

Konstrukce drtícího zařízení pro recyklaci dílů z 3D tisku

Michal Sviták

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Sviták**
Osobní číslo: **T21690**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce drtícího zařízení pro recyklaci dílu z 3D tisku**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Navrhněte technické řešení drtícího zařízení.
3. Zhotovte výkresovou dokumentaci včetně výkresu sestavy a kusovníku.
4. Zhodnocení výsledků řešení.

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

Seznam doporučené literatury:

1. MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. Výrobní stroje a zařízení I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 264 s. ISBN 978-80-7318-596-1.
2. Konstruktor: CAD – CAM – PLM – obrábění – 3D tisk – výroba – automatizace. Praha: Springwinter, 2013-. ISSN 1805-8590.
3. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015, 230 s. ISBN 978-80-7204-921-9.
4. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem drtícího zařízení pro recyklaci dílů z 3D tisku, určeného pro malé firmy, hobby 3D tiskaře a kutily. Zařízení by mělo působit v recyklační lince, kde se zpracovává odpadní materiál 3D tisku. Pomocí vytlačovacího stroje, který provádí další operaci, se vyrobí recyklovaný filament. Důležité bylo dodržet výstupní parametr drtící frakce 3-4 mm, který je požadován u vytlačovacích stojů. Práce se zaměřuje na problematiku drcení plastového odpadu, od které se odvíjí konstrukce jednotlivých drtičů. Dle požadavků byly uvažovány dva návrhy stroje a ve výsledku byl vybrán dvouhřídelový drtič. Zařízení bylo navrženo pro nejpoužívanější druh filamentu, PLA. Díky regulaci otáček a možnostem demontáže roštu, je schopno rozdrtit i jiné tvrdší polymery.

Klíčová slova: drtící zařízení, drcení, jednoúčelové stroje, recyklace, plasty, 3D tisk

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a crushing device for recycling 3D printed parts, designed for small companies, hobby 3D printers and do-it-yourselfers. The equipment should operate in a recycling line where 3D printed waste material is processed. A recycled filament is produced by using an extruder that performs the next operation. It was important to comply with the output parameter of the crushing fraction 3-4 mm, which is required for extrusion stands. The work focuses on the issue of crushing plastic waste, from which the construction of individual crushers is derived. According to the requirements, two machine designs were considered and as a result a two-shaft crusher was selected. The device was designed for the most used type of filaments, PLA. Thanks to speed control and grate disassembly options, it is able to crush other harder polymers.

Keywords: Shredder, shredding, single-purpose machine, recycling, plastics, 3D printing

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavu Janošíkovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady při vedení mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 3D TISK	11
1.1 SLA	11
1.2 SLS	12
1.3 FDM/FFF	13
2 DRCENÍ POLYMERŮ	16
2.1 DRUHY DRTÍCÍCH ZAŘÍZENÍ	16
2.1.1 Kuželové drtiče	16
2.1.2 Talířové mlýny	17
2.1.3 Tlukadlové a kladivové mlýny	18
2.1.4 Kulové mlýny	19
2.1.5 Koloidní mlýn	20
2.1.6 Nožové mlýny	21
2.1.7 Jednohřídelové/dvouhřídelové drtiče	22
3 KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÝCH ZAŘÍZENÍ	23
3.1 RÁMY	23
3.1.1 Odlévané rámy	23
3.1.2 Svařované rámy	24
3.1.3 Modulární systém	25
3.2 POHONY	27
3.2.1 Elektromotory	27
3.2.2 Stejnoseměrné elektromotory	27
3.2.3 Střídavé elektromotory	28
3.2.4 Asynchronní motory	28
3.2.5 Synchronní motory	29
3.2.6 Krokové motory	30
3.2.7 Hydraulické motory	31
3.2.8 Pneumotory	32
3.3 REGULACE OTÁČEK MOTORU	33
3.3.1 Impulsní PWM regulátory (Pulzně-šířková modulace)	33
3.3.2 Fázově řízené regulátory	34
3.3.3 Frekvenční měniče	35
3.3.4 Regulační autotransformátory	36
3.4 PŘEVODOVÉ MECHANISMY	37
3.4.1 Řemenové převody	37
3.4.2 Řetězové převody	38
3.4.3 Převody ozubenými koly	38
3.4.4 Převodové skříně	39
3.4.5 Variátory	40

3.5	SPOJKY.....	41
3.5.1	Trubková spojka s kolíky	42
3.5.2	Přírubová spojka.....	43
3.5.3	Kotoučová spojka.....	43
3.5.4	Spojka s listovými ocelovými pružinami	45
3.5.5	Spojka s hadovitě vinutou pružinou	45
3.5.6	Špalíková pružná spojka	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	47
4	ANALÝZA PROBLÉMU, NÁVRH	48
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	50
5.1	STATOROVÉ A ROTOROVÉ NOŽE	50
5.1.1	Drťící síly.....	52
5.2	MOTOR A PŘEVODOVKA	55
5.3	DRTÍČÍ KOMORA.....	56
5.3.1	Volba ozubených kol.....	56
5.3.2	Návrh hřídelí	58
5.3.3	Návrh a kontrola pera.....	60
5.3.4	Ložiska	61
5.3.5	Ostatní součásti a montáž drťící komory	61
5.3.6	Rošt	63
5.4	RÁM.....	65
5.5	NÁSYPKA	68
5.6	OVLÁDACÍ PANEL.....	69
6	ZHODNOCENÍ.....	70
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

Dnešní svět je téměř přehlcen polymerními materiály a kvůli dobrým chemickým, mechanickým a fyzikálním vlastnostem se budou i v budoucnu hojně využívat a vyvíjet. V posledních letech se stal 3D tisk velmi dostupným, nejen pro malé firmy, ale i pro domácí uživatele a kutily. Je to dáno pořizovací cenou zařízení a primárně možností vytisknout jakýkoliv výrobek, kde oproti vstřikováním a jiným technologiím, trvá samotná výroba FDM technologií řádově v hodinách, ale vyplácí se pouze pro kusovou výrobu. Mnoho modelů je volně stažitelných na internetu, ale problém nastává, když si chce uživatel navrhnout specifický model budoucího výrobku sám. Při navrhování by měl být technicky zdatný v modelování ve 3D konstrukčních programech, a taky znát vlastnosti materiálů a výrobní proces. To vše domácí kutilové získávají s postupem času, a tak mnohdy tisknou různé dekorativní a nepotřebné věci. Jak rychle se výrobky vyrábí, tak i rychle přibývají. Většinou při vyvíjení různých prototypů se stává, že uživatel není spokojen s výsledným produktem. Může to být kvůli špatným mechanickým vlastnostem, volbě materiálu apod. Poté se návrh modelu a výroba opakuje. V takových případech přibývají tištěné modely a jediná možnost jejich opětovného použití je recyklace. U běžných materiálů a u materiálů s výplní například s uhlíkových a skelných vláken, u kterých je drahá pořizovací cena, je tento proces vítaný. Recyklace se v dnešním moderním světě hojně uplatňuje. Především kvůli ekologii, ale také kvůli opětovnému použití materiálu. Ovšem některé materiály, jako jsou reaktoplasty, recyklovat nejdou.

Proto je cílem bakalářské práce navrhnout drtící zařízení k recyklaci dílů, určené především jako doplňující zařízení k hobby 3D tiskárnám. Pro jeho konstrukci je zapotřebí znát strojní součásti, pevnostní a mechanické výpočty, principy drcení, vlastnosti materiálů a v poslední řadě samotné konstruování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 3D TISK

Historie 3D tisku, dříve nazývaná jako Aditivní výroba, se začala psát už na konci 80. let 20. století. Začátek odstartoval Charles Hull v roce 1983, který jako první sestavil stroj založený na technologii stereolitografii (SLA). [1]

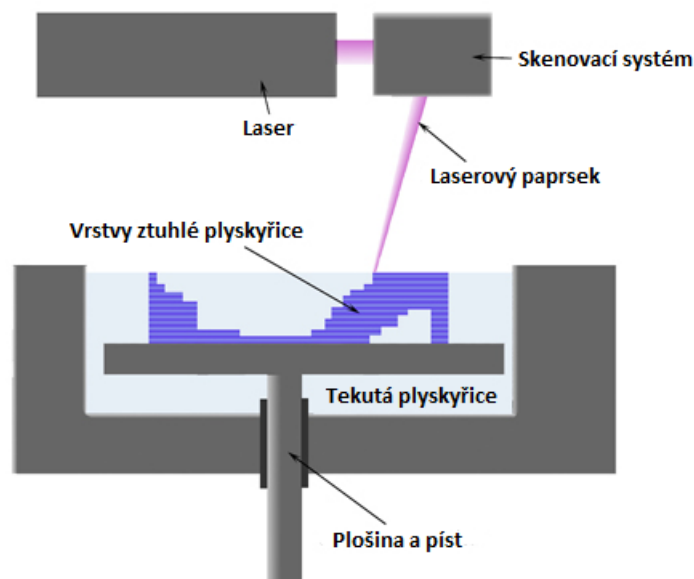
Klíčovou a zároveň odlišnou vlastností výroby pomocí 3D tisku je aditivní výroba. Je to metoda, která vytváří díly aditivně (postupně) po vrstvách. Vrstvený materiál je spojován pomocí zdrojem tepla, světla, spékáním anebo tavením. Práce s 3D tiskem začíná u návrhu 3D modelu, který je následně rozdělen do vrstev. Vrstvy udávají, výšku vrstveného materiálu. Výška vrstvy je vždy volena podle dané technologie, proto se nejčastěji volí od 0,05 mm až po několik centimetrů, s čímž se lze setkat například ve stavebnictví, při tisku z betonu. Jak už bylo naznačeno, lze tisknout z různých materiálů, například z plastu, kovu, keramiky, potravinářských materiálů atd. [1]

Výroba se výrazně liší od známých způsobů, jako je obrábění, tváření, odlévání apod. Zásadní odlišností a velkou výhodou je především velmi rychlá výroba a mnohem menší náklady. [1]

1.1 SLA

Jak už bylo zmíněno, jedná se o nejstarší technologii 3D tisku. pracuje na principu aditivního vytváření vrstev, kde vytvrzování, tekutého fotopolymeru, se provádí pomocí světelného zdroje. Fotopolymer je materiál citlivý na světlo. Zdrojem světla bývá ultrafialový (UV) laserový paprsek. Tuto technologií lze vyrábět velmi přesné díly s velmi malými detaily, což je hlavní výhoda u SLS technologie. Negativní vlastností je proces vytvrzování, který je velmi pomalý a také tepelná odolnost většiny materiálů je malá. Drahé jsou i počáteční investice a náklady na údržbu. Jedním z důvodů může být drahý materiál. Spotřeba u „hobby“ tiskáren začíná na 1,5 litrech a podle velikosti tiskové plochy, může být až několik desítek litrů. [1], [2], [3]

SLA se používá k vytváření prototypových modelů, výrobních dílů pro širokou řadu průmyslových odvětví, od strojírenství, zdravotnictví, klenotnictví apod. [2], [3]

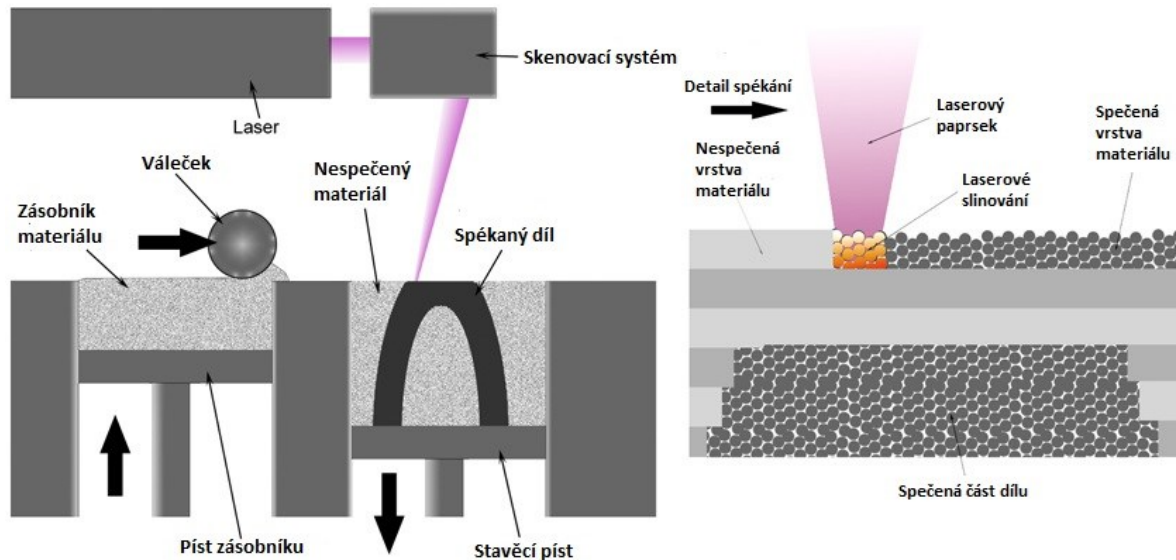


Obr. 1.: Schéma SLA tisku. [4]

1.2 SLS

Selective Laser Sintering využívá laserové spékání malých částí polymerního prášku. Vzniká tak pevná struktura budoucího dílu. Každá jednotlivá vrstva vzniká postupným nanášením velmi jemného prášku na nosnou desku a laser nanesenou vrstvu speče do jednoho celku. Po spečení jedné vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu odpovídající výšce jedné vrstvy. Velkou výhodou je, že přebytečný nespečený materiál slouží jako podpěry a výplně otvorů. Ovšem po skončení tisku se musí hotový výrobek pečlivě očistit od nespečeného materiálu. Celé pracovní prostředí je uzavřeno v inertní atmosféře dusíku nebo argonu. Díly z SLS mohou vynikat výbornými detaily, složitou geometrií včetně vnitřních prvků a tenkých stěn. [1], [2], [4], [5]

Díky hospodárnosti, rychlosti, dobrým vlastnostem tisku a odolným dílům se stala tato technologie nejrozšířenější ve strojírenském prototypování. SLS využívá velké zastoupení materiálu, například: termoplastické materiály (PA, PC, PS i s přídavkem kompozitu), kovy a sklo. [2]



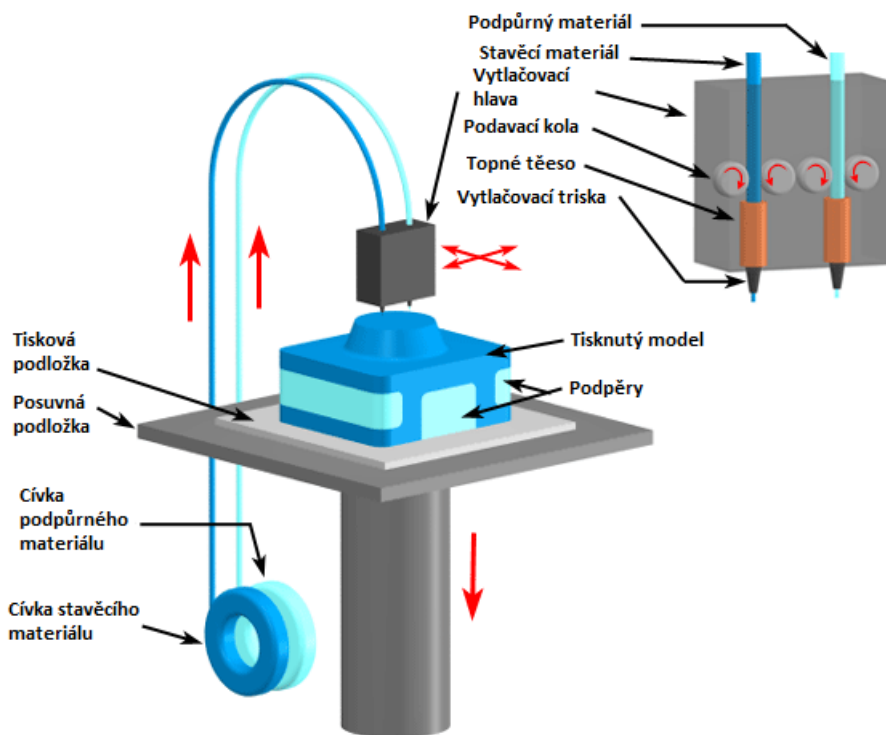
Obr. 2.: Schéma SLS tisku. [4]

1.3 FDM/FFF

Fused Deposition Modeling (FDM) nebo i Freeform Fabrication (FFF) jsou naprosto totožné technologie, pouze v tom rozdílu, že metoda FDM, je pouze obchodní název a je zaregistrována, ochrannou známkou, společností Stratasys. FFF název vznikl jako alternativa k FDM. [1]

Aditivní technologie pracuje na principu vytlačování filamentu, ve formě termoplastického materiálu. Materiál se v tzv. extruderu zahřeje na požadovanou pracovní teplotu a tryskou je filament, po vrstvách, nanášen na tiskovou podložku (hotbed), kde hned tuhne. Nanášení filamentu si lze představit, jako když se perem vytlačuje drát taveného materiálu a namalováním obvodu požadovaného tvaru se vytvoří jedna vrstva. Pokračuje se vytvořením výplně budoucího výrobku. Druhem výplně lze ovlivnit výslednou pevnost a chování výrobku. Může mít různou hustotu a formu například mřížkovou, trojúhelníkovou, gyroskopickou, kubickou, hvězdicovitou atd. [1], [4], [6]

FDM/FFF technologií lze vyrábět přesné modely, ovšem ne tak přesné jako u SLS a SLA tisku. U tvarů, kde je přemostění, je nutné použít podpěry, které se většinou tisknou z podpůrného materiálu, což je nevýhodou při post-processingu. Další nežádoucí vlastností může být viditelné vrstvení materiálu na povrchu výrobku a u materiálů s velkou tepelnou roztažností dochází k prasklinám mezi vrstvami. [1] [4] [6]



Obr. 3.: Schéma s dvěma extrudery pro FDM. [7]

Kvůli dostupnosti, efektivitě a rychlosti výroby je FDM/FFF technologie velmi oblíbená, a to nejen u firem a v kancelářích, ale i u domácích kutilů a modelářů.



Obr. 4.: Vytištěný model s podpěrami. [8]



Obr. 5.: Porovnání výtisků technologií 3D tisku SLS, SLA a FDM [9]

2 DRCENÍ POLYMERŮ

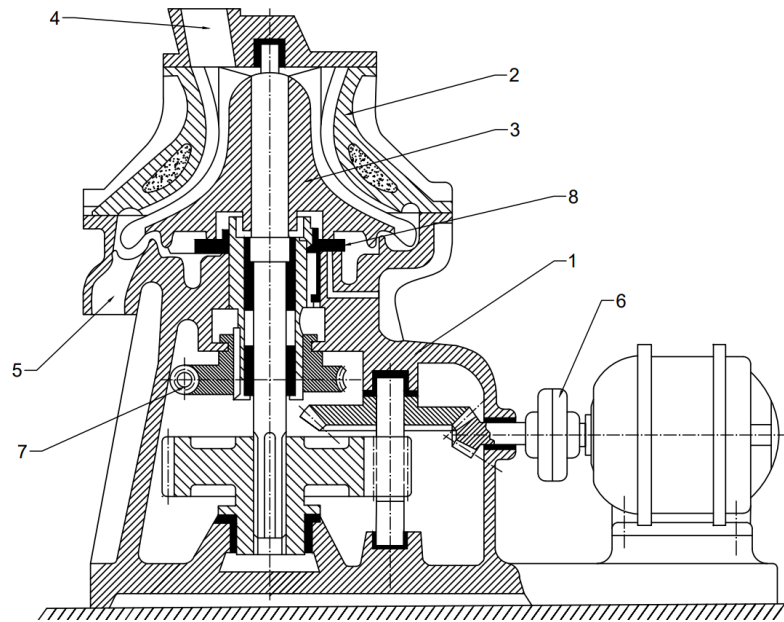
Na začátku se zpracovávané polymery rozdělují do dvou skupin. První skupinou jsou plasty, co splnily svou danou funkci a již nenachází své využití. Jsou to recyklované plasty, co spotřebitel vyhodil, například do odpadkového koše. Tuto skupinu lze určitým způsobem zpracovávat, ale aby k tomu mohlo dojít musí se speciálně roztrždit, což je tématem jiné práce. Druhou skupinou jsou výrobky, u nichž je jasné složení a druh polymeru. Jsou to zmetkové výrobky, anebo použité výrobky vytištěné na 3D tiskárně.

Drcení je proces určený k rozmělnění výrobků, velkých kusů materiálu na stejně velkou, menší frakci zrn. Před drcením je třeba znát vlastnosti drcených materiálů, jako jsou fyzikální vlastnosti (tvrdost, křehkost), následné využití odpadu a požadované vlastnosti materiálu. Podle zmíněných požadavků se volí způsob a druh drcení. Drtiče se rozdělují na rychloběžné a pomaloběžné. Pomaloběžné se používají k prvotním drcení velkých kusů. Výsledkem jsou různě velká zrna. Rychloběžné drtiče se používají pro drobný odpad a ke sjednocení velikosti drcených zrn. Mají i nevýhodu v drcení materiálů s nízkou teplotou skelného přechodu, kdy vlivem tření dochází k jejich zahřátí a polymery se mohou „nalepovat“ na funkční části drtiče. [15]

2.1 Druhy drtících zařízení

2.1.1 Kuželové drtiče

Kuželové drtiče se používají především pro velmi tvrdé a nelepivé materiály. Drcení se provádí pomocí drtícího kužele, který vykonává otáčivý a kyvný pohyb. Povrch kužele je rýhovaný nebo hladký. Vlivem otáčení a kývavého pohybu kužele se materiál dostane do širší části v komoře a zpětným kyvným pohybem se materiál rozdrtí. Vnitřní kužel i plášť je opatřen chladicími kanálky. Výstupem je velmi jemná drť nebo pasta. [15]

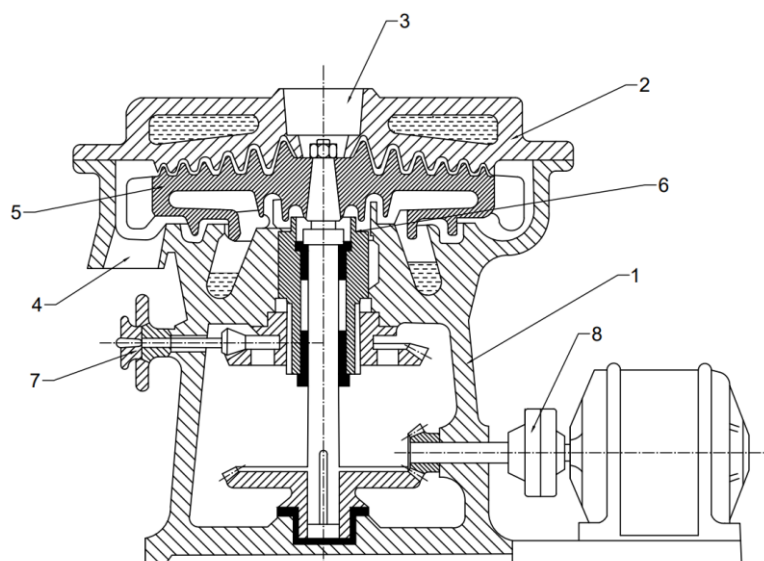


Obr. 6.: Schéma kuželového drtiče. [15]

1-1-fréma, 2-komora, 3-rotor, 4-násypka, 5-výstup, 6-rozběhová spojka,
7-šroubový převod, 8-prstenec.

