

Konstrukce mobilního štěpkovače

Libor Vaculík

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Libor Vaculík
Osobní číslo: T17222
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Konstrukce mobilního štěpkovače

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii k danému tématu
2. Navrhněte konstrukční řešení štěpkovače
3. Zhotovte sestavu štěpkovače
4. Zhotovte výrobní dokumentaci

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

Seznam doporučené literatury:

- Kemka, V, Barták, J, Mikčák P, Žitek, P. :*Stavba a provoz strojů, stroje a zařízení*, Informatorium, Praha, 2009, ISBN 978-80-7333-075-0
- Lukovics, I, Sýkorová, L, Volek, F : *Části a mechanismy strojů*, Skripta, ES VUT Brno, 2000, ISBN 80 214 1566 5,
- Volek, F : *Základy konstruování a části strojů – mechanismy strojů*, Skripta, UTB ve Zlíně, 2003, ISBN 80-7318 111 8,
- Bolek, A, Kochman, J. a kol. : *Části strojů*, 2. svazek. SNTL Praha, 1990

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Volek, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 20. února 2020

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 užít 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: Libor Vaculík

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V této bakalářské práci je proveden rešeršní rozbor drtičů a štěpkovačů určených k likvidaci dřevního odpadu. V praktické části bylo provedeno konstrukční navržení vlastního štěpkovače dřeva, provedení základních výpočtů únosnosti hřídelů a vytvoření samotného 3D modelu mobilního štěpkovače dřeva. Práce také obsahuje výrobní dokumentaci jednotlivých vyráběných dílců, podsestavy a celkovou sestavu.

Klíčová slova:

drtiče a štěpkovače, rozdělení drtičů, konstrukce mobilního štěpkovače dřeva, 3D model, výkresová dokumentace

ABSTRACT

This bachelor's thesis proves that these are limiting crushers and chippers endangering the disposal of wood waste. In the practical parts, the design requirements for wood puppies, the implementation of basic calculations of the bearing capacity of shafts and the creation of the 3D model of a credit wood chipper were demonstrated. The work includes production documentation of individual production parts, subassemblies and assembly.

Keywords:

crushers and chippers, distribution of crushers, construction of a mobile wood chipper, 3D model, drawing documentation

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Františkovi Volkovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady a poskytnutý čas při psaní této bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DŘEVNÍ DRTIČE A ŠTĚPKOVAČE	12
1.1 VYUŽITÍ DRTĚ	12
1.2 DRTÍCÍ STROJE	12
1.2.1 Drtiče kamene	13
1.2.2 Drtiče kovů.....	13
1.2.3 Drtiče plastů	14
1.2.4 Drtiče komunálního odpadu.....	14
2 HLAVNÍ ČÁSTI DRTIČŮ A ŠTĚPKOVAČŮ	15
2.1 VSTUP MATERIÁLU	15
2.2 PODÁVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	15
2.3 DRTÍCÍ MECHANISMUS.....	15
2.4 VÝSTUP ODPADNÍHO VZDUCHU A DRCENÉHO MATERIÁLU	15
2.5 POHON.....	15
3 KONSTRUKČNÍ ROZDĚLENÍ DRTIČŮ A ŠTĚPKOVAČŮ	16
3.1 PODLE PROVEDENÍ PODÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	16
3.1.1 Bez Podávacího zařízení	16
3.1.2 Samočinné podávací zařízení	16
3.1.3 Poháněné podávací zařízení	17
3.2 PODLE PROVEDENÍ ŠTĚPKOVACÍHO ČI DRTÍCÍHO MECHANISMU.....	17
3.2.1 Diskový	17
3.2.2 S protiběžnými noži.....	18
3.2.3 Bubnový	18
3.2.4 Šnekový.....	19
3.2.5 Kladívkový	19
3.2.6 Turbine-Cut	20
3.3 PODLE TYPU POHONNÉ JEDNOTKY	20
3.3.1 Elektromotor	20
3.3.2 Spalovací motor.....	21
3.3.3 Z výstupního hřídele traktoru.....	21
3.4 PODLE VÝKONNOSTI STROJE	22
3.4.1 Zahradní	22
3.4.2 Malé výkonnosti	22
3.4.3 Střední výkonnosti.....	23
3.4.4 Velké výkonnosti.....	23
3.5 PODLE MOBILITY STROJE	24
3.5.1 Nepohyblivé	24
3.5.2 S vlastními koly.....	24
3.5.3 Přívěsové.....	25
3.5.4 Nesené.....	25

3.5.5	Samohybné.....	26
4	DRTIČE A ŠTĚPKOVAČE DOSTUPNÉ NA TRHU	27
4.1	TUZEMŠTÍ VÝROBCI.....	27
4.1.1	Bystroň – integrace s.r.o.	27
4.1.2	SG strojírna s.r.o.....	28
4.1.3	Terier s.r.o.	28
4.1.4	Urban kovo s.r.o.	29
4.2	VÝZNAMNÍ ZAHRANIČNÍ VÝROBCI DOSTUPNÍ V EU.....	30
4.2.1	Guoyu.....	30
4.2.2	NEGRI	31
II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
5	KONSTRUKČNÍ NÁVRH MOBILNÍHO ŠTĚPKOVAČE DŘEVA.....	33
5.1	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	33
5.2	VÝPOČET PŘEVODOVÉHO POMĚRU MEZI HNACÍ A HNANOU ŘEMENICÍ	34
5.2.1	Síla potřebná k přestřižení větve	34
5.2.2	Práce sekacího mechanismu.....	34
5.2.3	Volba motoru, skutečný výkon	34
5.2.4	Čas potřebný na jednu otáčku sekacího mechanismu	34
5.2.5	Potřebné otáčky pro sekání	34
5.3	VÝPOČET ŘEMENOVÉHO PŘEVODU	34
5.3.1	Jmenovitý výkon, typ řemene, průměr malé řemenice.....	34
5.3.2	Převodový poměr mezi hnací a hnanou řemenicí	35
5.3.3	Obvodová rychlost řemene	35
5.3.4	Výpočet průměru velké řemenice.....	35
5.3.5	Předběžná osová vzdálenost.....	35
5.3.6	Skutečná délka řemene	35
5.3.7	Skutečná osová vzdálenost.....	35
5.3.8	Úhel opásání malé řemenice β a velké řemenice γ	35
5.3.9	Počet klínových řemenů.....	36
5.3.10	Ohybová frekvence.....	36
5.3.11	Obvodová síla řemene	36
5.3.12	Šířka řemenice.....	36
5.4	PŘENOS KROUTÍCÍHO MOMENTU MEZI HNACÍM A HNANÝM HŘÍDELEM	36
5.5	KONTROLA HNACÍHO HŘÍDELE.....	37
5.5.1	Kroutící moment na hřídeli	37
5.5.2	Obvodová síla nože	37
5.5.3	Spojité zatížení hřídele.....	37
5.5.4	Spojité zatížení bezpečnostní	38
5.5.5	Síla spojitého zatížení	38
5.5.6	Výpočet reakcí hřídele	38
5.5.7	Maximální ohybový moment spojitého zatížení	39
5.5.8	Kontrola nebezpečných průřezů hřídele	39
5.5.9	Kontrola kluzných ložisek hnacího hřídele.....	43
5.5.10	Kontrola per a drážkování hnacího hřídele.....	44
5.5.10.1	Pero řemenice	44
5.5.10.2	Pero ozubeného kola	44

5.5.10.3	Kontrola drážkování hřídele.....	45
5.6	KONTROLA HNANÉHO HŘÍDELE.....	46
5.6.1	Kroutící moment na hřídeli.....	47
5.6.2	Obvodová síla nože.....	47
5.6.3	Spojité zatížení hřídele.....	47
5.6.4	Spojité zatížení bezpečnostní.....	47
5.6.5	Síla spojitého zatížení.....	47
5.6.6	Výpočet reakcí hřídele.....	47
5.6.7	Maximální ohybový moment spojitého zatížení.....	48
5.6.8	Kontrola nebezpečných průřezů hřídele.....	48
5.6.9	Kontrola kluzných ložisek hnacího hřídele.....	51
5.6.10	Kontrola pera a drážkování hnacího hřídele.....	52
5.6.10.1	Pero ozubeného kola.....	52
5.6.10.2	Kontrola drážkování hřídele.....	53
5.7	MOBILNÍ ŠTĚPKOVAČ DŘEVA.....	53
5.8	BEZPEČNOSTNÍ PRVKY STROJE.....	54
5.9	ODVOD ŠTĚPKY.....	54
6	3D MODEL MOBILNÍHO ŠTĚPKOVAČE.....	55
	ZÁVĚR.....	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	69
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Po těžbě dřeva nebo po úklidu zahrady vzniká velké množství dřevního opadu, který se dá pomocí strojů zpracovat na dále využitelný materiál. Můžeme jej využít pro mulčování půdy, jako složku do kompostu, pro stavební účely nebo se dá použít jako topné palivo pocházející z obnovitelných zdrojů.

Tato bakalářská práce pojednává o dřevních drtičích a štěpkovačích, jejich využití, rozmanitosti konstrukčních řešení hlavních částí těchto strojů. Její součástí je také vytvoření 3D modelu zahradního drtiče odpadu a zhotovení výkresové dokumentace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DŘEVNÍ DRTIČE A ŠTĚPKOVAČE

Drtiče jsou stroje, které jsou určeny k úpravě rozměrů částic dřeva, jež není možné sekat sekačkami. Zejména jde o drobné dřevo, mimořádně netvárné (křoviny apod.), znečištěné (pařezy, stavební odpad nebo odpad po kácení stromů). Dle účelu využití se od sebe liší typem konstrukce, velikostí, velikostí výstupní drtě, výkonem a cenou. [1]

1.1 Využití drtě

Po drcení a štěpkování vznikne spousta malého odpadu, který se dá dále využít. Vzniklá drť se může přidat do kompostu kde se poměrně rychle rozloží a tím lze pak pohnojit zahradu. Také je možné ji využít jakožto topné palivo nebo jako plnivo pro výrobu dřevotřísek, cementotřískových desek nebo jako mulčovací prvek. [2]



Obrázek 1 Drť pro mulčování [3]



Obrázek 2 Cementotřísková deska [4]

1.2 Drtící stroje

Dřevní drtiče nejsou jediné stroje určené na likvidaci odpadu, je jich celá škála. Kromě těchto drtičů jsou další nejrozšířenější drtiče kamení, kovů, plastů nebo také odpadu vytvořeného člověkem (komunální odpad, papír, sklo) apod. [5]

1.2.1 Drtiče kamene

Tyto stroje najdou své uplatnění hlavně v lomech, kde se zpracovávají kusy vytěžených hornin, rozemelou se na menší kousky a pomocí pásových dopravníků se posílají do třídiček, kde se tyto kusy třídí na větší a menší kusy. Dále své využití mohou uplatnit pro recyklaci stavebních hmot v místech demolic starých objektů a silnic. Tyto stroje mají obrovskou drtivou sílu a výkon. [6]



Obrázek 3 Mobilní drtič kamene [7]

1.2.2 Drtiče kovů

Drtiče kovových materiálů najdeme např. na skládkách s kovošrotem, kde zpracovávají nepotřebné kusy materiálů, ať už je to hliník, měď, mosaz nebo ocel. Velké stroje jsou schopny drtit motory automobilového průmyslu nebo také celá auta. Po roztřízení se mohou dané kusy opět prodat do slévárenských a jiných kovo-zpracovatelských průmyslů.



Obrázek 4 Drtič kovošrotu [9]

1.2.3 Drtiče plastů

Tyto stroje jsou využity jako jedna z metod mechanické recyklace plastů, kdy jsou plastové výrobky vedeny do mlýna, kde se odpad drtí na menší částice, od této drtě je poté nutno separovat ostatní materiály. Získaný recyklát lze opět využít jako granulát, který je možné využít k výrobě technických výrobků vstřikováním nebo vytlačováním. Tímto způsobem se např. vyrábí až 40 % rámu plastových oken. [10]



Obrázek 5 Jemné drcení plastových materiálů [11]

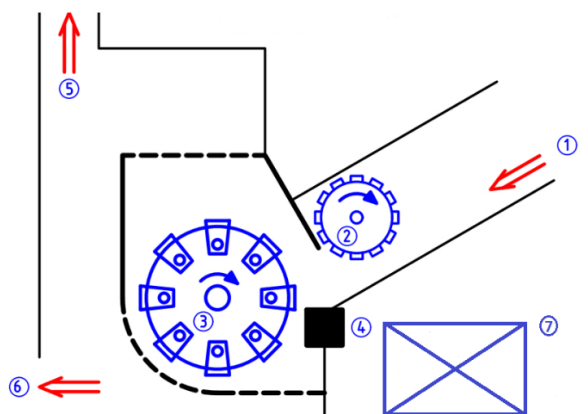
1.2.4 Drtiče komunálního odpadu

Tyto stroje slouží ke zmenšení objemu odpadu každodenně vytvořeného člověkem. Veškeré složky se rozdrť a dále se můžou skládkovat nebo energeticky využít, kdy se drť odveze do spalovny, kde se zbytkový odpad přeměňuje na tepelnou nebo elektrickou energii. [12]



Obrázek 6 Drtič komunálního odpadu [13]

2 HLAVNÍ ČÁSTI DRTIČŮ A ŠTĚPKOVAČŮ



Obrázek 7 Hlavní části drtičů a štěpkovačů [14]

Tabulka 1 Popis hl. částí

1	Vstup materiálu
2	Podávací zařízení
3	Drtící mechanismus
4	Proti-nože
5	Výstup odpadního vzduchu
6	Výstup drtě
7	Pohon

Tyto části drtičů a štěpkovačů můžeme považovat za jedny z nejdůležitějších prvků. Každý z nich plní svou funkci a tyto prvky mohou mít i různá konstrukční provedení.

