VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DRTIČ ODPADU

DISPOSER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Miroslav Urban

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Miroslav Urban**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Drtič odpadu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě konstrukčního řešení drtiče odpadu DUC 16 od firmy Unikasset, spol. s r.o. vypracování rešerše podobných zařízení a navržení zvoleného konstrukčně – technického řešení.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování rešeršních rozborů strojů včetně příslušných výrobců pro drcení odpadů. Na základě rešeršních rozborů a konkrétního drtiče odpadu DUC 16 od firmy Unikasset provedení konstrukčního návrhu vlastního alternativního řešení. Vypracování sestavného výkresu tohoto strojního zařízení.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KUĽKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na konstrukce drtičů odpadů. Obsahuje popis tvorby a rozvahy nad vlastním konstrukčním návrhem plynoucím z provedené rešerše. Rešerše pojímá o typech konstrukcí strojů v dané oblasti včetně uvažování zasazení těchto strojů do drtících linek. V práci se také nachází přehled výrobců a firem, kteří se danými konstrukcemi zabývají. Při tvorbě vlastního návrhu bylo přihlíženo na požadavky vzhledem k drtiči odpadu DUC 16 od firmy Unikasset. Po provedení rozvahy a funkčních výpočtů byl zkonstruován drtič odpadu. Výstupem práce je sestavný výkres.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drtič odpadu, drtič, odpad, konstrukce, vlastní návrh

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the constructions of waste disposers. It contains a description of creating a new structural design. It was created from a research. The research is about the types of machine constructions in this area. Bachelor's thesis is also about placement of these machines in the crushing lines. Bachelor's thesis also contains an overview of manufacturers and companies that deal with the constructions in the question. The design was constructed based on the DUC16 from the company Unikasset. regarding the waste crusher DUC16 from Unikasset. After carrying out the balance sheet and functional calculations, the waste crusher was constructed. The output of the work is an assembly drawing.

KEYWORDS

Waste disposer, disposer, waste, construction, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

URBAN, Miroslav. *Drtič odpadu* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157057. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Malášek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024 ……..……..

Miroslav Urban

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi Ph.D. za jeho čas, ochotu a odborné rady při vypracování této práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

Úvod **11**

1 Drtiče odpadů **12**
1.1 Rozdělení drtičů odpadů 12
1.1.1 Jednohřídelové drtiče 12
1.1.2 Dvouhřídelové drtiče 13
1.1.3 Čtyřhřídelové drtiče 14
1.1.4 Bubnové drtiče 14
1.1.5 Ostatní drtiče 15

2 Hlavní části drtiče odpadu **16**
2.1 Pohonná stanice 16
2.2 Pracovní nástroj 16
2.3 Nosná konstrukce 16
2.4 Příslušenství 16
2.4.1 Násypka a výsypka 17
2.4.2 Síta 17
2.4.3 Přítlak 17

3 Drtiče v linkách **18**
3.1 Primární drcení, sekundární drcení (pre-shreadding, re-shreadding) 18
3.2 Stroje existující v lince s drtičem 18
3.2.1 Dopravníky 18
3.2.2 Separátory 19
3.2.3 Třídiče 19
3.2.4 Granulátory 19
3.2.5 Odvažovací zařízení 19

4 Firmy a jimi nabízené drtiče **20**
4.1 DEOS Technology s.r.o. a ODES s.r.o. 20
4.2 Vecoplan AG 20
4.3 UNIKASSET spol. s.r.o. 22

5 Vlastní návrh drtiče odpadu **23**
5.1 Požadavky na konstrukci 23
5.2 Výpočty k vlastnímu návrhu 24
5.2.1 Výpočet střižné síly 24
5.2.2 Výpočet potřebného výkonu elektromotoru pro jeden hřídel 26
5.2.3 Výpočet minimálního průměru hřídelí a drážkového spoje 27
5.3 Hlavní zvolené parametry 29
5.4 Dílčí části konstrukce vlastního návrhu 30
5.4.1 Pohonná stanice 31
5.4.2 Hřídele a jejich uložení 31
5.4.3 Drtící (pracovní) prostor 32
5.4.4 Drtící segmenty, distanční kroužky a stěrače 32
5.4.5 Skříň a stůl 33
5.4.6 Násypka a výsypka 34

Závěr **35**

Použité informační zdroje **36**

Seznam použitých zkratek a symbolů **39**

Seznam příloh **41**

ÚVOD

Odpad neodmyslitelně patří k průmyslu. Vzniká téměř ve všech jeho odvětvích a je občanskou povinností se s ním vypořádat. Vypořádává se s ním několika způsoby. Drcení odpadu a jeho následné použití (recyklace), či způsobení jeho rychlejšího rozkladu, je způsob, který je efektivní. Tento proces lze automatizovat zařazením drtiče odpadů do patřičné linky, což vzhledem k dnešní oblibě automatizovat a zrychlovat za minimálního využití lidské práce se jedná o atraktivní řešení, co se vypořádání s odpadem týče. Taktéž vidina image ekologického přístupu je důvod, proč v dnešní době mají firmy o tyto linky zájem.

Tato bakalářská práce pojednává o způsobu drcení odpadů a strojích, které k tomuto účelu slouží. Dále obsahuje rozdělení a podrobný popis těchto strojů včetně výhod a nevýhod. Pojednává také o výrobcích a firmách, které se zmiňovanými stroji zabývají. V neposlední řádě bakalářská práce obsahuje vlastní alternativní konstrukčně-technický návrh, který vychází ze zjištěných informací.

1 DRTIČE ODPADŮ

Průmyslové i domovní odpady tvořeny plasty, pryží, papírem, dřevem, lehkými kovy apod. lze drtit na různých typech drtících zařízení. Druh drtiče se volí dle charakteru drceného materiálu a účelu drcení. Účelem drcení je rozuměno objemové zmenšení pro dopravu, skládkování, nadrcení na určenou velikost pro další recyklaci, případně znehodnocení a úpravu nekvalitních výrobků pro možné zpětné vrácení do výrobního procesu [10].

