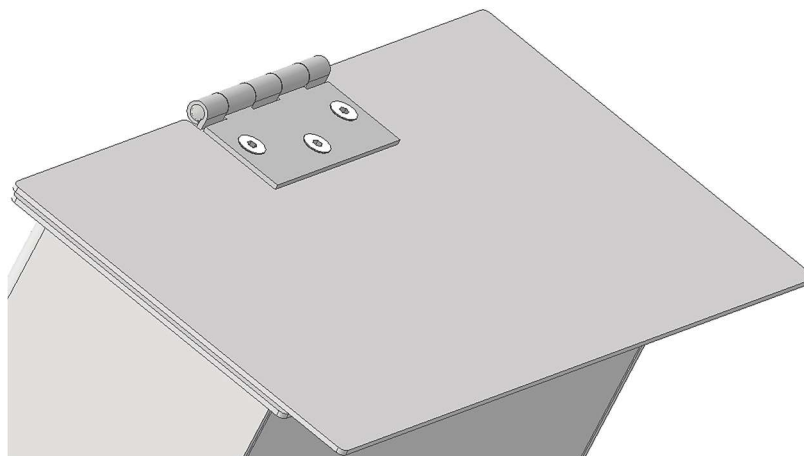
3.2.1 Svařenec



Obr. 34: Svařenec

Svařenec tvoří hlavní nosnou část násypky. Je svařen z příruby, z vrchního lemu, předního plechu a z ohnutého plechu tvaru U, který tvoří zadní a boční stěny. Na boku je ještě přivařena podpěra pro páku, která ovládá klapku. V přírubě jsou díry pro šrouby a u zkosené stěny je drážka. Tou by se příruba při montáži nasunula na neúplně našroubovaný šroub ve víku drtiče. Je to tak řešeno z toho důvodu, že kvůli utěsnění tam šroub musí být, ale kvůli zkosení násypky by se tam z vrchu nedal našroubovat.

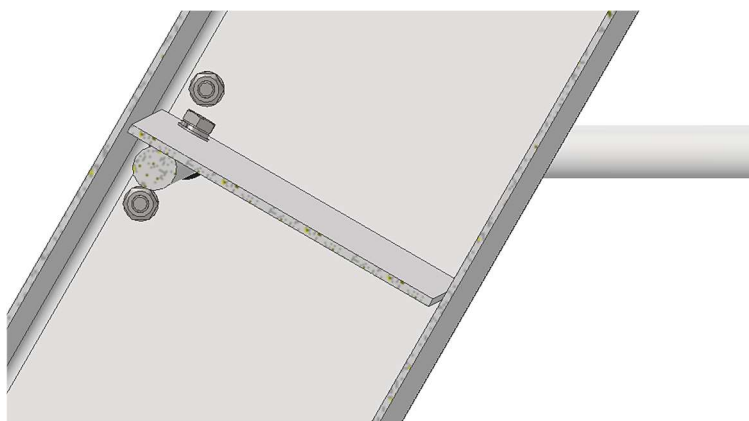
3.2.2 Poklop



Obr. 35: Poklop

Poklop je na vrcholu násypky a slouží k uzavření jejího prostoru a zabezpečení proti úniku prachu a rozptýleného drceného materiálu. Poklop je vyroben tak, že přečnává přes lem. Poklop je spojen se svařencem pomocí ocelového závěsu K1082.04301515 od firmy KIPP CZ s.r.o. Na vnitřní straně je nalepeno těsnění DUST profil 9x6 mm od firmy TEXIM s.r.o.

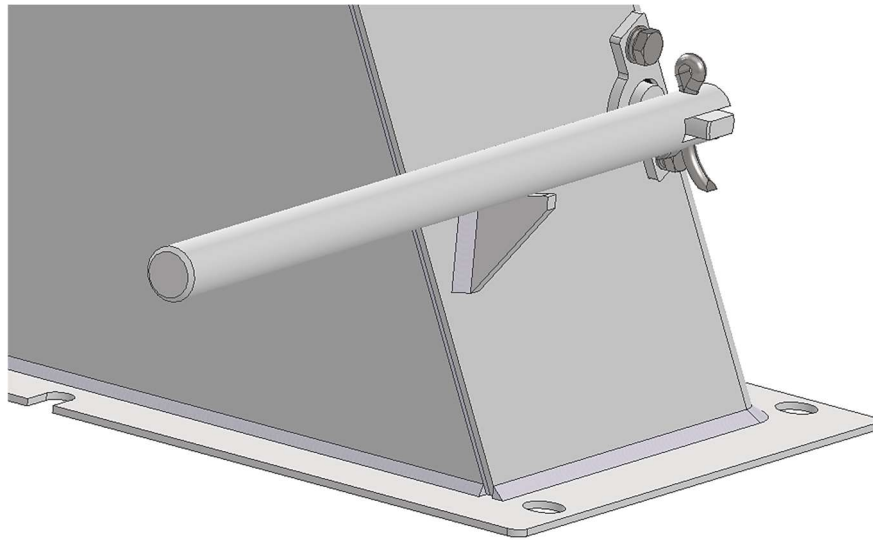
3.2.3 Klapka a její ovládání



Obr. 36: Klapka – řez násypkou

Klapka je ve spodní části násypky a je přišroubována k tyčce. Jelikož se drtič nesmí spouštět se zahlceným drtícím prostorem, musel by se materiál drtit po zapnutí drtiče s otevřenou násypkou. To je ale vzhledem k požadavku zamezení prašnosti a také kvůli bezpečnosti nepřijatelné. Proto je uvnitř násypky klapka, která se ovládá zevnější pákou. Nejdříve se tedy otevře poklop, do násypky se zavřenou klapkou se nasype materiál, poklop s těsněním se