2.1 Vstup materiálu

Místo, kde vkládáme materiál, který je potřeba rozdrtit. Při konstrukci této části musíme dbát na to, aby vkládání bylo bezpečné pro obsluhu zařízení (zabránění případnému zranění).

2.2 Podávací zařízení

Podávací zařízení slouží k posuvu materiálu dále do stroje k drtícímu či sekacímu mechanismu, v některých případech nemusí být součástí stroje a je nahrazeno gravitací.

2.3 Drtící mechanismus

Zde dochází k sekání a drcení materiálu pomocí nožů, které mění kusy dřeva na drť.

2.4 Výstup odpadního vzduchu a drceného materiálu

Tato část stroje může být konstruována jako jedna součást nebo jako v případě obr. 7 zvlášť.

2.5 Pohon

Slouží k dodávání energie podávacímu a sekacímu zařízení, může a nemusí být přímou součástí stroje.

3 KONSTRUKČNÍ ROZDĚLENÍ DRTIČŮ A ŠTĚPKOVAČŮ

3.1 Podle provedení podávacího zařízení

3.1.1 Bez Podávacího zařízení

Drtiče či štěpkovače bez podávacího zařízení se nejčastěji vyskytují tam, kde se likvidují pouze malé větve nebo jiné kousky dřevin a není tedy zapotřebí velké síly k přepravě materiálu. Jedná se tedy o stroje s malým výkonem, které se hodí pro práci na zahradě, pořizovací cena těchto drtičů není příliš vysoká. U tohoto typu hrozí poranění obsluhy při špatné manipulaci.



Obrázek 8 Zahradní drtič větví VARI Kajman-55 [15]

3.1.2 Samočinné podávací zařízení

Tyto podávací zařízení jsou nejčastěji tvořeny konickou šroubovou čepelí, která materiál vtahuje k sekacímu mechanismu a tím dochází k jeho plynulému vtahování do štěpkovacího mechanismu. Další možností může být úprava nožů tak, aby si materiál automaticky vtahovaly.



Obrázek 9 Zahradní drtič větví Negri BIO R95BHHP65 [16]

3.1.3 Poháněné podávací zařízení

U tohoto typu podávacích zařízení se nejčastěji využívá k podávání materiálu dvou hydraulických válců, které mají svůj nezávislý pohon zajištěn vlastními hydromotory, kde můžeme nastavit rychlost podávání a zpětný chod (Obr. 10). Další pohyb materiálu může být zajištěn kombinací jednoho podávacího válce a pásu, bývají zpravidla poháněny pomocí mechanického převodu stejnou pohonnou jednotkou jako sekací mechanismus (Obr. 11).



Obrázek 10 Negri BIO
C19DL350TFN [17]



Obrázek 11 Vysokokapacitní štěpkovač
JENSEN TJ [18]

3.2 Podle provedení štěpkovacího či drtícího mechanismu

3.2.1 Diskový

Je poměrně jednoduché konstrukce. Skládá se z rotujícího disku a nožů, které jsou k němu připevněny v rovině kolmé k ose otáčení. Tyto nože se otáčejí vůči pevnému ostří. Na druhé straně bývá disk osazen několika lopatkami, které nám slouží k dopravě materiálu do výstupní sekce. [19]



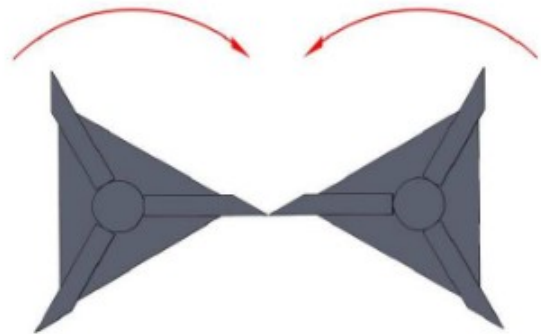
Obrázek 12 Diskový štěpkovací mechanismus [20]

3.2.2 S protiběžnými noži

Štěpkovače pracují na principu dvou protiběžných hřídelí, na kterých jsou osazeny nože. Ty jsou na hřídelích umístěny tak, aby se vždy setkávaly v jednom místě a tím dojde k přeseknutí materiálu. U tohoto mechanismu není potřeba přidavné podávací zařízení, protože si nože při chodu materiál sami vtahují do pracovní komory.



Obrázek 14 Štěpkovač s protiběžnými noži [21]



Obrázek 13 Princip sekacího mechanismu [22]

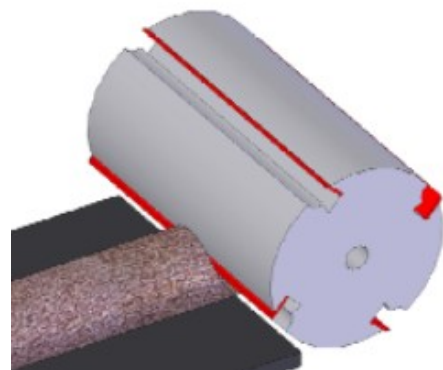
3.2.3 Bubnový

U tohoto mechanismu jsou nože uloženy na povrchu pracovního válce rovnoběžně s osou otáčení. Tento typ uložení zásadně neovlivňuje velikost průměru bubnu. Na plášť lze umístit jeden nůž po celé délce nebo kvůli snížení rázů více kratších nožů.

Materiál může být k bubnu dopravován ručně nebo pomocí podávacího zařízení.



Obrázek 15 Bubnový štěpkovač JENSEN JT [23]

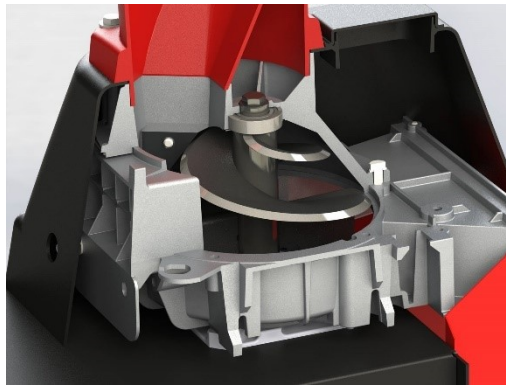


Obrázek 16 Princip mechanismu s jedním nožem [24]

3.2.4 Šnekový

U těchto mechanismů se využívá kuželového otáčejícího šneku, který se postupně rozšiřuje a tím dochází k postupnému zařezávání se do materiálu až do doby k jeho úplnému přerézání.

Po vložení materiálu do vstupního pásma dochází k jeho samo-vtahování, proto zde není nutné zařazovat podávací zařízení. Po rozdrčení materiálu volně odpadá prostorem za šnekem, lze také využít lopatkové vyprazdňování.



Obrázek 17 Šnekový řezací mechanismus [25]

3.2.5 Kladívkový

Tento mechanismus se skládá z hřídele s kladívky a dále z opěrné plochy, která je tvořena sítím. K drčení materiálu dochází při velké rotační rychlosti hřídele s kladívky, které jej melou do doby, než materiál propadne sítím. Jemnost nadrceného materiálu je dána velikostí ok sítí. [26]



Obrázek 18 Kladívkový drtič [27]

3.2.6 Turbine-Cut

Tento mechanismus využívá k sekání dřeva dutý kuželový vícebřítý nástroj (tzv. turbínu) a opěrnou hranu. U tohoto mechanismu dochází k vtahování materiálu, a proto není nutné přidávat další podávací zařízení.



Obrázek 19 Princip funkce mechanismu Turbine-Cut [28]

3.3 Podle typu pohonné jednotky

3.3.1 Elektromotor

Tento pohon se využívá u drtičů a štěpkovačů v menším rozsahu. Je to dáno hlavně tím, že je nutné mít v dosahu připojení k elektrické síti, proto najdou své uplatnění u zahradních drtičů a štěpkovačů kde se snadno připojí, taktéž zde nevyžadujeme vysoké výkony.

Jejich výhodou je nižší hmotnost a manipulace s nimi tedy lehčí.



Obrázek 20 Urban EM110 s elektromotorem [29]



Obrázek 21 PIRANA štěpkovač s elektromotorem [30]

3.3.2 Spalovací motor

Těmito pohony se osazují drtiče a štěpkovače, od kterých požadujeme vyšší výkon. Tyto stroje mohou být umístěny na přívěsech a přepravují se pomocí jiných dopravních prostředků nebo to mohou být stroje samohybné. Jejich nevýhodou je vyšší hmotnost než u elektromotorů, ale oproti nim je lze využít téměř kdekoli, protože není nutné je připojovat k elektrické síti.



Obrázek 23 PIRANA 14HP
[31]



Obrázek 22 Negri BIO
R255BHHP21CN [32]

3.3.3 Z výstupního hřídele traktoru

Tímto způsobem poháníme sekací mechanismus pomocí výstupní hřídele traktoru, který přenáší výkon na připojený pracovní stroj pomocí kardanové hřídele. Tyto pohony se používají kvůli jejich vyšším výkonům a všude tam, kde je problémový přístup. Takovéto drtiče či štěpkovače mohou být nesené přímo traktorem nebo přívěsem připojeným k traktoru.

Výhodou jsou právě jejich vysoké výkony, ale oproti tomu musí být zařízení uzpůsobeno tak, aby jej traktor bez větších obtíží mohl vézt.



Obrázek 24 Urban TR70 SIMPLE [33]



Obrázek 25 Drtič větví PIRANA [34]

3.4 Podle výkonnosti stroje

3.4.1 Zahradní

Drtiče a štěpkovače určené hlavně k drcení zahradního odpadu u rodinných domků, kde se nepožadují vysoké výkony k výrobě štěpky. Jsou malé a lehké, proto je manipulace s nimi poměrně jednoduchá. Bývají osazeny elektromotorem z důvodu jednoduchého připojení k elektrické síti, jejich výkony dosahují až 5 kW.



Obrázek 26 Elektrický drtič FZD 4007-E [35]

3.4.2 Malé výkonnosti

Jsou schopny zpracovávat více dřevní hmoty než zahradní drtiče a štěpkovače. Mají větší rozměry a tím i hmotnost, proto se konstruují jako přívěsové nebo nosné stroje. Kvůli jejich mobilitě mohou být osazeny spalovacími motory nebo mohou být poháněny výstupním hřídelem traktoru, díky tomu mají i větší výkony, které dosahují až 50 kW.



Obrázek 27 Negri BIO R225TN [36]

3.4.3 Střední výkonnosti

Využívají se pro drcení velkých dřevních hmot o větších průměrech. Mívají vlastní pohonnou jednotku, kterou je spalovací motor. Kvůli jejich velikosti a váze bývají konstruovány jako přívěsové nebo samohybné stroje. Výkony mohou být až 125 kW.



Obrázek 28 Štěpkovač TP 275 mobile [37]

3.4.4 Velké výkonnosti

Tyto stroje jsou schopné likvidovat obrovské množství dřevin, které není nutno předtím jakkoliv upravovat, tzn. že hned po skácení stromu jej tyto stroje rozdrtí na štěpku. Bývají zkonstruovány jako samohybné stroje nebo jako přívěsy. Jejich výkony dosahují až 450 kW.



Obrázek 29 Bandit 3590XL [38]

3.5 Podle mobility stroje

3.5.1 Nepohyblivé

Stroje tohoto typu se přemísťují obtížně, protože nemají možnost vlastního pojezdu. Materiál se k nim musí přivážet a většinou jsou umístěny v místě, které má přístup k elektrické síti, a proto bývají osazeny elektromotorem.



Obrázek 30 Stacionární štěpkovač Skorpion 160 E [39]

3.5.2 S vlastními koly

Stroje jsou konstruovány společně s vlastními koly, aby se zvýšila jejich mobilita a mohli se přemísťovat na kratší vzdálenosti. Mohou být osazeny elektromotorem nebo i spalovacím motorem.



Obrázek 31 Negri BIO R95BHHP55GP [40]

3.5.3 Přívěsové

Stroje, které jsou určeny ke zpracování větších množství dřevních hmot. Konstrukčně svojí kostrou jsou řešeny jako přívěsy, které se dají připojit za traktor nebo automobil a tím byla zajištěna jejich mobilita a převoz. Pro provoz tohoto stroje jsou většinou určeny spalovací motory s vyšším výkonem.



Obrázek 32 Vlečný štěpkovač ARB150MT26 [41]

3.5.4 Nesené

Bývají nejčastěji připevněny k traktoru bodovým systémem, tím se zajistí mobilita a zároveň i pohon drtiče či štěpkovače, který může být vyvozen pomocí výstupního hřídele traktoru. Další možností pohonu je umístit na nesený stroj také pohonnou jednotku, kterou je spalovací motor.



Obrázek 33 Štěpkovač WC-8H [42]

3.5.5 Samohybné

Stroje zkonstruované tak, aby byly schopny samostatného pojezdu. Pohonnou jednotkou bývá spalovací motor a pohyb je zajištěn pomocí kol nebo pásů, díky kterým se můžou přesouvat z místa na místo. Pohonem sekacího mechanismu bývá taktéž spalovací motor.



Obrázek 34 Samojízdný štěpkovač Optimus-X 8WT [43]

4 DRTIČE A ŠTĚPKOVAČE DOSTUPNÉ NA TRHU

Většina výrobců nabízí širokou škálu drtičů či štěpkovačů. Při výběru samotného stroje hraje velkou roli oblast použití, které může být profesionální, kde se stroje využívají denně při zpracování velkých mas materiálů v lesnictví apod. nebo v domácích podmínkách kdy se stroje využívají párkrát do roka pro úklid dřevního odpadu na zahrádce. Další zaměření může být na mobilitu stroje a jeho přepravu na různá místa, která mohou být i hůře dostupná, s tím je spojeno i napájení stroje, zdali bude poháněn elektromotorem, spalovacím motorem nebo pomocí výstupního hřídele traktoru. V neposlední řadě hraje roli velikost štěpky, na kterou je stroj schopen odpad zpracovat.