2.1.2 Talířové mlýny

Talířový mlýn pracuje na podobném principu jako Kuželový drtič. Drcení zajišťují výstupky na víku a rotoru. Vlivem otáčení rotoru se materiál drtí o výstupky, které jsou od osy rotoru zmenšovány a materiál je tím jemnější. Posuv drceného materiálu zajišťuje pohyb rotoru a odstředivá síla. [15]

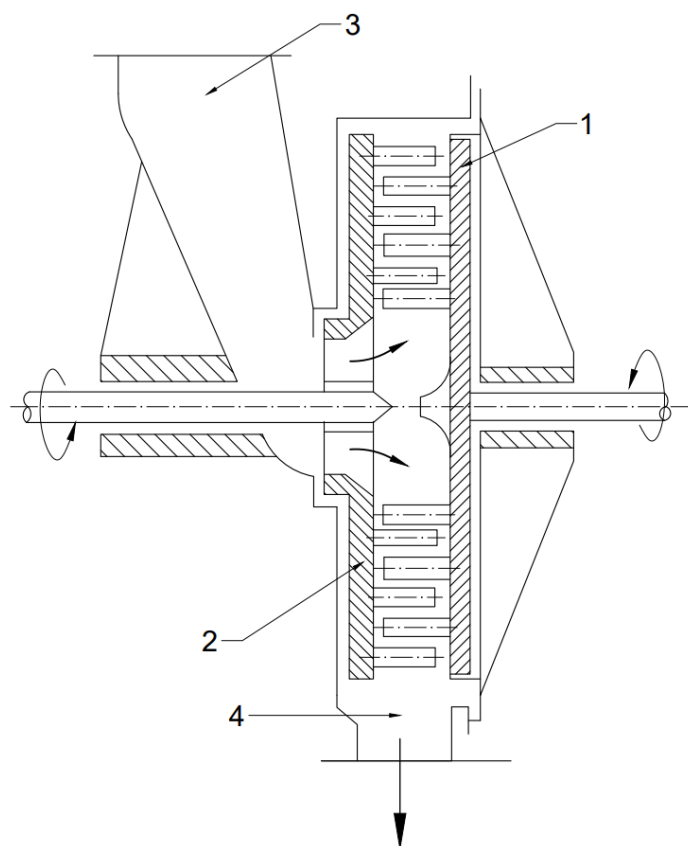


Obr. 7.: Schéma talířového drtiče. [15]

1-fréma, 2-víko, 3-plnicí otvor, 4-vstup, 5-rotor, 6-prstenec, 7-ruční kolečko,
8-úručná spojka.

2.1.3 Tlukadlové a kladivové mlýny

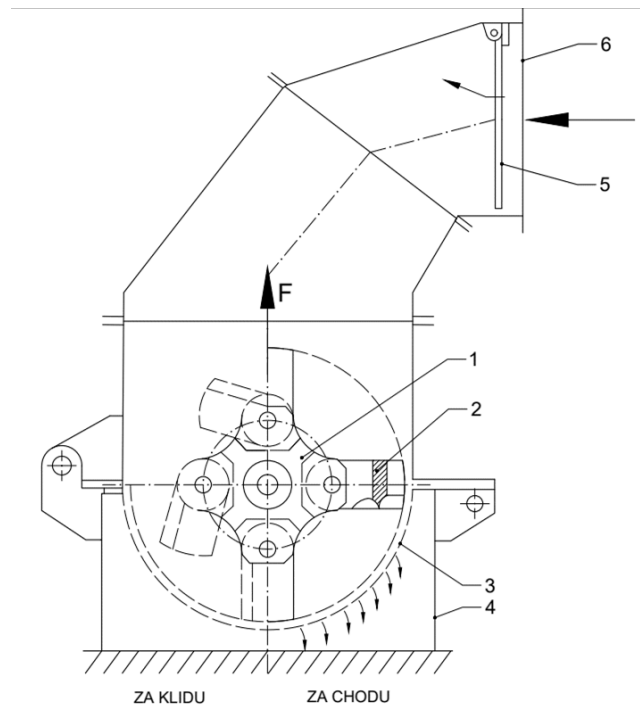
Tlukadlové mlýny využívají k dělení materiálu energii lamel nebo kolíků upevněných na rotoru i statoru. Jejich velikost se směrem od osy rotoru zmenšuje. Při vstupu jsou součásti drceného materiálu často velké a tím i tlukadla jsou rozměrnější. Postupem drcení se kousky drtě zmenšují až ke konci, kde se nachází malá tlukadla. Těsně mezi tlukadly a výstupem se nachází síto. Díky čemuž mlýny zaručují stejnou velikost výstupních zrn. Kvůli nárazům tlukadel, kladiv a lamel jsou mlýny velmi hlučné. [15]



Obr.8.: Schéma tlukadlového mlýnu. [15]

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

Kladivové mlýny pracují na stejném principu drcení jako tlukadlové mlýny. Liší se pouze konstrukcí a volným upevněním kladiv na rotoru. Vlivem odstředivé síly se kladiva postaví a svou setrvačností rozbíjí drcené součásti. Melou se pouze křehké materiály jako je PS, PP, PVC. [15]

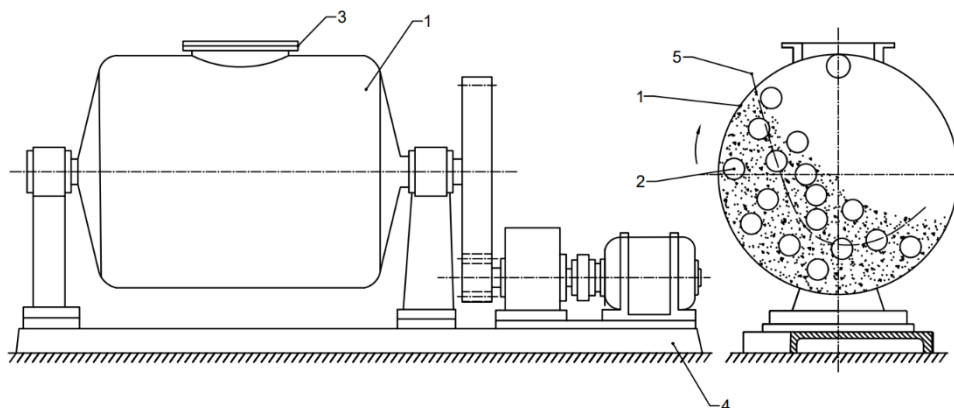


Obr. 9.: Schéma kladivového mlýnu. [15]

1-rotor, 2-kladivo, 3-mřížka, 4-těleso stroje, 5-závěs, 6-hrdlo.

2.1.4 Kulové mlýny

Mletý materiál se mele v otáčejícím se bubnu mlýna spolu s drticími prvky (koulemi). Buben se otáčí pomalými otáčkami, aby se koule třely a narážely do drceného dílu. Důležité je správně zvolit otáčky bubnu, kvůli možnému vniku odstředivých sil působících na prvky v bubnu. Bubny jsou konstruovány i s vibračním efektem, které se často používají k jemnému mletí. U těchto mlýnů se nenachází výstup, ale namletý materiál se odebírá a třídí od drticích prvků až na samém konci drcení. [15]

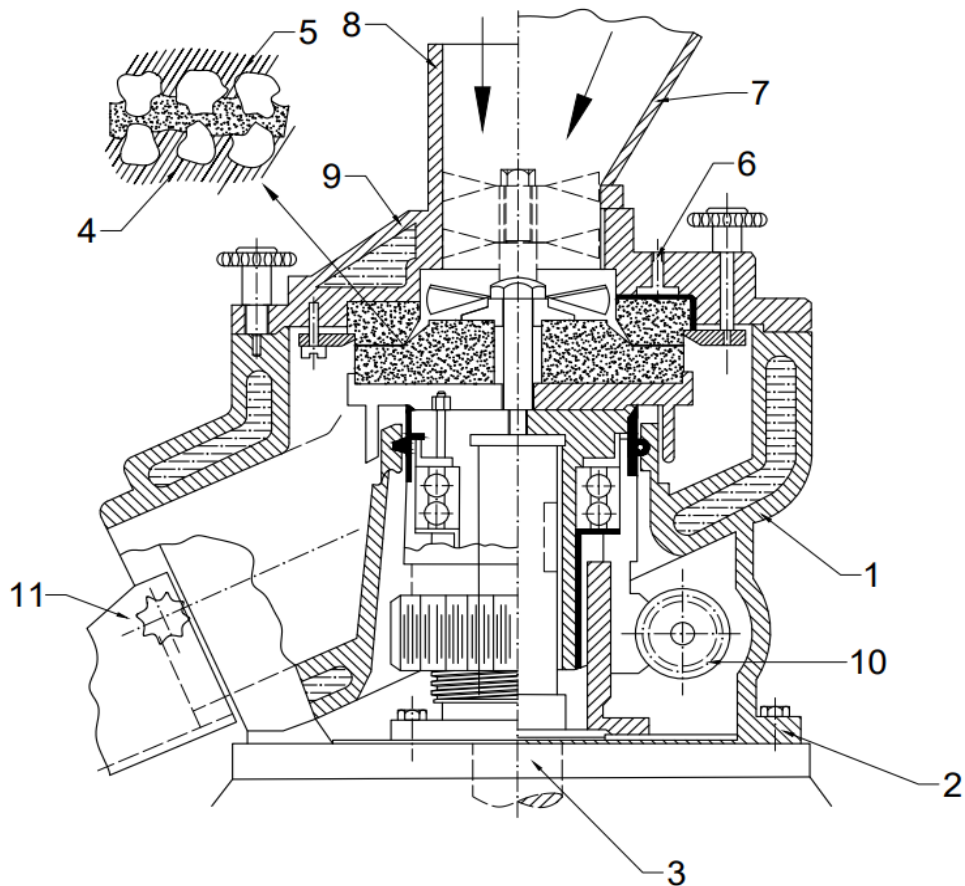


Obr. 10.: Schéma kulového mlýnu. [15]

1-buben, 2-koule, 3-víko, 4-základová deska, 5-dělicí křivka.

2.1.5 Koloidní mlýn

Mletí zajišťují dva brusné kotouče ze syntetického korundu nebo karborunda. Využívají se k jemnému mletí past, laků, lepidel apod., kde velikost zrn je menší než $1\mu\text{m}$. Velikost namletých zrn je závislá na hrubosti a tvrdosti mlecích kotoučů. Rychlost mletí se pohybuje od 30 do $120\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. [15]

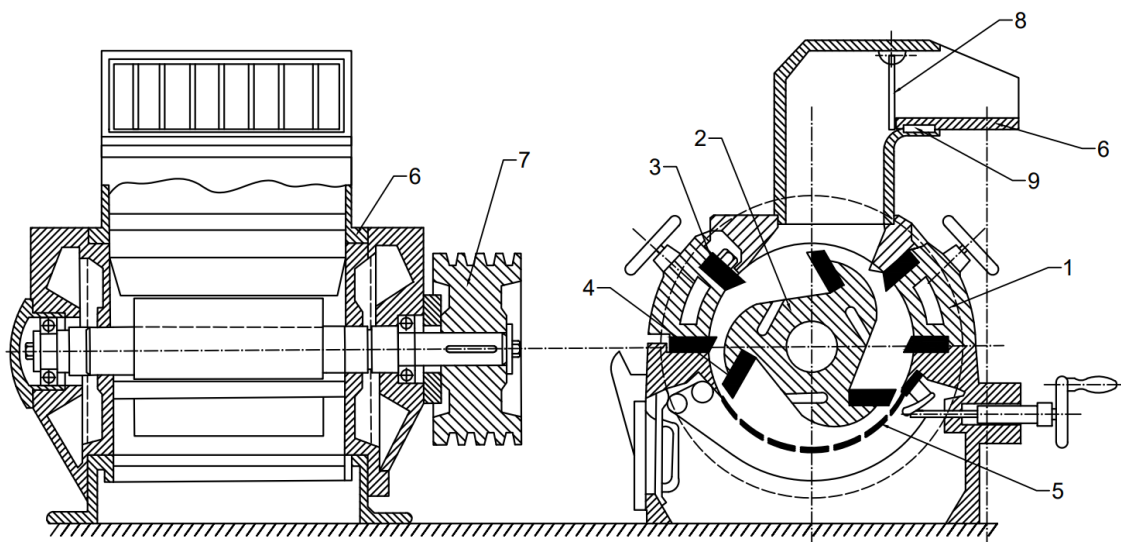


Obr. 11.: Schéma koloidního mlýnu. [15]

1-fréza, 2-stojan, 3-hřídel, 4-rotor, 5-stator, 6-víko, 7-nálevka, 8-nátrubek, 9-míchadlo, 10-převod, 11-odklopný žlab.

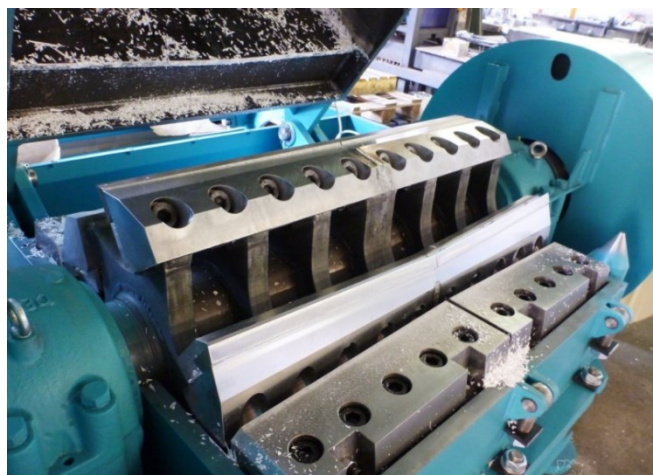
2.1.6 Nožové mlýny

Jak už z názvu vyplívá jedná se o soustavu nožů, které jsou upevněny na rotoru a statoru. Mletí materiálu zajišťují nože, mezi nimiž je minimální vůle, kde dochází ke střížnému účinku. Nože stříhají materiál celou svou střížnou plochou. Tím vzniká drť ve formě pásků. Záběry nožů, celými svými plochami, vzniká velký hluk, což může být jedna z nevýhod. Spodní část mlecího prostoru je tvořena roštem. Důvodem je regulace jemnosti namletého materiálu. Nožové mlýny mohou být použity na různé druhy materiálů (PVC, PE, PP, PS apod.). [15]



Obr. 12.: Schéma nožového mlýnu. [15]

1-skříň, 2-rotor, 3-statorový nůž, 4-rotorový nůž, 5-rošt, 6-násypka, 7-řemenice, 8-závěs,
9-magnetický odlučovač.



Obr. 13.: Nožový mlýnu. [16]

2.1.7 Jednohřídelové/dvouhřídelové drtiče

Princip i konstrukce drtícího zařízení je podobná, jako u nožového mlýnu. Jak už název napovídá, drtící zařízení je konstruováno s jednou nebo dvěma hřídeli. Na každé hřídeli jsou upevněny řezací segmenty. Segment je konstruován s několika noži po obvodu, kde každý segment má jiný úhel záběru, aby nedocházelo ke vzniku velkých střížných sil. Díky tomu jdou řezací nože do záběru postupně a chod stroje je plynulý. Otáčející pohyb hřídelí proti sobě má výhodu v posouvání řezaného materiálu směrem mezi hřídele, kde dochází k drcení materiálu. Jako většina drtících zařízení, je opatřen sítím. Nachází se v části výstupu, v těsné blízkosti s noži. Slouží k zamezení propadu velkých částí, mletého dílu. Výsledná frakce drtě je dána velikostmi a počtem řezných nožů, kterým odpovídají díry v síti. [16], [17]



Obr. 14.: Pohled na pracovní část Dvouhřídelového drtiče. [16]

Dvouhřídelové drtící stroje jsou hojně rozšířeny. Ve většině případech se nachází u recyklačních linek v počáteční fázi zpracování odpadu. Používají se na vrakovištích k mletí kovového odpadu, dřeva až po měkké pryže. Každý stoj má specifické vlastnosti. Především záleží na materiálu, z kterého jsou vyrobeny nože. Jsou většinou z kvalitního ušlechtilého kovu, který je následně tepelně zpracován. Motory a převodovka má přizpůsobený výkon a chod celého zařízení. [16] [17]

3 KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÝCH ZAŘÍZENÍ

Stavba každého stroje primárně závisí na technologických požadavcích a efektivitě výroby. Stroje se konstruují tak, aby splňovali vysoké požadavky výroby s minimálním časem a náklady.

Při konstrukci jednoúčelového stroje je důležité vycházet z pracovního zatěžování stroje, tak aby jeho samotná konstrukce odolávala daném úkonu. Postupuje se od mechanicky pracujících částí stroje. V tomto případě, drtících částí, které byly specifikovány v předchozí kapitole u jednotlivých drtičů. Poté se navrhne pohon, nejčastěji realizovaný motorem, napájeným elektrickým proudem až ke konstrukci převodové skříní. Podle velikosti stroje, mechanických vlastností a uspořádání jednotlivých součástí, jako jsou hřídele, ložiska ozubené kola apod. se volí i samotná kostra stroje, nejčastěji realizována rámem. Důležitou součástí jsou bezpečnostní prvky, jež musí být součástí každého stroje.

3.1 RÁMY

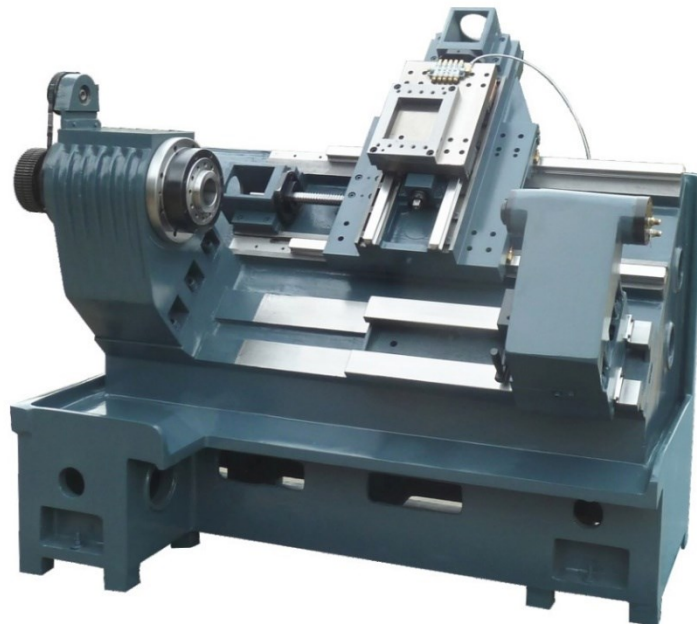
Rám patří mezi základní díl každého stroje. Používá se jako nosná část a má za úkol udržet celý systém konstrukčních prvků stroje pohromadě. Kvůli nežádoucím účinkům, jako jsou rázy a vibrace, by měl rám splňovat dostatečnou dynamickou stabilitu a statickou tuhost. Také kvůli možné manipulaci se strojem by měl být rám co nejlehčí. Rámy se dělí podle způsobu zhotovení na:

- Odlévané
- Svařované
- Modulární [15]

3.1.1 Odlévané rámy

Rámy se vyrábí technologií odléváním, nejčastěji z šedé litiny, oceli a ocelolitiny. Využívají se také neželezné materiály, jako je beton a tzv. polymerbeton. Litina má dobrou vlastnost tlumit vibrace a vyniká rozměrovou stabilitou. Oproti litině má polymerbeton lepší schopnost tlumit vibrace, ale horší vlastnost tlumit velké rázy, kvůli nebezpečí prasknutí. Proto se často kombinují tyto materiály ve složení litinového rámu a polymerbetonových výztuh. Při volbě druhu materiálu je vždy nutné hodnotit technické vlastnosti daného materiálu, které mají vliv na konečné chování celého stroje. Důraz by měl být také kladený na hospodárnost a ekonomické vlastnosti při výrobě, kde například odlévání litiny se vyplácí pouze při sériové výrobě. Důvodem je výroba dřevěných modelů,

které se vyrábí na několik desítek odlitek a cena jednoho druhu modelu odpovídá jednomu rámu. [19]



Obr. 15.: Litinový rám CNC soustruhu. [20]

3.1.2 Svařované rámy

Svařování je proces, kdy pomocí tepla a tlaku lze ze dvou a více materiálově podobných součástí vytvořit jeden nerozebíratelný celek. Lze spojovat kovové i nekovové materiály a většinou podle vlastností spojovaného materiálu, druhu svaru, přesnosti svaru se volí i metoda svařování. Kovy můžeme svařovat například metodou obloukovým svařováním tavící/netavící se elektrodou v ochranné atmosféře, laserovým, odporovým svařováním atd. Mezi výhody patří především velká pevnost a trvanlivost. Ve srovnání s odlitky je svařování až o 50 % materiálově úspornější. Nevýhodami mohou být změny mechanických vlastností svarů a také vznik velkého vnitřního pnutí. [21] [22]

Svařování je v dnešní době hojně automatizováno pomocí robotů, hlavně při sériové výrobě. Správně seřízení roboti zrychlí výrobu a samotné svary jsou pohledově až dokonalé. Toho dělník nedosáhne, ale na druhou stranu je i manuální svařování ve výrobě nenahraditelné. Ovšem výsledná jakost svaru, je závislá na kvalifikaci daného pracovníka.[21][22]



Obr. 16.: Svařenec části rámu stroje. [23]

Ke kompletaci ráků se nejčastěji používají ocelové profily nebo válcované plechy, které mají dobrou svařitelnost. Ráky se svařují primárně malými svary, aby nedocházelo k nadměrnému pnutí. [22]

3.1.3 Modulární systém

Hliníkové konstrukce jsou v dnešní době často využívány. Je to zapříčiněno dobrými vlastnostmi, které slitiny hliníku (dural) mají. Čistý hliník je kov s nízkou pevností, ale díky přidaným legujícím prvkům, jako je mangan, měď, hořčík, zinek apod. a specifické výrobě tváření profilů, dosahuje výborných fyzikálních a mechanických vlastností.