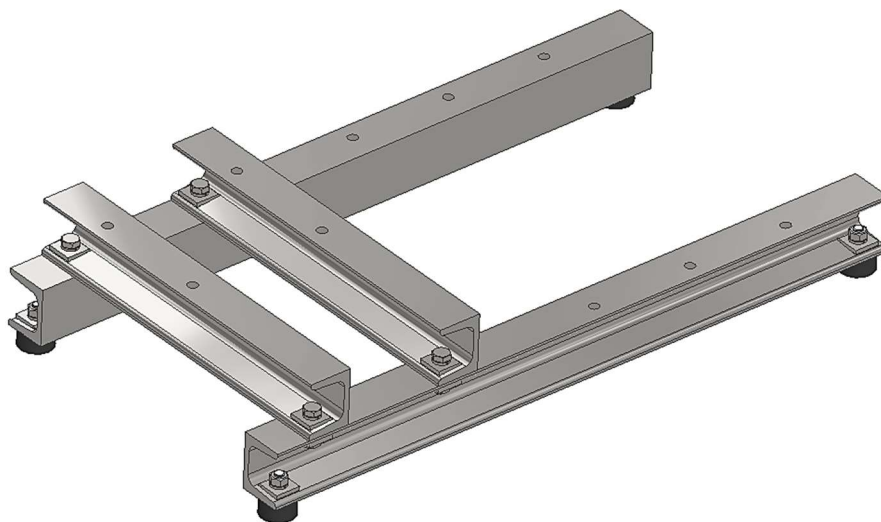
opět zavře, spustí se drtič, ručně se pákou otevře klapka a materiál se z násypky nasype do drtícího prostoru.



Obr. 37: Ovládání klapky

Klapka se je ovládána přes páku, která je na konci spojená s tyčkou, ke které je klapka přišroubována. Spojení tyčky a páky je řešeno tvarovým spojem a zajištěním závlačkou. Páka bude při klidovém stavu, kdy je klapka zavřená, opřena o malou podpěru, která je součástí svařence. Ve vršku podpěry je udělaný rádius, aby v něm páka snadno seděla a samovolně neklouzala po podpěře. Tyčka klapky je na obou stranách utěsněna těsníci kroužky, které na bocích svařence drží malé přišroubované příruby.

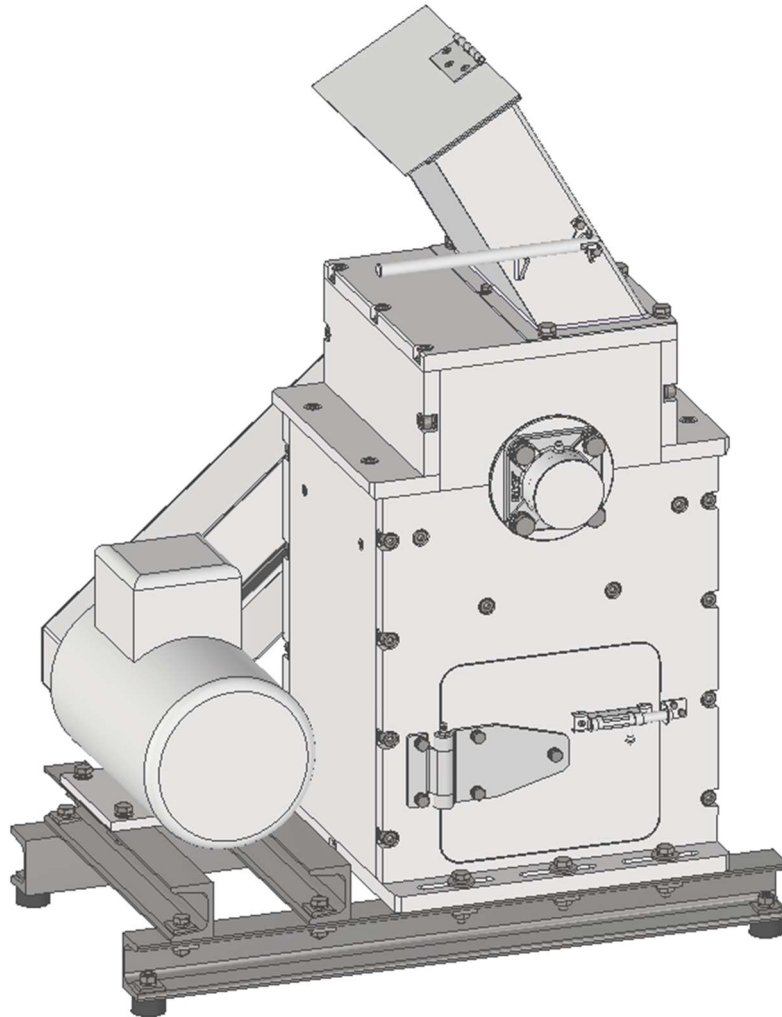
3.3 Podstava



Obr. 38: Podstava

Podstava je tvořena U-profilů. Ke spojení šrouby je kvůli sklonu vnitřní strany U-profilů nutno používat klínové podložky. Pro snížení přenosu možných vibrací jsou vespod podstavy namontované čtyři silentbloky S3015D s průměrem 30 mm a výškou 15 mm od společnosti FRAM spol. s r. o. Dva kratší U-profilů slouží jako podstava pod elektromotor a zároveň drží pohromadě dlouhé U-profilů sloužící jako podstava pod tělo drtiče.