4.1 Tuzemští výrobci

4.1.1 Bystroň – integrace s.r.o.

Česká firma zabývající se výrobou lesní, zemědělské techniky a řadou příslušenství pro údržbu silnic. Stroje jsou vyráběny s vlastním pohonem nebo s možností připojení na výstupní hřídel traktoru, který by měl mít výkon alespoň 10kW. Vyrábí různé druhy štěpkovačů a drtičů, ale také špalíkovače, štípače dřeva, mulčovače, frézy na pařezy, radlice a další.

Jsou zde také různé možnosti konstrukce drtičů a štěpkovačů, mohou být stacionární (nehybné), s vlastními koly, přívěsové pro zapojení za auto, traktor nebo jiný vlečný stroj. [44]

Štěpkovač Pirba 37HP na podvozku [45]

Strojní zařízení určené k drcení větví, dřeva a dřevního odpadu, které je zajištěno pomocí dvouchodého šneku. Větvě není potřeba zbavovat listí ani jehličí, zpracuje suché i mokré dřeviny. Má samočinné podávání a je osazen spalovacím motorem. Je také opatřen bezpečnostní brzdou, která se při stlačení zasekne do vtahovaného materiálu a tím se zastaví posuv.

Tabulka 2 Vybrané parametry štěpkovače

Hmotnost [kg]	500
Průměr drceného materiálu [mm]	100
Objemový výkon [m ³ /h]	7
Provedení	Přívěsové
Motor	Spalovací benzínový
Výkon motoru [kW]	27,5
Cena bez DPH [Kč]	200 000,-



Obrázek 35 Štěpkovač Pirba 37HP

4.1.2 SG strojírna s.r.o.

Česká firma zabývající se výrobou strojů a zařízení na zhodnocení a recyklaci dřevního odpadu a kůry z dřevo-zpracovávajících provozů. Mimo jiné také vyrábí speciální a jednoúčelové stroje dle vlastní nebo dodané dokumentace, opravy, servis a rekonstrukce průmyslových převodovek.

Jejich drtiče a štěpkovače jsou stacionární (tedy nehybné) s možností je zapojovat do linek s dopravníky, třídiči apod. [46]

Sekačka dřevního odpadu [47]



Obrázek 36 Sekačka dřevního odpadu

4.1.3 Terier s.r.o.

Firma zabývající se výrobou strojů a linek pro recyklaci a zpracování průmyslových a komunálních odpadů (plast, guma, dřevo, papír, kov), Stroje jsou stacionární a též jednoúčelové. Kromě standardních strojů vyrábí pomocné, přípravné stroje do kompletů linek a jednoúčelové stroje dle konkrétních požadavků zákazníků. Z výrobků firmy Terier se sestavují technologické recyklační linky standardní i na přání zákazníků. [48]



Obrázek 37 Nožový mlýn G 400 45kW [49]

4.1.4 Urban kovo s.r.o.

Firma, která se zabývá výrobou zemědělské a lesnické techniky. Jejich drtiče a štěpkovače vyrábějí štěpku větších rozměrů. Stroje jsou schopny zpracovávat rychle rostoucí dřeviny, větve, ale také prkna, laťky či trámy. V nabídce můžeme naléznout štěpkovače za traktor, které jsou jím přímo poháněny pomocí výstupní hřídele traktoru, dále také štěpkovače s elektromotorem, benzínovým nebo hydraulickým pohonem.

Štěpkovače vyváží do celé Evropy, ale často i mimo ni. [50]

Urban SM70 s dopravníkem 2,6m [51]

Stroj určený k drcení větví a jiného dřevního odpadu jako jsou rychle rostoucí křoviny apod. Štěpkování je zajištěno pomocí dvou protiběžných hřídelí s noži. Má samočinné podávání materiálu. Je osazen spalovacím motorem. Odvod materiálu je zajištěno pomocí připojeného pásového dopravníku, který nám odvede materiál na určené místo.

Tabulka 3 Vybrané parametry štěpkovače

Hmotnost [kg]	421
Průměr drceného materiálu [mm]	50
Objemový výkon [m ³ /h]	4
Provedení	Ruční manipulace
Motor	Spalovací benzínový
Výkon motoru [kW]	7,5
Cena bez DPH [Kč]	96 500,-



Obrázek 38 Urban SM70

4.2 VÝZNAMNÍ ZAHRANIČNÍ VÝROBCI DOSTUPNÍ V EU

4.2.1 Guoyu

Čínská firma zabývající se výrobou průmyslových štěpkovačů a drtičů odpadních materiálů (dřevo, plast, pneumatiky, kov). Konstruktivní řešení dřevních drtičů a štěpkovačů je buďto stacionární pro sestavení v celé linky s dopravníky a třídíči nebo se jedná o přívěsové štěpkovače pro drcení odpadní biomasy v parcích, na zahradách, při likvidování keřů nebo jako asistent při kácení stromů, kde se zpracovávají větve na štěpku, také zde nalezneme řadu samohybných štěpkovačů pro zpracování obrovského množství biomasy. [52]

GY-JP5000 [53]

Jedná se o drtič dřeva určený pro likvidace obrovského množství bioamasy. Konstrukčně je řešen jako velký přívěs, pomocí kterého je možné likvidovat dřevěný nábytek, materiál velkého průměru nebo k drcení balené slámy. Stroj má vlastní pohonnou jednotku, kterou je spalovací motor.

Tabulka 4 Vybrané parametry stroje

Hmotnost [kg]	15 600
Průměr drceného materiálu [mm]	1800
Objemový výkon [m ³ /h]	30
Provedení	Přívěsové
Motor	Spalovací naftový
Výkon motoru [kW]	279,5



Obrázek 39 Dřevní štěpkovač GY-JP5000

4.2.2 NEGRI

Italská firma, zabývající se výrobou zahradní a komunální techniky. Kromě drtičů a štěpkovačů také vyrábějí peletovače, provzdušňovače, vysavače a štípače. Firma vyváží do různých zemí celého světa.

NEGRI Bio R255EHP20AN [54]

Stroj je určený pro drcení listí, větví keřů, stromů a jiných dřevin rozdílných tvrdostí. Jsou vhodné pro profesionální použití, průmyslové spotřebitele a domácnosti. Součástky jsou vyráběny z evropských a japonských komponentů, čímž je zaručena vysoká kvalita a okamžitá dostupnost náhradních dílů. Může být osazen elektromotorem nebo spalovacími motory.

Tabulka 5 Vybrané parametry stroje

Hmotnost [kg]	560
Průměr drceného materiálu [mm]	100
Objemový výkon [m ³ /h]	10
Provedení	Přívěsové
Motor	Elektrický
Výkon motoru [kW]	15
Cena bez DPH [Kč]	465 000,-



Obrázek 40 NEGRI Bio R255EHP20AN

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH MOBILNÍHO ŠTĚPKOVAČE DŘEVA

5.1 Cíl bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je navrhnout mobilní štěpkovač dřeva. Bude se jednat o stroj na samostatném přemísťovacím podvozku se samostatným pohonem, kterým bude elektromotor. Skříň sekacího mechanismu bude upevněna na přemísťovacím podvozku.

Pro výpočet a konstrukci tohoto stroje byly stanoveny tyto podmínky:

- Výkon elektromotoru 11 kW
- Hřídele sekacího ústrojí budou dimenzovány na maximální průměr větví 55 milimetrů, proběhne kontrola nebezpečných průřezů hřídelů
- Podávání bude samočinné, do ústrojí budou větve přiváděny násypkou, která bude nakloněná, využije se gravitačního „pádu“ větví
- Sekací ústrojí bude tvořeno dvěma protiběžnými hřídeli, tento způsob dopomáhá samočinnému podávání, protože dojde k vtahování větví do ústrojí, přenos kroutícího momentu z hnacího na hnaný hřídel bude zajištěn ozubenými koly, jejich výpočet bude proveden v programu Autodesk Inventor Professional 2020
- Odvod štěpky bude zajištěn odpadním ústrojím, které bude opět tvořeno nakloněnou rovinou, na konečném výstupu budou umístěny madla, za která bude možné zavěsit pytel a štěpka bude rovnou připravena k uskladnění či prodeji materiálu
- Konstrukce štěpkovače bude tvořena svařovanými hliníkovými profily, bude obsahovat prvky nutné k přemístění (kola, odpružení, závěs tažného zařízení), po odpojení štěpkovače od dopravního prostředku bude možné tento stroj postavit na podpěrné nohy kvůli ustavení polohy stroje, nohy budou mít nastavitelnou výšku

Výpočty a výkresová dokumentace byly provedeny dle [55], [56], [57], [58] a [59].

5.2 Výpočet převodového poměru mezi hnací a hnanou řemenicí

5.2.1 Síla potřebná k přestřižení větve

$$F_s = \tau_{Ds} \cdot \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 55^2}{4} = 11\,879,15 \text{ N} \quad (1)$$

τ_{Ds} – Pevnost dřeva ve smyku napříč vlákny [MPa], dle [60] $\tau_{Ds} = 5 \text{ MPa}$

5.2.2 Práce sekacího mechanismu

$$E_s = 2 \cdot F_s \cdot d_v = 2 \cdot 11\,879,15 \cdot 0,055 = 1306,71 \text{ J} \quad (2)$$

5.2.3 Volba motoru, skutečný výkon

Byl zvolen elektromotor Siemens 1LE1003-1DC42 2AA4, 11kW, 725ot

$$P_r = P_N \cdot \eta = 11 \cdot 0,903 = 9,93 \text{ kW} \quad (3)$$

η – Účinnost elektromotoru [-], dle výrobce $\eta = 0,903$

5.2.4 Čas potřebný na jednu otáčku sekacího mechanismu

$$t = \frac{E_s}{P_r} = \frac{1306,71}{9933} = 0,13 \text{ s} = 2,19 \cdot 10^{-3} \text{ ot/s} \quad (4)$$

5.2.5 Potřebné otáčky pro sekání

$$n_2 = \frac{1}{t} = \frac{1}{2,19 \cdot 10^{-3}} = 456,09 \text{ ot/min} \quad (5)$$

Pro další výpočty byl zvolen počet otáček $n_2 = 400 \text{ ot/min}$

5.3 Výpočet řemenového převodu

5.3.1 Jmenovitý výkon, typ řemene, průměr malé řemenice

$$P_j = P_r \cdot c_2 = 9,93 \cdot 1,2 = 11,92 \text{ kW} \quad (6)$$

c_2 – Součinitel provozního zatížení [-], dle [55] $c_2 = 1,2$

Dle strojních tabulek volím typ řemene SPB ČSN 02 3111 (závislost otáček malé řemenice a jmenovitého výkonu), jedná se o řemeny klasických průřezů.

Průměr malé řemenice volím $d_p = 180 \text{ mm}$

5.3.2 Převodový poměr mezi hnací a hnanou řemenicí

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{725}{400} = 1,81 \quad (7)$$

5.3.3 Obvodová rychlost řemene

$$v = \frac{d_p \cdot n_1}{19\,100} = \frac{180 \cdot 725}{19\,100} = 6,83 \text{ m/s} \quad (8)$$

5.3.4 Výpočet průměru velké řemenice

$$D_p = i \cdot d_p = 1,81 \cdot 180 = 325,8 \Rightarrow \text{volím průměr } D_p = 326 \text{ mm} \quad (9)$$

5.3.5 Předběžná osová vzdálenost

$$L_p' = 2 \cdot a' + 1,57 \cdot (D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 \cdot a'} \quad (10)$$

$$L_p' = 2 \cdot 500 + 1,57 \cdot (326 + 180) + \frac{(326 - 180)^2}{4 \cdot 500}$$

$$L_p' = 1805,08 \text{ mm}$$

5.3.6 Skutečná délka řemene

Dle ČSN 02 3111 volím délku řemene $L_p = 2000 \text{ mm}$.