Hliníkové ráky z profilů jsou oproti svařovaným rákům méně nákladné a při svém použití se chovají lépe než oceli. Velkou výhodou je nízká hmotnost, a tak i snadná manipulace se zhotoveným konstrukčním prvkem. Profily nevyžadují žádnou zvláštní údržbu. Jsou odolné vůči korozi, povětrnostním podmínkám. Povrchová úprava zlepšuje vyšší odolnosti proti opotřebení. [24] [25]



Obr. 17.: Modulární profily. [26]

Snadnou montáž zajišťuje jednoduchý, ale přesný tvar hliníkových profilů a T-drážky pomocí, kterých se sešroubují do požadovaného tvaru. Využívány je také tvar profilu a drážek, kterými mohou vést různé kabely, lana, řetězy, valivé elementy atd. U T-drážek je velká výhoda snadného a rychlého připevnění různých funkčních prvků. [24] [25]

Ve světě i v České republice je hojné zastoupení výrobců, kteří nabízejí různé druhy hliníkových profilů. Jedná se například o firmy TechXXL, Haberkorn s.r.o., ALUPA, Alváris Profile Systems, Minitech Item 24 apod. [24] [25]



Obr. 18.: Jednoúčelový stroj z hliníkových profilů. [27]

3.2 POHONY

Hrají důležitou roli u každého zařízení, kde vzniká z elektrické, hydraulické a pneumatické energie mechanická práce. Díky tomu jsou další mechanismy rozpohybovány, a to podle druhu pohybu na rotační nebo přímočarý pohyb. [15]

3.2.1 Elektromotory

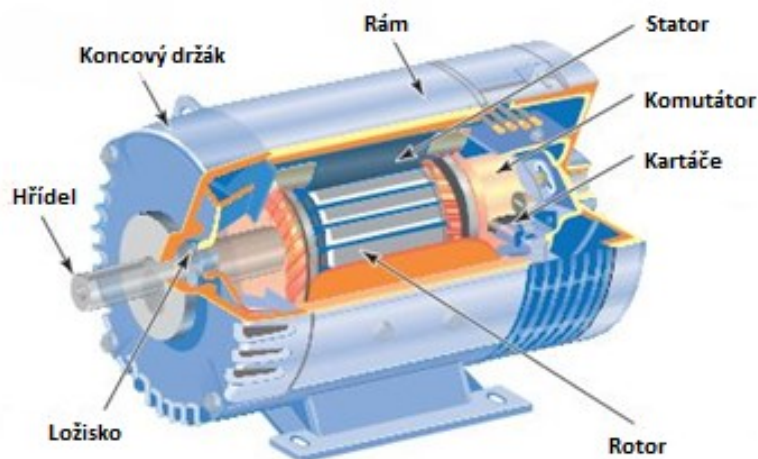
Jsou zařízení, sloužící k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Přívodem elektrického proudu využívají elektromotory interakci magnetického a elektrického pole, díky čemuž vzniká mezi státorem a rotorem elektromagnetická indukce a na výstupní hřídeli rotoru působí točivý moment, který je dále přenášen na poháněné zařízení. [15]

Elektromotory se dělí podle konstrukce, napájení, způsobu provozu atd. [15]

3.2.2 Stejnosměrné elektromotory

Používají se jako motory s možností regulace. Na statoru se nachází póly, tvořeny především budícím vinutím. U menších motorů, jako se používají u RC modelů, je stator tvořen permanentními magnety. Rotor je také tvořen vinutím na kotvě, připojeného na mechanický komutátor, ten zajišťuje správnou orientaci přívodu proudu do vinutí kotvy. Rotor je propojen komutátorem, přes kartáče na svorky se zdrojem stejnosměrného napětí. Dle zapojení budícího pole v rotoru se indukují různá napětí, což vede k napěťovým rozdílům na lamelách komutátoru, a proto se stejnosměrné elektromotory s cizím buzením dělí na derivační, sériová a smíšená. [15], [28]

Při brzdění (generátorovém chodu) Derivačního dynama se v kotvě indukuje napětí, čímž vzniká rekuperace a při generátorovém chodu se stává z motoru generátor. Tímto způsobem lze také brzdit motor, buď prohozením proudu na svorkách nebo opačným směrem otáčení kotvy. [15], [28]



Obr.19.: Řez stejnosměrného motoru. [29]

U Stejnsměrných sériových motorů je zatěžovací proud zároveň budícím proudem, proto nedochází k chodu motoru, dokud není připojena zátěž. Otáčky silně závisí na momentu motoru. Např. při rozběhu při nízkých otáčkách má motor velký moment. [15] [28]

3.2.3 Střídavé elektromotory

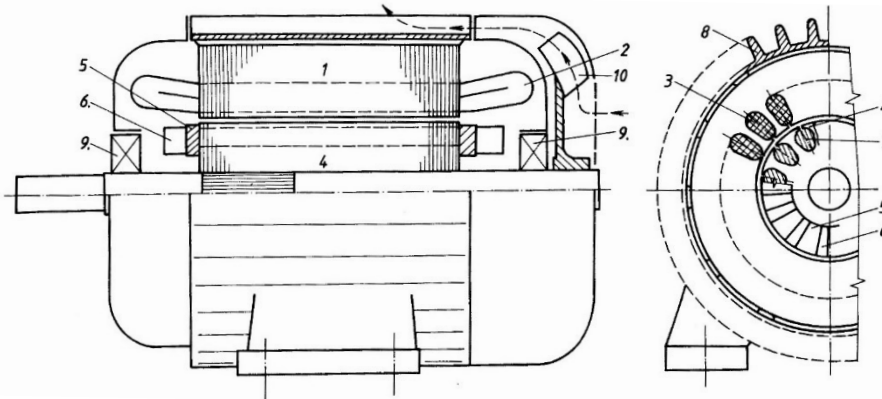
Do motoru je přiváděn střídavý třífázový proud, který ve statoru vytváří magnetické pole. Mohou být synchronní a asynchronní. [28], [30]

3.2.4 Asynchronní motory

Asynchronní motory patří mezi nejpoužívanější typy elektromotorů, zejména kvůli jednoduché konstrukci, velké spolehlivosti a životnosti. Na druhou stranu jsou těžší než synchronní motory. Rozlišují se dle konstrukce s kotvou na krátko a kotvou kroužkovou. [15], [28], [30]

S kotvou na krátko je motor konstruován s drážkami v rotoru, ve kterém jsou neizolované vodiče, a ty jsou na koncích spojeny zkratovými kruhy. Sestava vodičů a kruhů mají podobu klece“. [28]

Rotor s kroužkovou kotvou se skládá ze svazku rotorových plechů, ve kterých je uloženo vinutí rotoru z izolovaných vodičů a sběrných kroužků. Na kroužky dosedá trojice kartáčů, které jsou připojené nejčastěji k rezistorům, kvůli regulaci motoru. [28]



Obr. 20.: Konstruční schéma povrchově chlazeného trojfázového asynchronního motoru s kotvou na krátko. [28]

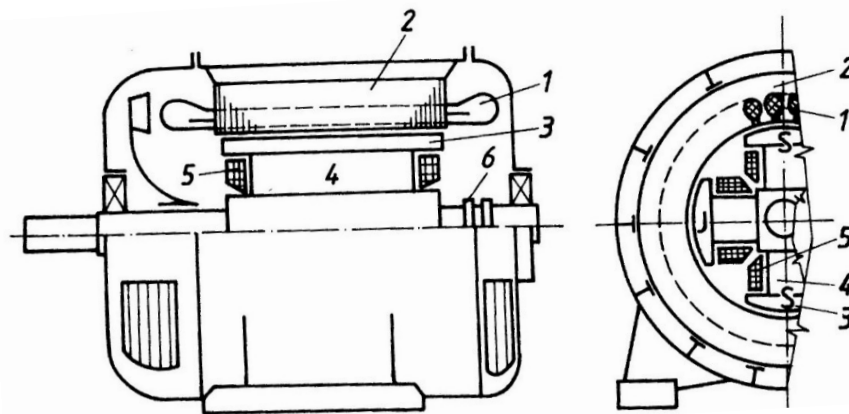
1-magnetický obvod statoru, 2-čela statorového vinutí,

3 - drážka se statorovým vinutím, 4 - magnetický obvod rotoru, 5 - zkratovací kruh vinutí rotoru, 6-chladící žebra, 7-drážky rotoru vystříknuté slitinou hliníku,

8-kostra s chladícími žebry, 9-kuličková ložiska, 10-ventilátor

3.2.5 Synchronní motory

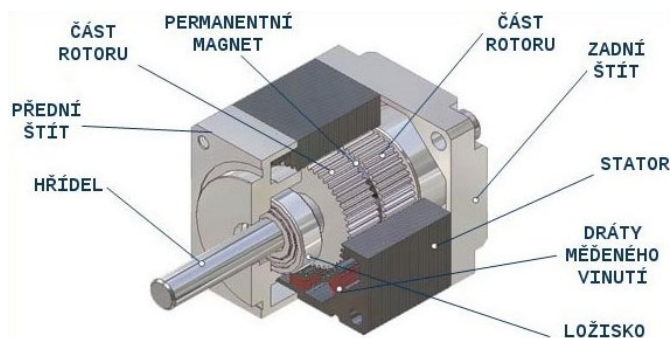
Konstručně se podobají asynchronním motorům. Na statoru se střídavě nachází třífázové vinutí a na rotoru se střídají severní a jižní póly buzeny permanentními magnety nebo vinutím. Používají se především pro výrobu elektrické energie v podobě hydroalternátorů (ve vodních elektrárnách), turboalternátorů (v tepelných a atomových elektrárnách) a alternátorů v automobilovém průmyslu. Své uplatnění mají v pohánění velkých zařízení, kvůli schopnosti dosáhnout velkých výkonů, až MW. Oproti asynchronním motorům mají lepší účinnosti. Slabší stránkou je jejich spouštění, kdy je zapotřebí použít pomocné zařízení. Nejčastěji se používají zařízení, konstručně podobným asynchronním motorům, které musí dosáhnout cca 95 % synchronních otáček hnaného motoru. V tom okamžiku se rotor nabudí a začíná synchronně pracovat. [28], [30]



Obr. 21.: Konstrukční schéma synchronního motoru. [28]
 1-třífázové vinutí v drážkách statoru, 2-magnetický obvod statoru z dynamoplechu,
 3-pólové nástavce, 4- jádra pólů, 5-stejnosměrné budící vinutí na pólech rotoru,
 6-kroužky na napájení vinutí.

3.2.6 Krokové motory

Umožňují jednoduché řízení výstupních rychlostí a polohy natočení o určitý úhel. Pohyb zajišťuje elektronický komutátor – ovladač, který postupně vysílá impulsy fází, do tří nebo vícefázového vinutí statoru v krokově řízeném motoru, tak že jeden impuls odpovídá jednomu kroku. Výhodou je přesnost polohování natočení a rychlost pohybu, která je závislá na počtu kroků na jednu otáčku. Nevýhodou je, že při zvyšujícím počtu impulsů se snižuje i kroučící moment, a proto se motory používají pro pohon zařízení o malých výkonech. Motory mají také velké držící momenty a kroučící momenty. Při překročení kroučícího momentu motor přeskočí jednotlivé kroky a tím dochází ke ztrátě krokové přesnosti. Používají se především v oblasti automatizace. [15], [28]



Obr. 22.: Řez krokovým motorem. [31]

3.2.7 Hydraulické motory

Hydraulické motory se používají k přeměně tlakové energie na posuvnou a rotační mechanickou práci. Využívá se nestlačitelnosti kapalin, a tak zajištění plynulého a přesného chodu, regulaci otáček a momentů. [15]

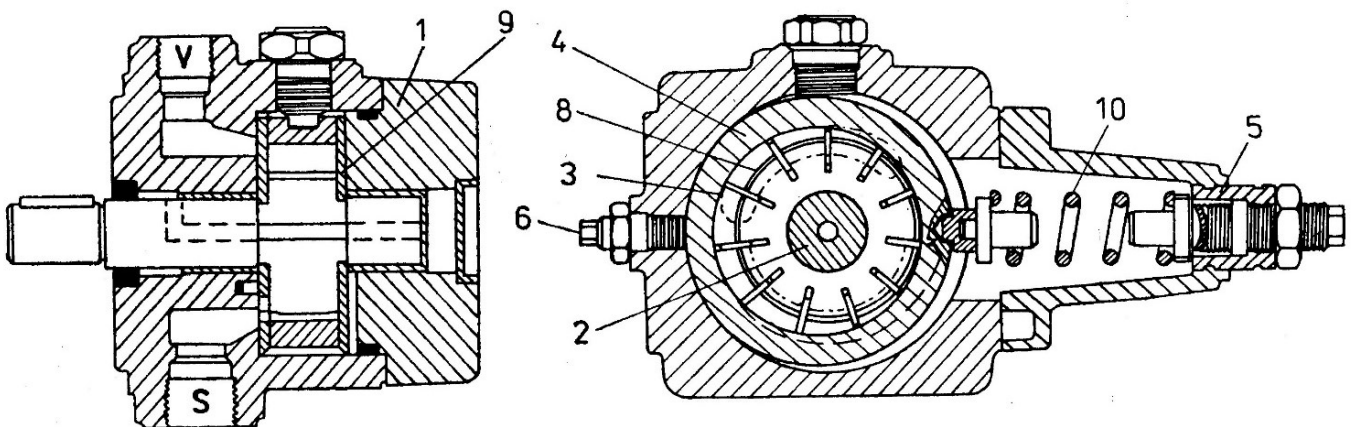
Negativní vlastnosti mohou vzniknout díky tření, viskozitě a hustotě provozních kapalin. Oproti elektromotorům mají nižší hmotnost, účinnost, ale vysoké požadavky na údržbu a zajišťují automatickou ochranu proti přetížení. K tomu se v hydraulickém obvodu využívají např. pojistné ventily a další regulační prvky spolu se zdrojem, hydrogenerátorem – čerpadlem, které pohání celý hydraulický systém. [15]

Čerpadla jsou konstruována podobně jako hydraulické motory. [15]

Dle konstrukce se rozdělují do tří skupin:

- **Lineární pohony**, často se označují jako hydraulické válce, mezi které se řadí: pístové a membránové. Využití u posuvů šneků, vyhazovačů, lineárně pohyblivých součástí atd.
- **Rotační pohony**: pístové (axiální, radiální), zubové, lamelové, šroubové. Využívají se zejména u vstřikovacích strojů pro pohyb šneka.
- **S kyvným pohybem pístu**: pístnice s pastorkem, šroub a matice, otočná lopatka.

V porovnání s elektromotory jsou hydraulické motory lehčí. [15]

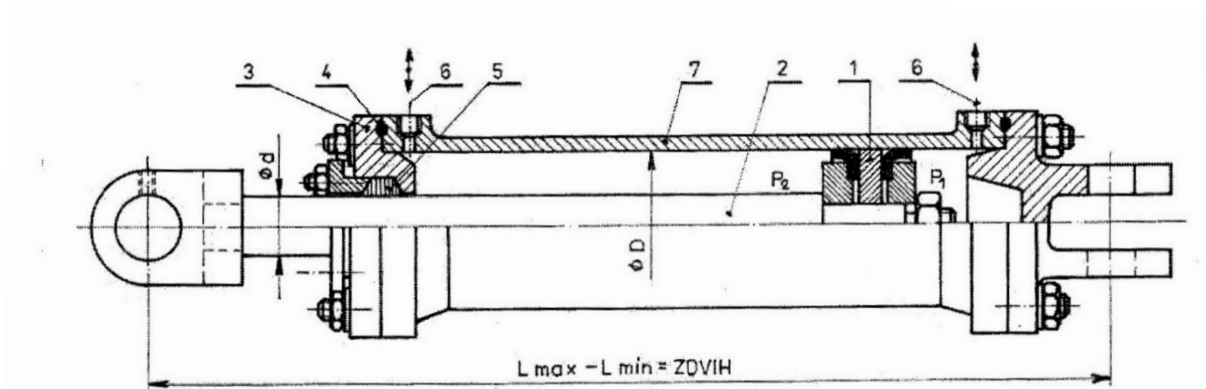


Obr.23.: Lamelový hydromotor. [32]

1-zadní víko, 2-hnací hřídel, 3-lamely, 4-statorový kroužek, 5-regulační šroub, 6-stavěcí šroub, 7-pojistný ventil, 8-stavěcí kanál, 9-vymezovací desky, 10-pružina regulace na nulový průtok, S-sání, V-výtlač

3.2.8 Pneumotory

Konstrukčně se podobají hydromotorům. Pomocí kompresorů, které jsou zdrojem energie, využívají pneumotory tlakovou energii vzduchu. Nevýhodou je náročná příprava celého pneumatického rozvodu, nepřesnost, obtížné řízení rychlosti a polohy zastavení, malá tuhost a menší výkon. Mezi výhody patří možnost napojení na jeden centrální zdroj energie, jednoduchá konstrukce, spolehlivost, možnost nasazení ve složitých pracovních podmínkách, jako je v pyroprovozu, vlhku, vysokých teplotách apod. Také se využívají u manipulační techniky a průmyslových robotů. [15]



Obr. 24.: Pístový pneumotor. [15]

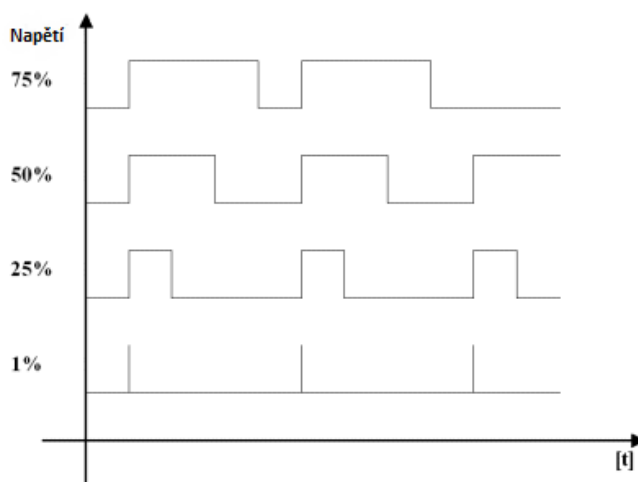
1-píst, 2-pístnice, 3-viko, 4-těsnění, 5-ucpávka, 6-přípojka, 7-válec

3.3 Regulace otáček motoru

Motory mají od výroby předem stanovené parametry. Jak už bylo zmíněno u převodových mechanismů, tak i zde regulátory, jsou nezastupitelným prvkem v soustavě s motory a převody. Slouží k přímé regulaci elektrické energie v elektrickém obvodu, kde následně ovlivňuje chod motoru. Důležitou poznámkou je, že každý typ motoru je kompatibilní pouze s některými regulátory a nelze je různě kombinovat. Základem každého regulačního zařízení je nejčastěji triak, tyristor nebo se využívá PWM regulace. [18]

3.3.1 Impulsní PWM regulátory (Pulzně-šířková modulace)

PWM se používá pouze pro regulaci analogového signálu s konstantní periodou a s digitálním výstupem. Analogový signál se skládá ze sérií pulzů, který má dvě polohy signálu: zapnuto a vypnuto. Pracovní cyklus je ve zlomku času neustále zapínán a vypínán. Výkon motoru je regulován změnou šířky signálů a tím se změní průměrná hodnota stejnosměrného napětí přiváděného na svorky motoru. Čím delší bude signál zapnuto, tím rychlejší bude mít motor otáčky. Naopak, čím kratší bude signál zapnuto, tím budou otáčky pomalejší až do zastavení vysílání signálů, a tím i zastavení motoru. Cykly signálu jsou určovány v procentuálním poměru signálů zapnuto/vypnuto. Proto poměr 1:1 představuje 50 % chod motoru, 1:0 je ideální 100% chod motoru, viz obr.7. PWM se vyrábí s potenciometrem, pomocí něhož se celé zařízení reguluje. Uplatňují se u stejnosměrných elektromotorů, především u krokových motorů. [33]

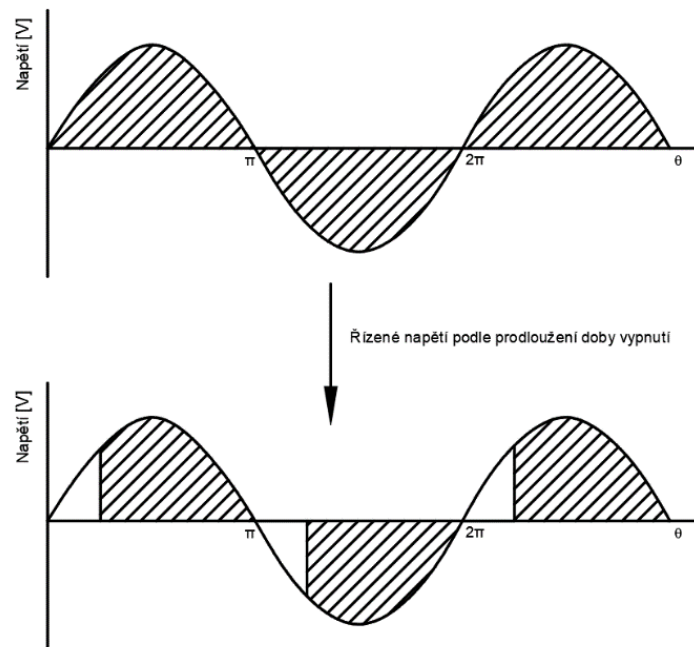


Obr. 25.: Pulzně šířková modulace. [33]

3.3.2 Fázově řízené regulátory

Regulátory využívají tyristory nebo triaky k přímému spínání (zapínání/vypínání) proudu, čímž dochází k omezení frekvence proudu. Podle nastavení spínacích prvků jde do motoru více nebo méně energie a tím se ovlivňuje i chod motoru. Lze si to představit na pravidelné sinusoidě, kde spínací prvky způsobí omezení každého kmitu, viz obr.5. [34]

Uplatnění nachází v plynulé regulaci výkonu především u topných zařízení a osvětlení v sálech a divadlech. Používají se pro pomalé rozběhové motory a asynchronní motory s kotvou na krátko. [34] [35]



Obr. 26.: Změna napětí fázovým řízením. [36]



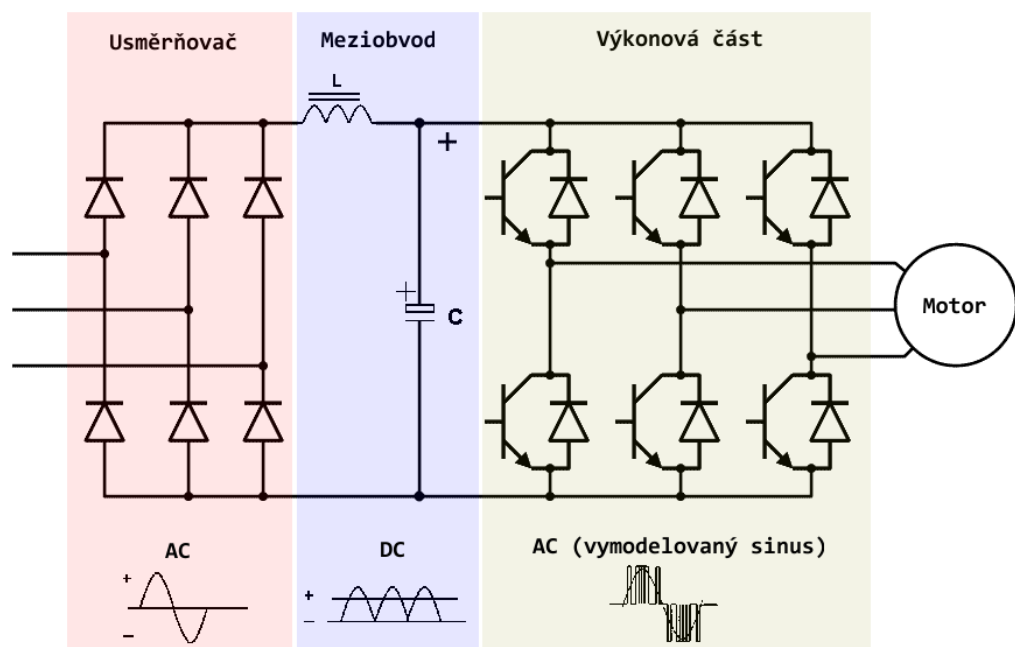
Obr. 27.: Fázový regulátor napětí. [18]

3.3.3 Frekvenční měniče

Zařízení slouží k regulaci otáček třífázových motorů. Regulací se mění výška amplitudy konstantního střídavého napětí a tím i frekvence napětí. Otáčky motoru lze měnit plynule od nuly až po maximální běh motoru. Kromě toho frekvenční měniče umožňují změnit i fáze a tím i směr otáček. Regulovat lze i rychlost rozběhu a doběhu, což omezuje proudové nárazy při zapnutí/vypnutí motoru. [37]

Frekvenční měniče se skládají z usměrňovače, meziobvodu a výkonové části. Střídavý proud vstupující do usměrňovací části se převádí, pomocí diodových můstků, na stejnosměrný proud. Prochází meziobvodem, kde se nachází DC sběrnice. Tvoří ji kondenzátory a induktory, které filtrují střídavé vlnění z převedeného stejnosměrného proudu předtím, než proud vstoupí do výkonové části měniče. Poslední výkonová část se skládá z vysokorychlostních spínacích tranzistorů, které využívají PWM a vytváří stejnosměrné pulzy, jako na obr. 30. Nachází se zde i řídicí obvod, pomocí kterého se reguluje spínání tranzistorů a tím i výstupní napětí a frekvence. [37] [38]

Své uplatnění nachází v širokém spektru odvětví, například slouží k regulaci pohonů, čerpadel, ventilátorů, obráběcích strojů, dopravníků apod. [34] [36]



Obr. 28.: Blokové schéma frekvenčního měniče [37]



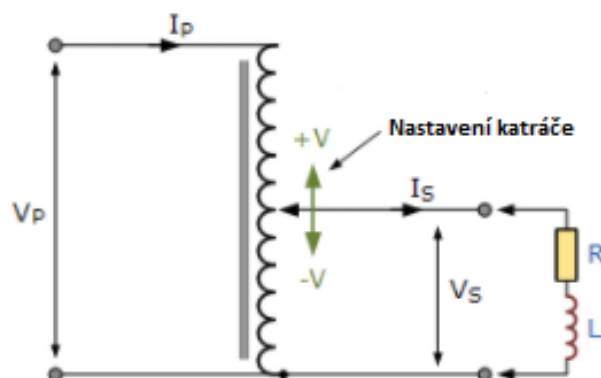
Obr. 29.: Frekvenční měnič MOVITRAC LTE-B v IP20. [39]

3.3.4 Regulační autotransformátory

Autotransformátor je typ transformátoru s jedním primárním napětovým vinutím ovinutým kolem magnetického jádra. [40]

Regulaci zajišťuje uhlíkový kartáč, který přímo dosedá na primární vinutí. Posunováním kartáče po závitech cívky primárního vinutí se zvyšuje a snižuje počet vinutí, kterými prochází proud a tím dochází k regulaci výstupního napětí. [40]