Drtiče spadají do stejné kategorie jako mlýny – stroje sloužící k zdrobnění surovin. Procesy drcení a mletí se liší ve velikosti zrn v produktech, se kterými se potýkají. Pro hrubé drcení jsou to zrna větší než 125 mm, pro jemné drcení zrna větší 25 mm. U mletí je to pak od 25 mm níže *viz. tab.1*. [3]

Tab. 1 Způsob zdrobňování podle velikosti zrn [3]

Způsob zdrobňování	Velikost zrn v produktu [mm]
Hrubé drcení	Zrna větší než 125
Střední drcení	Zrna větší než 25
Jemné drcení	Zrna menší než 25
Mletí	Zrna menší než 1,25
Jemné mletí	Částice menši než 0,08

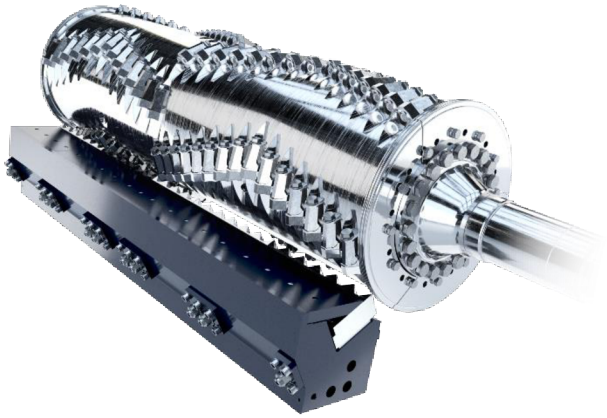
1.1 ROZDĚLENÍ DRTIČŮ ODPADŮ

Drtiče odpadů vznikaly z návrhů drtičů, které byly konstruovány za účelem drcení hornin, jako je uhlí, jíl apod. Existují tedy i jiné drtiče, než jsou uvedeny zde v této práci [3]. Tato práce se však snaží zachovat rozdělení drtičů pouze v oboru drcení odpadu, a to vzhledem k aktuální nabídce firem na trhu.

1.1.1 JEDNOHŘÍDELOVÉ DRTIČE

Drtiče vhodné do prostorů, kde se každý zastavěný metr ostře sleduje. Drtí odpadní materiál s výstupní frakcí do 50 mm. Jejich vhodné použití je pro odpad jako je pro plast, dřevo, papír a neforemné kusy. Pro zvolení tohoto typu drtiče se přiklání skrz výhodu možnosti zpracování těžkých, neforemných a houževnatých odpadů. Další výhodou zde je nepochybně dosažitelnost požadované výstupní velikosti v jednom stupni drcení. Tyto drtiče naopak nejsou vhodné pro drcení kamenů, keramiky, kovů a stavebních odpadů [9].

Provedení jednohřídelových drtičů se může lišit dle požadavků zákazníka a nabídky firem. Ku příkladu firma ODES. s.r.o. nabízí drtič, který pracuje na principu stříhání mezi břity upevněnými na rotoru a pevným statorovým ostřím, který má tvar hřebene. Konstrukce těchto strojů tedy spočívá v elektromotorem přes převodovku poháněném hřídeli, který má na sobě upevněné břity, které v drtícím prostoru zpracovávají (drtí) daný odpad [14].



Obr. 1 Příklad jednohřídelového drcení odpadů [12]

1.1.2 DVOUHŘÍDELOVÉ DRTIČE

Drtiče, které stříhají (drtí) dodávaný materiál pomocí střižných (drtících) segmentů upevněných na proti sobě uložených hřídelích. Hřídele se pomalu otáčejí proti sobě, čímž drtí materiál na výstupní frakci, kterou zde jsou proužky či kousky odpadu. Velikost této frakce závisí na charakteru původního odpadu a na návrhu drtícího prostoru. Dvouhřídelové drtiče se obecně používají pro odpady z plastu, kartonu, dřeva, laminátu, pneumatik (pryže) apod. Tyto drtiče jsou běžně poháněny přes jeden elektromotorem s převodovkou pro požadované výstupní otáčky. Pohyb otáčení hřídelů proti sobě je pak docílen pomocí čelního soukolí s přímými ozubenými koly, jež jsou součástí hřídelů. Tento typ konstrukce je vhodný pro standartní zátěž [10].

Pro větší zátěž se pak používají typy konstrukce, kde je každý hřídel poháněn vlastním elektromotorem s převodovkou. Na trhu lze najít případně i drtiče poháněné hydromotory, ale není to standartní [11].

Obr. 2 Dvouhřídelový drtič odpadů

1.1.3 ČTYŘHŘÍDELOVÉ DRTIČE

Málo známé jsou pomaluběžné čtyřhřídelové drtiče, které se používají pro drcení houževnatých a těžko drtitelných odpadů. Oproti dvouhřídelovým drtičům je u nich dosaženo lepší homogenizace (dosažení stejné velikosti) výstupní frakce. Využívají se pro drcení odpadů s velkými objemy. Oproti klasickému již zmiňovanému odpadu zvládnou pojmout i tenkostěnné kovy apod. Tyto drtiče na Českém trhu komerčně nabízí dle zjištěných informací zatím pouze firma ODES s.r.o [5].

Obr. 3 Čtyřhřídelový drtič odpadů

1.1.4 BUBNOVÉ DRTIČE

Zde se využívá zcela jiný princip, než byl doposud popisován. Principem drcení u bubnových drtičů jsou vysoké otáčky pracovního nástroje, kterým je zde řetěz. Řetěz se využívá z důvodu nízké ceny a snadné vyměnitelnosti. Pracovní nástroj přichycený ke středové ose (hřídeli) se velice rychle otáčí v silnostěnném kovovém bubnu, kde naráží do vloženého odpadu, čímž dochází k mechanickému drcení. Výsledkem je vysoce účinné drcení, které efektivně vzájemně odděluje jednotlivé materiály, anebo naruší jejich strukturu [4].

Využití těchto drtičů je tedy připisováno hlavně kompozitním odpadům. Rozuměno jako odpady složené z více vrstev a více druhů materiálů. Takovým odpadem může být například jakýkoliv elektroodpad, elektromotory, lednice apod. Tento princip drcení je taktéž rozsáhlý v recyklačních linkách. Dalším příkladem jsou hliníkové odpady. Takové odpady jsou k nalezení především na automobilech. Jsou to automobilové chladiče, katalyzátory, aj. Drtí se pomocí něj také magneziové kostky. U těch se magnezium rozdrtí na prach a hliníkové kostky, které tyto kostky obsahují, se pak následně dále velikostně třídí [4].

S těmito drtiči se také můžeme setkat při zpracování zemědělských produktů v procesu výroby bioplynu. Zpracovává se ním například sláma, seno, tráva, obiloviny apod.