5.3.7 Skutečná osová vzdálenost

$$a = 0,25 \cdot \left[\left(L_p - \pi \cdot \frac{d_p + D_p}{2} \right) + \sqrt{\left(L_p - \pi \cdot \frac{d_p + D_p}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{D_p - d_p}{2} \right)^2} \right] \quad (11)$$

$$a = 0,25 \cdot \left[\left(2000 - \pi \cdot \frac{180 + 326}{2} \right) + \sqrt{\left(2000 - \pi \cdot \frac{180 + 326}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{326 - 180}{2} \right)^2} \right]$$

$$a = 598,13 \text{ mm}$$

5.3.8 Úhel opásání malé řemenice β a velké řemenice γ

$$\beta = 180^\circ - 2 \cdot \arcsin \frac{(D_p - d_p)}{2 \cdot a} = 180^\circ - 2 \cdot \arcsin \frac{(326 - 180)}{2 \cdot 598,13} = 165^\circ 58' \quad (12)$$

$$\gamma = 360^\circ - \beta = 360^\circ - 165^\circ 58' = 194^\circ 02' \quad (13)$$

5.3.9 Počet klínových řemenů

$$z = \frac{P_j}{P_r \cdot c_1 \cdot c_3} = \frac{11,92}{2,88 \cdot 0,98 \cdot 0,98} = 4,31 = 5 \quad (14)$$

c_1 – Součinitel úhlu opásání [-], dle [59] $c_1 = 0,98$

c_3 – Součinitel vnitřní délky řemene [-], dle [59] $c_3 = 0,98$

5.3.10 Ohybová frekvence

$$f = \frac{2000 \cdot v}{L_p} = \frac{2000 \cdot 6,83}{2000} = 6,83 \text{ s}^{-1} \quad (15)$$

5.3.11 Obvodová síla řemene

$$F_{oř} = \frac{1000 \cdot P_r}{v} = \frac{1000 \cdot 9,93}{6,83} = 1453,88 \text{ N} \quad (16)$$

5.3.12 Šířka řemenice

$$M = (z - 1) \cdot e + 2 \cdot f = (5 - 1) \cdot 19 + 2 \cdot 12,5 = 101 \text{ mm} \quad (17)$$

e – Vzdálenost mezi osami drážek [mm], dle [59] $e = 19 \text{ mm}$

f – Vzdálenost mezi osou krajní drážky a nejbližší čelní stranou řemenice [mm], dle [59]

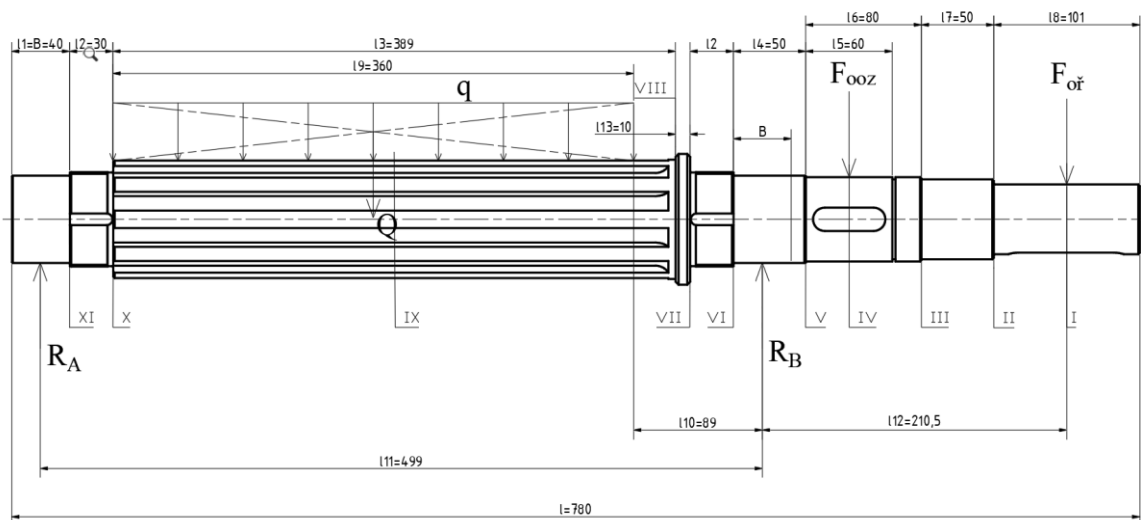
$f = 12,5 \text{ mm}$

5.4 Přenos kroutícího momentu mezi hnacím a hnaným hřídelem

Pro přenos kroutícího momentu mezi hnacím a hnaným hřídelem byl zvolen přenos pomocí ozubených kol. Jeho návrh spočíval mimo jiné v zadání převodového poměru, který byl určen jako přechod do vyšší rychlosti, osové vzdálenosti hřídelů, šířky ozubení a byl proveden programem Autodesk Inventor Professional 2020 dle normy ISO 6336. Byly zadány další vstupní parametry jako výkon, účinnost, materiál a součinitelé přídatných zatížení byli upraveni podle hodnot stanovených pro drtiče a štěpkovače. Výsledek výpočtu ozubených kol vyšel jako kladný, proto byly dále využity jako podklad pro modelování a výsledky jako podklady k výpočtům.

5.5 Kontrola hnacího hřídele

Na obrázku (Obr. 41) je patrné rozložení sil na hřídeli sekacího mechanismu. Hřídel je zatěžován od síly řemenice, ozubeného kola a rovněž od sil sekacích nožů. R_A a R_B je označení pro ložiskové uložení hřídele, tedy podpěry. Po výpočtu reakcí bude následovat kontrola jednotlivých nebezpečných průřezů hřídele označenými římskými číslicemi. Na hřídeli jsou kontrolovány i dovolená napětí pro pera a drážkování hřídele.



Obrázek 41 Rozložení sil na hnacím hřídeli

5.5.1 Kroučící moment na hřídeli

$$M_{k1} = 159,2 \cdot \frac{P_r}{n_2} = 159,2 \cdot \frac{9930}{\left(\frac{400}{60}\right)} = 237\,128,4 \text{ Nmm} = 237,13 \text{ Nm} \quad (18)$$

5.5.2 Obvodová síla nože

Průměr nože sekacího mechanismu $D_n = 260$ mm.

$$M_{k1} = F_{on1} \cdot \frac{D_n}{2} \Rightarrow F_{on1} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{D_n} = \frac{2 \cdot 237,13}{0,26} = 1824,08 \text{ N} \quad (19)$$

Tuto sílu budeme uvažovat jako sílu zatěžující hřídel, jelikož je na hřídeli těchto nožů počet $N_n = 12$, jedná se tedy o spojitě zatížení hřídele, je nutné vynásobit sílu jednoho nože F_{on} právě počtem nožů, a tak získáme hodnotu spojitěho zatížení.

5.5.3 Spojité zatížení hřídele

$$q_1 = F_{on1} \cdot N_n = 1824,08 \cdot 12 = 21\,888,96 \text{ N} \quad (20)$$

5.5.4 Spojité zatížení bezpečnostní

Protože v soustrojí mohou vzniknout nečekané rázy, bude hodnota spojitého zatížení vynásobená bezpečností $k=3$ (určeno dle koeficientu bezpečnosti $k_1=2$ vynásobeného koeficientem rázu $k_2=1,5$).

$$q_{b1} = q_1 \cdot k = 21\,888,96 \cdot 3 = 65\,666,88 \text{ N} \quad (21)$$

k – koeficient bezpečnosti ústrojí [-], dle [61] $k = k_1 \cdot k_2 = 2 \cdot 1,5 = 3$

5.5.5 Síla spojitého zatížení

$$Q_1 = q_{b1} \cdot l_9 = 65\,666,88 \cdot 0,36 = 23\,640,08 \text{ N} \quad (22)$$

5.5.6 Výpočet reakcí hřídele

$$\sum_{i=1}^m M_i = 0$$

$$R_B = 0$$

$$R_A \cdot l_{11} - Q_1 \cdot \left(\frac{l_9}{2} + l_{10}\right) + F_{ooz} \cdot \left(\frac{l_5}{2} + l_4 - \frac{B}{2}\right) + F_{oř} \cdot l_{12} = 0 \Rightarrow R_A \quad (23)$$

$$R_A = \frac{Q \cdot \left(\frac{l_9}{2} + l_{10}\right) - F_{ooz} \cdot \left(\frac{l_5}{2} + l_4 - \frac{B}{2}\right) - F_{oř} \cdot l_{12}}{l_{11}}$$

$$R_A = \frac{23\,640,08 \cdot \left(\frac{360}{2} + 89\right) - 2536,82 \cdot \left(\frac{60}{2} + 50 - \frac{40}{2}\right) - 1453,88 \cdot 210,5}{499} = 11\,825,51 \text{ N}$$

$$\sum_{i=1}^m F_{xi} = 0$$

$$F_x = 0$$

$$\sum_{i=1}^m F_{yi} = 0$$

$$R_A - Q_1 + R_B - F_{ooz} - F_{oř} = 0 \Rightarrow R_B \quad (24)$$

$$R_B = -R_A + Q_1 + F_{ooz} + F_{oř}$$

$$R_B = -11\,825,51 + 23\,640,08 + 2536,82 + 1453,88 = 15\,805,27 \text{ N}$$

F_{ooz} – Obvodová síla ozubeného kola [N], tato hodnota je výsledkem programu Autodesk Inventor professional 2020, $F_{ooz} = 2536,82$ N

5.5.7 Maximální ohybový moment spojitého zatížení

$$M_{omaxq1} = \frac{Q_1 \cdot l_{11}}{8} = \frac{23\,640,08 \cdot 0,499}{8} = 1474,55 \text{ Nm} \quad (25)$$

5.5.8 Kontrola nebezpečných průřezů hřídele

Místo I

$$\tau_{k1} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_I^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 48^3} = 10,92 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$\sigma_{o1} = 0 \quad (27)$$

$$\tau_{kl} = \tau_{k1} \cdot \beta_\tau = 10,92 \cdot 1,5 = 16,38 \text{ MPa} \quad (28)$$

$$k_{\tau I} = \frac{\tau_{DC} \cdot K_\tau}{\tau_{kl}} = \frac{155 \cdot 0,78}{16,38} = 7,38 \quad (29)$$

β_τ – Vrubový součinitel [-], dle [55] $\beta_\tau = 1,5$

τ_{DC} – Mez únavy v krutu [MPa], dle [55] $\tau_{DC} = 155$ MPa

K_τ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\tau = 0,78$

Místo II

$$\tau_{k1} = \tau_{k2} = 10,92 \text{ MPa} \quad (30)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{oi} \cdot \frac{l_g}{2}}{0,1 \cdot d_I^3} = \frac{1453,88 \cdot \frac{101}{2}}{0,1 \cdot 48^3} = 6,64 \text{ MPa} \quad (31)$$

$$\sigma_{redII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{k2}^2} = \sqrt{6,64^2 + 3 \cdot 10,92^2} = 20,05 \text{ MPa} \quad (32)$$

$$\sigma_{oII} = \sigma_{redII} \cdot \beta_\sigma = 20,05 \cdot 1,97 = 39,5 \text{ MPa} \quad (33)$$

$$k_{\sigma II} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oII}} = \frac{275 \cdot 0,84}{39,5} = 5,85 \quad (34)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 1,97$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,84$

Místo III

$$\tau_{kIII} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{III}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 55^3} = 7,26 \text{ MPa} \quad (35)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{of} \cdot \left(\frac{l_8}{2} + l_7\right)}{0,1 \cdot d_{III}} = \frac{1453,88 \cdot \left(\frac{101}{2} + 50\right)}{0,1 \cdot 55^3} = 8,78 \text{ MPa} \quad (36)$$

$$\sigma_{redIII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kIII}^2} = \sqrt{8,78^2 + 3 \cdot 7,26^2} = 15,34 \text{ MPa} \quad (37)$$

$$\sigma_{oIII} = \sigma_{redIII} \cdot \beta_\sigma = 15,34 \cdot 2 = 30,68 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$k_{\sigma III} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oIII}} = \frac{275 \cdot 0,81}{30,68} = 7,26 \quad (39)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,81$

Místo IV

$$\tau_{kIV} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{IV}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 58^3} = 6,08 \text{ MPa} \quad (40)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{of} \cdot \left(\frac{l_8}{2} + l_7 + l_6 - \frac{l_5}{2}\right)}{0,1 \cdot d_{IV}} = \frac{1453,88 \cdot \left(\frac{101}{2} + 50 + 80 - \frac{60}{2}\right)}{0,1 \cdot 58^3} = 11,21 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$\sigma_{redIV} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kIV}^2} = \sqrt{11,21^2 + 3 \cdot 6,08^2} = 15,38 \text{ MPa} \quad (42)$$

$$\sigma_{oIV} = \sigma_{redIV} \cdot \beta_\sigma = 15,38 \cdot 1,6 = 24,61 \text{ MPa} \quad (43)$$

$$k_{\sigma IV} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oIV}} = \frac{275 \cdot 0,81}{24,61} = 9,05 \quad (44)$$

β_σ – Vrubový součinitel [-], dle [55] $\beta_\sigma = 1,6$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,81$

Místo V

$$\tau_{kIV} = \tau_{kV} = 6,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{F_{of} \cdot \left(l_6 + l_7 + \frac{l_8}{2}\right) + F_{o0z} \cdot \frac{l_5}{2}}{0,1 \cdot d_V} = \frac{1453,88 \cdot \left(80 + 50 + \frac{101}{2}\right) + 2536,82 \cdot \frac{60}{2}}{0,1 \cdot 58^3} \quad (45)$$

$$\sigma_o = 17,35 \text{ MPa} \quad (46)$$

$$\sigma_{redV} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kV}^2} = \sqrt{17,35^2 + 3 \cdot 6,08^2} = 20,3 \text{ MPa} \quad (47)$$

$$\sigma_{oV} = \sigma_{redV} \cdot \beta_{\sigma} = 20,3 \cdot 1,88 = 38,16 \text{ MPa} \quad (48)$$

$$k_{\sigma V} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oIII}} = \frac{275 \cdot 0,81}{38,16} = 5,84 \quad (49)$$

β_{σ} – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_{\sigma} = 1,88$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_{σ} – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_{\sigma} = 0,81$

Místo VI

$$\tau_{kVI} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{VI}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 60^3} = 5,49 \text{ MPa} \quad (50)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{oř} \cdot \left(\frac{l_8}{2} + l_7 + l_6 + l_4\right) + F_{ooz} \cdot \left(\frac{l_5}{2} + l_4\right) - R_B \cdot \frac{B}{2}}{0,1 \cdot d_{VI}} \quad (51)$$

$$\sigma_o = \frac{1453,88 \cdot \left(\frac{101}{2} + 50 + 80 + 50\right) + 2536,82 \cdot \left(\frac{60}{2} + 50\right) - 15805,27 \cdot \frac{40}{2}}{0,1 \cdot 60^3}$$

$$\sigma_o = 10,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{redVI} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVI}^2} = \sqrt{10,28^2 + 3 \cdot 5,49^2} = 14 \text{ MPa} \quad (52)$$

$$\sigma_{oVI} = \sigma_{redVI} \cdot \beta_{\sigma} = 14 \cdot 2,24 = 31,36 \text{ MPa} \quad (53)$$

$$k_{\sigma VI} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oVI}} = \frac{275 \cdot 0,81}{31,36} = 7,1 \quad (54)$$