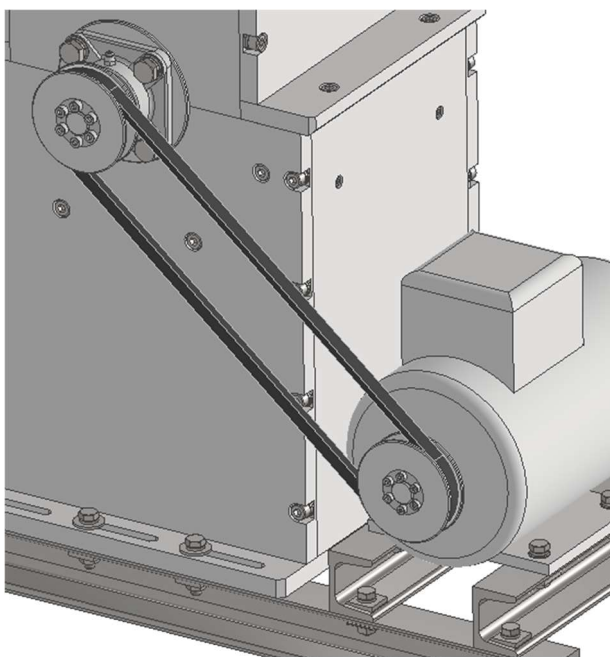
3.4 Drtič



Obr. 39: Drtič

Součástí hlavní sestavy drtiče bude i elektromotor, a to z důvodu názornosti a z rozměrových důvodů. Pro plynulejší spouštění drtiče by se dala použít třecí spojka nebo, v lepším případě, frekvenční měnič. V následujících podpodkapitolách budou přiblíženy jednotlivé funkční části drtiče a hlavní sestavy.

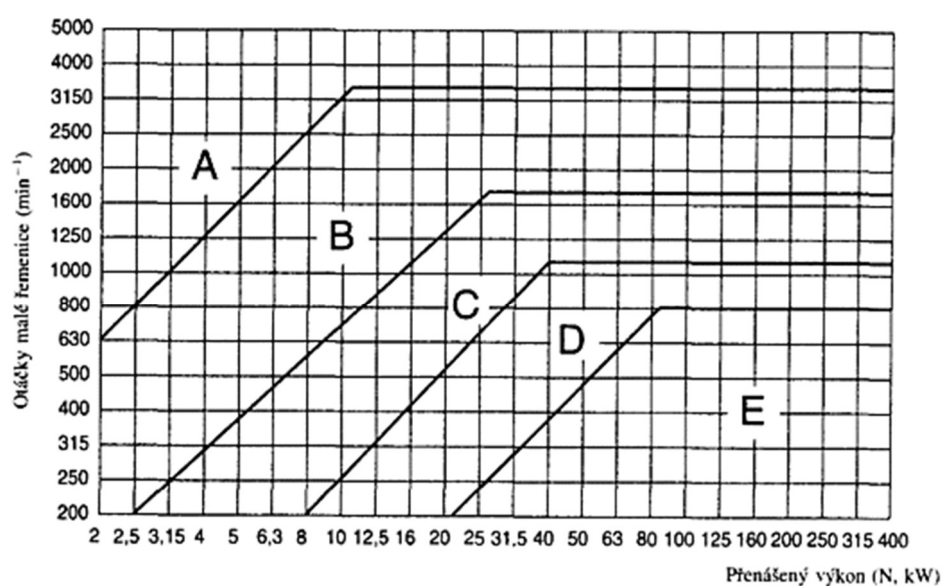
3.4.1 Pohon drtiče



Obr. 40: Pohon drtiče klínovým řemenem

Pohon drtiče je realizován pomocí klínového řemene. Řemenice jsou na hřídelích zajištěny pomocí svěrných spojek MLC 5050 od firmy WALTHER FLENDER s.r.o. Jedna na hlavní hřídel o průměru 20 mm a druhá na hřídel elektromotoru o průměru 19 mm.

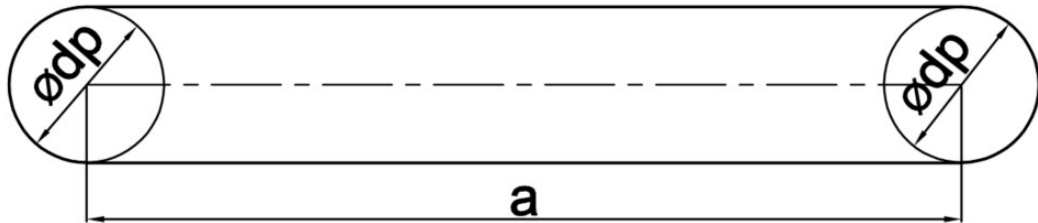
Na základě otáček za minutu a přenášeného výkonu byl dle Obr. 41 zvolen řemen průřezu A.



Obr. 41: Diagram pro určení průřezu řemene [35]

Obě řemenice budou mít stejný výpočtový průměr, který se zvolí dle Strojnických tabulek (s.535) [35]. Výpočtový průměr byl zvolen 71 mm. Dále je nutné pro určení řemene znát jeho normalizovanou výpočtovou délku. Proto byla nejdříve s ohledem na rozměry drtiče a motoru zvolená předběžná osová vzdálenost 400 mm.

Výpočet přibližné délky řemene



Obr. 42: Schéma převodu; a – osová vzdálenost řemenic, d_p – výpočtový průměr řemenic

$$l_0 = 2 \cdot a_0 + 2 \cdot \frac{d_p}{2} = 2 \cdot 400 + 2 \cdot \frac{71}{2} = 871 \text{ mm} \quad (14)$$

Kde:

l_0 – přibližná délka řemene [mm]

a_0 – předběžná osová vzdálenost [mm]

d_p – výpočtový průměr řemenic [mm]

Dle Strojnických tabulek a rozměrových možností byla zvolena výpočtová délka řemene 800 mm. Proto je třeba ještě vypočítat skutečnou osovou vzdálenost.