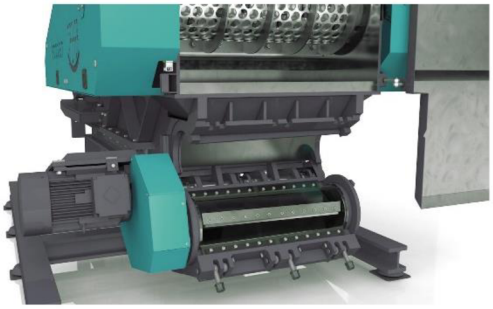
Obr. 4 Bubnový drtič odpadů [9]

1.1.5 OSTATNÍ DRTIČE

Tyto drtiče jsou různých typů. Jsou konstruovány podle požadavků zákazníka za jediným účelem. Tím je myšleno, že jsou konstruovány pro zpracování určeného druhu odpadu. Takovým odpadem rozumíme materiály, které požadují speciální podmínky při konstrukci – například sklo, polystyren, nemocniční odpad, minerální vata, různé druhy akumulátorů, aj. Kromě materiálů se může jednat i o stroje sloužící k drcení konkrétních produktů. Zde lze ku příkladu uvést likvidace (drcení) vyřazených automobilů po tom, co se z nich odstraní baterie a čalounění. Dalším příkladem pak může být drcení vyřazeného nábytku a domácích spotřebičů. K těmto účelům se používají odrazové drtiče speciálního provedení. Od ostatních drtičů se liší velkými vstupními otvory a využitím kombinace jednohřídelové a odrazové provedení konstrukce [4].

Za zmínku zde stojí také čelisťové a kuželové drtiče, kladivové, odrazové a metací drtiče, či jehlové a talířové drtiče [3].

Pracovní nástroj, zvolený materiál konstrukce, povrchová úprava, ba dokonce i pohon se volí vždy podle charakteru materiálu, který je ve speciálním drtiči zpracováván.



Obr 5 Kombinace jednohřídelového drcení a řezání [12]

2 HLAVNÍ ČÁSTI DRTIČE ODPADU

Hlavním rozhodujícím faktorem, co se výběru typu drtiče a jeho prvků týče, je druh drceného materiálu a jeho výstupní frakce. Dalším důležitým faktorem je případné umístění drtiče do linky. Další konfigurace vždy záleží na požadavcích zákazníka.

Rozhodujícími parametry u drtičů se obecně uvádí výkon, rozměr pracovního prostoru a rozměr frézy (drtícího segmentu). Uvézt zde lze na příklad drtič, podle kterého se pak tvoří vlastní návrh, od firmy UNIKASSET spol. s.r.o. – DUC 16 2 x 22 kW 800/60, kde DUC je obecné označení dvouhřídelového drtiče, které firma využívá. Číslo 16 za DUC zde značí vývojovou řadu od firmy. Dále 2 x 22 kW uvádí, že se jedná o drtič se dvěma elektromotory o výkonu jednoho elektromotoru 22 kW. Druhý elektromotor má tentýž výkon. Pak 800 je zde délka pracovního (drtícího) prostoru a 60 značí šířku frézy [10].

2.1 POHONNÁ STANICE

Pohonná stanice, jak název napovídá, zajišťuje uvedení celého stroje do pohybu. Nejčastějším hnacím pohonem u drtičů je elektromotor s převodovkou, který uvádí do pohybu hřídel, ke kterému je připevněn pracovní (drtící) nástroj. Ve výjimečných případech se můžeme setkat s drtiči poháněnými hydromotory. Elektromotory/hydromotory jsou zde napojeny na ovládací skříň, přes kterou se dává instance k uvedení stroje do pohybu [9].

2.2 PRACOVNÍ NÁSTROJ

V drtícím prostoru nalezneme pracovní (drtící) nástroje navržené podle typu drtiče. Jedná se o nejvíce namáhané, a tedy i nejvíce opotřebované součásti drtiče. Při konstrukci se musí stroj navrhnout tak, aby tyto nástroje byly snadno demontovatelné kvůli následné opravě či výměně. Tyto nástroje jsou z pravidla vyrobené z otěruvzdorných ocelí [10].

2.3 NOSNÁ KONSTRUKCE

Nosná konstrukce nese všechny součásti obsažené ve stroji. Spojování jednotlivých prvků konstrukce se nejčastěji provádí šroubovým spojením. Samotné části nosné konstrukce jsou pak většinou svařené díly. Tvar konstrukce závisí na zvolení jednotlivých součástí a na účelu drtiče. Celá konstrukce tak bývá na nohách s patřičnou roztečí.

2.4 PŘÍSLUŠENSTVÍ

Do příslušenství se řadí díly, které se používají v případě konkrétních požadavků na drcení.

2.4.1 NÁSYPKA A VÝSYPKA

Násypka mívá standardně trychtýřový tvar, kterým je dosaženo ke snadnému dopravení odpadního materiálu do drtícího prostoru. Jeho rozměry se přizpůsobují velikosti odpadu.

Výsypka se nachází za drtícím prostorem. Setkat se můžeme však i se stroji, které výsypky vůbec nemají. Zde opět záleží, co se s nadrceným materiálem bude dál dít. Výsypky mívají buď tvar trychtýře, nebo jsou jen prodloužením pracovního prostoru. Můžou být rovněž konstruovány s těsnícími manžetami pro účel plnění různých sudů a nádob [10].

2.4.2 SÍTA

U hřídelových drtičů na jemnější drcení pro malou frakci se používá síto. Síto je upevněno zespodu ke stěnám drtícího prostoru. Kopíruje tvar nožů a používá se malá vůle, aby byl materiál do síta pomocí nožů zároveň vtlačován. Síta mají kruhové otvory dle požadované výstupní frakce. U hrubšího drcení není sít potřeba, používají se pouze stěrače. Stěrače jsou nedílnou součástí dvouhřídelových drtičů. Stěrače jsou upevněny ke stěnám drtícího prostoru. Slouží primárně k čištění distančních kroužků mezi drtícími segmenty. Sekundární důvod stěračů je zabránění propadání menšího odpadu a případné vracení nenadrceného odpadu zpět do pracovního prostoru.

Obr 6. Síto

2.4.3 PŘÍTLAK

K tomu, zda bude v konstrukci zahrnut přítlak, kterého je dosaženo hydraulickým válcem, je rozhodnuto konstruktérem na základě zhodnocení typu odpadu, jeho materiálu, efektivity zvoleného drtícího segmentu apod. Hydraulický válec je elektricky ovládán, a to buď manuálně, nebo se využívá cyklického opakování. Přítlak je používán z logiky věci hlavně u tvrdších materiálů, jako je například slitina hořčíku [13].