β_{σ} – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_{\sigma} = 2,24$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_{σ} – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_{\sigma} = 0,81$

Místo VII

$$\tau_{kVII} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{VII}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 65^3} = 4,32 \text{ MPa} \quad (55)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2\right)}{0,1 \cdot d_{VII}} = \frac{15805,27 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30\right)}{0,1 \cdot 65^3} = 28,78 \text{ MPa} \quad (56)$$

$$\sigma_{redVII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVII}^2} = \sqrt{28,78^2 + 3 \cdot 4,32^2} = 29,74 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$\sigma_{oVII} = \sigma_{redVII} \cdot \beta_{\sigma} = 29,74 \cdot 2,02 = 60,07 \text{ MPa} \quad (58)$$

$$k_{\sigma VII} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oVII}} = \frac{275 \cdot 0,78}{60,07} = 3,57 \quad (59)$$

β_σ – Vrubový součinitel zápichu [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,02$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,78$

Místo VIII

$$\tau_{kVIII} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{VIII}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 82^3} = 2,15 \text{ MPa} \quad (60)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2 + l_{13}\right)}{0,1 \cdot d_{VIII}} = \frac{15805,27 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30 + 10\right)}{0,1 \cdot 82^3} = 17,2 \text{ MPa} \quad (61)$$

$$\sigma_{redVIII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVII}^2} = \sqrt{17,2^2 + 3 \cdot 2,15^2} = 17,59 \text{ MPa} \quad (62)$$

$$\sigma_{oVIII} = \sigma_{redVIII} \cdot \beta_\sigma = 17,59 \cdot 2,24 = 39,4 \text{ MPa} \quad (63)$$

$$k_{\sigma VIII} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oVIII}} = \frac{275 \cdot 0,73}{39,4} = 5,1 \quad (64)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,24$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,73$

Místo IX

$$\tau_{kIX} = \frac{M_{k1}}{0,2 \cdot d_{IX}^3} = \frac{237130}{0,2 \cdot 82^3} = 2,15 \text{ MPa} \quad (65)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omaxq1}}{0,1 \cdot d_{IX}} = \frac{1474550}{0,1 \cdot 82^3} = 26,74 \text{ MPa} \quad (66)$$

$$\sigma_{redIX} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kIX}^2} = \sqrt{26,74^2 + 3 \cdot 2,15^2} = 27 \text{ MPa} \quad (67)$$

$$\sigma_{oIX} = \sigma_{redIX} \cdot \beta_\sigma = 27 \cdot 1,55 = 41,85 \text{ MPa} \quad (68)$$

$$k_{\sigma IX} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oIX}} = \frac{275 \cdot 0,75}{41,85} = 4,93 \quad (69)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro drážkovanou hřídel [-], dle [55] $\beta_\sigma = 1,55$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,75$

Místo X

$$\tau_{kX} = \tau_{kVII} = 4,32 \text{ MPa} \quad (70)$$

$$\sigma_o = \frac{R_A \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2\right)}{0,1 \cdot d_X} = \frac{11\,825,52 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30\right)}{0,1 \cdot 65^3} = 21,53 \text{ MPa} \quad (71)$$

$$\sigma_{redX} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kX}^2} = \sqrt{21,53^2 + 3 \cdot 4,32^2} = 22,79 \text{ MPa} \quad (72)$$

$$\sigma_{oX} = \sigma_{redX} \cdot \beta_\sigma = 22,79 \cdot 2,68 = 61,08 \text{ MPa} \quad (73)$$

$$k_{\sigma X} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oX}} = \frac{275 \cdot 0,78}{61,08} = 3,51 \quad (74)$$

β_σ – Vrubový součinitel zápichu [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,68$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,78$

Místo XI

$$\tau_{kXI} = \tau_{kVI} = 5,49 \text{ MPa} \quad (75)$$

$$\sigma_o = \frac{R_A \cdot \frac{B}{2}}{0,1 \cdot d_{XI}} = \frac{11\,825,52 \cdot \frac{40}{2}}{0,1 \cdot 60^3} = 10,95 \text{ MPa} \quad (76)$$

$$\sigma_{redXI} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kXI}^2} = \sqrt{10,95^2 + 3 \cdot 5,49^2} = 14,5 \text{ MPa} \quad (77)$$

$$\sigma_{oXI} = \sigma_{redXI} \cdot \beta_\sigma = 22,79 \cdot 2,68 = 61,08 \text{ MPa} \quad (78)$$

$$k_{\sigma XI} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oXI}} = \frac{275 \cdot 0,78}{61,08} = 3,51 \quad (79)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,68$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,78$

5.5.9 Kontrola kluzných ložisek hnacího hřídele

Kontrola je provedena na reakci R_B na otláčení, protože je zde největší zatížení. Ložisko bude vyrobeno dle potřeb montáže jako kluzné ložisko přírubové dělené a materiál bude PTFE, ložisko bude tedy samomazné.

$$\frac{F}{A} \leq p_d \quad (80)$$

$$\frac{F}{\pi \cdot d_L \cdot B} \leq p_d$$

$$\frac{15\,805,27}{\pi \cdot 60 \cdot 40} \leq p_d$$

$$2,1 \text{ MPa} \leq 7 \text{ MPa}$$

p_d – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [62] $p_d = 7 \text{ MPa}$

5.5.10 Kontrola per a drážkování hnacího hřídele

5.5.10.1 Pero řemenice

$$F_{\text{ř}} = \frac{2 \cdot M_k}{d_{\text{hř}}} = \frac{2 \cdot 237128,4}{48} = 9880,35 \text{ N} \quad (81)$$

Kontrola pera na stříh

$$\frac{F_{\text{ř}}}{A} \leq \tau_{Ds} \quad (82)$$

$$\frac{F_{\text{ř}}}{b \cdot l} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{9880,35}{14 \cdot 80} \leq \tau_{Ds}$$

$$8,82 \text{ MPa} \leq 85$$

τ_{Ds} – Dovolené napětí ve stříhu [MPa], dle [59] $\tau_{Ds} = 85 \text{ MPa}$

Kontrola pera na otláčení

$$p_d = 130 \text{ MPa} \quad (83)$$

$$\frac{F_{op}}{A} \leq p_D$$

$$\frac{F}{t_1 \cdot l_p} \leq p_D$$

$$\frac{9880,35}{3,5 \cdot 80} \leq p_D$$

$$35,29 \text{ MPa} \leq 130 \text{ MPa}$$

p_D – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [59] $p_D = 130 \text{ MPa}$

5.5.10.2 Pero ozubeného kola

$$F_{oz} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_{hoz}} = \frac{2 \cdot 237128,4}{58} = 8176,84 \text{ N} \quad (84)$$

Kontrola pera na stříh

$$\frac{F_{oz}}{A} \leq \tau_{Ds} \quad (85)$$

$$\frac{F_{oz}}{b \cdot l_p} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{8176,84}{16 \cdot 50} \leq \tau_{Ds}$$

$$10,22 \text{ MPa} \leq 85$$

τ_{Ds} – Dovolené napětí ve střihu [MPa], dle [59] $\tau_{Ds} = 85 \text{ MPa}$

Kontrola pera na otačení

$$p_d = 130 \text{ MPa} \quad (86)$$

$$\frac{F_{oz}}{A} \leq p_d$$

$$\frac{F_{oz}}{t_1 \cdot l_p} \leq p_d$$

$$\frac{8176,84}{3,8 \cdot 50} \leq p_d$$

$$43,04 \text{ MPa} \leq 130 \text{ MPa}$$

p_D – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [59] $p_D = 130 \text{ MPa}$

5.5.10.3 Kontrola drážkování hřídele

Kontrola drážkování hřídele je provedena pro jeden nůž.

$$F_n = \frac{2 \cdot M_{k1}}{D_{dr}} = \frac{2 \cdot 237128,4}{72} = 6586,9 \text{ N} \quad (87)$$

Kontrola drážkování na střih

$$\frac{F_n}{A} \leq \tau_{Ds} \quad (88)$$

$$\frac{F_n}{\mu \cdot B_{dr} \cdot l_{dr} \cdot N} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{6586,9}{0,75 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 10} \leq \tau_{Ds}$$

$$2,44 \text{ MPa} \leq 85$$

τ_{Ds} – Dovolené napětí ve střihu [MPa], dle [59] $\tau_{Ds} = 85 \text{ MPa}$

Kontrola drážkování na otláčení

$$\frac{F_n}{A} \leq p_d \quad (89)$$

$$\frac{F_n}{\mu \cdot \frac{D-d}{2} \cdot l \cdot N} \leq p_d$$

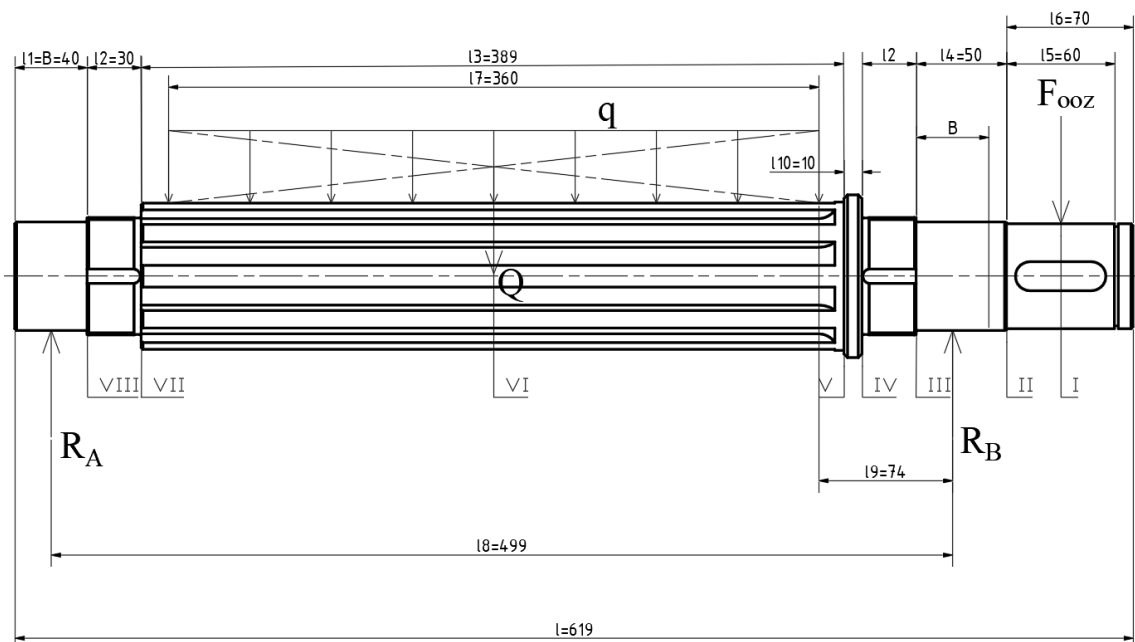
$$\frac{6586,9}{0,75 \cdot \frac{82-72}{2} \cdot 30 \cdot 10} \leq p_d$$

$$5,86 \text{ MPa} \leq 130 \text{ MPa}$$

p_D – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [59] $p_D = 130 \text{ MPa}$

5.6 Kontrola hnaného hřídele

Na obrázku (Obr. 42) je patrné rozložení sil na hřídeli sekacího mechanismu. Hřídel je zatěžován od síly ozubeného kola a rovněž od sil sekacích nožů. R_A a R_B je označení pro ložiskové uložení hřídele, tedy podpěry. Po výpočtu reakcí bude následovat kontrola jednotlivých nebezpečných průřezů hřídele označenými římskými číslicemi. Na hřídeli jsou kontrolovány i dovolená napětí pro pero a drážkování hřídele.



Obrázek 42 Rozložení sil na hnaném hřídeli

5.6.1 Kroutící moment na hřídeli

$$M_{k2} = 159,2 \cdot \frac{Pr}{n_3} = 159,2 \cdot \frac{9930}{\left(\frac{464}{60}\right)} = 204\,421,03 \text{ Nmm} = 204,42 \text{ Nm} \quad (90)$$

5.6.2 Obvodová síla nože

Průměr nože sekacího mechanismu $D_n = 260 \text{ mm}$.

$$M_{k2} = F_{on2} \cdot \frac{D_n}{2} \Rightarrow F_{on2} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_n} = \frac{2 \cdot 204,42}{0,26} = 1572,46 \text{ N} \quad (91)$$

Tuto sílu budeme uvažovat jako sílu zatěžující hřídel, jelikož je na hřídeli těchto nožů počet $N_n = 12$, jedná se tedy o spojitě zatížení hřídele, je nutné vynásobit sílu jednoho nože F_{on} právě počtem nožů, a tak získáme hodnotu spojitěho zatížení.