Používají se k plynulé regulaci střídavého proudu, především u asynchronních motorů s kotvou nakrátko. Uplatnění nachází v laboratořích, protože je lze použít k zajištění malého proměnného napětí střídavým proudem. [40]



Obr. 30.: Schéma regulačního autotransformátoru. [41]

3.4 Převodové mechanismy

Všechny motory mají od výrobce předem stanovené parametry otáček, kroutícího momentu, rychlost a celkový výkon motoru. Při konstrukci poháněcích systémů je ve většině případech nutné měnit parametry na výstupní hřídeli. Ke změnění těchto parametrů se využívají právě převodové mechanismy. Převodové systémy se skládají zejména z převodové skříně, kde jsou uloženy převody, spojky, ložiska, hřídele aj. [15]

Převodové mechanismy se rozdělují podle konstrukce na:

- **Nepřímé převody** mají jednodušší konstrukci a jsou taky méně nákladné na výrobu a údržbu než přímé převody. Mezi nepřímé převody patří lanové, řemenové a řetězové. Jak už z názvu vyplývá k přenosu dochází pomocí lan, řemenů a řetězů. Používají se na malé až větší vzdálenosti mezi hnací a hnanou částí. [15]
- **Přímé převody** jsou přesné převody, používány na velmi krátké vzdálenosti. Jsou náročnější, dražší na výrobu a údržbu než nepřímé převody. Rozdělují se na třetí a ozubené převody. [15]

3.4.1 Řemenové převody

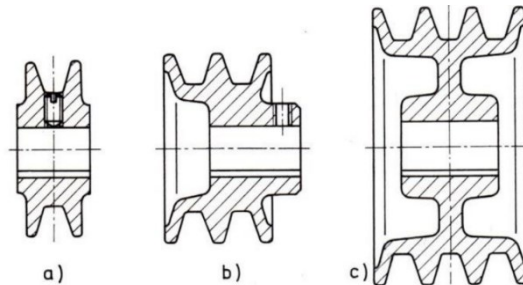
U řemenových převodů se využívají třecí síly, které jsou vyvolány mezi řemenicí a řemenem, vlivem napnutí hnací a hnané řemenice, vůči sobě. Mezi nejpoužívanější řemeny patří ozubené, klínové a ploché. U každého typu řemene se používá jiná konstrukce řemenice, určená k přenosu kroutících momentů. [43]

Převody klínovými řemeny jsou charakteristické lichoběžníkovým průřezem řemene. Důsledkem napnutí řemene a řemenice, vzniká mezi nimi větší tření než u ostatních řemenových převodů. Proto jsou nejpoužívanější. Díky tomu se používají pro velké točivé momenty. Pro větší kroutící momenty a proměnné přenášené síly se řemeny používají ve výdechovém zastoupení. [43]

Ozubené řemenové převody se skládají z plochého řemene s přídavným ozubením. Řemenice má po obvodu tvar dle řemene s vymešovými okraji, aby nedocházelo k spadnutí řemene. Kroutící moment se přenáší opřením drážek, řemene a řemenice. Převody jsou přesnější než klínové převody, avšak slouží k přenášení menších obvodových

rychlostí. [43]

U řemenů je nevýhoda protažení řemene, důsledkem stárnutí a nadměrného napínání. Vymezení pokluzování se provádí napínací kladkou nebo zatížení hnací kladky motorem. [43]



Obr. 31.: Schéma řemenic a) jednochodé, b) dvouchodé c) čtyřchodé. [42]

3.4.2 Řetězové převody

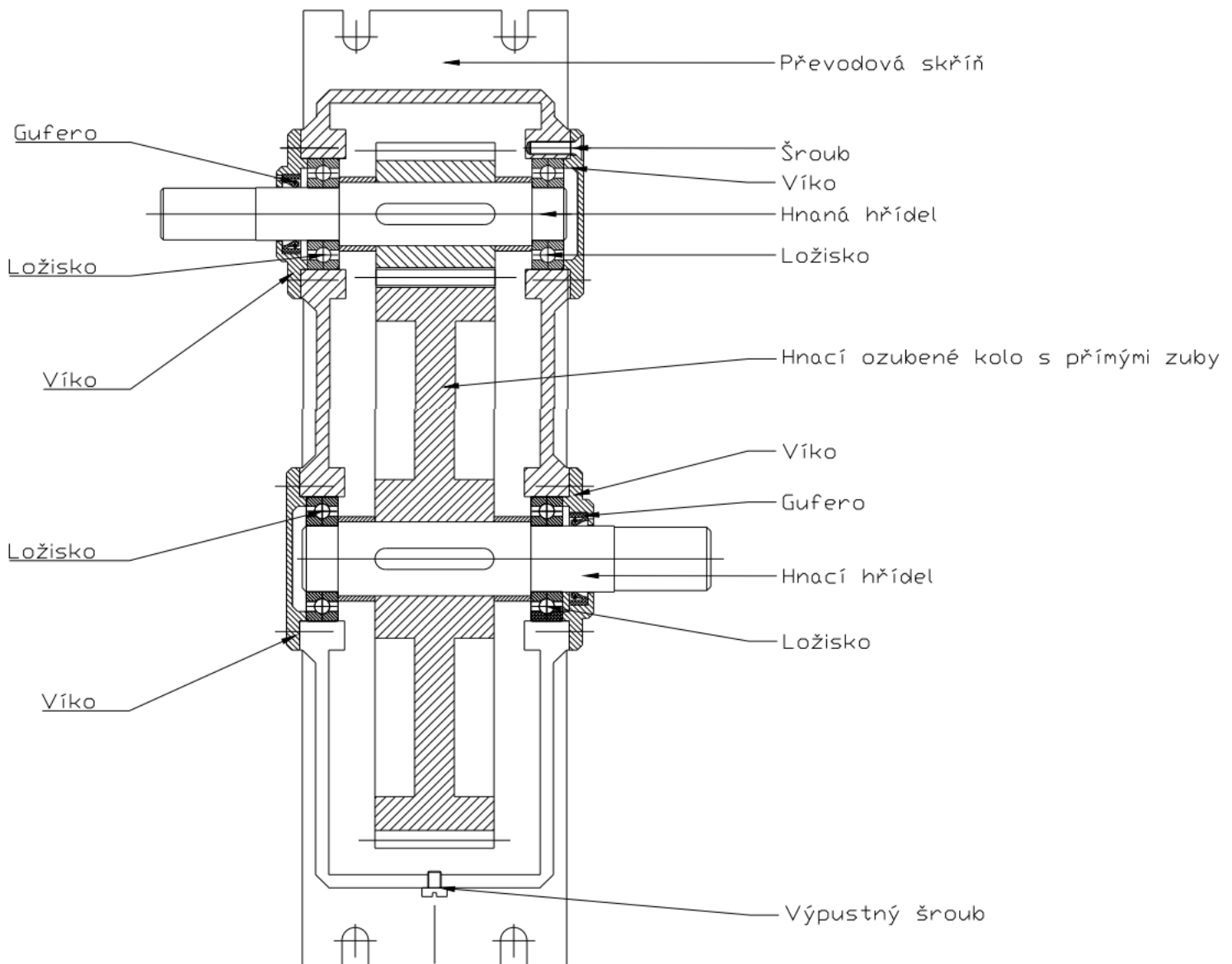
K přenosu točivých sil se využívají řetězy s řetězovými koly, kde pomocí tvarového styku je zajištěn přesný chod. Převody se využívají pro přenos kroutících momentů na větší až velké vzdálenosti. Například u dopravníků v dolech. Používají se také jako rozvodové převody v motorech u automobilů, kde zajišťují velmi přesný chod s přenosem velkých obvodových rychlostí s dvěma až více řetězovými koly. Jako u klínových řemenů mohou být převody více chodé, a to kvůli přenášení proměnných kroutících momentů s velkými rázy. Nevýhodou je velmi hlučný chod, nutnost zajistit stálé mazání a čisté prostředí. Výjimkou jsou řetězy u dopravníků, kterým nevadí prašné a znečištěné okolí. [43]

3.4.3 Převody ozubenými koly

Přenáší otáčivý pohyb se stálým převodovým poměrem pomocí zubů, které jsou tvořeny evolventou. Používají se pro malé osové vzdálenosti, vyznačují se vysokou spolehlivostí i životností. Nevýhodami jsou velké nároky na přesnost, netlumí rázy a patří mezi dražší převodové mechanismy. Rozdělují se na valivá soukolí-s čelními přímými, šikmými, šípovými zuby, dále např. s vnitřním ozubením, kuželovým soukolím apod. Druhou skupinu ozubených převodů tvoří šroubová soukolí – šneková, hypoidní. Osy převodu jsou mimoběžné. [43]

3.4.4 Převodové skříně

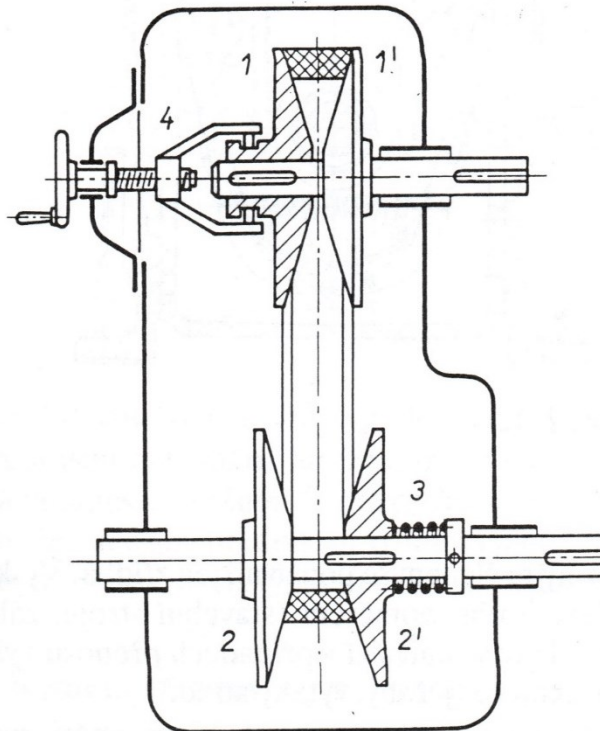
Kombinací různých druhů převodů se používá převodová skříně. Zařízení slouží jako rám pro převody a ostatní funkční prvky, a taky jako ochranná „schránka“. S rostoucím počtem dvojic podle způsobu uložení os hnací a hnané hřídele rozeznáváme převodové skříně s rovnoběžnými, různoběžnými a mimoběžnými osami. Celkový převodový poměr, otáček na výstupních ku vstupních kolech je dán poměrem počtem zabírajících zubů. [15]



Obr. 32.: Jednostupňová převodová skříně s přímými ozubenými koly.

3.4.5 Variátory

Variátory jsou převodová zařízení, pomocí kterých můžeme rychle, a hlavně za stálého chodu měnit parametry z hnacího prvku na výstupní poháněné zařízení. Změna chodu ovlivňuje převodový poměr, otáčky, kroutící moment a výkon. Nejrozšířenější jsou variátory s klínovými řemeny. Nejčastěji se využívají tam, kde je nutné neustále měnit



Obr. 33.: Schéma variátoru s ručním ovládním [43]

chod zařízení. Jedná se o nepřesný převod, což může být slabá stránka variátorů. [43]

1,1'-hnací kotouče; 2,2'-hnané kotouče; 3-přítlačná pružina; 4-regulační šroub

3.5 Spojky

Spojky jsou nenahraditelnou částí stroje nacházející se mezi motorem a pracovní částí stroje. Konkrétně může být umístěná mezi motorem a převodovou částí, výjimečně i mezi převodovou částí a pracovní částí. Hlavní uplatnění nachází v přerušení nebo omezení přenosu kroutícího momentu. U zařízení především tlumí rázy, které se mohou přenášet na poháněcí systém a zajišťují plynulý chod. Ve většině případech jsou spojovací a tlumící prvky namáhány na stříh a otláčení. [43]

První skupinou spojek jsou vyrovnávací spojky, které vyrovnávají značnou nesouosost s kombinací úhlovým pootočením os hřídelí. Kvůli nepotřebnému přerušení chodu, které zajišťují například výsuvné a třecí spojky budou uvažovány jen pevné a pružné spojky. [43]

Pevné spojky

Řadí se do skupiny nepružných spojek. Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější hřídelové spojky. Spojky slouží především jako pojistka proti překročení maximálního namáhání a zabránění přetížení poháněcích prvků. Netlumí velké rázy a vibrace. Zajišťují pevné a trvalé spojení dvou hřídelí, kde velký relativní pohyb je nežádoucí. Při jeho vzniku dojde k trvalému porušení spojky, přestřížením spojovaného prvku. [43] [44]

Hlavními prvky spojek jsou kolíky, šrouby a čepy, které přenáší veškeré síly kroutícího momentu. Při navrhování spojky je vždy nutné volit prvky tak, aby odolaly střížným silám a otláčení, které způsobují kroutícími momenty. Dimenzovaná spojka musí vždy odolat menšímu kroutícímu momentu, než má motor. Podle daného zatěžování se volí i počet hlavních spojovacích součástí. [43] [44]

Mezi pevné spojky patří: Trubková, Korýtková, Přírubová a Kotoučová spojka

Pružné spojky

Jako pevné spojky se používají k přenosu kroutícího momentu z jedné hřídele na druhou. Jak plyne z názvu, jedná se o spojky, které především tlumí přenášené rázy a vibrace z jedné hřídele na druhou. Dokážou vyrovnávat malou nesouosost a úhlové vychýlení hřídelí. Spojky obsahují kotouče podobně jako kotoučové spojky s přídavným prvkem spojovacího členu. Nežádoucí účinky pohlcují spojovací členy vyráběný z pryže, kovu, kůže nebo plastu. Základní charakteristiky spojky – torzní tuhost, jsou dány materiálem tlumících členů, tvarem a způsobem upevnění ve spojce. [43] [44]

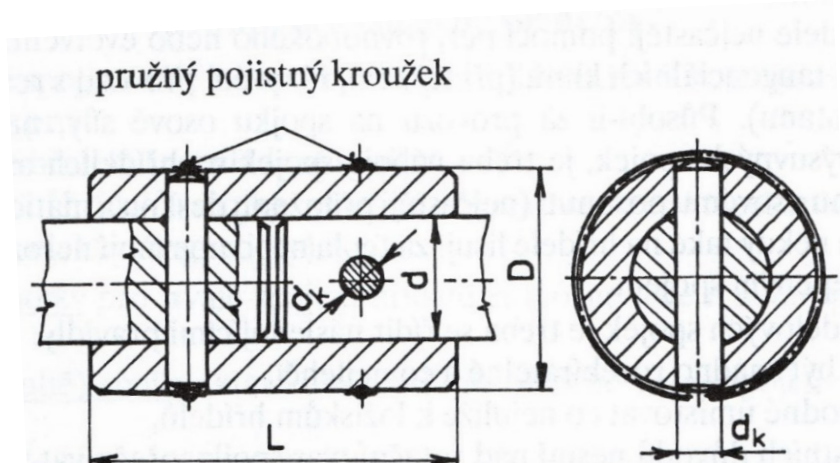
„Pružné spojky jsou schopny:

- Akumulovat kinetickou energii ve svých pružných člancích a měnit rázovou energii za provozu v pružných elementech na energii tepelnou, a tak tlumit rázy.
- Svou torzní tuhostí mění frekvenci vlastních kmitů soustavy nebo snížit amplitudu kmitů utlumením energie kmitání a tím měnit kritické otáčky soustavy, které vznikly nerovnoměrností krouťícího momentu
- Kompenzovat určité úhlové výchylky a nesouosost os hřídelí“ [43]

Mezi pružné spojky patří: spojka s listovými ocelovými pružinami, spojka s ocelovými pružnými pouzdry, spojka s hadovitě vinutou pružinou, spojka se šroubovými válcovými pružinami, spojka s nekovovými pružnými členy, kotoučová spojka s pružnými pouzdry, spojka s pryžovou obručí, spojka s pružným kotoučem, spojka s navulkanizovanou částí a špalíková pružná spojka. [43]

3.5.1 Trubková spojka s kolíky

Konce hřídelů jsou spojovány pomocí náboje, pomocí trubky, která propojuje každou hřídel kolíkovým spojem nebo perovým spojením. Kolíkový spoj tvoří válcové nebo kuželové kolíky. Perový spoj je realizován prizmatickými, úsečovými pery nebo podélnými klíny s nosem. Trubkové spojky se používají pro hřídele se stejným průměrem. [43]

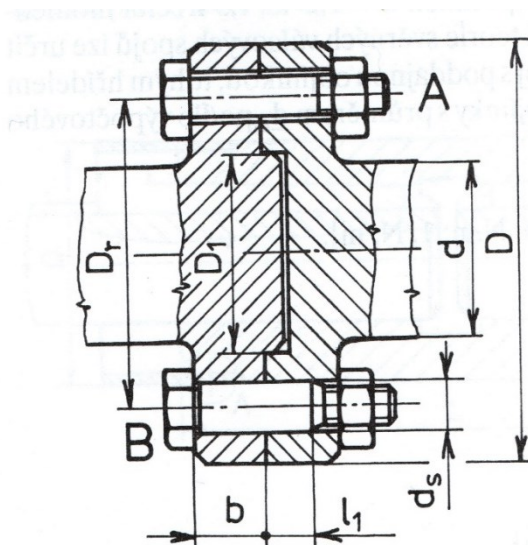


Obr. 34.: Řez trubkovou spojkou se střížnými kolíky [43]

3.5.2 Přírubová spojka

Spojka je tvořena dvěma přírubami, na každém konci hřídele zvlášť. Příruby mohou být vyrobeny přímo na hřídeli nebo mohou být k hřídeli přivařeny. Ve výjimečných případech mohou být na hřídele nalisovány. Výhodou je použití u hřídelí s rozdílnými průměry, kde příruby jsou vůči sobě středěny a spojeny šroubovými spoji. Podle daného zatížení lze volit množství šroubových spojů. [43]

Spojky se používají u velkých hřídelí a pro proměnné a velké kroutící momenty. Odolávají menším rázům. [43]

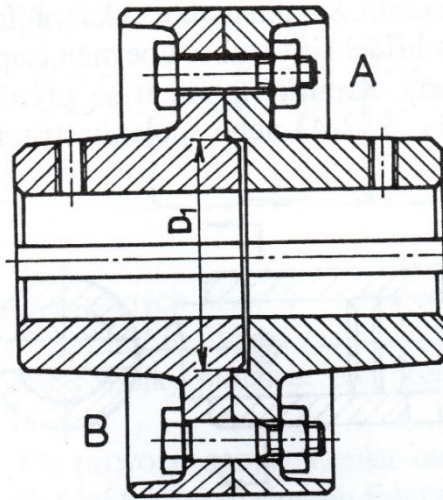


Obr. 35.: Řez přírubovou spojkou [43]

3.5.3 Kotoučová spojka

Svémi vlastnostmi a použitím se podobá Přírubové spojce. Spojka se skládá ze dvou kotoučů, viz obr. 40 část A a B, spojenými šroubovými spoji. Spojení kotoučů s hřídelí zajišťují perové spoje, rovnoboké drážkování na hřídeli a kotouči, anebo jsou kotouče na hřídelích nalisovány. [44]

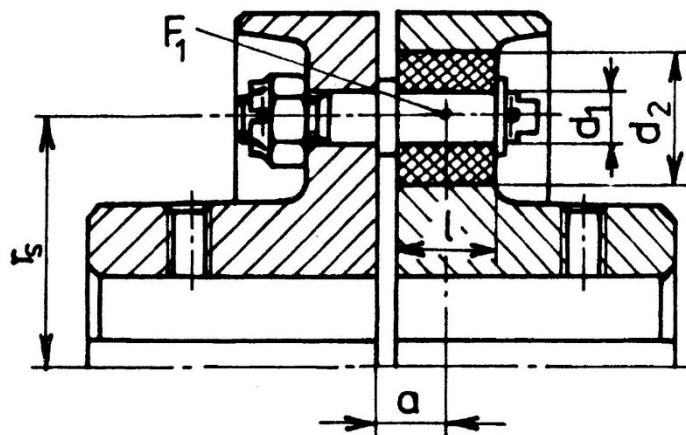
Jedná se o nejpoužívanější pevnou spojkou. Uplatnění nachází u velkých kroutících momentu, avšak menších, než u kterých se používá Přírubová spojka. Mezi výhody patří odolnost proti proměnným kroutícím momentům a proti rázům. [43]



Obr. 36.: Řez kotočkovou spojkou [43]

Druhým typem kotočkové spojky je pružná spojka s přidavnými pružnými elementy. Náboje bývají spojeny pomocí čepů, které obsahují pryžové nebo plastová pouzdra. Při konstrukci spojky se musí dbát důraz na výpočet ohybového napětí působící na čepy a měrný tlak působící na plochy pouzder a čepů. Na obr. 37, síla F_1 . [43]

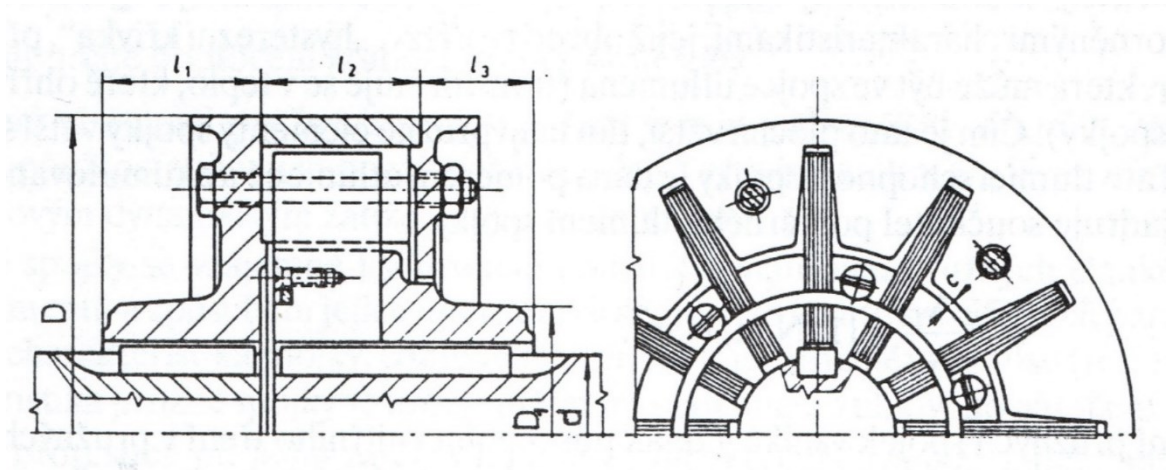
Kotočková spojka eliminuje minimální úhlové výchylky os hřídelí. Uplatnění nachází u zařízení s velkými otáčkami a malými až středně velkými kroučícími momenty.