Výpočet skutečné osové vzdálenosti

$$a = \frac{l_p - d_p}{2} = \frac{800 - 71}{2} = 364,5 \text{ mm} \quad (15)$$

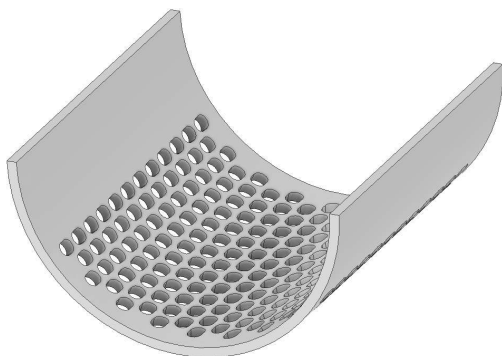
Kde:

a – skutečná osová vzdálenost [mm]

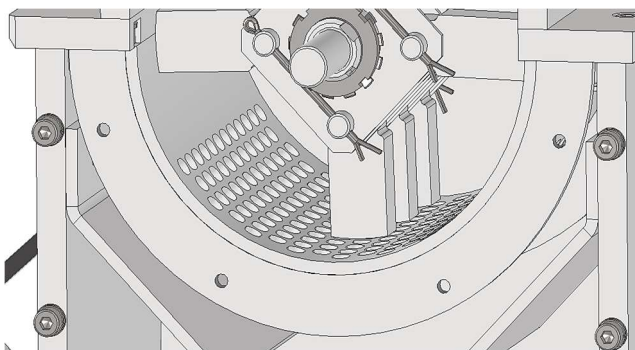
l_p – výpočtová délka řemene [mm]

Používat se tedy bude ŘEMEN A – 800 ČSN 02 3110.

3.4.2 Síto



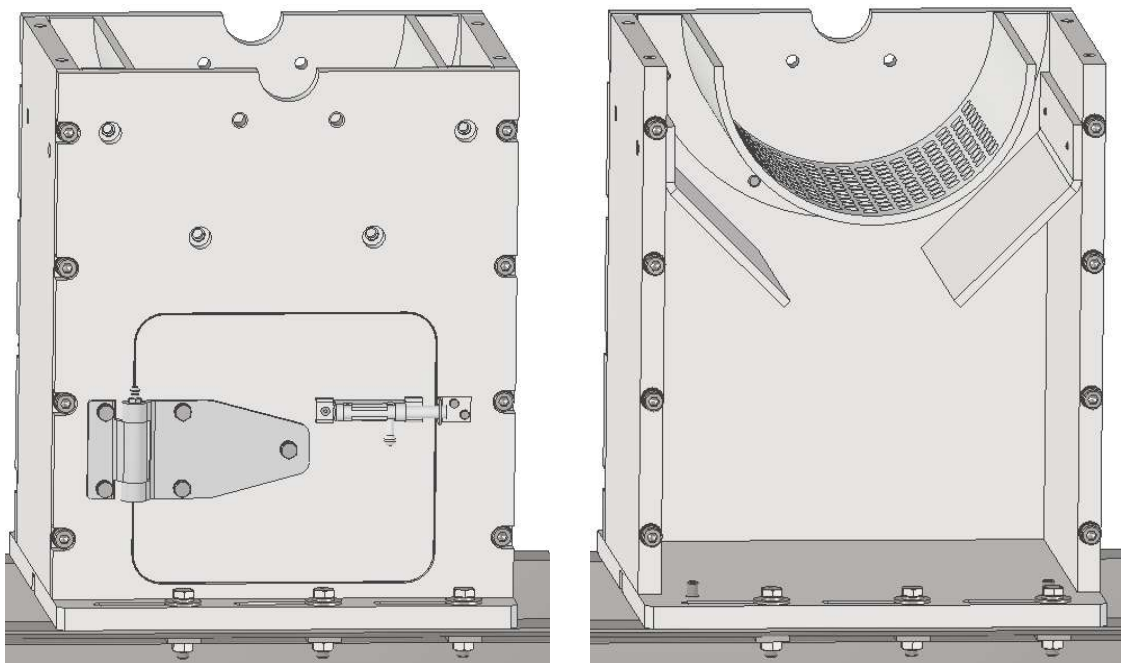
Obr. 43: Síto



Obr. 44: Zajištění síta

Ze všech vlivů, které do procesu drcení zasahují, má právě síto největší vliv na velikost výstupního materiálu. Ta je dána otvory v sítu. Otvory jsou udělané jako drážky 9x13 mm. Síto zespona podpírají lišty a z vrchu je při drcení jištěno o horní díl těla drtiče.

3.4.3 Spodní díl těla drtiče

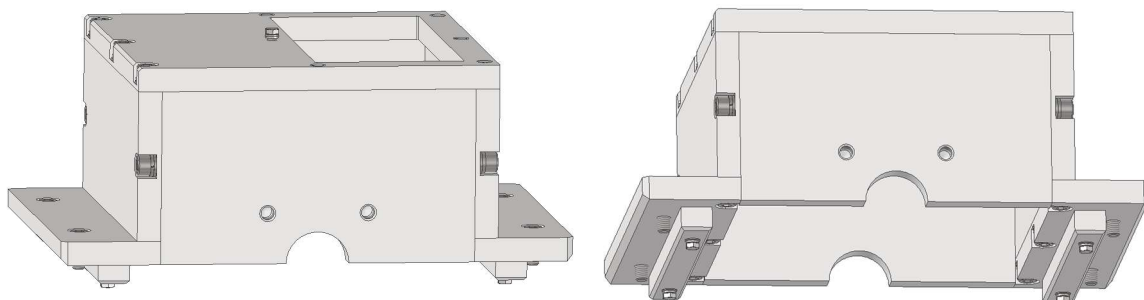


Obr. 45: Spodní díl těla drtiče

Spodní díl je tvořen ze sešroubovaných plechů převážně tloušťky 15 mm. Na pravém plechu jsou dvířka, která slouží pro zandávání a vyndávání nádoby na výstupní materiál. Výstupní materiál, propadávající sítem bude do nádoby usměrněn ohnutými plechy pod sítem připevněnými na boky spodního dílu. Dvířka jsou k plechu uchycena ocelovým závěsem K1347.063011619321 od firmy KIPP CZ s.r.o. Na vnitřní straně dvířek je nalepeno těsnění