5.6.3 Spojité zatížení hřídele

$$q_2 = F_{on2} \cdot N_n = 1572,46 \cdot 12 = 18\,869,52 \text{ N} \quad (92)$$

5.6.4 Spojité zatížení bezpečnostní

Protože v soustrojí mohou vzniknout nečekané rázy, bude hodnota spojitěho zatížení vynásobená bezpečností $k=3$ (určeno dle koeficientu bezpečnosti $k_1=2$ vynásobeného koeficientem rázu $k_2=1,5$).

$$q_{b2} = q_2 \cdot k = 18\,869,52 \cdot 3 = 56\,608,56 \text{ N} \quad (93)$$

k – koeficient bezpečnosti ústrojí [-], dle [61] $k = k_1 \cdot k_2 = 2 \cdot 1,5 = 3$

5.6.5 Síla spojitěho zatížení

$$Q_2 = q_{b2} \cdot l_7 = 56\,608,56 \cdot 0,36 = 20\,379,08 \text{ N} \quad (94)$$

5.6.6 Výpočet reakcí hřídele

$$\sum_{i=1}^m M_i = 0$$

$$R_B = 0$$

$$R_A \cdot l_8 - Q_2 \cdot \left(\frac{l_7}{2} + l_9\right) + F_{ooz} \cdot \left(\frac{l_5}{2} + l_4 - \frac{B}{2}\right) = 0 \Rightarrow R_A \quad (95)$$

$$R_A = \frac{Q \cdot \left(\frac{l_7}{2} + l_9\right) - F_{ooz} \cdot \left(\frac{l_5}{2} + l_4 - \frac{B}{2}\right)}{l_8}$$

$$R_A = \frac{20\,379,08 \cdot \left(\frac{360}{2} + 74\right) - 2536,82 \cdot \left(\frac{60}{2} + 50 - \frac{40}{2}\right)}{499} = 10\,068,25 \text{ N}$$

$$\sum_{i=1}^m F_{xi} = 0$$

$$F_x = 0$$

$$\sum_{i=1}^m F_{yi} = 0$$

$$R_A - Q + R_B - F_{ooz} = 0 \Rightarrow R_B \quad (96)$$

$$R_B = -R_A + Q_2 + F_{ooz}$$

$$R_B = -10\,068,25 + 20\,379,08 + 2536,82 = 12\,847,65 \text{ N}$$

F_{ooz} – Obvodová síla ozubeného kola [N], tato hodnota je výsledkem programu Autodesk Inventor professional 2020, $F_{ooz} = 2536,82 \text{ N}$

5.6.7 Maximální ohybový moment spojitého zatížení

$$M_{omaxq2} = \frac{Q_2 \cdot l_8}{8} = \frac{20\,379,08 \cdot 0,499}{8} = 1271,15 \text{ Nm} \quad (97)$$

5.6.8 Kontrola nebezpečných průřezů hřídele

Místo I

$$\tau_{k1} = \frac{M_{k2}}{0,2 \cdot d_I^3} = \frac{204\,420}{0,2 \cdot 58^3} = 5,34 \text{ MPa} \quad (98)$$

$$\sigma_{o1} = 0 \quad (99)$$

$$\tau_{kl} = \tau_{k1} \cdot \beta_\tau = 5,34 \cdot 1,5 = 8,01 \text{ MPa} \quad (100)$$

$$k_{\tau l} = \frac{\tau_{DC} \cdot K_\tau}{\tau_{kl}} = \frac{155 \cdot 0,76}{8,01} = 12,81 \quad (101)$$

β_τ – Vrubový součinitel [-], dle [55] $\beta_\tau = 1,5$

τ_{DC} – Mez únavy v krutu [MPa], dle [55] $\tau_{DC} = 155 \text{ MPa}$

K_τ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\tau = 0,76$

Místo II

$$\tau_{k1} = \tau_{k2} = 5,34 \text{ MPa} \quad (102)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{00z} \cdot \frac{l_5}{2}}{0,1 \cdot d_I} = \frac{2536,82 \cdot \frac{60}{2}}{0,1 \cdot 58^3} = 3,9 \text{ MPa} \quad (103)$$

$$\sigma_{redII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{k2}^2} = \sqrt{3,9^2 + 3 \cdot 5,34^2} = 10,04 \text{ MPa} \quad (104)$$

$$\sigma_{oII} = \sigma_{redII} \cdot \beta_\sigma = 10,04 \cdot 1,88 = 18,88 \text{ MPa} \quad (105)$$

$$k_{\sigma II} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oII}} = \frac{275 \cdot 0,81}{18,88} = 11,8 \quad (106)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 1,88$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,81$

Místo III

$$\tau_{kIII} = \frac{M_{k2}}{0,2 \cdot d_{III}^3} = \frac{204420}{0,2 \cdot 60^3} = 4,73 \text{ MPa} \quad (107)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \frac{B}{2}}{0,1 \cdot d_{III}} = \frac{12\,847,65 \cdot \frac{40}{2}}{0,1 \cdot 60^3} = 11,9 \text{ MPa} \quad (108)$$

$$\sigma_{redIII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kIII}^2} = \sqrt{11,9^2 + 3 \cdot 4,73^2} = 14,45 \text{ MPa} \quad (109)$$

$$\sigma_{oIII} = \sigma_{redIII} \cdot \beta_\sigma = 14,45 \cdot 2,24 = 32,37 \text{ MPa} \quad (110)$$

$$k_{\sigma III} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oIII}} = \frac{275 \cdot 0,81}{32,37} = 6,88 \quad (111)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,24$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,81$

Místo IV

$$\tau_{kIV} = \frac{M_{k2}}{0,2 \cdot d_{IV}^3} = \frac{204420}{0,2 \cdot 65^3} = 3,72 \text{ MPa} \quad (112)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2\right)}{0,1 \cdot d_{IV}} = \frac{12\,847,65 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30\right)}{0,1 \cdot 65^3} = 23,39 \text{ MPa} \quad (113)$$

$$\sigma_{redIV} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kIV}^2} = \sqrt{23,39^2 + 3 \cdot 3,72^2} = 24,26 \text{ MPa} \quad (114)$$

$$\sigma_{oIV} = \sigma_{redIV} \cdot \beta_\sigma = 24,26 \cdot 2,02 = 49,01 \text{ MPa} \quad (115)$$

$$k_{\sigma IV} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oIV}} = \frac{275 \cdot 0,75}{49,01} = 4,21 \quad (116)$$

β_{σ} – Vrubový součinitel zápichu [-], dle [55] $\beta_{\sigma} = 2,02$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_{σ} – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_{\sigma} = 0,75$

Místo V

$$\tau_{kV} = \frac{M_{k2}}{0,2 \cdot d_V^3} = \frac{204420}{0,2 \cdot 82^3} = 1,85 \text{ MPa} \quad (117)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2 + 10\right)}{0,1 \cdot d_V} = \frac{12\,847,65 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30 + 10\right)}{0,1 \cdot 82^3} = 13,98 \text{ MPa} \quad (118)$$

$$\sigma_{redV} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kV}^2} = \sqrt{13,98^2 + 3 \cdot 1,85^2} = 14,34 \text{ MPa} \quad (119)$$

$$\sigma_{oV} = \sigma_{redV} \cdot \beta_{\sigma} = 14,34 \cdot 2,24 = 32,12 \text{ MPa} \quad (120)$$

$$k_{\sigma V} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oV}} = \frac{275 \cdot 0,73}{32,12} = 6,25 \quad (121)$$

β_{σ} – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_{\sigma} = 2,24$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_{σ} – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_{\sigma} = 0,73$

Místo VI

$$\tau_{kVI} = \frac{M_{k2}}{0,2 \cdot d_{IV}^3} = \frac{204420}{0,2 \cdot 82^3} = 1,85 \text{ MPa} \quad (122)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omaxq2}}{0,1 \cdot d_{VI}} = \frac{1271150}{0,1 \cdot 82^3} = 23,05 \text{ MPa} \quad (123)$$

$$\sigma_{redVI} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVI}^2} = \sqrt{23,05^2 + 3 \cdot 1,85^2} = 23,27 \text{ MPa} \quad (124)$$

$$\sigma_{oVI} = \sigma_{redVI} \cdot \beta_{\sigma} = 23,27 \cdot 1,55 = 36,07 \text{ MPa} \quad (125)$$

$$k_{\sigma VI} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_{\sigma}}{\sigma_{oVI}} = \frac{275 \cdot 0,75}{36,07} = 5,72 \quad (126)$$

β_{σ} – Vrubový součinitel pro drážkovou hřídel [-], dle [55] $\beta_{\sigma} = 1,55$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275$ MPa

K_{σ} – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_{\sigma} = 0,75$

Místo VII

$$\tau_{kVII} = \tau_{IV} = 3,72 \text{ MPa} \quad (127)$$

$$\sigma_o = \frac{R_A \cdot \left(\frac{B}{2} + l_2\right)}{0,1 \cdot d_{VII}} = \frac{10\,068,25 \cdot \left(\frac{40}{2} + 30\right)}{0,1 \cdot 65^3} = 18,33 \text{ MPa} \quad (128)$$

$$\sigma_{redVII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVII}^2} = \sqrt{18,33^2 + 3 \cdot 3,72^2} = 19,43 \text{ MPa} \quad (129)$$

$$\sigma_{oVII} = \sigma_{redVII} \cdot \beta_\sigma = 19,43 \cdot 2,68 = 52,07 \text{ MPa} \quad (130)$$

$$k_{\sigma VII} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oVII}} = \frac{275 \cdot 0,78}{52,07} = 4,12 \quad (131)$$

β_σ – Vrubový součinitel zápichu [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,68$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,78$

Místo VIII

$$\tau_{kVIII} = \tau_{III} = 4,82 \text{ MPa} \quad (132)$$

$$\sigma_o = \frac{R_B \cdot \frac{B}{2}}{0,1 \cdot d_{VIII}} = \frac{15805,27 \cdot \frac{40}{2}}{0,1 \cdot 60^3} = 9,32 \text{ MPa} \quad (133)$$

$$\sigma_{redVIII} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_{kVIII}^2} = \sqrt{9,32^2 + 3 \cdot 4,82^2} = 12,51 \text{ MPa} \quad (134)$$

$$\sigma_{oVIII} = \sigma_{redVIII} \cdot \beta_\sigma = 12,51 \cdot 2,02 = 25,27 \text{ MPa} \quad (135)$$

$$k_{\sigma VIII} = \frac{\sigma_{DOC} \cdot K_\sigma}{\sigma_{oVIII}} = \frac{275 \cdot 0,75}{25,27} = 8,16 \quad (136)$$

β_σ – Vrubový součinitel pro osazené hřídele [-], dle [55] $\beta_\sigma = 2,24$

σ_{DOC} – Mez únavy v ohybu [MPa], dle [55] $\sigma_{DOC} = 275 \text{ MPa}$

K_σ – Součinitel velikosti [-], dle [55] $K_\sigma = 0,73$

5.6.9 Kontrola kluzných ložisek hnacího hřídele

Kontrola je provedena na reakci R_B na otačení, protože je zde největší zatížení. Ložisko bude vyrobeno dle potřeb montáže jako kluzné ložisko přírubové dělené a materiál bude PTFE, ložisko bude tedy samomazné.

$$\frac{R_B}{A} \leq p_d \quad (137)$$

$$\frac{R_B}{\pi \cdot d_L \cdot B} \leq p_d$$

$$\frac{12\,847,65}{\pi \cdot 60 \cdot 40} \leq p_d$$

$$1,7 \text{ MPa} \leq 7 \text{ MPa}$$

p_d – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [62] $p_d = 7 \text{ MPa}$

5.6.10 Kontrola pera a drážkování hnaného hřídele

5.6.10.1 Pero ozubeného kola

$$F_{oz} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_{hoz}} = \frac{2 \cdot 204420}{58} = 7048,97 \text{ N} \quad (138)$$

Kontrola pera na stříh

$$\frac{F_{oz}}{A} \leq \tau_{Ds} \quad (139)$$

$$\frac{F_{oz}}{b \cdot l_p} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{7048,97}{16 \cdot 50} \leq \tau_{Ds}$$

$$8,81 \text{ MPa} \leq 85$$

τ_{Ds} – Dovolené napětí ve stříhu [MPa], dle [59] $\tau_{Ds} = 85 \text{ MPa}$

Kontrola pera na otláčení

$$p_d = 130 \text{ MPa} \quad (140)$$

$$\frac{F_{oz}}{A} \leq p_d$$

$$\frac{F_{oz}}{t_1 \cdot l_p} \leq p_d$$

$$\frac{7048,97}{3,8 \cdot 50} \leq p_d$$

$$37,1 \text{ MPa} \leq 130 \text{ MPa}$$

p_D – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [59] $p_D = 130 \text{ MPa}$

5.6.10.2 Kontrola drážkování hřídele

Kontrola drážkování hřídele je provedena pro jeden nůž.

$$F_n = \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_{dr}} = \frac{2 \cdot 204420}{72} = 5678,33 \text{ N} \quad (141)$$

Kontrola drážkování na stříh

$$\frac{F_n}{A} \leq \tau_{Ds} \quad (142)$$

$$\frac{F_n}{\mu \cdot B_{dr} \cdot l_{dr} \cdot N} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{5678,33}{0,75 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 10} \leq \tau_{Ds}$$

$$2,1 \text{ MPa} \leq 85$$

τ_{Ds} – Dovolené napětí ve stříhu [MPa], dle [59] $\tau_{Ds} = 85 \text{ MPa}$

Kontrola drážkování na otláčení

$$\frac{F_n}{A} \leq p_d \quad (143)$$

$$\frac{F_n}{\mu \cdot \frac{D-d}{2} \cdot l_{dr} \cdot N} \leq p_d$$

$$\frac{5678,33}{0,75 \cdot \frac{82-72}{2} \cdot 30 \cdot 10} \leq p_d$$

$$5,05 \text{ MPa} \leq 130 \text{ MPa}$$

p_D – Dovolené napětí v tlaku [MPa], dle [59] $p_D = 130 \text{ MPa}$

5.7 Mobilní štěpkovač dřeva

Tato práce řeší mobilitu štěpkovače z konstrukčního hlediska, tedy jak by mohla vypadat základní mobilní jednotka (rám) tohoto stroje. Aby mohlo toto vozidlo být součástí silničního provozu, muselo by podléhat normám silničního provozu (vozidlo by muselo obsahovat např. světelné prvky, odrazové prvky, rychlostní omezení, popřípadě samostatné brzdné zařízení). Tyto nedostatky by se odstranily po poradě s odborníkem obeznámeným s normami silničního provozu.

Mobilita stroje je zajištěna pomocí odpružených kol a tažného zařízení, díky kterému by se stroj mohl připojit k dopravnímu prostředku určenému pro přepravu. Konstrukční řešení je zobrazeno na obrázku (Obr. 43)



Obrázek 43 Pohled na rám mobilního prvku

5.8 Bezpečnostní prvky stroje

Dle zásad normy ČSN EN 13683+A2 bylo zkonstruováno vstupní a výstupní část zařízení.