Obr. 37.: Řez kotočkovou spojkou s pružnými pouzdry [43]

3.5.4 Spojka s listovými ocelovými pružinami

Skládá se ze dvou kotoučů, které spojuje tlumící prvek, svazkem ocelových listových pružin. Tlumící prvky mohou být orientovaný nejčastěji radiálně nebo ve výjimečných případech axiálně. Spojky jsou určeny pro velké kroučící momenty, a především pro velké rázy. Tlumící prvky jsou namáhány střídavým ohybem. Počtem a velikostmi svazků lze měnit tuhost pružiny. [43]

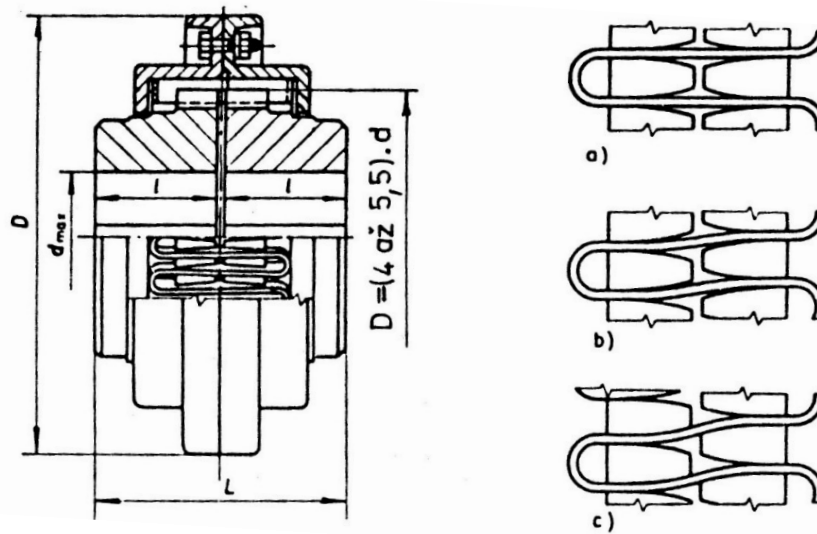


Obr. 38.: Řez spojkou s listovými ocelovými pružinami [43]

3.5.5 Spojka s hadovitě vinutou pružinou

Spojka se skládá z rozměrově totožných kotoučů, které mají po svém obvodu podílné drážkování. Drážkováním vede pružný prvek ve formě ocelové pružiny, obdélníkového průřezu. Detail na obr. 39 a). Při rázech a proměnném kroučícím momentu se kotouče vůči sobě mírně natáčí a posouvají v drážkování, viz obr. 39 b) c). Natáčení vyrovnává pružina, která je deformována ohybem. Při namáhání pružiny vzniká mezi pružinou a drážkováním tření, proto se funkční části mažou a nachází se v uzavřeném prostoru. [43]

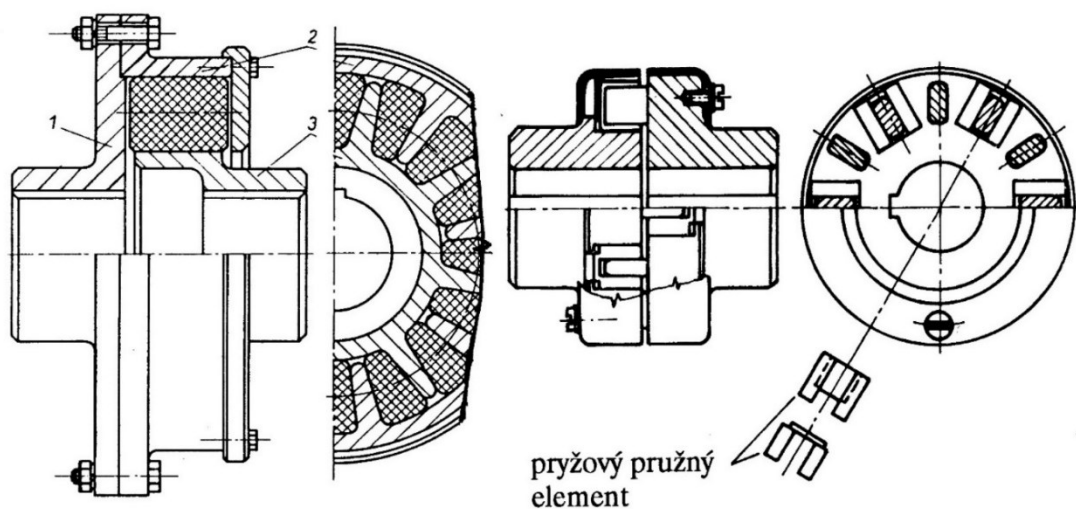
Pružiny se používají v nejtěžších pracovních podmínkách a pro přenos velkých rázových kroučících momentů. [43]



Obr. 39.: Řez spojkou s hadovitě vinutou pružinou [43]

3.5.6 Špalíková pružná spojka

Plastové nebo pryžové elementy ve tvaru válečků, hranolů, koulí jsou umístěny v tvarových dutinách hnacího a hnaného kotouče. Hnaný kotouč se navrhuje i bez tvarových dutin, ale s přidavnou přírubou, ve které dutiny jsou. Při zátěži jsou pružné prvky stlačovány kotouči a tím tlumí nežádoucí účinky způsobené tlakem, ohybem a smykem. Spojky se používají pro velmi malé nesouososti hřídelí s velkými otáčkami a středně velkými kroučícími momenty. [43]



Obr. 40.: Špalíková pružná spojka [43]

1-hnaný kotouč, 2-příruba s tvarovými dutinami, 3-hnací kotouč

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ANALÝZA PROBLÉMU, NÁVRH

Podle zjištěných informací, existuje nespočet druhů drtičů a technologií, které se používají k recyklaci plastového odpadu. Při výběru vhodné varianty drtiče bylo nutné vycházet ze základních předpokládaných podmínek vstupního a výstupního materiálu.

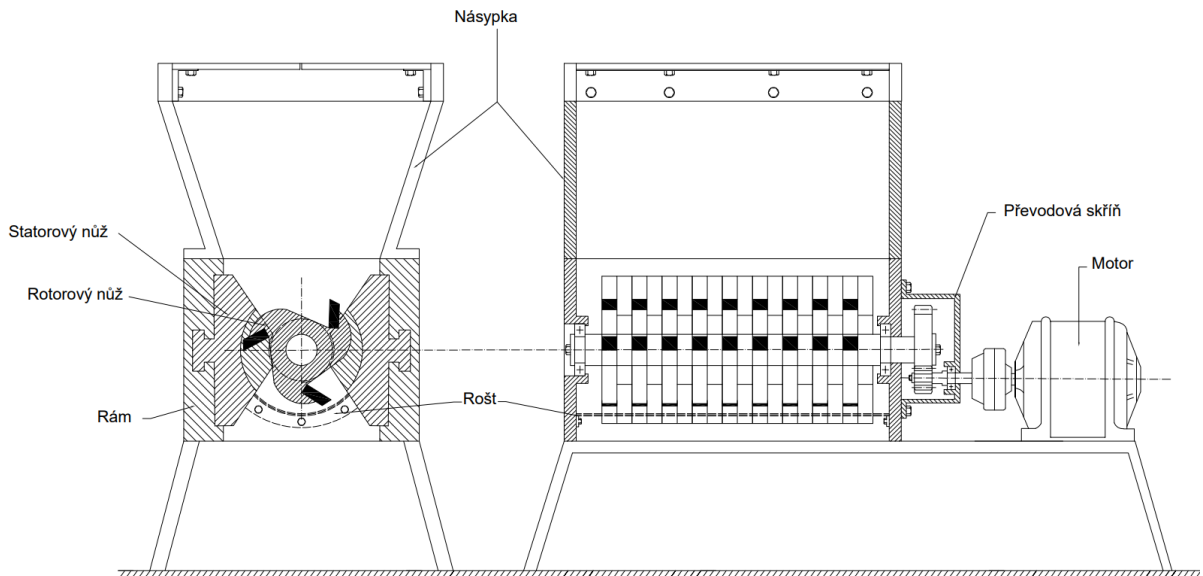
Hlavní požadavky:

- Výrobky z 3D tiskárny Prusa i3MK3 (technologie FDM)
- Maximální rozměry drtícího předmětu: 250 x 210 x 210 mm
- Materiál: PLA, ale i PA, ABS, PETG
- Výstupní drť ve frakci 4 mm
- Cenová dostupnost

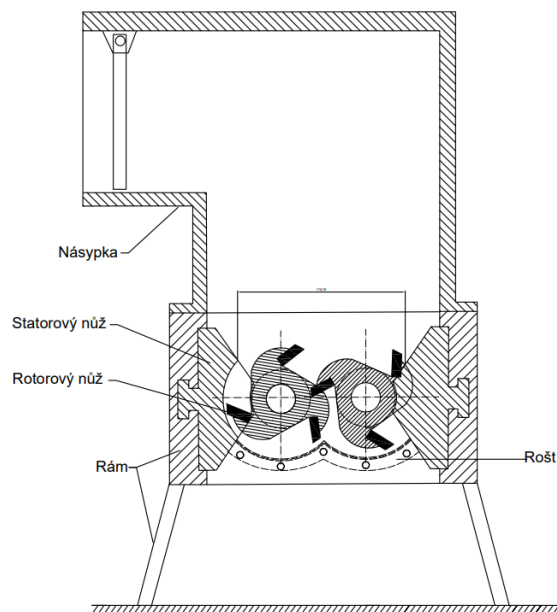
Důvodem konstrukce drtícího zařízení představovala výroba cenově dostupného stroje, určeného pro domácnosti a malé až větší firmy. Zařízení nebude používáno každý den, ale zhruba jedno za měsíc i déle, a proto není důležitá rychlost drcení. Hlavním předpokladem bylo co nejmenší konstrukční řešení, které by splňovalo hlavní požadavky. Stroj by měl mít jednoduchou a lehkou konstrukci, která by zajišťovala snadnou manipulaci a údržbu celé soustavy.

Drcené části představují primárně malé modely, často duté nebo s výplní několika procent. Předpokládá se drcení materiálu PLA, který má mez pevnosti kolem 33MPa. [45]

Technologie drcení vychází z kapitoly 2.1.7 Jednohřídelové/Dvouhřídelového drtiče. Zařízení bude mít pět částí: násypku, drtící komoru, pohon, rám a ovládací elektroniku. Představu budoucího zařízení znázorňují hrubé náčrty na *obr. 41 a 42*.



Obr. 41.: Hrubý náčrt jednohřídelového drtiče



Obr. 42.: Hrubý náčrt dvouhřídelového drtiče

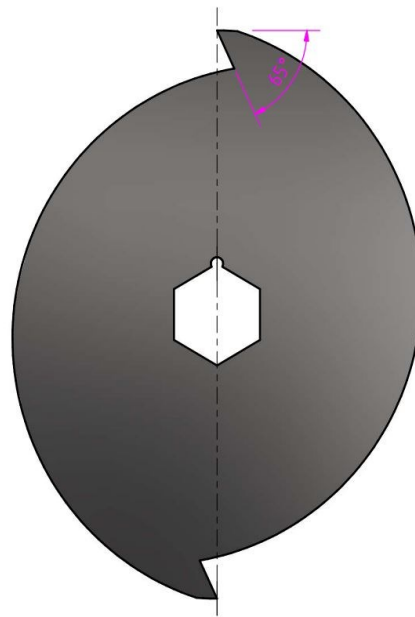
Po důkladné rešerši bylo zvoleno zařízení: dvouhřídelový drtič s 30 ot/min. Zařízení bude obsahovat rošt s dírami předem zvolené frakce drtě 3-4 mm. Důvody pro volbu dvou hřídelů byly zmíněny v kapitole 2.1.7. Příliš malé otáčky by způsobovali hladký a tichý chod stroje, ale pro převod, bylo by nutné využít planetovou nebo šnekovou převodovou skříň, což je oproti dvěma – třem ozubeným kolům s přímými zuby nákladnější. Na druhou stranu při vysokých otáčkách by bylo zařízení hlučnější, především kvůli větším rázům při drcení, což by se podepsalo na mohutnějším rámu.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

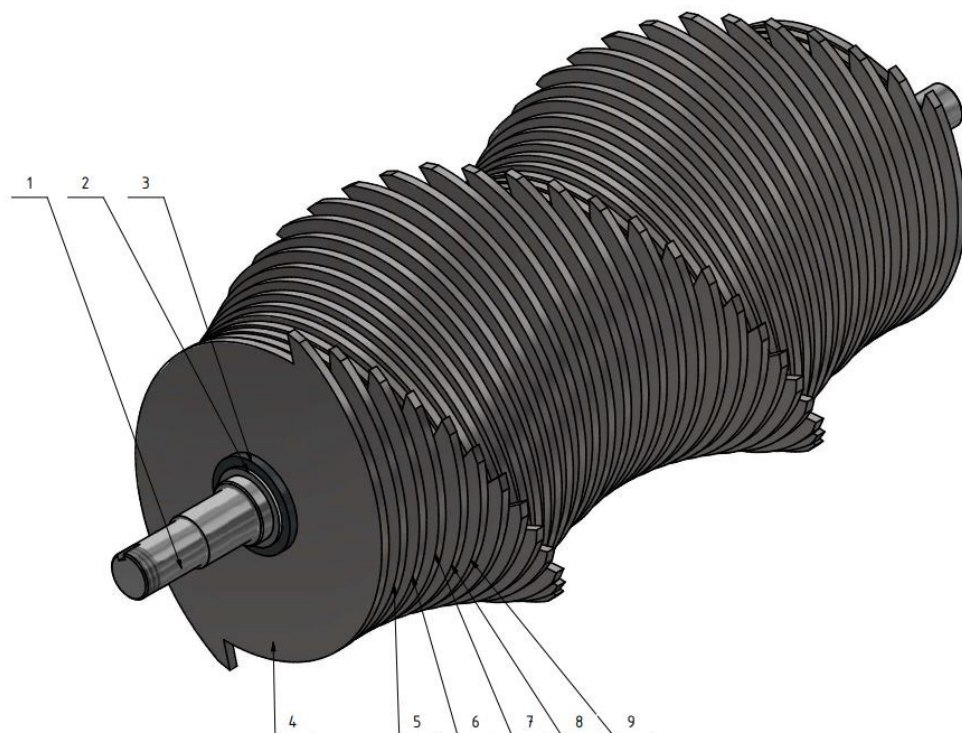
Velikost drtící komory byla navržena podle maximálního vytištěného dílu na 3D tiskárně 250x210x210mm a předpokládalo se, že drtící díly se nemusí předem rozmělnit. Dle požadované frakce drtě byla zvolena šířka nožů na 3 mm. Mezi jednotlivými noži budou středící kroužky, široké 3 mm. Drtící hřídel bude sestavena celkem z 40 nožů a 40 mezikroužků. Celkový počet segmentů byl zvolen na 80ks o délce 240 mm + 3 mm široké vymezovací statorové nože na každé straně hřídele, což představuje délku pracovního prostoru. Šířka drtící komory byla optimálně zvolena, podle průměru rotorových nožů a statorových nožů na 262 mm.

5.1 Statorové a rotorové nože

Jedná se o nejdůležitější část celého drtícího zařízení. Jak už bylo zmíněno celkem bylo zvoleno 40 ks nožů na každé hřídeli. Úkolem bylo vhodně navrhnout geometrii nožů a promyslet samotný princip drcení. Důležitými vlastnostmi bylo například uspořádání nožů, geometrie břitů, promyslet princip a způsob odstřihávání drceného materiálu. Samotný tvar nože byl klíčový. Nůž musel být dostatečně velký, aby dokázal přesunout drcenou součást od kraje drtící komory do středu, mezi hřídele, kde dochází k drcení. Ale zároveň optimálně zvolen, aby zde nevznikal příliš velký kroutící moment na drtící hřídeli. Geometrie břitu byla zvolena s úhlem 65°, kvůli postupnému vnikání břitu do materiálu a vzniku menších rázů i střížných sil. Celá soustava nožů byla navržena do šroubovice, aby nože nebyly v jedné rovině, ale zároveň, aby neměli příliš velké stoupání do šroubovice. Proto bylo zkonstruováno celkem šest druhů nožů, které se od sebe odlišují natočením otvorů šestihranu o 10°. Kvůli jednoduché montáži a rozlišení nožů je každý nůž indexován kulatým výřezem v rohu šestihranu. Materiál byl zvolen z konstrukční oceli vhodné k cementování ČSN 12 010. Při sestavování byly nože jednoduše nasunuty na šestihrannou hřídel, kde mezi každým nožem byl umístěn mezikroužek. Viz obr. 44. Jeho funkce byla především vymezovat požadovanou vzdálenost nožů. Na koncích byly nože zajištěny pojistnými kroužky 21 ČSN 02 2930.



Obr. 43.: Nůž č.1



Obr. 44.: Skládání hřídele

1-levá hřídel, 2-pojistný kroužek, 3-mezikroužek, 4-nůž č.1, 5-nůž č.2, 6-nůž č.3,
7-nůž č.4, 8-nůž č.5, 9-nůž č.6

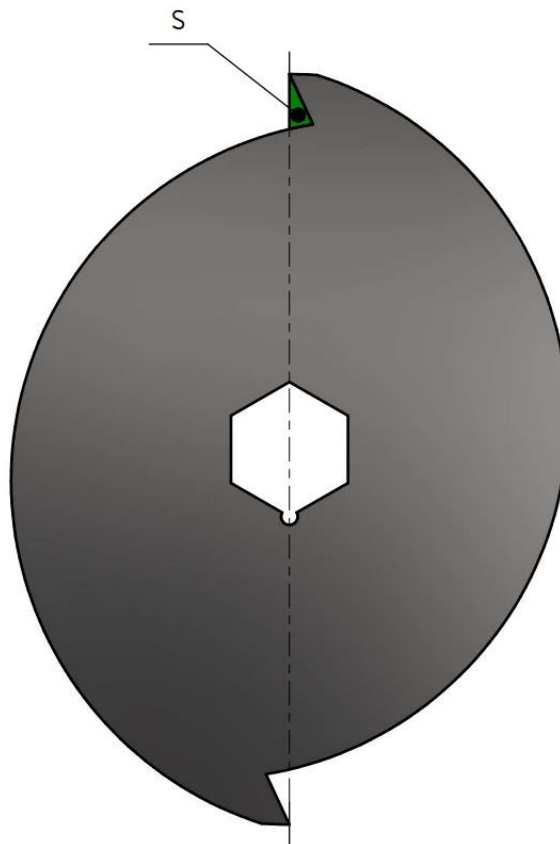
5.1.1 Drtící síly

Úvodem je důležité říct, že stanovení přesných střížných sil je velmi obtížné až nemožné. Drcené výrobky jsou často z rozdílných materiálů (PLA, PETG, ABS apod.), mají rozdílnou hmotnost, tvar, velikost i výplň vnitřních částí. Díky tomu se mění střížné síly i za chodu zařízení. Kvůli dané problematice se výrobci firem drtících zařízení, jako je *Terier* a *Wiema*, výpočty nezabývají. Výsledné střížné síly se určují na základě, již vyrobených drtících strojích, různým experimentováním, odhadech a především zkušenostech.

Potřebná síla pro drcení jednoho břitu vychází ze vztahu pro stříh:

$$F = \tau_S \cdot S = 0,8 \cdot R_m \cdot S \quad (1)$$

Obsah průřezu stříhaného materiálu jedním nožem byl volen dle teoretického průřezu stříhaného materiálu $S \doteq 20,787\text{mm}^2$, viz *obr. 45*. Předpokládá se, že nůž stříhá oběma břity současně, proto byl volen obsah stříhaného materiálu $2x S_2 \doteq 42\text{mm}^2$. Důvodem postupného vnikání nože do drceného materiálu byl zaveden koeficient $k = 0,1$.

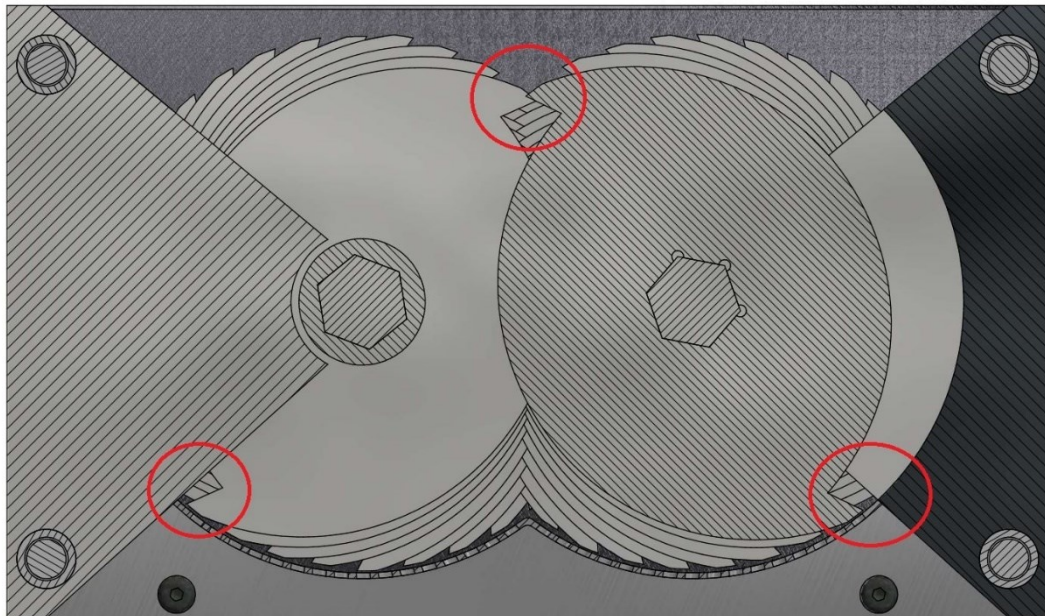


Obr. 45.: Obsah průřezu ustříženého materiálu

$$S_{2koef} = S_2 \cdot k = 42 \cdot 0,1 = 4,2\text{mm}^2 \quad (2)$$

$$F = 0,8 \cdot R_m \cdot S_{2koeff} = 0,8 \cdot 100 \cdot 4,2 = 336 \text{ N} \quad (3)$$

Geometrie nože byla konstruována s dvěma břity a v případě umístění roštu pod noži, bude nůž stříhat materiál dvakrát ve stejnou chvíli. Viz *obr. 46*. Proto se zavedl koeficient $k_1 = 1,5$. Druhým důležitým aspektem byla sestava všech 40ks nožů do šroubovice důsledkem pootočení o 10° a v tomto případě mohou zabírat 3 nože ve stejný moment. Proto se zavedl koeficient $k_2 = 3$. Třetím nutným koeficientem se stal $k_3 = 1,1$ reprezentující bezpečnou deformaci a zároveň ostrou geometrii nástroje, který zvyšuje sílu pro odštížení materiálu.



Obr. 46.: Místa stříhu

$$k_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 1,5 \cdot 3 \cdot 1,1 = 4,95 \quad (4)$$

Celková síla působící na nože při drcení:

$$F_1 = k_c \cdot F = 4,95 \cdot 336 = 1663,2 \text{ N} \quad (5)$$

Z celkové síly byl určen minimální dovolený krouticí moment působící na hřídeli, kde D_1 byl průměr nože:

$$M_{k1} = \frac{F_1 \cdot D_1}{2} = \frac{6177,6 \cdot 0,135}{2} = 112,266 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$

Maximální síla drcení byla určena za předpokladu stříhání třemi noži s šesti břity. Je jasné, že k takové situaci nebude docházet příliš často. Celkový výpočet byl příliš extrémní a výsledné síly odpovídají velmi tvrdým materiálům.