DUST profil 9x6 mm od firmy TEXIM s.r.o. dvířka jsou zajištěna zástrčem. K uchycení spodního dílu na podstavu slouží podélné drážky, díky nimž se dá také dle potřeby napínat řemen. Pro spoj s podstavou je opět nutno použít klínové podložky.

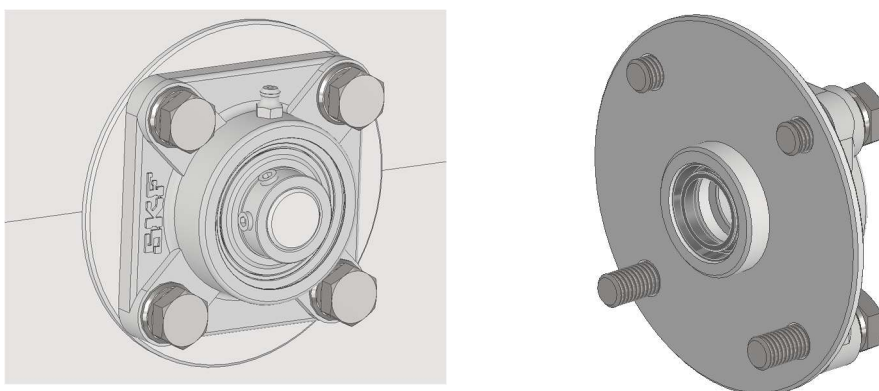
3.4.4 Vrchní díl těla drtiče



Obr. 46: Vrchní díl těla drtiče

Vrchní díl je taktéž tvořen ze sešroubovaných plechů převážně tloušťky 15 mm. Na spodní straně jsou přišroubovány zkosené plechy, které slouží jako centrování při nasazování vrchního dílu na spodní. Ve víku je otvor pro vstup materiálu z násypky do drtícího prostoru. Vrchní díl je ke spodnímu dílu přišroubovaný. Uvažovalo se o sevření vrchního a spodního dílu pomocí dvou pák, ale od toho bylo upuštěno jednak z ekonomických důvodu a také kvůli malé nutnosti často sundávat vrchní díl.

3.4.5 Uložení rotoru



Obr. 47: Uložení rotoru

Rotor je uložen v ložiskové jednotce UCF 204 od firmy SKF CZ, a.s. Kvůli těsnění je ale ještě před ložiskovou jednotkou víčko s hřídelovým těsnícím kroužkem. Ložisková jednotka je držena hlavně spodními šrouby, Vrchní šrouby mají důvod hlavně jako utěsnění víčka.

4 Technické a ekonomické zhodnocení

Navržený drtič, včetně podstavy, elektromotoru a krytů, je široký 374 mm, dlouhý 590 mm a vysoký 785 mm. Na spodku podstavy jsou nožičky ze silentbloků v rozteči (560x284) mm. Jsou tam kvůli snížení přenosu vibrací a snížení hlučnosti. Pokud by z nějakého důvodu byly vibrace moc velké, mohly by se použité silentbloky nahradit za silentbloky s vnitřním spodním závitem, které by se přišroubovali ke stolu, popřípadě by to namísto přišroubování ke stolu šlo vyřešit pomocí svěrek, kterými by se sevřela ke stolu celá podstava. Ta je tvořena sešroubovanými ocelovými U-profilů. Kvůli sklonu U-profilů se musejí za účelem vytvoření pevné třecí vazby používat klínové podložky. Celá podstava by na se ochranu před korozi nastříkala barvou ve spreji. Použitý sprej by byl optimálně 2v1, který by obsahoval základový i povrchový nástřik.

Elektromotor by byl umístěn na dvou příčných U-profilech, vedle těla drtiče. Motor bude mít výkon 0,75 kW a bude se točit 1 400 ot/min. Motor byl zvolen dle počtu otáček, se kterými souvisí obvodová rychlost kladiv rotoru, která se má ideálně pohybovat mezi (13 až 20) m/s. Pro pohon rotoru byl zvolen klínový řemen A-800. Řemen se může napínat a povolovat pomocí drážek, přes které je k podstavě přišroubován spodní plech těla drtiče. Řemenice bude jak na hlavním hřídeli, tak i na výstupním hřídeli z elektromotoru zajištěny svěrnou spojkou MLC 5050 od firmy WALTHER FLENDER s.r.o. Pro plynulejší start stroje by bylo možné použít třecí spojku, nebo v lepším případě frekvenční měnič. Řemenový převod je chráněn krytem ze svařeného nerezového plechu.