Obr 7. Přítlak [11]

3 DRTIČE V LINKÁCH

Drtiče odpadu zřídka kdy nalezneme samostatně. Jejich nejčastější využití je v drtících linkách. Linkou je zde rozuměno postavení příslušných strojů tak, aby co možná nejvíc samostatně pracovali bez lidské pomoci, a to co možná nejdéle v provozu. Linkou tedy rozumíme určité logistické systémy. Linky jsou využívány za účelem automatizace procesu drcení.

Obr 8. Drtící linka [10]

3.1 PRIMÁRNÍ DRCENÍ, SEKUNDÁRNÍ DRCENÍ (PRE-SHREADDING, RE-SHREADDING)

Vhodné za zmínku v tomto tématu jsou termíny „primární drcení“ a „sekundární drcení“, se kterými se setkáváme v různé literatuře spojené s drcením. Především zmateční může být rozdíl mezi primárním drtičem a obyčejným drtičem. To samé platí se sekundárním drtičem a opět obyčejným drtičem. Rozdíl je velice prostý. Při navrhování takové linky, kde se počítá s uvedením dvou po sobě pracujících drtičů, tím konstruktér rozlišuje pořadí drtičů v lince. Pak je samotný rozdíl v konstrukci. U primárního drtiče se počítá s tím, že bude pojímat větší kusy odpadu. Uvádí se drcení z velikost 1000 mm na velikost 100 mm. Sekundární drtič pak pracuje s již jednou nadrceným odpadem, a proto je navržen tak, aby frakci ještě zjemnil/zmenšil. Uvádí se drcení z velikosti 100 mm na 1 mm. Další případné zjemňování už spadá do mletí [3].

3.2 STROJE EXISTUJÍCÍ V LINCE S DRTIČEM

Na zautomatizování drtícího procesu jsou zapotřebí další stroje. Stroje, které jsou logisticky umisťovány za sebe tak, aby se celý proces drcení obešel bez pomoci práce člověka.

3.2.1 DOPRAVNÍKY

Prvními důležitými stroji, bez kterých by linka nemohla existovat, jsou dopravníky. Ty nepřetržitě přesouvají materiál horizontálně a vertikálně z bodu A do bodu B, ať už jde o sypký nebo kusový materiál. V případě drcení dopravují celé kusy odpadů do drtiče a

následně též můžou dopravovat nadrcený obsah. Existuje celá řada druhů dopravníků. Nejznámějšími jsou dopravníky pásové, šnekové a korečkové [1].

Nejčastěji používanými v drtících linkách jsou pásové dopravníky. Pásové dopravníky jsou obecně definovány jako mechanické zařízení, které pracují kontinuálně. Charakterizovány jsou souvislou dopravní vzdáleností od místa odběru. Odebírají souvislý tok dopravovaného materiálu ve směru vodorovném či mírně šikmém. Zde, v drtících linkách, se využívají primárně pro svou schopnost zvládnout velké dopravní vzdálenosti. Jejich výhodou je také vysoký dopravní výkon, jednoduchá údržba, regulovatelná dopravní rychlost a malá spotřeba energie [1].

3.2.2 SEPARÁTORY

Kromě dopravníků se v linkách můžeme setkat také s různými druhy separátorů. Separátory se dají zařadit mezi dopravníky, avšak jejich samotný účel je obohacen kromě dopravy o svůj mechanizmus pro třízení materiálu. Třízením je zde rozuměno rozdělení nechtěných vedlejších materiálů od chtěného produktu. Můžou to být válečkové separátory, bubnové separátory, magnetické separátory aj. Záleží, s jakým materiálem odpadu se konstruktér drtiče potýká a jaké jsou další požadavky zákazníka. Každý druh separátoru se vyznačuje účinností separace. Účinnost separace je zde stanovena jako chybovost stroje v separaci za určitou dobu [21].

3.2.3 TŘÍDIČE

Třídiče jsou často pleteny se separátory díky svým podobným vlastnostem, které se od takových strojů vyžadují. V literatuře se však liší a nejedná se o stejnou množinu strojů. Stejně jako u separátorů mají z hlediska funkčnosti třídit materiál dle různých hledisek. Zde se jedná především o velikost a druh materiálu. U třídičů na rozdíl od separátorů se využívají principy různých sít apod. V drtících linkách se nejčastěji potkáme s vibračními a rotačními třídiči. Často využívané je taktéž hvězdicové třídící síto [23].

3.2.4 GRANULÁTORY

Granulátory jsou stroje, které se nachází na konci linek. V granulátorech dochází k protlačení drtě přes síta s přídavným pojivem. Tím dochází k vytvoření granulí z daného nadrceného odpadu, které se pak dál využívají [12].

3.2.5 ODVAŽOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Zařízení, které slouží k různému odvažování nadrceného či jinak zpracovaného materiálu. Zpravidla tyto stroje nalezneme na konci linky za účelem přesného plnění různých pytlů, kontejnerů, barelů apod. Odvažovací zařízení se navrhuje na konkrétní typy nadrceného odpadu. Ku příkladu se jedná o tenzometrické dávkovací váhy. Ty můžou být doplněny o různé chladící, nebo naopak ohřívací systémy [20].

4 FIRMY A JIMI NABÍZENÉ DRTIČE

Pro tuto kapitolu jsou z mnoha jiných vybrány čtyři firmy, které mohou obohatit čtenáři přístup ke konstrukci drtičům odpadů.

4.1 DEOS TECHNOLOGY S.R.O. A ODES S.R.O.

Tyto dvě firmy se nachází ve společné kapitole, protože se podle nalezených informací jedná o sesterské firmy. Každá firma má svoji webovou stránku, nicméně v kontaktech, nabízených produktech a sídlu výrobní haly se shodují. Firma ODES s.r.o. při popisech produktů odkazuje při detailnějším popisu přímo na webové stránky firmy DEOS Technology s.r.o. Jedná se o České firmy, které celý proces výroby zde, v Česku, provádějí [7].

Co se firmou nabízených drtičů odpadů týče, v prospektech jednohřídelových nabízí typ DRJ v řadách 400 ÷ 1000, jejichž provedení zajišťuje především výhodu snadně vyměnitelnosti pracovního nástroje [14].

U dvouhřídelových drtičů lze naleznout typy, které mají podobnou konstrukci. Liší se v pohonech, rozměrech pracovních prostorů a přidáním příslušenství. Jedná se o typy DRE, DRN, DRK, DRT, DRD, DRW, DRU, které slibují kapacitu drcení v rozmezí 150 ÷ 10 000 kg/hod [11].