Primární drcený materiál bude PLA, kterému odpovídá $R_m=33\text{MPa}$, proto byl výpočet proveden znovu s reálnějšími podmínkami. Důsledkem dutých výrobků se počítal obsah střížného materiálu poloviční $S_2 \doteq 21\text{mm}^2$. Předpoklad 50% výplně dílu. [45]

Drobným poznatkem bylo, stoupání nožů do šroubovice, kde byla volena délka nožů na hřídeli 246 mm. Z toho vyplývá stoupání nožů $k_2=2$ plus přidání čtyř nožů pro stanovenou délku střížné komory. Díky tomu bylo v předchozích příkladech počítáno s $k_2=3$, kde se uvažovalo stříhání třemi noži v rovině a ve stejný moment. Ovšem k drcení bude probíhat primárně uprostřed, a tak čtyři okrajové nože mohly být zanedbány a koeficient zvolen na $k_2=2$.

$$k_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 1,5 \cdot 2 \cdot 1,1 = 3,3 \quad (7)$$

$$S_{2koef} = S_2 \cdot k = 21 \cdot 0,1 = 2,1\text{mm}^2 \quad (8)$$

$$F_2 = 0,8 \cdot R_m \cdot S_{2koef} = 0,8 \cdot 33 \cdot 2,1 = 55,44 \text{ N} \quad (9)$$

$$F_{v1} = k_c \cdot F_2 = 3,3 \cdot 55,44 = \mathbf{182,952 \text{ N}} \quad (10)$$

$$M_{kD1} = \frac{F_1 \cdot D_1}{2} = \frac{274,428 \cdot 0,135}{2} = \mathbf{12,35 \text{ N} \cdot \text{m}} \quad (11)$$

Konstrukce drtícího zařízení byla uvažována s dvěma drtícími hřídelemi, a proto výsledný krouticí moment bude dvojnásobný. Přepočtem byl určen výsledný výkon, který bylo potřeba dodat elektromotorem, při zvolených otáčkách $n_{H1} = 30\text{ot}/\text{min}$.

$$M_{kDV} = M_{kD1} \cdot 2 = 12,35 \cdot 2 = \mathbf{24,7 \text{ N} \cdot \text{m}} \quad (12)$$

$$P_{H1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{H1} \cdot M_{kDV}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 24,7}{60} = 77,6 \doteq \mathbf{78 \text{ W}} \quad (13)$$

5.2 Motor a převodovka

Dle vypočteného minimálního výkonu na vstupní hřídeli drtícího zařízení, byl zvoleno motor, jednofázový asynchronní elektromotor **NM56C4-B14** od výrobce Transtecno, o výkonu $P_{mot}=0,11kW$ a otáčkách $n_{mot}=1320\text{ ot/min}$. Zde se kladl důraz na co nejmenší provedení motoru, aby zbytečně nevzrostla hmotnost zařízení, ale zároveň byl splněn potřebný výkon. Kvůli dostupnějšímu napětí elektrické sítě, jako je v domácnostech, anebo s kutilských dílnách, bylo vybíráno jen ze skupiny jednofázových elektromotorů. [46]

Kvůli velkým otáčkám elektromotoru a malým požadovaným otáčkám na vstupní hřídeli drtiče, byla zvolena šneková převodovka **CMSZX030**, od stejného výrobce jako u motoru – Transtecno, s převodovým poměrem $i=40$, kroutícím momentem $M_{n2}=20Nm$ a radiální silou na výstupní hřídeli $F_R=1179\text{ N}$. Taky v tomto případě byla vybrána optimální převodová skříň, co je dle výrobce navržena pro maximální výkon $0,12kW$. [47]

Z parametrů elektromotoru a šnekové převodovky byly přepočteny otáčky na vstupní drtící hřídeli a zkontrolován výkon.

$$i = \frac{n_{mot}}{n_{HV}} \quad (14)$$

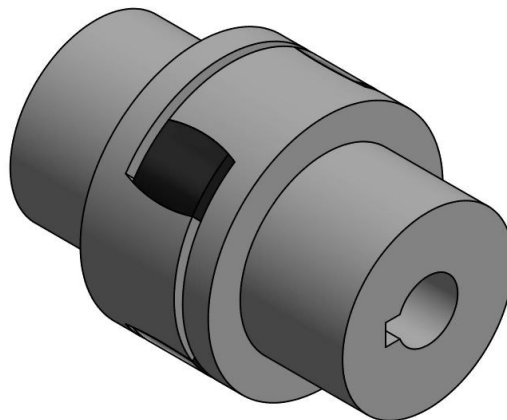
$$n_{HV} = \frac{n_{mot}}{i} = \frac{1320}{40} = 33\text{ ot/min} \quad (15)$$

$$P_{H1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{H1} \cdot M_{kDV}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 33 \cdot 24,7}{60} = 85,36 \doteq 86\text{ W} \quad (16)$$

$$P_{H1} \leq P_{mot} \rightarrow \text{elektromotor vyhovuje} \quad (17)$$

Důležitým prvkem mezi vstupní hřídeli drtiče a šnekovou převodovkou, byla hřídelová pružná spojka. Kvůli pravidelným rázům, způsobeným každým stříhem jednotlivého nože, bylo její zabudování do pohonného systému nezbytné. Byla zvolena zubová spojka typu **GE-T-24-32-A-A**. Dle pružného středu, který má tvrdost (pružnost) 94° Shore výrobce uvedl nominální kroutící moment 35 Nm , maximální kroutící moment

70 Nm a střídavý kroutící moment 9 Nm. Výhoda pružné spojky je zajištění přenosu přesných kroutících momentů, tlumení vibrací, ale i drobné vyrovnání nesouososti a úhlové odchylky mezi hřídeli. Přenos kroutícího momentu zajišťují náboje, které obsahují drážku pro pero. Náboje pak byly jednoduše nasunuty na hřídele a zajištěny šrouby proti vysunutí. Mezi náboji se nachází již zmiňovaný pružný střed vyrobený z termoplastu.



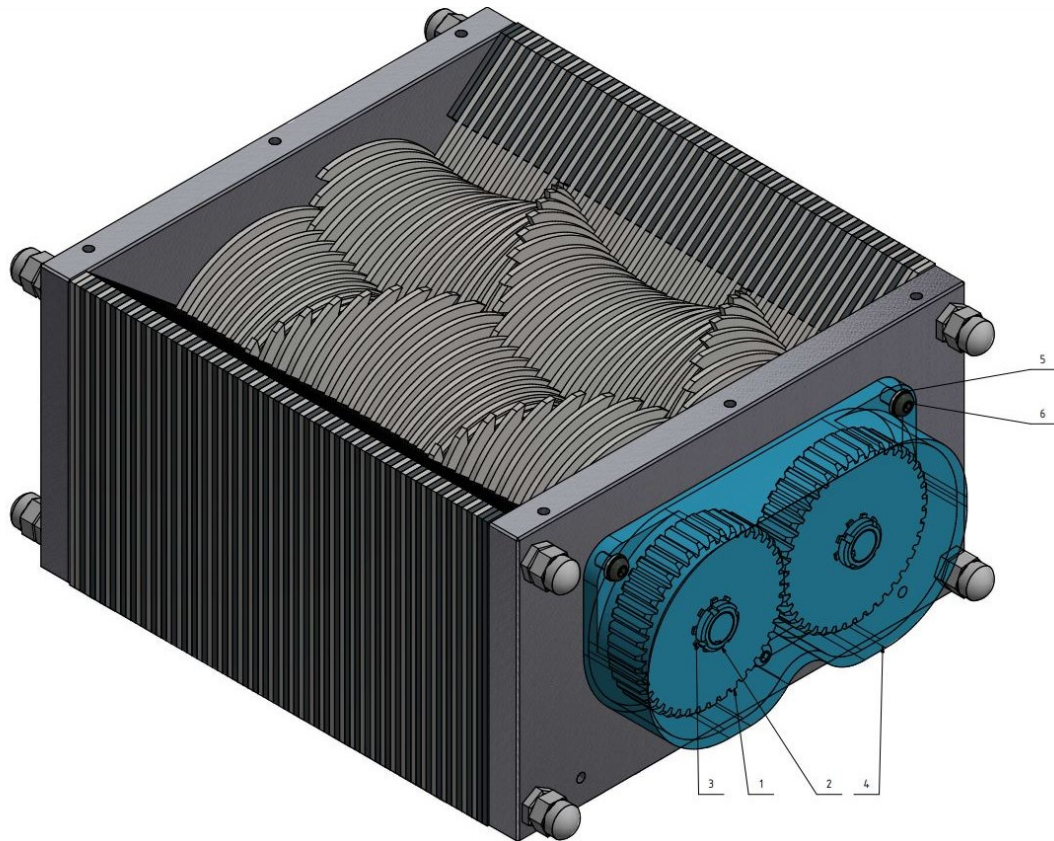
Obr. 47.: Pružná hřídelová spojka GE-T-24-32-A-A

5.3 Drtící komora

5.3.1 Volba ozubených kol

Pro přenos kroutícího momentu z hnací drtící hřídele na hnanou drtící hřídel, byl zvolen převod ozubenými koly s přímými zuby, z materiálu ČSN 12 020.1. Jednalo se o konstrukční ocel k cementování, používanou pro méně namáhané strojní části, což v tomto případě bylo vyhovující. Při výpočtu byl zvolen převodový poměr $i_h=1$, a to kvůli stejným otáčkám na obou hřídelích. Dále se vycházelo z osové vzdálenosti hřídelí $a= 84 \text{ mm}$ a zvoleného modulu $m=2$. Všechny výpočtové parametry byly provedeny v *Inventoru*.

Po návrhu ozubení bylo nutné ozubená kola pevně axiálně zajistit na hřídelích. K tomu byla využita pojistná podložka MB 2 ČSN 02 3640 a matice KM 2 ČSN 02 3630. Kvůli bezpečnosti byla zkonstruována krytka ozubených kol, která byla přišroubována do desky šrouby M6x20 spolu s pružnými podložky, kvůli vibracím celého zařízení.



Obr. 48.: Ozubená kola

1-Ozubené kolo, 2-matice KM 2, 3-podložka MB2, 4-krytka ozubených kol, 5-pružná podložka, 6-šroub M6x20

Geometrie a síly ozubených kol

Výška hlavy zubu:

$$m = ha = 2 \quad (18)$$

Výška paty zubu:

$$h_f = 1,25 \cdot m = 2,5 \text{ mm} \quad (19)$$

Průměr roztečné kružnice:

$$D = z \cdot m = 42 \cdot 2 = 84 \text{ mm} \quad (20)$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_a = D + 2ha = 84 + 2 \cdot 2 = 88 \text{ mm} \quad (21)$$

Průměr patní kružnice:

$$D_f = D - 2 \cdot hf = 84 - 2 \cdot 2,5 = 79 \text{ mm} \quad (22)$$

Šířka zubu byla zvolena $b = 20 \text{ mm}$

Kontrola osové vzdálenosti:

$$a = \frac{m(z_1+z_2)}{2} = \frac{2(42+42)}{2} = 84 \text{ mm} \quad (23)$$

Výpočet radiální síly F_Z , kde úhel záběru je $\alpha = 15^\circ$.

$$F_Z = F_{v1} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 182,952 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 48,77 \text{ N} \quad (24)$$

5.3.2 Návrh hřídelí

Materiály hřídelů se volí podle velikosti a charakteru provozního zatížení, podle vrubové citlivosti, opotřebení a možnosti tepelného zpracování. Nejčastěji se používají ocele 11 500, 11 600 a 11 700. Pro více namáhané hřídele se používají legované oceli, které se většinou zušlechťují. Materiál byl zvolen 11 500. Dovolené napětí pro míjivý krut se volí od 55-85 MPa, v tomto případě bylo zvoleno $\tau_{DK} = 85 \text{ MPa}$. Výpočty průměrů hřídelí byly určeny podle maximálních kroutících momentů, na nich působených. Od poháněcích prvků je nejvíce namáhána první hřídel, přes kterou se poháněcí síly přenáší ozubenými koly na druhou drtící hřídel. Proto se uvažoval dvakrát maximální dovolený kroutící moment M_{kDV} .

Hřídele byly zvoleny z šestihranné tyče: **6H 21h11 – ČSN 42 6530.12**. Mechanické vlastnosti pro ocel ČSN 11 500: mez kluzu $R_e = 245 \text{ MPa}$, Mez pevnosti $R_m = 550 \text{ MPa}$.

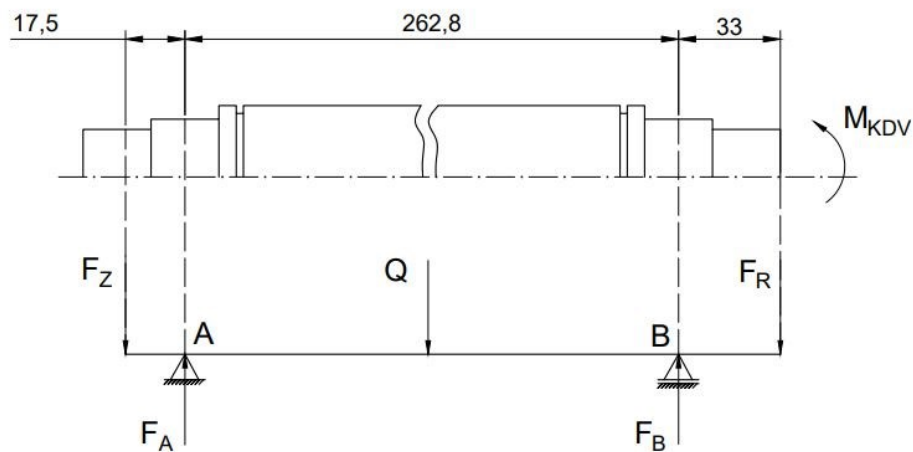
Kontrolní výpočet pro průměr hřídele

$$\tau_{DK} \geq \tau_k = \frac{M_{kDV} \cdot 16}{\pi \cdot d_1^3} \Rightarrow d_{1min} = \sqrt[3]{\frac{M_{kDV} \cdot 16}{\pi \cdot \tau_{DK}}} = \sqrt[3]{\frac{24700 \cdot 16}{\pi \cdot 85}} = 11,19 \text{ mm} \quad (25)$$

$$d_{1min} < d_1 = 14 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (26)$$

Výpočtem byl zkontrolován průměr hřídele, který se nachází na výstupu šnekové převodovky a na vstupní hřídeli drtícího zařízení. Namáhání u druhé hřídele bylo menší a mohly se navrhnout i menší rozměry hřídele, ale z toho by vznikly další prvky drtících nožů a jiných částí. Proto byly voleny totožné hřídele.

Kontrola statické rovnováhy sil:



Obr. 49.: Náčrt reakčních sil na levé drtící hřídeli

Radiální síla ozubeného kola: $F_Z = 48,77 \text{ N}$

Radiální síla šnekové převodovky: $F_R = 1179 \text{ N}$

Kroutící moment: $M_{KDV} = 24,7 \text{ N} \cdot \text{m} = 24\,700 \text{ N} \cdot \text{mm}$

Váha rotorových nožů a mezikroužků na první, vstupní hřídeli ($m=8,08 \text{ kg}$) + sřížná síla:

$$Q = 263,025 \text{ N}$$

$$\sum F_{iy} = 0: -F_Z + F_A - Q + F_B - F_R = 0 \quad (27)$$

$$\sum M_{iA} = 0: -F_Z \cdot 17,5 + Q \cdot \frac{262,8}{2} - F_B \cdot 262,8 + F_R \cdot (262,8 + 33) + M_{KDV} = 0 \quad (28)$$

$$-48,77 \cdot 17,5 + 263,025 \cdot \frac{262,8}{2} - F_B \cdot 262,8 + 1179 \cdot (262,8 + 33) + 24\,700 = 0 \quad (29)$$

$$F_B = 1549,3 \text{ N}$$

$$\sum M_{iB} = 0: -F_Z \cdot (17,5 + 262,8) + F_A \cdot 262,8 - Q \cdot \frac{262,8}{2} + F_R \cdot 33 + M_{KDV} = 0 \quad (30)$$

$$-48,77 \cdot (17,5 + 262,8) + F_A \cdot 262,8 - 263,025 \cdot \frac{262,8}{2} + 1179 \cdot 33 + 24700 = 0 \quad (31)$$

$$F_A = -58,51 \text{ N}$$

$$\sum F_{iy} = 0: -F_Z + F_A - Q + F_B - F_R = 0 \quad (32)$$

$$-48,77 - 58,51 - 263,025 + 1549,3 - 1179 \doteq 0 \quad (33)$$

5.3.3 Návrh a kontrola pera

K přenosu kroutícího momentu u drtícího zařízení byly použity tři perové spoje o stejné velikosti: **pero 5e7x5x17 ČSN 022562**. První bylo použito na vstupní - levé hřídeli a pružnou hřídelovou spojkou. Další dvě mezi hřídelemi a ozubenými koly.

Kontrola pera dle průměru hřídele

$$d_{1P} = d_{1min} + t = 11,19 + 2,7 = 13,89 \Rightarrow d_1 \text{ vyhovuje} \quad (34)$$

Kontrola otláčení

Kontrola otláčení podle stanovené délky pera, kde tlak pro pera z oceli se volí od 90 do 100 MPa. Tlak byl zvolen $p_{DOV} = 100 \text{ MPa}$.

$$p = \frac{2 \cdot M_{KDV}}{t_1 \cdot l \cdot d_1} \leq p_{DOV} \quad (35)$$

$$p = \frac{2 \cdot 24700}{2,1 \cdot 17 \cdot 14} = 98,8 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$p \leq p_{DOV} \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (37)$$

5.3.4 Ložiska

Uložení na koncích levé i pravé hřídele bylo provedeno pomocí jednořadých kuličkových ložisek od výrobce **ZKL**. Jedná se o univerzální ložisko s krytváním po obou stranách. Díky tomu jsou vhodné k použití v znečišťujícím prostředí, jako je drtící zařízení, kde je velká pravděpodobnost výskytu prachu z drceného materiálu. Dle výrobce se ložiska vyznačují hlubokými oběžnými drahami pro kuličky a díky tomu jsou ložiska schopny přenášet velké radiální i axiální síly a to i při vysokých otáčkách.

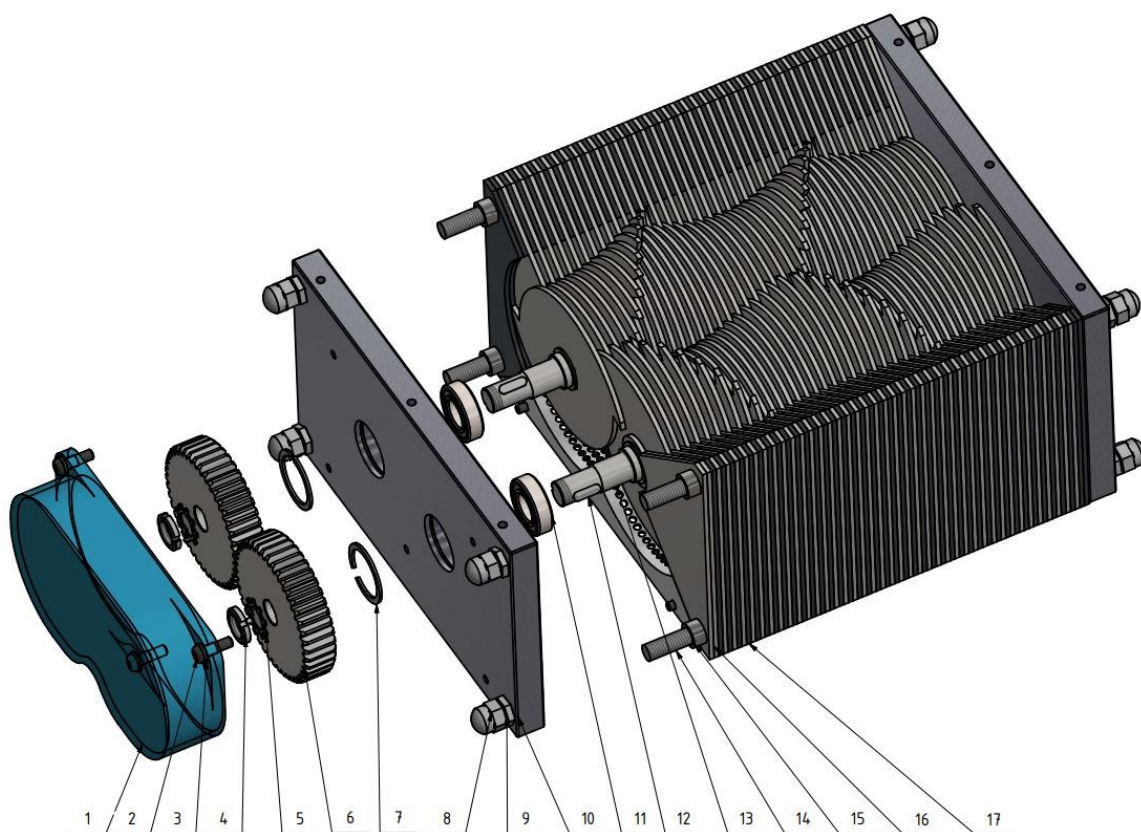
Kvůli malým otáčkám a použití drtícího zařízení k občasnému drcení, je zde zanedbatelná trvanlivost ložisek, a proto nebyla počítána. Také bylo patrné, že ložiska nebudou přenášet žádné extrémní axiální síly, co by hraničily s maximálními dovolenými silami pro daný typ ložisek. Proto i zde nebylo nutné provádět výpočet.

5.3.5 Ostatní součásti a montáž drtící komory

Od výpočtů a návrhu nejdůležitějších prvků se pokračovalo k samotnému sestavování drtící komory. Hlavní stabilizační části tvořily boční desky z tlustých plechů válcovaných za tepla. Jednalo se o P18 – ČSN 42 5311 – 11 300 a rozměrech 264 x 140 mm. Obě desky byly frézovány a navrženy podobně. Odlišné prvky tvořily pouze tři díry pro montáž krytování ozubených kol.

Samotná montáž začínala u Desky P18 A, do které se vložily středící trubky se závitovými tyčemi. Za deskou se závitové tyče dotáhly pomocí matice a zakontrovali maticí s kloboučkem. Poté se do desky upevnily hřídele s pojistnými kroužky a ložisky. Nyní začalo nasouvání jednotlivých nožů na hřídele a středící tyče. První byl nasunut na levou hřídel rotorový nůž č.1, spolu s mezikroužkem a zároveň se na levou část nasunuly dva statorové nože – malé. Dva protože, jeden představuje středící vzdálenost pro rotorový nůž na levé hřídeli, kde brání dotyku nože s deskou P18 A. A druhý slouží, jako středící nůž mezi statorovými noži – velkými, mezi kterými se bude zároveň pohybovat, již zmíněný rotorový nůž. Montáž pravé hřídele začala nasazením mezikroužku, který vymezuje vzdálenost pro rotorový nůž, který je umístěn na levé hřídeli, obdobně jako statorové nože – velké, mezi kterými se pohybuje rotorový nůž. Na pravé straně, kde byly středící tyče, byly upevněny dva statorové nože – velké. Funkce je obdobná jako na levé straně drtící komory. Dalším krokem montáže bylo střídavé skládání jednotlivých prvků. Na hřídelích: jeden mezikroužek, pak jeden rotorový nůž. Na středící tyče: jeden statorový nůž malý, poté velký. Jak už bylo zmíněno v úvodu, celkový počet nasunutých segmentů se

rovná 80 ks. Jednotlivé nože byly skládány od indexu 1 až po index 6. Při nasunutí všech nožů a zajištění vzdálenosti pojistným kroužkem, byla na vodící tyče upevněna Deska P18 B, do které poté přišly ložiska a zajistily se pojistnými kroužky. Desky byly pevně staženy, pomocí závitových tyčí a na koncích zakontrovány maticemi s kloboučkem. Následovala montáž ozubených kol, které byly zajištěny již zmíněnými prvky v kapitole 5.3.1. V posledním úkonu se přišroubovalo krytování ozubení v podobě 3D tištěného dílu, pomocí technologie FDM.



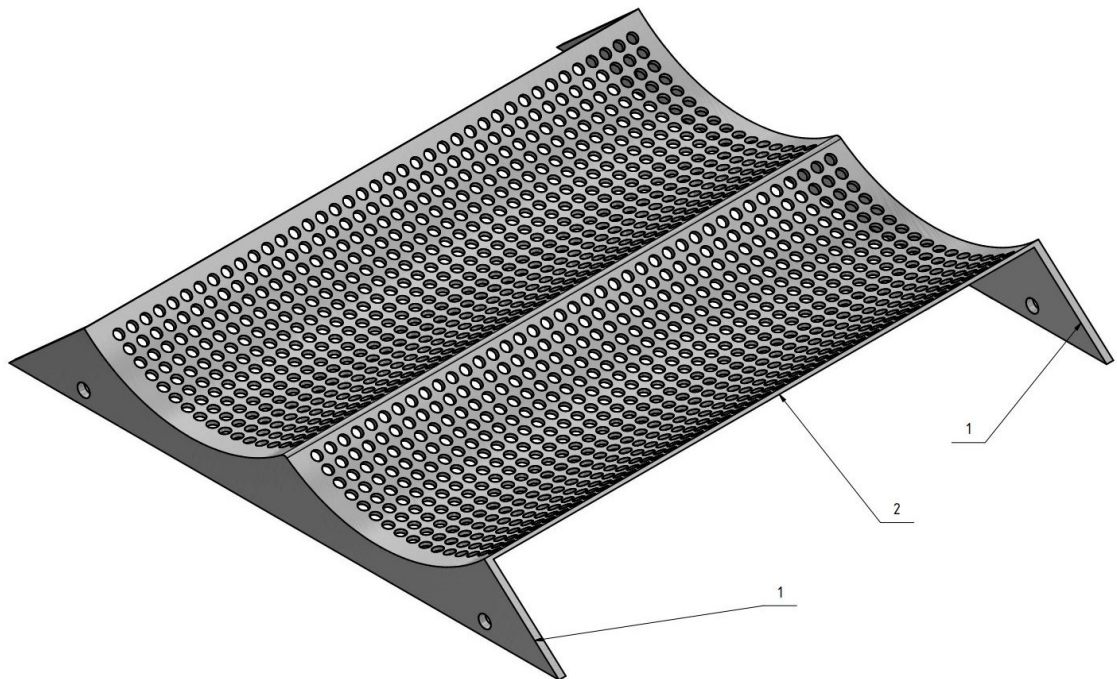
Obr. 50.: Sestavování drtící komory

1-krytka ozubených kol, 2-šroub M6x20, 3-pružná podložka, 4-matice KM 2,
5-podložka MB2, 6-ozubené kolo šroub, 7- pojistný kroužek 35,
8 -matice s kloboučkem M10, 9-matice M10, 10- deska P18 B, 11-ložisko 6003,
12-pero, 13-hřídel, 14-středící trubka, 15-závitová tyč, 16-sttorový nůž – velký,
17-statorový nůž malý

5.3.6 Rošt

Posledním prvkem drtící komory se stal rošt, nacházející se ve spodní části na výstupu. Slouží k zamezení propadu větších kousků drtě. Díky tomu má výsledná drť poměrně přesnou frakci zrn. Způsob drcení znázorňuje *Obr. 46*.