Je zhotovené tak, aby nedošlo ke styku obsluhy, manipulující se dřevem, s rotujícími částmi stroje uloženými ve skříni sekacího mechanismu (tj. hřídele s noži), jsou dodrženy maximální rozměry vstupních, výstupních štěrbin a minimální délka vstupní i výstupní sekce.

Vstupní sekce je konstruována jako nakloněná rovina, není tedy nutné materiál vtlačovat do ústrojí silou, využije se principu gravitace, sekací ústrojí taktéž plní funkci samočinného podávání větví.

Dalším bezpečnostním prvkem stroje je řemenový převod ústrojí, který zabraňuje přetížení stroje prokluzem řemenů při případném zaseknutí větví. Řemenice jsou zajištěny proti axiálnímu posunu pomocí podložek a šroubů.

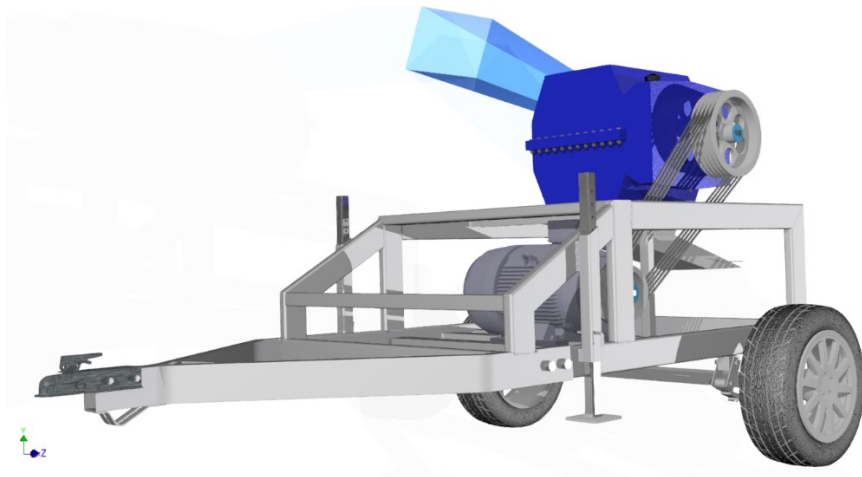
Oplechování zbylých částí stroje (tj. hnací a hnaná řemenice, řemen, pohon) stroje by se řešilo až po poradě s odborníkem v souvislosti s ochranou pohonné jednotky a vedením kabeláže od motoru ke zdroji elektrické energie, také nouzové vypínání motoru, které by bylo nejspíš umístěno na straně podávacího zařízení atd., není součástí bakalářské práce.

5.9 Odvod štěpky

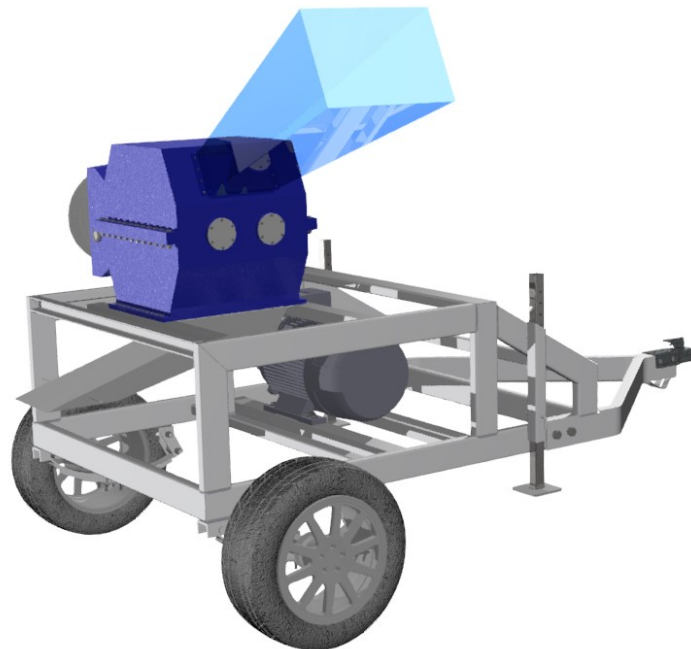
Zpracovaná dřevní hmota volně odpadáva spodní částí skříně do odváděcího zařízení, které je konstruováno jako nakloněná rovina, tudíž se materiál „klouže“ odpadním prostorem. Na samotném výstupu jsou z vnější strany navařené madla, za které je možné pověsit pytel kde se bude štěpka shromažďovat.

6 3D MODEL MOBILNÍHO ŠTĚPKOVAČE

Výsledný model štěpkovače byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2020 a je vidět z obrázků (Obr.44, Obr.45). Model elektromotoru 1LE1003-1DC42 2AA4 byl stažen z internetového katalogu společnosti siemens [63], modely kol, osy, odpružení a tažného zařízení byly staženy z internetové stránky GrabCAD Community [64], model olejoznaku byl stažen z internetového katalogu elesa+Ganter [65].



Obrázek 44 Pohled 1



Obrázek 45 Pohled 2

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo konstrukčně navrhnout mobilní štěpkovač dřeva, sloužící jako stroj k usnadnění práce při úklidu zahrady, sadu či drobnějších lesních dřevin. Je zde vypracována rozsáhlá řešení těchto strojů.

Praktická část se zabývala návrhem a výpočtem řemenového převodu sloužícího k přenosu kroutícího momentu mezi motorem a sekacím mechanismem, byly provedeny základní pevnostní výpočty hřídelů sekacího mechanismu.

K této práci byla vyhotovena výkresová dokumentace obsahující výrobní výkresy jednotlivých vyráběných součástí, podsestavy dílčích celků a sestavný výkres mobilního štěpkovače dřeva.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha 8: FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] [online]. [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.bydlimesfilipem.cz/cs/zahrada/vyuziti-drevni-stepky-na-zahrade>
- [3] Drť pro mulčování [online]. 2014 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://hobby.blesk.cz/clanek/hobby-zahrada/279294/neutracejte-za-drahou-mulcovaci-kuru-vime-jak-si-ji-opatrit-zadarmo.html>
- [4] Cementotřísková deska [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: https://www.hornbach.cz/shop/Cetris-deska-8-x-1250-x-1675-mm/7018124/artikl.html?wt_mc=cz.paid.sea.google.alwayson_assortment..zzpla_brand.697631492.35916722854.&wt_cc1=697631492&wt_cc2=35916722854&wt_cc3=162906908391&wt_cc4=&wt_cc6=7018124&wt_cc7=&gclid=Cj0KCQjw9fnt-BRCGARI-sAGjFq5FKsDolmXuO7t415GKcJW40t_HE2KIRbQUj_1vs2FXc0LKYYIImHgGgaArj8EALw_wcB
- [5] Recyklační stroje. Recyklační-stroje [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <http://www.recyklacni-stroje.eu/>
- [6] Stavební technika. Stavební technika [online]. 17.4.2009 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/drtice-mfl-presvedcuji-vysokym-vykonem-spolehlivosti-a-nizkymi-naklady-na-provoz>
- [7] Mobilní drtič kamene [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <http://www.recyklacni-stroje.eu/nase-nabidka/drtice-surovin/mobilni-drtice-kamene/>
- [8] [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://jmcrecycling.com/>
- [9] [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://jmcrecycling.com/products/forrec-fx-series-shredders-for-scrap-metal-and-cars/>
- [10] Třídění odpadu.cz [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast>
- [11] Jemné drcení plastových materiálů [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/technologie/zpracovani-plastu/jemne-drceni-plasty>

- [12] Samosebou [online]. 2017 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2017/08/11/co-je-likvidace-odpadu/>
- [13] Drtič komunálního odpadu [online]. 2013 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.komunalweb.cz/efektivni-zpracovani-odpadu/>
- [14] Hlavní části drtičů a štěpkovačů [online]. Münchner Str. 48, 82239 Alling / Biburg: HRB 167970 Amtsgericht München [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://global-recycling.info/archives/2835>
- [15] Zahradní drtič větví VARI Kajman-55 [online]. [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <https://eshop.agrico-sro.cz/eshop-zahradni-drtic-vetvi-vari-kajman-55.html>
- [16] NEGRI BIO R95BHHP65 (HONDA, STANDARDNÍ PODVOZEK) [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: https://www.elvaprofi.cz/zahradni-technika/drtice/benzinove/negri-bio_r95bhhp65-honda-standardni-podvozek.html
- [17] NEGRI BIO C19DL35OTFN (LOMBARDINI, SILNIČNÍ PODVOZEK) [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: https://www.elvaprofi.cz/zahradni-technika/stepkovace/naf-tove/negri-bio_c19dl35otfn-lombardini-silnicni-podvozek.html
- [18] Vysokokapacitní bubnový štěpkovač JENSEN TJ [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.agrocar.cz/lesni-hospodarstvi/drtice-a-stepkovace-dreva/stepkovace-pro-komunalni-a-lesni-hospodarstvi/vysokokapacitni-bubnovy-stepkovac-jensen-tj/>
- [19] Diskový štěpkovací mechanismus [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://snstroje.cz/o_stepkovaci_neckar/
- [20] Diskový štěpkovací mechanismus [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: https://www.google.com/imgres?imgurl=x-raw-image%3A%2F%2F%2F7a7f313c074d37d726edde579641163014f9a436a08bb37718a430da6e38be0d&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.vutbr.cz%2Fwww_base%2Fzav_prace_soubor_ve-rejne.php%3Ffile_id%3D41626&docid=Er5zrIjr23TpDM&tbnid=1zdNBzwx3rYeM%3A&vet=10ahUKEWjkqrDawK-PnAhV8RRUIHdl3AJJoQMwhBKAE-wAQ..i&w=706&h=247&bih=706&biw=1536&q=diskov%C3%BD%20%C5%A1t%C4%9Bpkovac%C3%AD%20mechanismus&ved=0ahUKEWjkqrDawK-PnAhV8RRUIHdl3AJJoQMwhBKAEwAQ&iact=mrc&uact=8

- [21] Mechanismus protiběžnými noži [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.prodageshop.cz/spalikovac-stepkovac-tr-70>
- [22] Princip sekacího mechanismu [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://snstroje.cz/o_stepkovaci_neckar/
- [23] Bubnový štěpkovač JENSEN JT [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.agrocar.cz/lesni-hospodarstvi/drtice-a-stepkovace-dreva/stepkovace-pro-komunalni-a-lesni-hospodarstvi/bubnovy-stepkovac-jensen-jt/>
- [24] Princip mechanismu s jedním nožem [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://snstroje.cz/o_stepkovaci_neckar/
- [25] Šnekový řezací mechanismus [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.vari.cz/produkty/stavebnicovy-system-vari/primo-pripojitelne-stroje/stepkovac-rapido/cp:41168/>
- [26] Kladívkové mlýny [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.teknamotor.cz/nabidka-details/32-kladivov-ml-n-scorpion-500.html>
- [27] Kladívkový drtič [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://stroje.hyperinzerce.cz/drevoobrabeci-stroje/inzerat/14097261-kladivkovy-srotovník-drtic-dreva-drtic-odpadu-11kw-nabidka-hodonin/>
- [28] Princip funkce mechanismu Turbine-Cut [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/zahradni-drtice/bosch-axt-25-tc>
- [29] Urban EM110 s elektromotorem [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.stepkovac.com/urban-em110-s-dvojitym-pytlovacem-83161.html>
- [30] PIRANA štěpkovač s elektromotorem [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.tlamka.cz/elektricke-drtice-a-stepkovace/pirana-stepkovac-s-elektromotorem-4-kw/>
- [31] PIRANA 14HP [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.bystron.cz/produkty/kategorie/1/stepkovace/46/se-spalovacim-motorem/vyrobek/15/pirana-14hp-kola-410x160/>
- [32] Negri BIO R255BHHP21CN [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://www.negri-bio.cz/drtice/benzinove/negri-bio_r255bhhp21cn-honda-pasovy-podvozek.html

- [33] Urban TR70 SIMPLE [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.stepkovac.com/urban-tr70-simple-s-jednoduchym-pytlovacem-83189.html>
- [34] Drtič větví PIRANA [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://m.stepkovac-za-traktor.webnode.cz/produkty/drtic-vetvi-pirana/drtic-vetvi-pirana-za-traktor-s-pravouhlovou-prevodovkou/>
- [35] Elektrický drtič FZD 4007-E [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/zahradni-drtice/fieldmann-elektricky-drtic-2500-w-fzd-4007-e-50003827>
- [36] Negri BIO R225TN [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://www.negri-bio.cz/drtice/negri-bio_r225tn-pt0-tribodovy-zaves.html#prettyPhoto
- [37] TP 275 MOBILE [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.forestmeri.cz/tp-275-mobile>
- [38] Bandit 3590XL [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://www.banditchippers.com/bandit_equipment/product_line/3/
- [39] Skorpion 160 E [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <http://www.teknamotor.cz/nabidka-details/20-skorpion-160-e.html>
- [40] Negri BIO R95BHHP55GP [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://www.negri-bio.cz/drtice/benzinove/negri-bio_r95bhhp55gp-honda-standardni-podvozek.html
- [41] Vlečný štěpkovač ARB150MT26 [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://zepelin.cz/pujcovna/the-cat-rental-store/krajinarska-a-technicka-udrzba/stepkovace-a-stipace/vlecne-stepkovace/arb150mt26>
- [42] Štěpkovač WC-8H [42] [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://agrotraktor.eu/stepkovac-wc-8h>
- [43] Samojízdný štěpkovaš Optimus-X 8WT [online]. [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://www.agama-as.cz/optimus-x>
- [44] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.bystron.cz/o-nas/>
- [45] Štěpkovač Pirba 37HP na podvozku [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.bystron.cz/produkty/kategorie/1/stepkovace/46/se-spalovacim-motorem/vyrobek/18/pirba-37hp-na-podvozku/>