Firma nabízí také nestandartní čtyřhřídelové drtiče typů DRX a DRY a bubnové drtiče typu DRB [5].

Obr 9. DRK Drtič odpadů [9]

4.2 VECOPLAN AG

Vecoplan AG je velká německá firma, která svým působením sahá mimo Evropu také do USA, konkrétně do Severní Karolíny a Kalifornie. Co se Evropy týče, dodávají včetně Německa běžně do Rakouska, Francie, Itálie, Polska, Španělska a Velké Británie. Vecoplan AG také spolupracuje na několika drtičích s firmou Heinrich Dreher GmbH & Co. KG. Oproti jiným, zde zmíněným firmám, má tato firma velice pokročile vytvořené webové stránky a tato úroveň profesionality a přístupu lze vidět i na samotných drtičích.

Co se nabízených produktů týče, podobně jako u předchozích firem se i zde zaměřují na kompletní linky a nabízí tedy kromě drtičů odpadů i dopravníky, třídiče, separátory a dávkovače se zaměřením na skladování.

U samotných drtičů pak přichází celá řada možností. U jednohřídelových drtičů se Vecoplan AG zaměřuje na konstrukce šité na míru konkrétním materiálům jako je znovupoužitelný materiál či dřevo. Tyto drtiče jsou popisovány jako unikátní pro svou energetickou úspornost. Zajímavostí jsou také nože použity z vnějšku stroje, které působí naproti hlavním nožům. Tím je zde zajištěna větší efektivita stroje. U jednohřídelových drtičů dále nabízí vysokovýkonné a vysoce odolné drtiče, které slouží pro náročnější materiály k drcení. Posledním jednohřídelový drtičem je speciální kombinace drcení a řezání. Kombinací těchto dvou procesů v jednom stroji dochází ke kombinaci granulátoru a drtiče, čímž dochází k eliminaci potřeby další dopravníkové techniky. Tím též dochází ke snížení nákladů a spotřeby energie.

Dalšími drtiči, které firma Vecoplan AG nabízí, jsou dvouhřídelové drtiče, které v jejich nabídce staví hlavně jako primární drtiče a sekundární drtiče. Nabízí standartní dvouhřídelové drtiče, na kterých jsou nože odděleny kroužky, mezi kterými dochází k samotnému drcení. Kromě toho také nabízí drtiče, které namísto běžných nožů využívají srpovité trhací zuby. Ty umožňují bezpečné drcení objemných materiálů. U těchto strojů je kladen důraz na robustní konstrukci. Vyžaduje se u nich malá údržba, která je prováděna poměrně rychle. Dále, pro drcení palet, nabízí drtič, který je kombinací dvouhřídelové a jednohřídelové konstrukce, čímž je dosaženo dostatečně efektivního drcení. Posledním příkladem zde, u dvouhřídelových strojů, stojí za zmínku „otevírač pytlů“, který se používá na začátku třídících linek. Princip řešení konstrukce je u nich stejný, jako u drtičů, nicméně se využívají tupé nástroje, které otevřou konkrétní pytel a výslednou propadenou frakcí je obsah pytle a samotný pytel.

Posledními stroji, které má Vecoplan AG ve své nabídce, jsou štěpkovače. Prvními nabízenými jsou bubnové štěpkovače. Jedná se o stacionární stroje s horizontální podávací jednotkou. Vybaveny jsou rotorem osazeným štěpkovacími noži pro drcení různého odpadního dřeva apod. Dále nabízí štěpkovač na biomasu a dřevní „lamač“ [12].

Obr 10. Kombinovaný drtič odpadů s grantulátorem [12]

4.3 UNIKASSET SPOL. S.R.O.

Firma UNIKASSET spol. s.r.o. nenabízí drtiče, které by zde již nebyly popsány v zastoupení zboží ostatních firem. Nicméně se jedná o firmu, která nabízí konkrétní drtič DUC 16, jež se stal předmětem pro vlastní návrh v druhé části bakalářské práce.

Podobně jako u výše popsaných firem se zabývají kromě drtičů i výrobou dalších komponentů dodávaných do linek. Co se těchto strojů týče, na svých webových stránkách uvádí, že vyrábí pásové dopravníky a magnetické separátory. Mimo drtící linky se zabývají i problematikou a výrobou parních turbín a náporových točivých redukcí.

Co se typů drtičů týče, firma se věnuje pouze jednomotorovým a dvoumotorovým dvouhřídelovým drtičů.

Další činností, kterou se zabývají, je výroba, servis a prodej náhradních dílů do drtičů, které jsou od nich, ale věnují se tomu i na drtičích, které dodávají jiné firmy. Ku příkladu často řeší opravu nástrojů od zmíněné firmy Vecoplan AG či firmy Lindner [10].

Dalším tématem, jež stojí za zmínku, je délka procesu výroby, dodání a samotná montáž. První fází je domluva mezi konstruktérem a zákazníkem. Dále konstruktér navrhne ideální drtič podle požadavků zákazníka pomocí metod a znalostí, jež firma využívá. Poté se návrh přesune do výroby. Až je výroba dokončena, drtič se nakládá rozložený do kamionu a dováží se na místo. Tam přijede tým odpovědných lidí s externím elektrikářem a provedou montáž. Čas tohoto procesu vychází cca na dva měsíce.

Obr 11. Drtič odpadu DUC 16 [10]

5 VLASTNÍ NÁVRH DRTIČE ODPADU

Tato kapitola je zaměřena na druhou část zadání této bakalářské práce. Obsahuje postupnou rozvahu a postup řešení konstrukce včetně potřebných výpočtů.