Tělo drtiče je ze šroubovaných plechů, nejčastěji tloušťky 15 mm, oceli 11 370. Tělo drtiče je rozděleno na vrchní a spodní díl. Součástí spodního dílu jsou i pantem spojená dvířka, která mají na vnitřní straně těsnění a jsou zajištěna zástrčem. Přes tyto dvířka se bude do drtiče dávat sběrná nádoba na výstupní nadrcený materiál. Nádoba může být buď vlastní, svařená z plechu, nebo libovolná dostupná, popř. zakoupená, s maximálními rozměry 215x160x160 mm. Jako součást spodního dílu těla drtiče se berou i ohnuté plechy, přišroubované na boky, které usměrňují materiál, který propadne sítím, do sběrné nádoby. Síto udává otvory tvaru drážky (9x13) mm maximální velikost výstupního materiálu. Síto je pod rotorem a je vzdáleno od pohybujících se kladiv o 1,8 mm. To zajistí, že se vespod síta nebude usazovat nerozdrcený materiál, ale všechn se rozdrťí. Síto je zespoda podepřeno lištami a při provozu je ze shora zajištěno vrchním dílem těla drtiče. Mezi spodním a vrchním dílem je rotor. Ten je k tělu drtiče uchycen pomocí ložiskových jednotek. Mezi těmito

jednotkami a tělem je ještě víčko, ve kterém je hřídelový těsnící kroužek, aby se zamezilo vniknutí skelného prachu do ložiska. Jednotky jsou drženy hlavně spodními šrouby v průchozích dírách ve spodním dílu těla. Vrchní šrouby slouží hlavně k dotáhnutí víček k plechu a utěsnění. Rotor je tvořen deskami, nasazenými na hlavním hřídeli a na jednom konci staženými KM maticí, ve kterých jsou čepy, na nichž jsou kloubově uložena kladiva. Mezi jednotlivými deskami jsou distanční kroužky a kladiva jsou na rotoru uspořádána šachovnicově. Vše je konstruováno tak, aby měla kladiva, kvůli správnému chodu, po stranách i v uložení malou vůli. Vrchní díl je tvořen rovněž ze šroubovaných plechů tloušťky 15 mm, oceli 11 370. Ve spod jsou zkosené plechy sloužící k centrování a správnému nasazení vrchního dílu na spodní. Ve víku vrchního dílu je pak otvor, ze kterého bude přes násypku padat do drtícího prostoru vstupní materiál. Násypka je z nerezového plechu, převážně svařovaná. Na vstupu je pantem uchycený poklop, který má na vnitřní straně těsnění. Násypka je sklopená pod úhlem 60° a nastavená tak, aby se co nejvíce zamezilo odražení roztrášeného materiálu do násypky, a také, aby celou váhu nachystaného vstupního materiálu nenesla klapka. Ta je ve spodní části násypky a je ovládána zvenčí pomocí páky. Pod otočnou pákou je podpěra, na které při zavřeném stavu klapky páka leží. Klapka je tam z toho důvodu, že se nesmí drtič spouštět se zahlceným drtícím prostorem, ale zároveň se musí kvůli prašnosti a bezpečnosti pouštět se zavřeným poklopem. Takto se tedy do násypky, se zavřenou klapkou, nasype vstupní materiál, který se má nadrtit, zavře se poklop, spustí se stroj, a pomocí páky se otevře násypka a vstupní materiál se tak sesune do drtícího prostoru, kde bude rotujícími kladivy rozdrčen.

Většina dílů drtiče bude vyrobena z oceli 11 370 a vnější díly budou na ochranu proti korozi černěny. Pro prvotní otestování jsou z oceli 11 370 vyrobena i kladiva. Po otestování je možné uvažovat o nahrazení kladiv, popřípadě i dalších dílů, za alternativní komponenty z lepšího materiálu, například z oceli legované manganem či chromem, nebo tepelně zpracované oceli 15 260.

Konstrukce drtiče byla tvořena také s ohledem na symetrii. To nejen ulehčuje montáž, ale také to dává uživateli možnost sestavit drtič dle své potřeby. Například mít motor vpravo od dvířek, násypku sklopenou na opačnou stranu apod.

Tab. 2: Hrubý odhad nákladů

Položka	Hodin/kg/ks [-]	Sazba za kg/ks [Kč]	Sazba za hodinu [Kč]	Cena [Kč]
Vypálené plechy				12000
Násypka - vypálení + svaření				3000
U-profily	10	45		450
Řemeslník - obrábění, apod.	25		400	10000
Černění dílů	67	80		5360
Šroubové spoje	112	6,5		728
Elektromotor	1			2184
Svěrné hřídelové spojky				600
Další součásti - řemen, těsnění...				1000
Náklady na přepravu				2000
Součet				37322
Hrubý odhad nákladů				37 500

Náklady na výrobu drtiče jsou na základě kvalifikovaného odhadu stanoveny na cca 40 000 Kč bez DPH. Výsledné náklady se mohou lišit v závislosti na pohybu cen materiálů, technologií a dílů, popřípadě i výměny určitých dílů za díly z lepších a dražších materiálů. Kalkulace ekonomické návratnosti by v tomto případě neměla moc velký smysl, neboť drtič nebude v laboratoři nahrazovat žádného pracovníka.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh zařízení na drcení skelného nosiče pro 3D extruzi. Vstupním materiálem by byly střepy menších rozměrů, či částečně předem rozbité, a výstupním materiálem by byly střepy o dané velikosti. Ty by potom sloužili jako vstupní materiál do mlýnku skelných střepů, který by střepy umlel na konečnou požadovanou velikost částic, využívaných při výzkumu 3D tisku skla.

Na začátku teoretické části je nastíněna recyklace skla, drcení skla a jeho význam v průmyslu a snižování možností odpadů, a dnešní známé technologie 3D tisku skla. Hlavní podkapitolou je v teoretické části rešerše drtičů nerostných surovin. To jsou stroje používané v různých odvětvích průmyslu. Slouží k drcení materiálu na menší kousky a v určitých případech i na prach. Drtičů je mnoho typů, které se od sebe liší, velikostí, výkonem, provedením a způsobem drcení. V této podkapitole se právě podrobněji přiblíží jednotlivé typy drtičů, které se v dnešní době používají. Teoretická část je zakončena rozhodovací analýzou, jenž ze třech typů drtičů, které se dle zadaných požadavků hodí pro účely laboratoře KSR nejvíce, vybere podle několika kritérií vhodný drtič, který se bude v praktické části navrhovat.