- [46] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://www.sg-stroj.cz/o-nas/>
- [47] Sekačka dřevního odpadu [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://www.sg-stroj.cz/drevarska-technologie/sekani-drceni-mleti-dreva/sekacky-drevniho-odpadu/>
- [48] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://www.terier.cz/cz/drtice-odpadu-a-recyklacni-linky.htm>
- [49] Nožový mlýn G 400 45 kW [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <http://www.terier.cz/cz/42/nozove-mlyny-g-400-600-45-kw/aktualita.htm?strana=0>
- [50] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.stepkovac.com/o-nas/>
- [51] Urban SM70 [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.stepkovac.com/urban-sm70-s-dopravnikem-2-6-m-83146.html#technical>
- [52] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.sinoshred.com/about-guoyu/>
- [53] [online]. [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.sinoshred.com/tree-stump-crusher/>
- [54] NEGRI Bio R255EHP20AN [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: http://www.negri-bio.cz/drtice/negri-bio_r255ehp20an-elektricky-zemedelsky-podvozek.html
- [55] VOLEK, František. Základy konstruování a části strojů I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
- [56] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. Části strojů. 5. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-030-0426-8.
- [57] Části strojů. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00046-7.
- [58] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [59] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [60] [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190
- [61] [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.mit-calc.com/doc/help/CZ/C_safety.htm

[62] Plasty-mechanické vlastnosti [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/plasty-mechanicke-vlastnosti>

[63] Katalog elektromotorů Siemens [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/spice/jom/jom/>

[64] GrabCAD [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library>

[65] Eles+Ganter [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.elesa-ganter.cz/SearchDisplay?categoryId=12501&catalogId=10051&storeId=10156&langId=-1002&sType=SimpleSearch&resultCatEntryType=2&showResultsPage=true&searchSource=Q&pageView=&beginIndex=0&pageSize=30&searchTerm=olej-znak&fbclid=IwAR01IuG-xQG5WkrxKQtvuOLNXsT-gORtTjd2sU0a8Q54CF2i90ObI_EQ3x5s

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	[mm]	Skutečná osová vzdálenost
b	[mm]	Šířka pera
B	[mm]	Délkový rozměr ložiska
B_{dr}	[mm]	Šířka drážkování
c_1	[-]	Součinitel úhlu opásání
c_2	[-]	Součinitel provozního zatížení
c_3	[-]	Součinitel vnitřní délky řemene
D	[mm]	Hlavový průměr drážkování hřídele
d	[mm]	Patní průměr drážkování hřídele
d_{hoz}	[mm]	Průměr hřídele pod ozubeným kolem
d_I	[mm]	Průměr hřídele v místě I
d_{II}	[mm]	Průměr hřídele v místě II
d_{III}	[mm]	Průměr hřídele v místě III
d_{IV}	[mm]	Průměr hřídele v místě IV
d_V	[mm]	Průměr hřídele v místě V
d_{VI}	[mm]	Průměr hřídele v místě VI
d_{VII}	[mm]	Průměr hřídele v místě VII
d_{VIII}	[mm]	Průměr hřídele v místě VIII
d_{IX}	[mm]	Průměr hřídele v místě IX
d_X	[mm]	Průměr hřídele v místě X
d_{XI}	[mm]	Průměr hřídele v místě XI
d_L	[mm]	Vnitřní průměr ložiska
D_n	[mm]	Průměr sekacího nože
d_p	[mm]	Výpočtový průměr hnací řemenice
D_p	[mm]	Výpočtový průměr hnané řemenice

d_v	[mm]	Průměr větve
$d_{hř}$	[mm]	Průměr hřídele pro řemenici
e	[mm]	Vzdálenost mezi osami drážek
E_s	[J]	Práce sekacího mechanismu
f	[s ⁻¹]	Ohybová frekvence řemene
$f_{ř}$	[mm]	Vzdálenost mezi osou krajní drážky a nejbližší čelní stranou řemenice
F_n	[N]	Síla působící na drážkovaný hřídel
F_{on1}	[N]	Obvodová síla nože hnacího hřídele
F_{on2}	[N]	Obvodová síla nože hnaného hřídele
$F_{oř}$	[N]	Obvodová síla řemenice
F_{oz}	[N]	Síla působící na pero těsné od ozubeného kola
F_{ooz}	[N]	Obvodová síla ozubeného kola
$F_{ř}$	[N]	Síla působící na pero řemenice
F_s	[N]	Střížná síla větve
F_x	[N]	Síly ve směru X
F_y	[N]	Síly ve směru Y
i	[-]	Převodový poměr
k	[-]	Bezpečnost
k_1	[-]	Bezpečnostní koeficient
k_2	[-]	Bezpečnostní koeficient rázu
$k_{\tau 1}$	[-]	Bezpečnost průřezu v krutu
$k_{\sigma II}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě II
$k_{\sigma III}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě III
$k_{\sigma IV}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě IV
$k_{\sigma V}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě V

$k_{\sigma VI}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě VI
$k_{\sigma VII}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě VII
$k_{\sigma VIII}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě VIII
$k_{\sigma IX}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě IX
$k_{\sigma X}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě X
$k_{\sigma XI}$	[-]	Bezpečnost průřezu v ohybu v místě XI
l	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_p	[mm]	Délkový rozměr pera
l_{dr}	[mm]	Délka drážkování
L_p	[mm]	Skutečná délka řemene
L_p'	[mm]	Předběžná délka řemene
M	[mm]	Šířka řemenice
M_{k1}	[Nm]	Kroutící moment hnacího hřídele
M_{k2}	[Nm]	Kroutící moment hnaného hřídele
M_{omaxq1}	[Nm]	Maximální ohybový moment spojitého zatížení
M_{omaxq2}	[Nm]	Maximální ohybový moment spojitého zatížení
N	[-]	Počet drážek drážkovaného hřídele
n_1	[ot/s]	Otáčky motoru
n_2	[ot/s]	Otáčky hnacího hřídele
n_3	[ot/s]	Otáčky hnaného hřídele
N_n	[-]	Počet nožů
l_1	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_2	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_3	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_4	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_5	[mm]	Délkový rozměr hřídele

l_6	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_7	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_8	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_9	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_{10}	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_{11}	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_{12}	[mm]	Délkový rozměr hřídele
l_{13}	[mm]	Délkový rozměr hřídele
p_D	[MPa]	Dovolené napětí v tlaku
P_j	[kW]	Jmenovitý výkon
P_N	[kW]	Výkon motoru udávaný výrobcem
P_r	[kW]	Skutečný výkon
q_1	[N/19]	Spojité zatížení hnacího hřídele
q_2	[N/19]	Spojité zatížení hnaného hřídele
Q_1	[N]	Síla spojitého zatížení hnacího hřídele
Q_2	[N]	Síla spojitého zatížení hnaného hřídele
q_{b1}	[N/19]	Spojité zatížení bezpečnostní hnacího hřídele
q_{b2}	[N/19]	Spojité zatížení bezpečnostní hnaného hřídele
R_A	[N]	Reakční síla v ložisku
R_B	[N]	Reakční síla v ložisku
t	[ot/s]	Čas
t_1	[mm]	Výpočtová výška pera těsného
v	[m/s]	Obvodová rychlost řemene
z	[-]	Počet řemenů
β	[°]	Úhel opásání malé řemenice
β_σ	[-]	Vrubový součinitel v ohybu

β_{τ}	[-]	Vrubový součinitel v krutu
γ	[°]	Úhel opásání velké řemenice
η	[-]	Účinnost elektromotoru
κ_{σ}	[-]	Součinitel velikosti v ohybu
κ_{τ}	[-]	Součinitel velikosti v krutu
μ	[-]	Součinitel záběru drážek
σ_{DOC}	[MPa]	Mez únavy v ohybu
σ_I	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_I
σ_{II}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{II}
σ_{III}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{III}
σ_{IV}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{IV}
σ_V	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_V
σ_{VI}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{VI}
σ_{VII}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{VII}
σ_{VIII}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{VIII}
σ_{IX}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{IX}
σ_X	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_X
σ_{XI}	[MPa]	Skutečné ohybové napětí v místě d_{XI}
σ_o	[MPa]	Předběžné ohybové napětí
σ_{redI}	[MPa]	Redukované napětí v místě I
σ_{redII}	[MPa]	Redukované napětí v místě II
σ_{redIII}	[MPa]	Redukované napětí v místě III
σ_{redIV}	[MPa]	Redukované napětí v místě IV
σ_{redV}	[MPa]	Redukované napětí v místě V
σ_{redVI}	[MPa]	Redukované napětí v místě VI
σ_{redVII}	[MPa]	Redukované napětí v místě VII

σ_{redVIII}	[MPa]	Redukované napětí v místě VIII
σ_{redIX}	[MPa]	Redukované napětí v místě IX
σ_{redX}	[MPa]	Redukované napětí v místě X
σ_{redXI}	[MPa]	Redukované napětí v místě XI
τ_{Ds}	[MPa]	Dovolené napětí ve střihu
τ_{k1}	[MPa]	Napětí v krutu v místě 1
τ_{kI}	[MPa]	Napětí v krutu v místě I
τ_{kII}	[MPa]	Napětí v krutu v místě II
τ_{kIII}	[MPa]	Napětí v krutu v místě III
τ_{kIV}	[MPa]	Napětí v krutu v místě IV
τ_{kV}	[MPa]	Napětí v krutu v místě V
τ_{kVI}	[MPa]	Napětí v krutu v místě VI
τ_{kVII}	[MPa]	Napětí v krutu v místě VII
τ_{kVIII}	[MPa]	Napětí v krutu v místě VIII
τ_{kIX}	[MPa]	Napětí v krutu v místě IX
τ_{kX}	[MPa]	Napětí v krutu v místě X
τ_{kXI}	[MPa]	Napětí v krutu v místě XI

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Drť pro mulčování [3]	12
Obrázek 2 Cementotřísková deska [4]	12
Obrázek 3 Mobilní drtič kamene [7]	13
Obrázek 4 Drtič kovošrotu [9]	13
Obrázek 5 Jemné drcení plastových materiálů [11]	14
Obrázek 6 Drtič komunálního odpadu [13]	14
Obrázek 7 Hlavní části drtičů a štěpkovačů [14]	15
Obrázek 8 Zahradní drtič větví VARI Kajman-55 [15]	16
Obrázek 9 Zahradní drtič větví Negri BIO R95BHHP65 [16]	16
Obrázek 10 Negri BIO	17
Obrázek 11 Vysokopacitní štěpkovač JENSEN TJ [18]	17
Obrázek 12 Diskový štěpkovací mechanismus [20]	17
Obrázek 13 Princip sekacího mechanismu [22]	18
Obrázek 14 Štěpkovač s protiběžnými noži [21]	18
Obrázek 15 Bubnový štěpkovač JENSEN JT [23]	18
Obrázek 16 Princip mechanismu s jedním nožem [24]	18
Obrázek 17 Šnekový řezací mechanismus [25]	19
Obrázek 18 Kladívkový drtič [27]	19
Obrázek 19 Princip funkce mechanismu Turbine-Cut [28]	20
Obrázek 20 Urban EM110 s elektromotorem [29]	20
Obrázek 21 PIRANA štěpkovač s elektromotorem [30]	20
Obrázek 23 Negri BIO R255BHHP21CN [32]	21
Obrázek 22 PIRANA 14HP [31]	21
Obrázek 24 Urban TR70 SIMPLE [33]	21
Obrázek 25 Drtič větví PIRANA [34]	21
Obrázek 26 Elektrický drtič FZD 4007-E [35]	22
Obrázek 27 Negri BIO R225TN [36]	22
Obrázek 28 Štěpkovač TP 275 mobile [37]	23
Obrázek 29 Bandit 3590XL [38]	23
Obrázek 30 Stacionární štěpkovač Skorpion 160 E [39]	24
Obrázek 31 Negri BIO R95BHHP55GP [40]	24
Obrázek 32 Vlečný štěpkovač ARB150MT26 [41]	25

<i>Obrázek 33 Štěpkovač WC-8H [42]</i>	25
<i>Obrázek 34 Samojízdný štěpkovač Optimus-X 8WT [43]</i>	26
<i>Obrázek 35 Štěpkovač Pirba 37HP</i>	28
<i>Obrázek 36 Sekačka dřevního odpadu</i>	28
<i>Obrázek 37 Nožový mlýn G 400 45kW [49]</i>	29
<i>Obrázek 38 Urban SM70</i>	30
<i>Obrázek 39 Dřevní štěpkovač GY-JP5000</i>	31
<i>Obrázek 40 NEGRI Bio R255EHP20AN</i>	31
<i>Obrázek 41 Rozložení sil na hnacím hřídeli</i>	37
<i>Obrázek 42 Rozložení sil na hnaném hřídeli</i>	46
<i>Obrázek 43 Pohled na rám mobilního prvku</i>	54
<i>Obrázek 44 Pohled 1</i>	55
<i>Obrázek 45 Pohled 2</i>	55

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Popis hl. částí</i>	15
<i>Tabulka 2 Vybrané parametry štěpkovače</i>	27
<i>Tabulka 3 Vybrané parametry štěpkovače</i>	29
<i>Tabulka 4 Vybrané parametry stroje.....</i>	30
<i>Tabulka 5 Vybrané parametry stroje.....</i>	31

SEZNAM PŘÍLOH

PI	Výkresová dokumentace:	-Sestava
		-Podsestavy
		-Výrobní výkresy