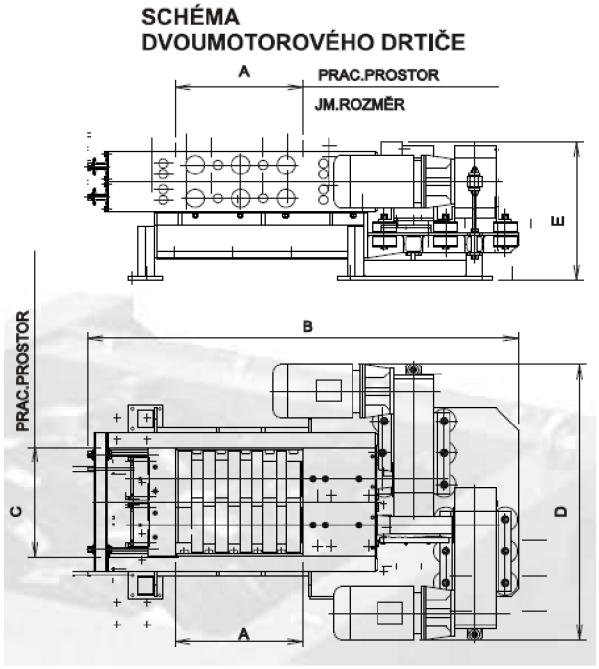
5.1 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI

Vlastní návrh drtiče odpadu bude řešen na základě konstrukce DUC 16 od firmy UNIKASSET spol. s.r.o., která ve svých prospektech uvádí, že je koncipována k drcení domovního i průmyslového odpadu, jako jsou plasty, pryž, pneumatiky, papír a dřevo [10]. Pro přesnost z katalogu odpadů aktuálního pro rok 2024 dle přílohy 1 Vyhlášky č. 8/2021 Sb. bude vlastní návrh určen k drcení odpadů 16 01 03 - Pneumatiky, 20 01 01 - Papír a lepenka, 20 01 39 – Plasty, 20 01 38 - Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37 [15]. Nadrcením odpadu se docílí usnadnění při dalším zpracování. Požadovanou výslednou frakcí vzhledem k drtiči DUC16 je 25 ÷ 35 mm [10].

DUC 16, co se rozdělení drtičů odpadů týče, spadá mezi pomaluběžné dvouhřídelové typy konstrukce. Požadované výstupní otáčky na hřídelích činí pro vlastní návrh tedy n_v = 18 ot/min. Vlastní návrh bude tedy rovněž dvouhřídelový drtič, bude obsahovat násypku a výsypku s uvážením, že pod drtič bude přidán pásový dopravník pro další manipulaci s nadrceným odpadem. Dodržením rozměrů *dle tab.2 a OBR. 12* bude splněna návaznost na pásový dopravník a to proto, že firma UNIKASSET spol. s.r.o. dle těchto rozměrů sama vyrábí a dodává drtiče s dopravníky jako jeden celek – linky na drcení odpadů [10].

Tab. 2 Varianty provedení konstrukce DUC 16 [10]

Jednomotorový drtič	A	B	C	D	E
11 kW	400 - 700	1450 - 1750	612	1390	800
22 kW	500 - 1000	1650 - 2150	612	1520	760
Dvoumotorový drtič	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
2x22 kW	600 - 1200	2650 - 3250	720	1820	920
2x37 kW	500 - 1400	3050 - 3650	980	2350	1250
5x55 kW	500 - 1800	3270 - 4270	980	3230	1200



Obr 12. Schéma provedení DUC 16 [10]

5.2 VÝPOČTY K VLASTNÍMU NÁVRHU

V této podkapitole se nachází výpočty potřebné k následnému volení komponent pro vlastní návrh drtiče.

5.2.1 VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY

Pro výpočet střižné síly bude potřeba zjistit a vypočítat plochu zabírajícího břitu, mez pevnosti ve střihu a v tahu pro nejtvrdší drcený materiál odpadu → dřevo. Tím je zjištěna největší možná střižná síla. Tím se dále nadimenzuje potřebný výkon elektromotoru.

PLOCHA ZABÍRAJÍCÍHO BŘITU NA SEGMENTU:

Dle OBR. 13

$$S = a \cdot b$$

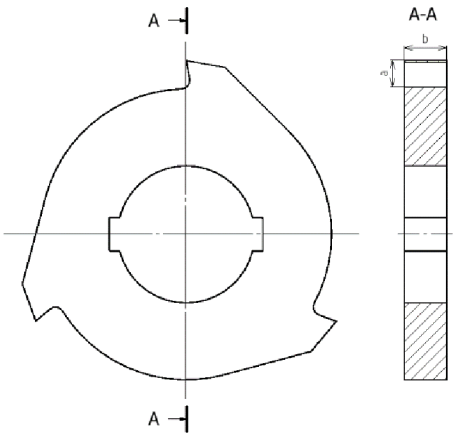
$$S = 31{,}87 \cdot 52 \tag{1}$$

$$S = 1180{,}4\ \mathrm{mm}^2$$

kde:

a [mm] - výška zabírajícího břitu na drtícím segmentu

b [mm] - šířka drtícího segmentu



Obr 13. Rozměry drtícího segmentu

MEZ PEVNOSTI VE STŘIHU PRO DŘEVO [18]:

$$\tau = 3 \div 5 \tag{2}$$

Dále počítáno s maximální hodnotou $\tau_{max} = 5\ MPa$.

MEZ PEVNOSTI V TAHU PRO DŘEVO [17]:

$$R_{md} = 70 \div 140 \tag{3}$$

Dále počítáno s maximální hodnotou $R_{mdmax} = 140\ MPa$.

POMĚR MEZI MAXIMÁLNÍM ODPOREM VE STŘIHU A MEZÍ PEVNOSTI

$$\mathrm{k_1} = \frac{\tau_{\max}}{\mathrm{R_{m\ max}}}$$

$$\mathrm{k_1} = \frac{5}{140} \tag{4}$$

$$\mathrm{k_1} = 0{,}04$$

ZVĚTŠENÍ STŘIŽNÉ SÍLY PO OTUPĚNÍ NOŽŮ

$$\mathrm{k_2} = 1{,}15 \div 1{,}25 \tag{5}$$

Zvolena střední hodnota $\mathrm{k_2} = 1{,}2$.

ZVĚTŠENÍ BOČNÍ VŮLE MEZI STŘIŽNÝMI NOŽI

$$k_3 = 1{,}2 \div 1{,}3$$

Zvolena střední hodnota $k_3 = 1{,}25$. (6)

STŘIŽNÁ SÍLA

$$F_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot R_{mdmax} \cdot S$$

$$F_c = 0{,}04 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}25 \cdot 140 \cdot 1\,180{,}4$$

$$F_c = 9\,915{,}36\ \text{N} \quad (7)$$

5.2.2 VÝPOČET POTŘEBNÉHO VÝKONU ELEKTROMOTORU PRO JEDEN HŘÍDEL

Vzhledem k použití varianty drtiče odpadu s pohonem pro každou hřídel zvlášť je počítán potřebný výkon pouze pro jeden hřídel. Stejný potřebný výkon se použije pak pro druhý hřídel.