Dle výsledků rozhodovací analýzy se bude navrhovat drtič kladivový. Hlavní částí drtiče je rotor s kloubově uloženými drticími kladivy. Rotor je uložen ve šroubovaném tlustostěnném tělu drtiče, v jehož spodní části je na lištách uloženo síto. Síto zespona vymezuje drticí prostor a drážkovými otvory udává velikost výstupního materiálu. Ve vrchním dílu těla drtiče, které vymezuje drticí prostor ze shora, je na víku otvor pro ručně ovládanou násypku a přívod vstupního materiálu. Drtič pohání přes klínový převod elektromotor. Ten stojí společně s tělem drtiče na podstavě, tvořené ze sešroubovaných U-profilů.

Na konci práce je ještě provedeno technické zhodnocení, kde je podrobnější popis konstrukce drtiče, a ekonomické zhodnocení, kde se provedl hrubý odhad nákladů na výrobu celého drtiče.

Zdroje

- [1] HOTAŘ, Vlastimil, Vladimír KLEBSA a Ivo MATOUŠEK. *Technologie automatické výroby skla*. Vydání 1. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-237-2.
- [2] NETSERVIS S.R.O. Recyklace skla. *Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR* [online]. [vid. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://askpcr.cz/o-skle/recyklace-skla>
- [3] PIRKL, Radek. 3D tisk skla má velký potenciál. Tak ať nám s ním neujede vlak. *T-uni* [online]. 18. březen 2023 [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://tuni.tul.cz/rubriky/veda-a-vyzkum/id:97059/3d-tisk-skla-ma-velky-potencial-tak-at-nam-s-nim-neujede-vlak>
- [4] PŘIBYL, Petr. *Techmagazín.cz* [online]. 3-31 2019 [vid. 2023-03-21]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/47364>
- [5] HOUSER, Pavel. 3D tisk ze skla v další verzi: osvit UV a dvojitě vypalování. *Sciencemag.cz* [online]. 27. listopad 2019 [vid. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/3d-tisk-ze-skla-v-dalsi-verzi-osvit-uv-a-dvojite-vypalovani/>
- [6] RÜEGG, Peter. 3D printing method makes complex glass objects with light. *Futurity* [online]. 26. listopad 2019 [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.futurity.org/3d-printing-glass-2221012/>
- [7] DINTER, Otakar. *Drcení a mletí nerostných surovin*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [8] HLAVÁČEK, Jan. *Sklářské stroje*. 2. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [9] RETSCH. *Mletí: Čelist'ové drtiče: BB 100* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.retsch.cz/cz/produkty/mleti/celistove-drtice/bb-100/>
- [10] *Čelist'ový drtič DC - drcení* [online]. 2020 [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=q329dOmHCc8>
- [11] METSO OUTOTEC. Cone crushers - for demanding crushing needs. *Metso Outotec* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.mogroup.com/aggregates/products/crushers/cone-crushers/>
- [12] *Kuželový drtič HCU - drcení* [online]. 2020 [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=nzFVHE8r4fg>
- [13] *DRTIČ BMC - BOHEMIA MACHINE* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: <http://www.bohemia-machine.cz/stavebnictvi/culet-crusher-bmc/>
- [14] ŘEHÁČEK, Emil. *Abeceda motorů a strojů*. 1. vyd. Praha: ROH - Práce, 1955.

- [15] AGRO CS A. S. Malý drtič dvouhřídelový se dvěma pohony – SDTx. *AGRO CS a. s.* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.engineering.cz/produkty/drceni-a-separace/drtice/maly-drtic-dvouhridelovy-se-dvema-pohony-sdtx/c-36/>
- [16] *Shredding Thick Glass Bottles with the Shredder Machine! Hard and Soft Things with Shredder Machine* [online]. 2021 [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=26fX613kPms>
- [17] Hammer Mills Archives. *Schutte Hammermill* [online]. [vid. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.hammermills.com/product-category/hammer-mills/>
- [18] *Drtič BMD - Bohemia Machine* [online]. [vid. 2023-03-30]. Dostupné z: <http://www.bohemia-machine.cz/products/cz/crusherBMD.php?menu=3>
- [19] *Mining/Recycling Hammer mill overview and walk through* [online]. 2018 [vid. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Zn5OGPhfD9g>
- [20] *Recycling Glass To Sand! Glass Crushing & Recycling Line* [online]. 2020 [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=bbHz57uRuZY>
- [21] Pneumokoniózy: příznaky, léčba (Zaprášení plic). *Vitalion.cz* [online]. [vid. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://nemoci.vitalion.cz/pneumokoniozy/>
- [22] *Glass Recycling Hammer Mill* [online]. 2015 [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LXILXwaMkk8>
- [23] *Glass Recycling Hammer Mill Wet Crushing Glass Recovery* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/shorts/S8ioqP8yv6Y>
- [24] *Odrážový drtič HIC - drcení* [online]. 2020 [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Eu4Ga5hC6s4>
- [25] AGRO CS A. S. *Nožový mlýn – MK* [online]. [vid. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.engineering.cz/produkty/drceni-a-separace/drtice/nozovy-mlyn-mk/c-40/>
- [26] 01MACHINERY S.R.L. *WANNER TECHNIK C 13.20 S Ac 04* [online]. [vid. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.01machinery.com/en/wanner-technik-c-1320-s-ac-8380-04>
- [27] DEOS TECHNOLOGY S.R.O. *Bubnové drtiče* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: https://www.deostech.cz/drtice/bubnove_drtice
- [28] SULAK. *Drtiče skla - DTS* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.sulak.cz/cs/produkty/drtice-skla/>
- [29] AUKRO - KUNSTKAMMER2018. *Staré laboratorní sklo - konvolut | Aukro* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://aukro.cz/stare-laboratorni-sklo-konvolut-7029718237>
- [30] JINAN YOULYY INDUSTRIAL CO., LTD. *Zkumavka z borosilikátového skla. Jinan Yoully Industrial Co., Ltd.* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné

z: <http://cz.borosivial.com/borosilicate-glass-tube/laboratory-glass-tube/borosilicate-glass-test-tube.html>