Rošt se skládal ze svařence dvou bočnic a síta s dírami 4 mm. Díly byly vypáleny laserem a svařeny. Rošt byl upevněn ve spodní části komory, pomocí čtyř šroubů. Montáž i demontáž je rychlá a drcení může dle potřeby probíhat i bez roštu.



Obr. 51.: Rošt

1-bočnice, 2-síto

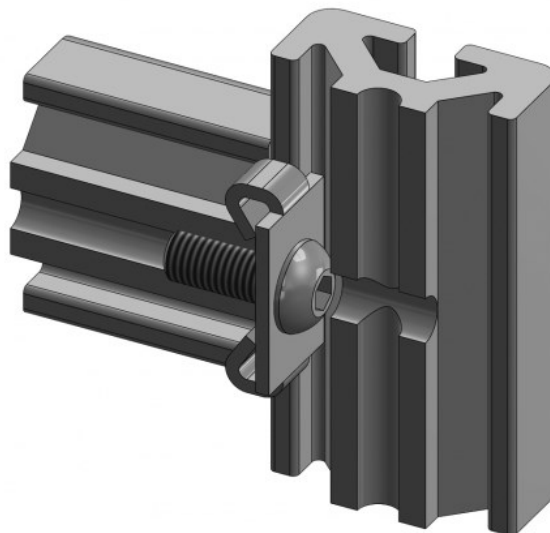
Tab. 1.: Seznam použitých dílů pro sestavu drtící komory

NÁZEV - OZNAČENÍ	NORMA - VÝKRES	KS
DESKA P18 B	013-BP-2022	1
DESKA P18 A	012-BP-2022	1
LEVÁ DRTÍCÍ HŘÍDEL	001-BP-2022	1
PRAVÁ DRTÍCÍ HŘÍDEL	002-BP-2022	1
ROŠT	016-BP-2022	1
KRYTKA OZUBENÝCH KOL	020-BP-2022	1
STATOROVÝ NŮŽ - MALÝ	009-BP-2022	82
STATOROVÝ NŮŽ - VELKÝ	010-BP-2022	82
PERO 5e7x5x15	ČSN 02 2562	3
ZÁVITOVÁ TYČ M10x310 DIN 976/A2	030-BP-2022	4
MATICE M10x1,25	ČSN 02 1402.2	8
MATICE S KLOBOUČKEM M10	ČSN 02 1431	8
MATICE KM 2	ČSN 023630	2
POJISTNÁ PODLOŽKA MB 2	ČSN 02 3640	2
STŘEDÍCÍ TRUBKA 15x262 ČSN 42 6711.21	031-BP-2022	4
ČELNÍ OZUBENÉ KOLO	015-BP-2022	2
LOŽISKO 6003 - 2RS	ČSN 02 4630	4
PODLOŽKA - A 6	DIN 127	3
PODLOŽKA - A 5	DIN 127	4
ŠROUB M5 x 8	ISO 7380-1	1
ŠROUB M6 x 20	ISO 7380-1	3
POJISTNÝ KROUŽEK 20	ČSN 02 2930	4
POJISTNÝ KROUŽEK 35	ČSN 022931	4
ROTOROVÝ NŮŽ Č.1	003-BP-2022	14
ROTOROVÝ NŮŽ Č.2	004-BP-2022	14
ROTOROVÝ NŮŽ Č.3	005-BP-2022	14
ROTOROVÝ NŮŽ Č.4	006-BP-2022	14
ROTOROVÝ NŮŽ Č.5	007-BP-2022	12
ROTOROVÝ NŮŽ Č.6	008-BP-2022	12
MEZIKROUŽEK	011-BP-2022	80

5.4 Rám

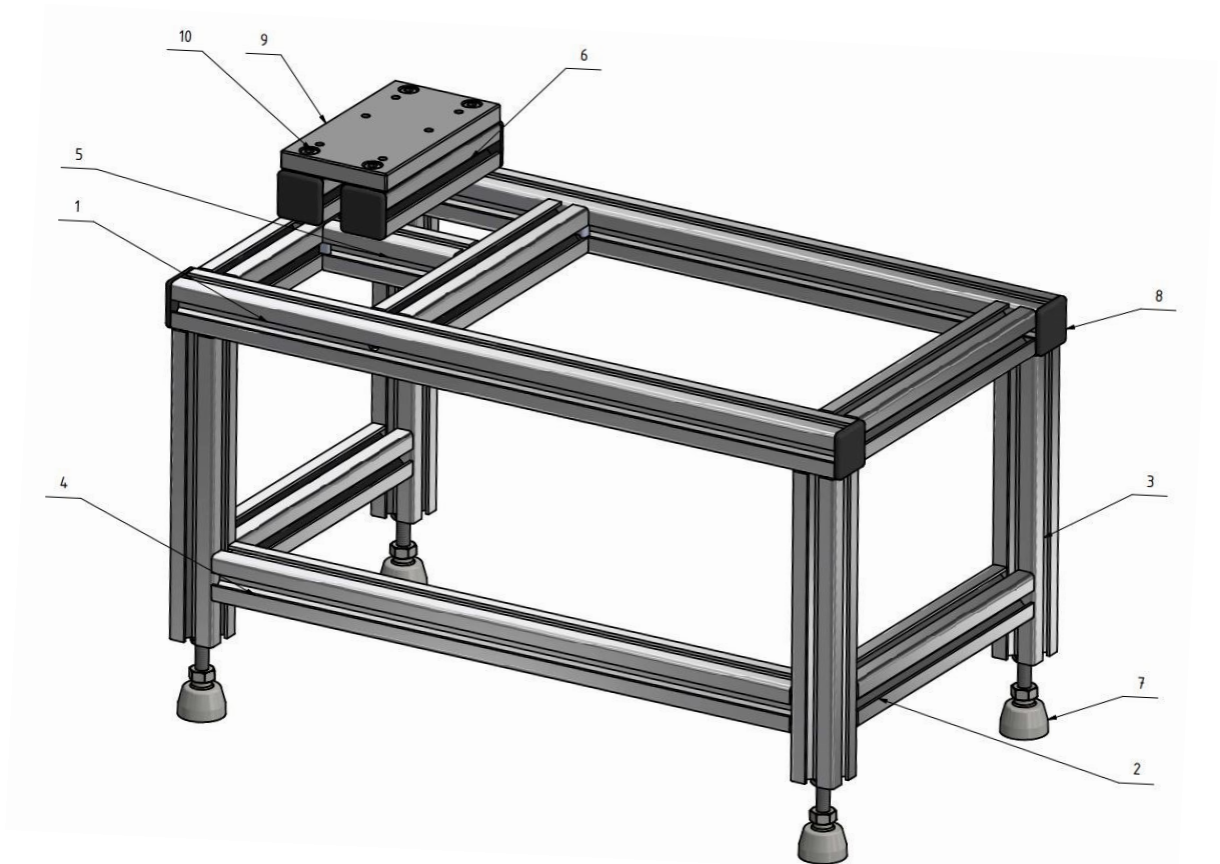
Rám patří mezi základní části každého stroje. Hlavní funkcí rámu je stabilně držet drtící komoru s pohonnými prvky drtícího zařízení. Konstrukce rámu byla zvolena z modulárních hliníkových systémů, od rakouské firmy ALVÁRIS, z profilové řady 8 30x30. Hlavní výhody modulárních systémů byly zmíněny v kapitole 3.1.3.

Před samotnou konstrukcí rámu, bylo nutné vycházet z dostatečné stability, kterou musí rám splňovat, kvůli nežádoucím vibracím, a také pevného smontování jednotlivých profilů. Výška prostoru pod rámem byla volena pro snadné vložení záchytné nádoby, kde padá drť, na 200 mm + délka patek. Velkou výhodou patek představuje polohovatelná výška, kde při nerovném terénu lze rám pevně ukotvit. Dle potřeby by bylo vhodné uvažovat i o protiskluzové vložce pro patku (označení – protiskluzová vložka pro patku 8 30), kterou výrobce nabízí. Při hladkém povrchu by se zamezilo pohybu rámu po podložce a také by byly tlumeny vibrace od celého stroje vůči prostoru, kde by drtící zařízení stálo. Větší stabilizace se vyřešila spojením, spodních částí nožek. Pro spojení modulárních profilů byl použit standardní spoj, představující podložku a šroub. Menší nevýhodou se stalo nutné vrtání otvoru pro montáž a řezání závitu M8 do díry v profilu. Pro zaručené dotažení šroubu a zamezení odtažení, byly všechny šroubové spoje lepeny lepidlem o střední pevnosti – Loctite 243.

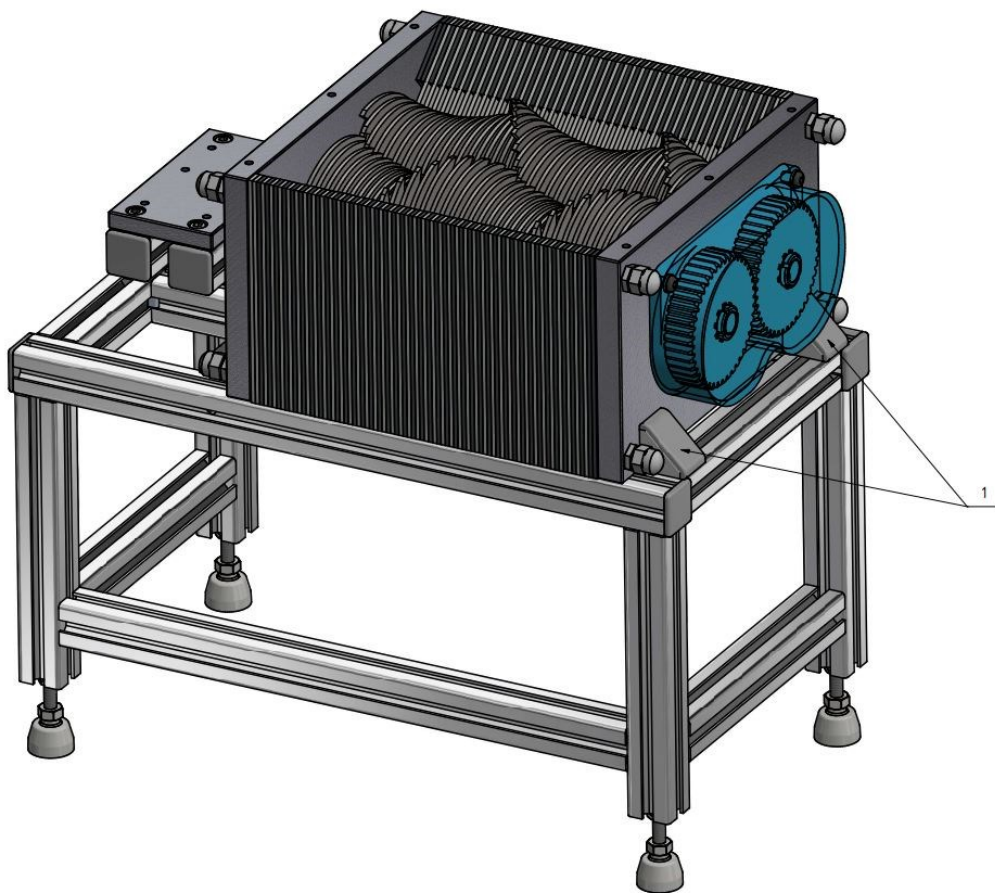


Obr. 52.: Standardní spoj [27]

Celkem bylo použito 15 kusů profilů, o celkové délce 3104,5 mm. Ložná plocha pro drtící komoru, byla spojena pomocí úhelníku 30x30 Zn. Spojení zajišťují šrouby s držákovými maticemi, které oproti jiným spojům, zajišťují lepší stabilitu i přesný úhel 90°.



Obr. 53.: Rám 1-profil 30x30x463, 2-profil 30x30x205,5, 3-profil 30x30x200, 4-profil 30x30x403, 5-profil 30x30x91, 6-profil 30x30x134, 7-patka 8, 8-krytka 8, 9- deska P10 C, 10- šroub M8x15



Obr. 54.: Rám s drtící komorou
1-úhelník 30x30 ZN

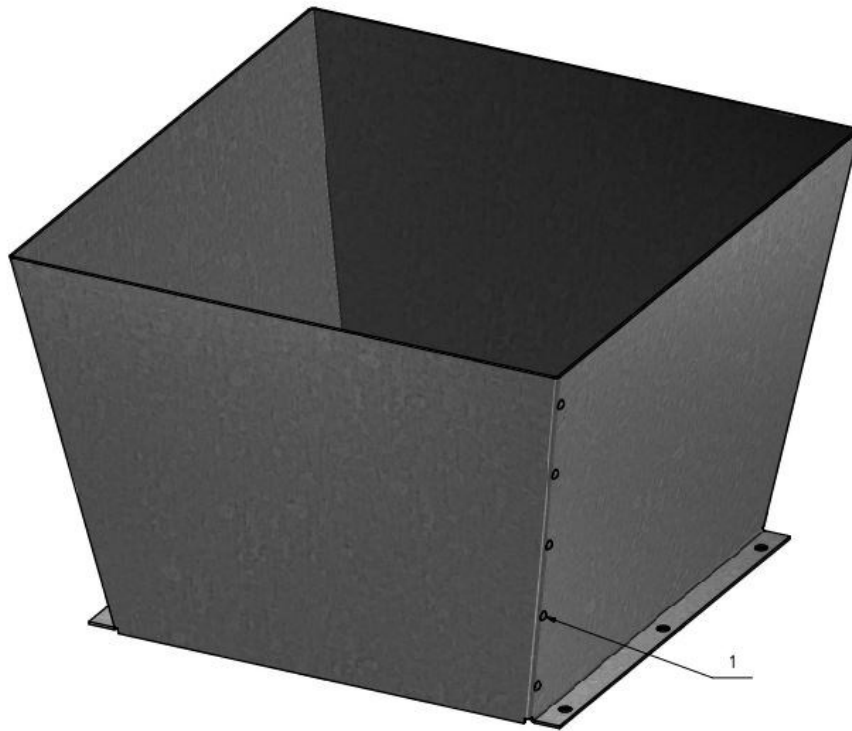
Tab. 2.: Seznam použitých dílů pro sestavu rámu

POPIS	VÝKRES - NORMA	KS
PROFIL 30x30x463	PRO8.3030	2
PROFIL 30x30x205,5	PRO8.3030	3
PROFIL 30x30x200	PRO8.3030	4
KRYTKA 8 3030	ABD8 3030	8
PATKA 8 30M8x70	STE8.30M870	4
PROFIL 30x30x91	PRO8.3030	1
PROFIL 30x30x134	PRO8.3030	2
PROFIL 30x30x403	PRO8.3030	1
DESKA P10 C	ČSN 42 5310,11	1
PODLOŽKA 6,4	ČSN 02 1703,11	4
ŠROUB M8x15	ČSN 02 1143	4
DRÁŽKOVÁ MATICE M6 ST	NUTM6ST	8
ŠROUB M8x20	ISO 7380	4
STANDARDNÍ SPOJ 8 30	ZENSTZ	10

5.5 Násypka

Násypka představuje první, vstupní, část celého drtícího zařízení, kde vstupuje materiál. Rozměrově by měla být velká, jako největší možný drcený kus a zároveň dostatečně vysoká, kvůli možnému vypadávání materiálu při drcení. V tomto případě budou mít drtící hřídele 33 ot/min, což jsou příliš malé otáčky na to, aby docházelo k velmi chaotickému pohybu materiálu v drtící komoře a tím k vymrštění drceného materiálu pryč z násypky.

Výška násypky byla zvolena na 228 mm. Spodní kotvící část odpovídá rozměrům drtící komory 282x258. Násypka byla ohnuta z plechu P1,5 700x2000 a z materiálu 11 373. Plech byl ohnut do tvaru trychtýře a spojen pomocí pěti nýtů 3x5.



Obr. 55.: Násypka

1-nýt 3x5

5.6 Ovládací panel

Ovládání celého zařízení bylo zvoleno, aby bylo co nejjednodušší. Hlavní část představuje elektrická skříň, v níž jsou uloženy všechny ovládací prvky. Drtící zařízení bude napájeno 220V, čemuž musí odpovídat i elektrické prvky.

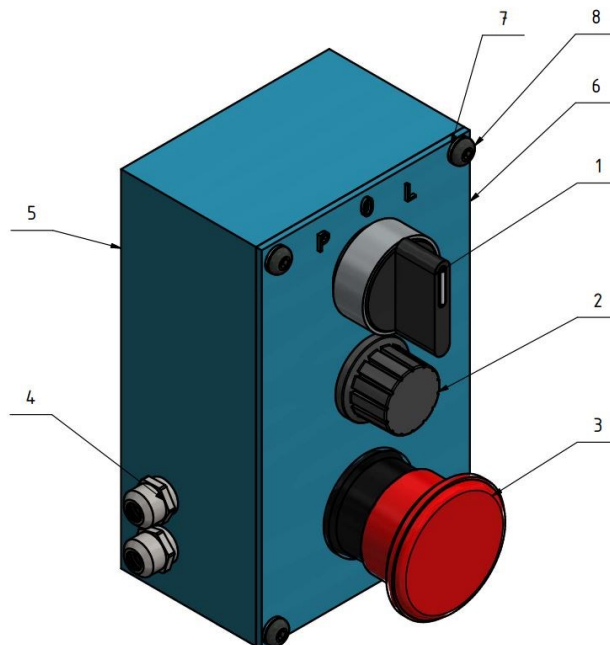
Prvním komponentem byl Spínač XB5AD21, kterým se zapínal chod zařízení a díky třem polohám umožňuje volení pravých a levých otáček motoru. Zpětný chod drtících hřídelí se může použít například ve chvíli, kdy dojde k zaseknutí materiálu v drtící komoře.

Druhým ovládacím prvkem byl Regulátor otáček AC motoru 220V 2000W, pro regulaci otáček motoru. Jednalo se především o možnost snižování počtu otáček. Při menších otáčkách zařízení vyvíjí větší kroutící moment a je možné drtit součásti o větší pevnosti.

Třetím a posledním prvkem se stalo Bezpečnostní tlačítko LAY7. Jednalo se o nezastupitelný bezpečnostní prvek, kdy se v případě potřeby zastaví chod celého zařízení.

Přívodní kabel elektrické energie vstupoval do elektrické krabičky přes kabelovou průchodku. Druhá kabelová průchodka sloužila k výstupnímu kabelu pro elektromotor.

Víčko i krabička byly tištěny 3D technologií FDM, na základě modelových dat.



Obr. 56.: Elektrická krabička

1-spínač, 2-regulátor otáček, 3-bezpečnostní tlačítko, 4-kabelová průchodka,
5-krabička, 6-víčko, 7-podložka, 8-šroub

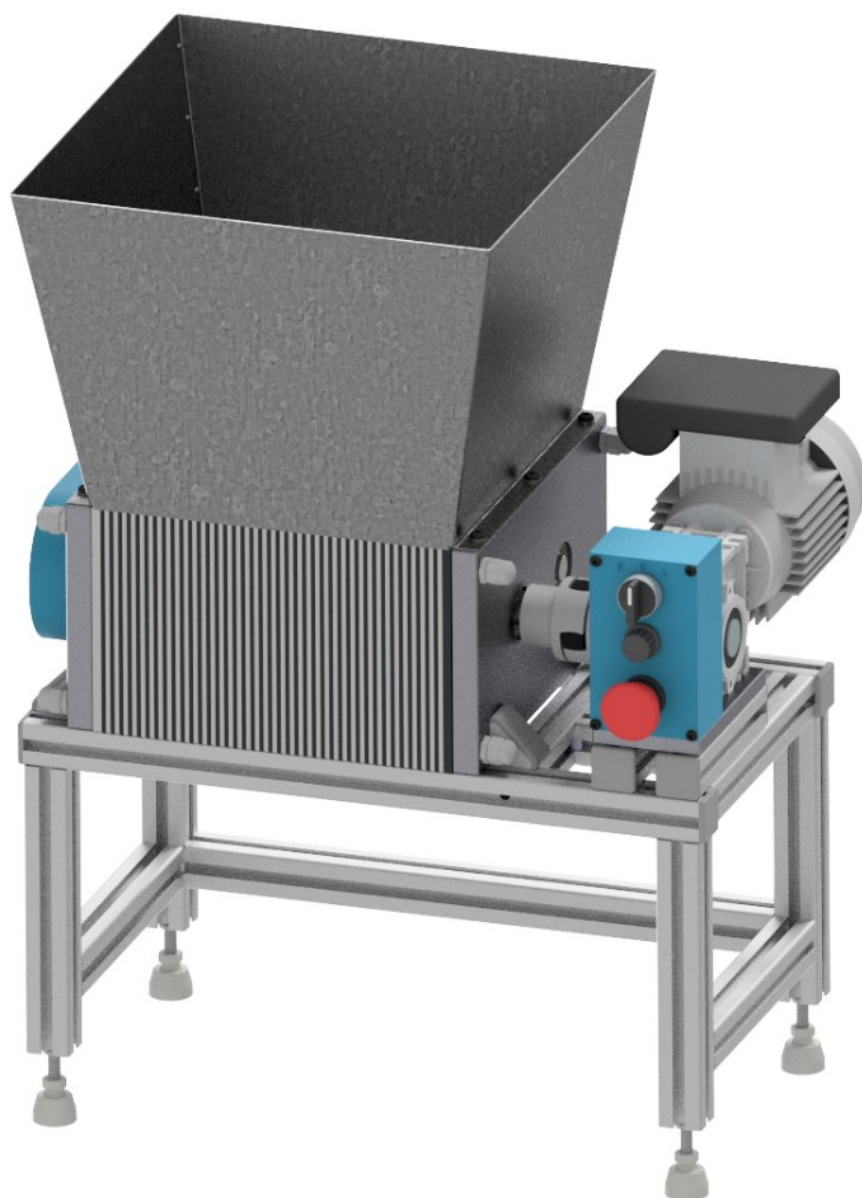
6 ZHODNOCENÍ

Drtící zařízení bylo navrženo pro drcení odpadního materiálu z 3D tisku, které jsou většinou rozměrově velmi malé. V bakalářské práci byly uvažovány předměty o délce přes celé drtící hřídele s 50 % výplní materiálu.

Princip drcení probíhá následovně. Materiál vstupuje násypkou do drtící komory, kde se drtící hřídele otáčí proti sobě a přesunují materiál do středu drtící komory. V tomto místě nože odstřihávají drcený materiál a přemísťují ho k sítu, kde propadávají nadrcená zrnka do nádoby pod rám. V případě velkých zrn je materiál drcen i ve spodní části komory.

Při zahlcení drtiče je možné použít zpětný chod, anebo demontáž roštu. Při odstranění roštu, drcení probíhá pouze v horní části drtící komory a zařízení bude schopno drtit i pevnější součásti.

Celková konstrukce byla navržena z modulárních profilů, které zajišťují minimální hmotnost rámu. Ovšem i tak podle *Inventoru* vážilo celé drtící zařízení **75 kg**. Hmotnost byla pouze orientační. Cenová kalkulace normalizovaných součástí a cen za materiál činila **16 126 Kč** bez DPH. Zjišťována byla i orientační cena všech dílů, které by bylo nutno vyrobit obráběním nebo laserovým řezáním. Ve výsledku by cena vzrostla o 10 000 Kč. Celkem na **26 126 Kč** bez DPH, a to při uvažování výroby pouze jednoho drtícího zařízení. Jednotlivé položky se nachází v příloze I, kde je uvedena i cena za materiál.