KROUTÍCÍ MOMENT NA DRTÍCÍM SEGMENTU

$$M_{kc} = F_c \cdot r_s$$

$$M_{kc} = 9\,915{,}36 \cdot 0{,}21 \quad (8)$$

$$M_{kc} = 2\,082{,}23\ \text{Nm}$$

kde:

r_{ds} [m] - poloměr drticího segmentu

POTŘEBNÝ VÝKON ELEKTROMOTORU

$$P_c = \frac{M_{kc} \cdot n_z \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_v \cdot f_t}{60}$$

$$P_c = \frac{2\,082{,}23 \cdot 8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 18 \cdot 0{,}38}{60} \quad (9)$$

$$P_c = 11\,931{,}73\ \text{W} \rightarrow 11{,}9\ \text{kW}$$

kde:

n_z [-] - počet segmentů na hřídeli

n_v [ot/min] - otáčky výstupního hřídele

f_t [-] - součinitel tření (0,38 ÷ 0,44)

Vzhledem k uvážení použití nejvyšší možné mezi pevnosti v tahu a mezi pevnosti ve střihu pro dřevo a vzhledem k běžně používaným elektromotorům pro rozměry *viz. tab. 2*, jež vlastní návrh má, je zvolen elektromotor od firmy Nord-poháněcí technika s.r.o. o výkonu P = 22 kW, který bude zakoupen v sestavě s čelní převodovkou s označením SK 103 - 180LP/4 TF. Je zvoleno provedení, kdy je každá hřídel poháněna samostatným elektromotorem, tudíž tyto položky budou v drtiči odpadu po dvou kusech [19].

5.2.3 VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU HŘÍDELÍ A DRÁŽKOVÉHO SPOJE

Vlastnosti navrhovaných hřídelů

Pro hřídele je volen stejný materiál, jako pro své konstrukce používá firma UNIKASSET spol. s.r.o. Jedná se o materiál 1.7225 (známé též jako 42CrMo4 a 15142) [16].

Pevnost v tahu pro ocel 1.7225 R_{mh} = 750 ÷ 900 MPa.

Mez kluzu pro ocel 1.7225 $R_{e\,min}$ = 500 MPa.

Pro výpočet pro válcové konce hřídelů se vychází z kroutícího momentu na výstupním hřídeli z převodovky M_{k2} = 11 600 Nm. Dále ze vztahu pevnostní podmínky v krutu lze vypočítat minimální průměr hřídele [19].

DOVOLENÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_{DO} = \frac{R_e}{k}$$

$$\sigma_{DO} = \frac{500}{2} \tag{10}$$

$$\sigma_{DO} = 250\ MPa$$

kde:

k [-] - bezpečnost (1,5 ÷ 5)

DOVOLENÝ KRUT

$$\tau_{DO} = 0{,}6 \cdot \sigma_{DO}$$

$$\tau_{DO} = 0{,}6 \cdot 250 \tag{11}$$

$$\tau_{DO} = 150\ MPa$$

MINIMÁLNÍ PRŮMĚR HŘÍDELŮ

$$\tau = \frac{M_{k2}}{W_k} = \frac{M_{k2}}{\frac{\pi \cdot d_{min}^3}{16}} \leq \tau_{DO}$$

$$d_{min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot \tau_{DO}}} \tag{12}$$

$$d_{min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 11600000}{\pi \cdot 150}}$$

$$d_{min} \geq 73{,}3\ mm$$

Nejmenší průměr hřídele vyšel d_{min} = 73,3 mm. Vlastní návrh bude mít průměr hřídele ve spojení s převodovkou d = 102 mm.

DRÁŽKOVÝ SPOJ HŘÍDELE S PŘEVODOVKOU

Dovolený tlak na bocích drážek p_{dDV} = 50 MPa [24].

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_S \cdot l_d \cdot h_d \cdot k_d \cdot i} \leq p_D$$

$$p_{dDV} \geq \frac{2 \cdot 11600000}{105 \cdot 240 \cdot 6 \cdot 0{,}75 \cdot 10} \tag{13}$$

$$p_{dDV} \geq 20{,}46\ MPa$$

kde:

D_s	[mm]	- střední průměr drážkového profilu
l_d	[mm]	- osová délka dotyku mezi boky drážek hřídele a náboje za provozu
h_d	[mm]	- skutečná opěrná výška drážky
k_d	[-]	- korekční součinitel (0,75 pro rovnoboké drážkování)

i [-] - počet drážek

Podmínka pro použití vzhledem k dovolenému tlaku je splněna. Spojení bude dosaženo pomocí rovnobokého drážkování 10 x 102 x 108 [2].

VÝPOČET PER NA OTLAČENÍ PRO SPOJENÍ HŘÍDELE S DRTÍCÍMI SEGMENTY

Spoj segmentů s hřídelem je zajištěn pomocí dvou těsných per. Tento spoj je třeba zkontrolovat na tlak ve styčných plochách. Pero je atypické, nejedná se tedy o normalizovaný kus.

Dovolený tlak pro pera z oceli p_{pDV} = 100 ÷ 120 MPa [25].

TLAK VE STYČNÝCH PLOCHÁCH

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot M_{kc} \cdot n_z}{2 \cdot t_1 \cdot l_p \cdot d_{ps}}$$

$$p = \frac{4 \cdot 4154540 \cdot 8}{2 \cdot 10 \cdot 836 \cdot 165} \qquad (14)$$

$$p = 48{,}19\ MPa$$

kde:

t_1 [mm] – hloubka drážky v náboji

l_p [mm] – délka pera

d_{ps} [mm] – průměr hřídele pod segmenty

Podmínka pro použití vzhledem k dovolenému tlaku je splněna.

5.3 HLAVNÍ ZVOLENÉ PARAMETRY

Hlavní zvolené parametry jsou ty parametry, které se kromě jiného vyskytují na štítku skutečného stroje. Na základě drtiče DUC 16 a dle materiálu odpadu, se kterým vlastní návrh drtiče bude pracovat, je *dle tab. 2* zvolena varianta dvouhřídelového drtiče se dvěma elektromotory o příkonu jednoho elektromotoru 22 kW a druhého elektromotoru taktéž 22kW. Dalším hlavním uváděným parametrem je šířka pracovního prostoru. *Dle tabulky 2* je možné rozmezí 600 mm až 1200 mm [10]. Zde se při návrhu nahlédnulo do *tab. 3* dostupné od firmy ODES s.r.o. k jejich drtičům řady DRD. Dle této tabulky se zvolil pracovní prostor o šířce 840 mm. Dle této tabulky se rovněž vybral další hlavní uváděný parametr, šířka segmentu. Z dvou možných byla z důvodu požadavku na výslednou frakci vybrána šířka segmentu b = 52 mm. Na základě zvolených atributů lze předpokládat z dostupných informací od firmy ODES s.r.o., že vlastní návrh bude mít kapacitu drcení cca 2,5 ÷ 5 tun za hodinu[11].