- [31] NAPA RECYCLING AND WASTE SERVICES. *Broken Glass* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://naparecycling.com/guide/broken-glass/>
- [32] ADOBE STOCK. Glasscherben Photos. *Adobe Stock* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://stock.adobe.com/fr/images/glasscherben/30067663>
- [33] ARTIK STUDIO S.R.O. *Kulový mlýn KM 01/R s regulací otáček - KeramickePece.cz* [online]. [vid. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.keramickepece.cz/cs/kulove-mlyny/1232-kulovy-mlyn-km-01-r-s-regulaci-otacek.html>
- [34] KŘÍŽ, Rudolf a KOL. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. V Scientii 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. ISBN 978-80-7183-108-2.
- [35] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

Seznam příloh

Tab. 3: Seznam příloh (Seznam výkresové dokumentace)

	Název dílu/sestavy	Formát	-	BP Číslo studenta	-	Číslo sestavy	-	Výkres/pozice
Příloha 1	Kladivový drtič	1	-	BP S20000024	-	0	-	0
Příloha 2	Řemenice 20 (19)	4	-	BP S20000024	-	0	-	1
Příloha 3	Víčko	4	-	BP S20000024	-	0	-	2
Příloha 4	Úchyt krytu řemene	4	-	BP S20000024	-	0	-	3
Příloha 5	Rotor	3	-	BP S20000024	-	1	-	0
Příloha 6	Hlavní hřídel	3	-	BP S20000024	-	1	-	1
Příloha 7	Kladivo	4	-	BP S20000024	-	1	-	2
Příloha 8	Deska	4	-	BP S20000024	-	1	-	3
Příloha 9	Čep	4	-	BP S20000024	-	1	-	4
Příloha 10	Distanční kroužek 22	4	-	BP S20000024	-	1	-	5
Příloha 11	Distanční kroužek 10	4	-	BP S20000024	-	1	-	6
Příloha 12	Podstava	3	-	BP S20000024	-	2	-	0
Příloha 13	U-profil pravý	4	-	BP S20000024	-	2	-	1
Příloha 14	U-profil levý	4	-	BP S20000024	-	2	-	2
Příloha 15	U-profil malý	4	-	BP S20000024	-	2	-	3
Příloha 16	Násypka	2	-	BP S20000024	-	3	-	0
Příloha 17	Poklop	4	-	BP S20000024	-	3	-	1
Příloha 18	Klapka	4	-	BP S20000024	-	3	-	2
Příloha 19	Tyč na klapku	4	-	BP S20000024	-	3	-	3
Příloha 20	Páka	4	-	BP S20000024	-	3	-	4
Příloha 21	Příruba malá	4	-	BP S20000024	-	3	-	5
Příloha 22	Svařenec násypky	3	-	BP S20000024	-	4	-	0
Příloha 23	Příruba spodní	4	-	BP S20000024	-	4	-	1
Příloha 24	Šikmý plech	4	-	BP S20000024	-	4	-	2
Příloha 25	U plech	3	-	BP S20000024	-	4	-	3
Příloha 26	Lem	4	-	BP S20000024	-	4	-	4
Příloha 27	Podpěra páky	4	-	BP S20000024	-	4	-	5
Příloha 28	Svařenec krytu řemene	3	-	BP S20000024	-	5	-	0
Příloha 29	Kryt řemene rovný	4	-	BP S20000024	-	5	-	1
Příloha 30	Kryt řemene ohyb	3	-	BP S20000024	-	5	-	2
Příloha 31	Svařenec krytu ložiska	4	-	BP S20000024	-	6	-	0
Příloha 32	Kryt ložiska rovný	4	-	BP S20000024	-	6	-	1
Příloha 33	Kryt ložiska ohyb	4	-	BP S20000024	-	6	-	2
Příloha 34	Kryt ložiska úchyt	4	-	BP S20000024	-	6	-	3
Příloha 35	Spodní díl těla drtiče	2	-	BP S20000024	-	7	-	0
Příloha 36	Spodek	4	-	BP S20000024	-	7	-	1
Příloha 37	Bok velký - přední - zadní	3	-	BP S20000024	-	7	-	2
Příloha 38	Bok velký pravý	3	-	BP S20000024	-	7	-	3
Příloha 39	Bok velký levý	3	-	BP S20000024	-	7	-	4
Příloha 40	Síto	3	-	BP S20000024	-	7	-	5
Příloha 41	Lišta	4	-	BP S20000024	-	7	-	6
Příloha 42	Usměrňovací plech	4	-	BP S20000024	-	7	-	7
Příloha 43	Dvířka	4	-	BP S20000024	-	7	-	8
Příloha 44	Vrchní díl těla drtiče	3	-	BP S20000024	-	8	-	0
Příloha 45	Víko	4	-	BP S20000024	-	8	-	1
Příloha 46	Bok - přední - zadní	4	-	BP S20000024	-	8	-	2
Příloha 47	Bok - pravý - levý	4	-	BP S20000024	-	8	-	3
Příloha 48	Plech krycí	4	-	BP S20000024	-	8	-	4
Příloha 49	Plech - centrování	4	-	BP S20000024	-	8	-	5