Obr. 57.: Pohled na drticí zařízení

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracování literární rešerše týkající se tématu drtícího zařízení pro plasty. Poté, dle prostudovaných částí jednoúčelových strojů, vytvořit kompletní výkresovou dokumentaci s 3D modelem pro drtící zařízení určené pro díly z 3D tiskáren, typu Prusa i3MK3. Veškeré návrhy vycházeli z hlavních požadavků, dle vstupního materiálu, které představovali díly z PLA a výstupní frakce drtě 4 mm. Nutné bylo zohlednění cenové dostupnosti vyráběných i skladových součástí.

Úvodem teoretické části byla zmíněna podstata 3D tisku a nejčastější používané technologie. V dalších kapitolách následovaly jednotlivé druhy drtících zařízení a principy drcení. Z prostudovaných poznatku započal návrh jednotlivých dílů. Nutné bylo zjistit drtící síly působící na drtících hřídelích, které postupovaly dál součástmi ve formě kroutícího momentu až k poháněcí soustavě. Od momentu byl určen minimální výkon na hnané hřídeli a zvolen vhodný typ elektromotoru. Výhodou se stalo použití jednofázového elektromotoru, který má dostupnější přívod elektrické energie, než je tomu u třífázového elektromotoru. Kvůli vysokým otáčkám byla použita šneková převodovka. Celý poháněcí systém byl navržen s ovládním polohového spínače. První poloha představuje pravotočivé otáčky, druhá vypnuto a třetí levotočivé otáčky. Levotočivý, neboli zpětný chod může být výhodou například, při nežádoucím ucpání drtící komory. Pomocí regulátoru lze snižovat otáčky elektromotoru. Výhody regulace by bylo vhodné vyzkoušet až v samotném provozu. Posledním ovládacím prvkem se stalo tlačítko STOP, pomocí kterého lze v rychlosti chod celého zařízení zastavit. Ve spodní části drtící komory byl umístěn rošt, sloužící k dodržení přesných rozměrů drtě. Upevněn byl pouze čtyřmi šrouby, díky nimž se může rychle demontovat a drcení může probíhat i bez něj.

Celková konstrukce byla navržena pro možnou manipulaci a dle potřeby přemístění drtícího zařízení, jedním člověkem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 3D Printing, CNC Machining & 3D Printer Sales In India - think3D [online].
[cit. 18.11.2021]. Dostupné z: <https://www.think3d.in/landing-pages/beginners-guide-to-3d-printing.pdf>
- [2] Nekonenční metody obrábění 9. díl, MM Průmyslové spektrum. *MM Průmyslové spektrum - nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah | MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit.20.11.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-9-dil>
- [3] Stereolithography (SLA) 3D Printing Guide. *High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals* [online] Formlabs [cit. 11.01.2022]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- [4] Informace o technologiích 3D tisku. *Nový inovovaný FabbsterG* [online]. 2021 4ISP spol. s.r.o. [cit.20.11.2021]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
- [5] Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. *High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals* [online]. Formlabs [cit. 11.01.2022]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
- [6] Nekonenční metody obrábění 10. díl | MM Průmyslové spektrum. *MM Průmyslové spektrum - nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah | MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 24.11.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-10-dil>
- [7] CUSTOMPARTNET. Fused Deposition Modeling [online]. [cit.24.11.2021]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>
- [8] Jak na upravitelné podpory v Meshmixeru - Josef Prusa - 3D tisk a tiskárny Josef Prusa – 3D tisk a tiskárny. *O mně - Josef Prusa - 3D tisk a tiskárny Josef Prusa – 3D tisk a tiskárny* [online]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/jak-na-upravitelne-podpory-v-meshmixeru/>
- [9] Best 3D Printing Technology? SLA vs SLS vs FDM Which is Better - Pick 3D Printer, *Pick 3D Printer | Discover & Learn 3D Printing Technology* [online]. Dostupné z: <https://pick3dprinter.com/sla-vs-sls-vs-fdm/>
- [10] Ducháček V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [11] Materialpro3d.cz. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz [online]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/pla-1-75/pla-filament-1-75-mm-smaragdove-zeleny-devil-design-1-kg/?gclid=CjwKCAiA55mPBhBOEiwANmzoQlJWYnZ2G4ZkpkJN25qsCM4jCHLBYIRgouC1S8pM5YuQ93mKIyXD6RoCiWgQAvD_BwE

- [12] Metal Composite HTPLA filament Proto-Pasta bronz 1,75 mm 10 m | Elegant3D – 3D tiskárny, 3D pera, filamenty a příslušenství. *Elegant3D – 3D tiskárny, 3D pera, filamenty a příslušenství* [online]. ELEGANT STYLE s.r.o. 2019 [cit. 20.11.2021]. Dostupné z: <https://www.elegant3d.cz/Metal-Composite-HTPLA-filament-Proto-Pasta-bronz-1-75-mm-10-m-d588.htm>
- [13] Prusa Knowledge Base. [online]. Dostupné z: <https://help.prusa3d.com/cs/materials>
- [14] Ultimate Materials Guide - 3D Printing Flexible Filament. Professional *3D Printing Software|Simplify3D* [online]. [cit.19.11.2021]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/flexible/>
- [15] MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. *Výrobní stroje a zařízení I.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 264 s. ISBN 9788073185961.
- [16] TERIER s.r.o. - drtiče, recyklační linky. Aktuality | TERIER s.r.o. - drtiče, recyklační linky [online]. [cit. 01.12.2021]. Dostupné z: <http://www.terier.cz/cz/aktuality.htm>
- [17] Dvouhřidelové drtiče | www.deotech.cz. *Deotech* | www.deotech.cz [online]. Dostupné z: https://www.deotech.cz/drtice/dvouhridelove_drtice
- [18] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku.* 1. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. ISBN 80-867-0610-9.
- [19] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů.* Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [20] FP-360 FP-400 CNC Lathe Cast Iron Basic Frame. *FORTUNE PACIFIC Machine Tools* [online]. All Rights Reserved. [cit. 04.11.2021]. Dostupné z: <https://www.fortunepacific.net/fp-360-fp-400-cnc-lathe-cast-iron-basic-frame-p00114p1.html>
- [21] LOFTING, Richarde. *Welding.* 1. Crowood Press, 2013. ISBN 1847974325.
- [22] ČADA, R., ADAMEC, J., TICHÁ, Š., OCHODEK, V., HLAVATÝ, I. a ŠIMČÍK, S. *Základy strojírenské technologie : skriptum.* 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1996. 115 s. ISBN 80-7078-300-1.
- [23] Výroba svařenců | Ohýbání plechů, svařování, ocelové konstrukce Plzeň. *Ohýbání plechů, svařování, ocelové konstrukce Plzeň - pálení, laserové výpalky, acetylenové výpalky Plzeň, Balsen* [online]. 2021 [cit. 01.12.2021]. Dostupné z: <https://www.balsen.cz/sluzby/vyroba-svarencu/>
- [24] Haberkorn s.r.o [online]. Ulmer, 2012 [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/>
- [25] Media Directory Search | Bosch Rexroth AG. *301 Moved Permanently* [online]. Bosch Rexroth AG 2014 [cit. 11.11.2021]. Dostupné z: https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/media-directory/-/document_library/view_document/28806333?inheritRedirect=true
- [26] ALUMINIUM APPLICATIONS | Rollco. *Home* | *Rollco* [online]. Dostupné z: <https://www.rollco.eu/solutions/aluminium-applications?uid=3ae7451e-c0e9-44f8-a697-08d5d2be69b4>

- [27] Rámy strojů | Alváris Profile Systems. *Alváris Profile Systems* | [online]. 2021 ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS GMBH [cit. 11.11.2021]. Dostupné z: <https://www.alvaris.eu/cz/technicka-reseni-na-miru/ramy-stroju/ramy-stroju>
- [28] KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojirenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. 1. svazek, A - Veličiny a jednotky, B - Matematika, C - Elektrotechnika. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00680-5.
- [29] Motor Control Devices: Electric Motors [part 2] [online]. Industrial electronics, 2020 [cit.2021-02-24]. Dostupné z: http://www.industrial-electronics.com/electric_mts--cntrl_syst--5b.html
- [30] Zoufalý, Jiří. *Elektrické stroje a přístroje*. 1. vydání. Sokolnice: Integrovaná střední škola Sokolnice, 2014. [online]. [cit.19.11.2020]. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/irp2016/Elektricke_stroje_a_pristroje-elearning.pdf
- [31] Krokový motor - co to je a jak funguje. *EUfactory* [online]. 2021 [cit. 04.11.2021]. Dostupné z: https://shop.eufactory.com/blog/12_krokovy-motor-uvod
- [32] KOPÁČEK, Jaroslav. *Hydrostatické převodové mechanismy*. Praha: SNTL, 1986, 272 s.
- [33] *Katedra za Elektroniku Fakulteta tehnickih nauka u Novom Sadu | Katedra za Elektroniku Fakulteta tehnickih nauka u Novom Sadu* [online]. [cit. 12.01.2022]. Dostupné z: <https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/racunarska-elektronika/wp-content/uploads/sites/21/2018/03/2012-BkCh-PWM.pdf>
- [34] ELFIS > Třífázové tyristorové regulátory. [online]. [cit. 11.01.2022]. Dostupné z: <http://www.elfis.cz/shop/products/regulators/3fx/>
- [35] UNIVENT, *Regulace otáček a regulátory* [online]. [cit. 12.01.2022]. Dostupné z: <https://www.univent.cz/web/cs/web/faq/regulace-otacek-a-regulatory>
- [36] Fázový regulátor napětí 230V 2000W :: L&I s.r.o. *L&I s.r.o.* [online]. 2013 Všechna práva vyhrazena. [cit. 11.01.2022]. Dostupné z: <https://www.l-i.cz/products/pwm-regulator-napeti-230v-2000wt/>
- [37] Mylms, *Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče*. [online]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>
- [38] Elektrotechnika - TZB-info. Elektrotechnika - Frekvenční měniče - EMC a použití příslušenství [online]. [cit. 12.01.2022]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/2953-frekvencni-menice-emc-a-pouziti-prislusenstvi>
- [39] Frekvenční měniče pro Vaše pohony | Měniče SEW-EURODRIVE. [online]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobyky/frekvencni_menice/frequenzumrichter.html#was_ist_ein_frequenzumrichter
- [40] ARIAC Variable Transformers. VARIAC Variable Transformers [online]. 2020 ISE, Inc. [cit. 12.01.2022]. Dostupné z: <https://variatic.com/>

- [41] Toman, P. a kolektiv autorů. Prvky distribučních sítí-Transformátory[cit. 12.01.2022] [online]. Dostupné z: <https://www.energetika.info.cz/33/prvky-distribucnich-siti-03-transformatory-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIDzobldhBp5RnR8ThFm3M8CD-vMUnwPlw/>
- [42] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, 707 s. Technický průvodce. ISBN 80-03- 00426-8.
- [43] JANČÍK, Luděk a Jiří ZÝMA. Části a mechanismy strojů. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, c1996, 201 s. ISBN 8001028917.
- [44] Stanislav Hosnedl. *Obecné strojní části 1.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012, ISBN 978-80-261-0125-3
- [45] *Specialista v plastech a Váš partner pro dodávky plastových polotovarů a výrobků | AK Plast s.r.o.* [online]. [cit. 09.09.2220]. Dostupné z: http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/PLA-LF_mat_list.pdf
- [46] 4-polové, jednofázové asynchronní motory – TRANSTECNO | RAVEO s.r.o. RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION [online]. [cit. 09.09.2220]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/AC-motory-jednofazove-4-polove-TRANSTECNO>
- [47] Šnekové převodovky – řada CM | RAVEO s.r.o. RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION [online]. [cit. 09.09.2220]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/snekove-prevodovky-CM>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
FDM	Fulse deposition modeling
UV	Ultrafialový
SLS	Selective Laser Sintering
SLA	Stereografie
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PS	Polystyren
FFF	Freeform Dabrication
μ	Mikro
m	Metr
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
%	Procento
MW	Megawatt
V	Volt
D	Průměr vnější
d	Průměr vnitřní
F	Síla
PLA	Polylaktidová vlákna
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PETG	Polyethylen tereftalát glykol
R_m	Pevnost v tahu
MPa	Megapascal
ot	Otáčky
min	Minuty
°	Stupeň
ČSN	Československá státní norma
τ_s	Napětí ve smyku
S	Obsah průřezu střižného materiálu
S_2	2x obsah střižného materiálu
mm^2	Milimetr čtvereční
k	Koeficient postupného vnikání nože do materiálu
k_1	Koeficient: nože stříhají 2x ve stejnou chvíli
k_2	Počet nožů v jedné rovině
k_3	Koeficient bezpečné deformace
k_c	Součet koeficientů

F_1, F_2	Síla působící na nože při drčení
F_{v1}	Výsledná střižná síla
M_{kD1}	Minimální dovolený kroutící moment
P_{H1}	Minimální výkon
n_{H1}	Zvolené otáčky
P_{mot}	Výkon motoru
n_{mot}	Otáčky motoru
i	převodový poměr
M_{n2}	Korutící moment převodovky
F_R	Radiální síla převodovky
n_{HV}	Výsledné otáčky
N	Newton
i_h	Převodový poměr ozubených kol
a	Osová vzdálenost
m	Modul
h_a	Hlava zubu
h_f	Pata zubu
D	Průměr roztečné kružnice
z	Počet zubů
D_a	Průměr hlavové kružnice
D_f	Průměr patní kružnice
b	Šířka ozubených kol
F_z	Radiální síla ozubených kol
α	Úhel záběru ozubených kol
tg	Tangens
τ_{DK}	Dovolené napětí v krutu
R_e	Mez kluzu
R_m	Mez pevnosti
τ_K	Napětí v krutu
d_{1min}	Minimální průměr hřídele
F_A, F_B	Reakční síly
Q	Síla rotoru
$\sum F_i$	Suma všech sil
$\sum M_i$	Suma všech kroutících momentů
d_{1P}	Průměr hřídele dle pera
p_{DOV}	Dovolený tlak
p	Tlak
AC	Asynchronní motor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Schéma SLA tisku. [4]	12
Obr. 2.: Schéma SLS tisku. [4]	13
Obr. 3.: Schéma s dvěma extrudery pro FDM. [7]	14
Obr. 4.: Vytisknutý model s podpěrami. [8]	14
Obr. 6.: Schéma kuželového drtiče. [15]	17
Obr. 7.: Schéma talířového drtiče. [15]	17
Obr. 8.: Schéma tlukadlového mlýnu. [15].....	18
Obr. 9.: Schéma kladivového mlýnu. [15].....	19
Obr. 10.: Schéma kulového mlýnu. [15].....	19
Obr. 11.: Schéma koloidního mlýnu. [15]	20
Obr. 12.: Schéma nožového mlýnu. [15].....	21
Obr. 13.: Nožový mlýnu. [16].....	21
Obr. 14.: Pohled na pracovní část Dvouhřídelového drtiče. [16]	22
Obr. 15.: Litinový rám CNC soustruhu. [20].....	24
Obr. 16.: Svařenec části rámu stroje. [23]	25
Obr. 17.: Modulární profily. [26].....	26
Obr. 18.: Jednoúčelový stroj z hliníkových profilů. [27].....	26
Obr. 19.: Řez stejnosměrného motoru. [29].....	28
Obr. 20.: Konstrukční schéma povrchově chlazeného trojfázového asynchronního motoru s kotvou na krátko. [28]	29
Obr. 21.: Konstrukční schéma synchronního motoru. [28]	30
Obr. 22.: Řez krokovým motorem. [31]	30
Obr. 23.: Lamelový hydromotor. [32]	31
Obr. 24.: Pístový pneumotor. [15]	32
Obr. 25.: Pulzně šířková modulace. [33]	33
Obr. 27.: Fázový regulátor napětí. [18]	34
Obr. 26.: Změna napětí fázovým řízením. [36]	34
Obr. 28.: Blokové schéma frekvenčního měniče [37]	35
Obr. 29.: Frekvenční měnič MOVITRAC LTE-B v IP20. [39]	36
Obr. 30.: Schéma regulačního autotransformátoru. [41]	36
Obr. 31.: Schéma řemenic a) jednochodé, b) dvouchodé c) čtyřchodé. [42].....	38
Obr. 32.: Jednostupňová převodová skříň s přímými ozubenými koly.	39
Obr. 33.: Schéma variátoru s ručním ovládním [43].....	40
Obr. 34.: Řez trubkovou spojkou se střížnými kolíky [43]	42

Obr. 35.: Řez přírubovou spojkou [43].....	43
Obr. 36.: Řez kotoučovou spojkou [43].....	44
Obr. 37.: Řez kotoučovou spojkou s pružnými pouzdry [43].....	44
Obr. 38.: Řez spojkou s listovými ocelovými pružinami [43].....	45
Obr. 39.: Řez spojkou s hadovitě vinutou pružinou [43].....	46
Obr. 40.: Špalíková pružná spojka [43]	46
Obr. 41.: Hrubý náčrt jednohřídelového drtiče.....	49
Obr. 42.: Hrubý náčrt dvouhřídelového drtiče.....	49
Obr. 44.: Skládání hřídele	51
Obr. 45.: Obsah průřezu ustřiženého materiálu	52
Obr. 46.: Místa stříhu.....	53
Obr. 47.: Pružná hřídelová spojka GE-T-24-32-A-A	56
Obr. 48.: Ozubená kola	57
Obr. 49.: Náčrt reakčních sil na levé drtící hřídeli.....	59
Obr. 50.: Sestavování drtící komory	62
Obr. 51.: Rošt.....	63
Obr. 52.: Standardní spoj [27]	65
Obr. 53.: Rám.....	66
Obr. 54.: Rám s drtící komorou	67
Obr. 55.: Násypka	68
Obr. 56.: Elektrická krabice.....	69
Obr. 57.: Pohled na drtící zařízení	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.: Seznam použitých dílů pro sestavu drtící komory64

Tab. 2.: Seznam použitých dílů pro sestavu rámu67

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Seznam všech dílů.

Příloha P II: Výkresová dokumentace

S00-BP-2022	Drtící zařízení
S01-BP-2022	Rám
S02-BP-2022	Elektrická krabička
S03-BP-2022	Drtící komora
S03-BP-2022	Kusovník
001-BP-2022	Hřídel levá
002-BP-2022	Hřídel pravá
003-BP-2022	Rotorový nůž č.1
004-BP-2022	Rotorový nůž č.2
005-BP-2022	Rotorový nůž č.3
006-BP-2022	Rotorový nůž č.4
007-BP-2022	Rotorový nůž č.5
008-BP-2022	Rotorový nůž č.6
009-BP-2022	Statorový nůž – malý
010-BP-2022	Statorový nůž – velký
011-BP-2022	Mezikroužek
012-BP-2022	Deska P18 A
013-BP-2022	Deska P18 B
014-BP-2022	Deska P10 C
015-BP-2022	Čelní ozubené kolo
016-BP-2022	Rošt
017-BP-2022	Násypka
018-BP-2022	Elektrická krabička
019-BP-2022	Víčko elektrické krabičky
020-BP-2022	Kryt ozubených kol

PŘÍLOHA P I: SEZNAM VŠECH DÍLŮ

POLOŽKA	NÁZEV	VÝKRES - NORMA	KS	CENA MATERIÁLU v Kč bez DPH
1	HŘÍDEL LEVÁ	001-BP-2022	1	635
2	HŘÍDEL PRAVÁ	002-BP-2022	1	610
3	ROTOROVÝ NŮŽ Č.1	003-BP-2022	14	391,9
4	ROTOROVÝ NŮŽ Č.2	004-BP-2022	14	391,9
5	ROTOROVÝ NŮŽ Č.3	005-BP-2022	14	391,9
6	ROTOROVÝ NŮŽ Č.4	006-BP-2022	14	391,9
7	ROTOROVÝ NŮŽ Č.5	007-BP-2022	12	335,9
8	ROTOROVÝ NŮŽ Č.6	008-BP-2022	12	335,9
9	STATOROVÝ NŮŽ - MALÝ	009-BP-2022	82	2152,0
10	STATOROVÝ NŮŽ - VELKÝ	010-BP-2022	82	992,3
11	MEZIKROUŽEK	011-BP-2022	80	107,1
12	DESKA P18 A	012-BP-2022	1	390
13	DESKA P18 B	013-BP-2022	1	390
14	DESKA P10 C	014-BP-2022	1	60
15	ČELNÍ OZUBENÉ KOLO	015-BP-2022	2	72
16	ROŠT	016-BP-2022	1	79,9
17	NÁSYPKA	017-BP-2022	1	150
18	ELEKTRICKÁ KRABIČKA	018-BP-2022	1	86
19	VÍČKO ELEKTRICKÉ KRABIČKY	019-BP-2022	1	46
20	KRYT OZUBENÝCH KOL	020-BP-2022	1	12,5
21	PROFIL 30x30x134	021-BP-2022	2	86,0
22	PROFIL 30x30x205,5	022-BP-2022	5	328,9
23	PROFIL 30x30x200	023-BP-2022	4	256,1
24	PROFIL 30x30x91	024-BP-2022	1	23,1
25	PROFIL 30x30x463	025-BP-2022	2	296,4
26	PROFIL 30x30x403	026-BP-2022	1	129,0
27	KRYTKA ABD8 3030	027-BP-2022	8	86,8
28	STOJKA STE8 30 M870	028-BP-2022	4	470,2
29	DRÁŽKOVÁ MATICE M6 ST	029-BP-2022	8	138,9
30	ZÁVITOVÁ TYČ M10x310 DIN 976/A2	030-BP-2022	4	103,2
31	STŘEDÍCÍ TRUBKA	031-BP-2022	4	101,9
32	HŘÍDELOVÁ SPOJKA	032-BP-2022	1	553,2
33	PŘEVODOVKA	033-BP-2022	1	2735
34	MOTOR	034-BP-2022	1	1536
35	MATICE S KLOBOUČKEM M10	ČSN 02 1431	8	4,9
36	MATICE M10	ČSN 02 1404	8	12
37	SPÍNAČ NAPĚTÍ	XB5AD21	1	236,8
38	POJISTNÝ KROUŽEK 35	ČSN 022931	4	9,7
39	MATICE KM 2	ČSN 023630	2	23,6
40	POJISTNÁ PODLOŽKA MB 2	ČSN 02 3640	2	25,2
41	PRUŽNÁ PODLOŽKA - A 6	DIN 127	9	3,1
42	PRUŽNÁ PODLOŽKA - A 5	DIN 127	4	1,44
43	ŠROUB M5 x 10	ISO 7380-1	4	4,8

44	ŠROUB M6 x 20	ISO 7380-1	3	5,5
45	POJISTNÝ KROUŽEK 21	ČSN 02 2930	4	5,8
46	PERO 5e7x5x15	ČSN 02 2562	3	2,7
47	ŠROUB M6x10	ČSN 02 1101	8	2,3
48	STANDARDNÍ SPOJ 8 30	ZENSTZ	14	378
49	ŠROUB M8x20	DIN 7380	8	50,8
50	PODLOŽKA 6,4	DIN 125	10	4
51	ŠROUB M6 x 10	DIN 912 - M6 x 10	4	4,2
52	TLAČÍTKO STOP	LAY7	1	73
53	REGULÁTOR OTÁČEK MOTORU	220V 2000W Speed Controller	1	68
54	KABELOVÁ PRŮCHODKA	53111000	2	52,9
55	ŠROUB M6x8	ČSN 021146-5,8	2	5,2
56	PRUŽNÁ PODLOŽKA	DIN 127	4	0,5
57	ŠROUB M4 x 10	ISO 7380-1	4	5,1
58	ÚHELNÍK 8 30x30 ZN	WINSTZ8.3030ZN	4	203,2
59	NÝT 3 x 5	ISO/R 1051	5	0,8
60	ŠROUB M6 x 12	ISO 7380-1	6	16,9
61	LOŽISKO 6003 - 2RS	ČSN 02 4630	4	58,8
		CELKOVÁ CENA		16 126,23 Kč bez DPH