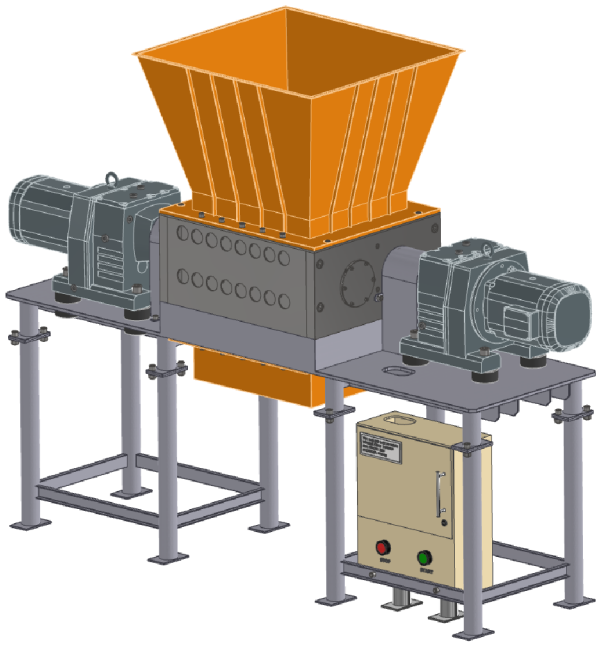
Tab. 3 Varianty provedení konstrukce DRD [11]

Typ	Pracovní plocha [mm]	Šíře segmentů [mm]	Příkon [kW]	Hmotnost [kg]
DRD 840	840 x 800	52, 72	2x22, 2x30	4500
DRD 1160	1160 x 800	52, 72	2x22, 2x31	5200
DRD 1300	1300 x 800	52, 72	2x22, 2x32	6000
DRD 1670	1670 x 800	72	2x22, 2x33	6700

Dle hlavních zvolených parametrů podle běžně používaného označení dostává vlastní návrh drtiče odpadu název DBP 2x22 kW 840/52. D v DBP označení stojí obecně pro drtiče. BP pak ze skutečnosti, že návrh vznikl pro potřeby bakalářské práce. Dalšími údaji uváděnými na štítku společně se zmíněnými hlavními parametry jsou výrobní číslo, rok výroby a hmotnost. Výrobní číslo zde tvoří datum odevzdání této bakalářské práce. Rok výroby taktéž odpovídá roku, ve kterém tato bakalářská práce byla odevzdána. Hmotnost pak byla zjištěna po dokončení modelování v programu Autodesk Inventor Professional 2023. Hmotnost celé sestavy činí 4394,62 kg. Na štítku se uvádí v zaokrouhleném stavu, a to zde činí 4400 kg.

5.4 Dílčí části konstrukce vlastního návrhu

Tato kapitola se věnuje jednotlivým dílům drtiče s odůvodněním, proč, kde a jaké díly byly použity a následně vymodelovány v programu Autodesk Inventor Professional 2023 *viz obr. 14.*



Obr 14. 3D model sestavy vlastního návrhu

5.4.1 POHONNÁ STANICE

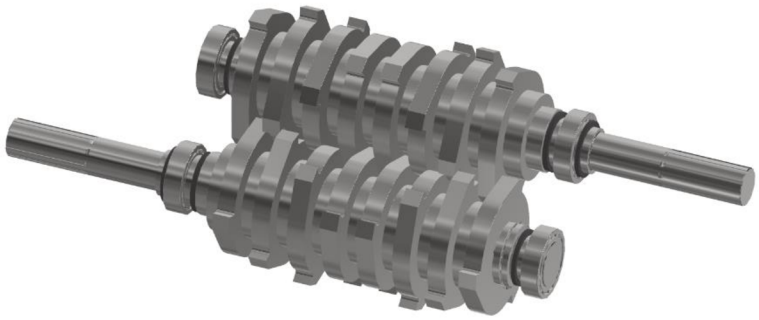
Na základě výpočtů a tabulky s údaji pro výběr elektromotoru pro jeden hřídel byl zvolen elektromotor od firmy Nord-poháněcí technika s.r.o. o výkonu P = 22 kW, který bude zakoupen v sestavě s čelní převodovkou s označením SK 103 - 180LP/4 TF. Tyto sestavy budou v konstrukci dvě, protože vlastní návrh je typ s pohonem dvou samostatných elektromotorů. Tento dodavatel byl vybrán na základě faktu, že tyto elektromotory s danými převodovkami vyrábí na zakázku pro konstrukce DUC16 pro firmu UNIKASSET spol. s.r.o. Hlavními uváděnými parametry v této sestavě jsou otáčky elektromotoru n_{em} = 1475 ot/min, využívá standartní síťový provoz či provoz s měničem frekvence, převodový poměr i_p = 81,4, výstupní otáčky n_v = 18,1 ot/min → Zaokrouhleno dále na n_v = 18 ot/min. Od firmy Nord-poháněcí technika s.r.o. rovněž volím ovládací skříň s označením SK 155E [19].

Vzhledem k tomu, že firma UNIKASSET spol. s.r.o. nepoužívá žádné pružné spojky mezi elektromotorem a převodovkou ani mezi převodovkou a drtičem, musí být pohon schopný zabránit mechanickému přetížení drtiče. Je tak učiněno a zabráněno elektronickým řízením pohybu. V praxi to pak vypadá tak, že se při větším rázu provoz zastaví, udělá zpětný chod a znovu se uvede do pohybu [10].

Firma NORD-poháněcí technika s.r.o. nemá pro dané typy dostupné cad modely těchto součástí, a tak jsou v sestavě modelu a ve výkresech sestavy pouze ukázkové modely toho, jak by to v realitě mohlo vypadat [19].

5.4.2 HŘÍDELE A JEJICH ULOŽENÍ

Dvě hřídele jsou navrhovány na základě výpočtu nejmenšího možného průměru a následně jsou volené potřebné osazení, délky a drsnosti s tolerancemi pro další díly a uložení hřídelů. Obě hřídele jsou navrženy stejně, takže všechny použité díly včetně hřídelů jsou totožné. Je tak učiněno z důvodu zachováni stejných postupů výroby a montáže.



Obr 15. Sestavené díly ke hřídelům

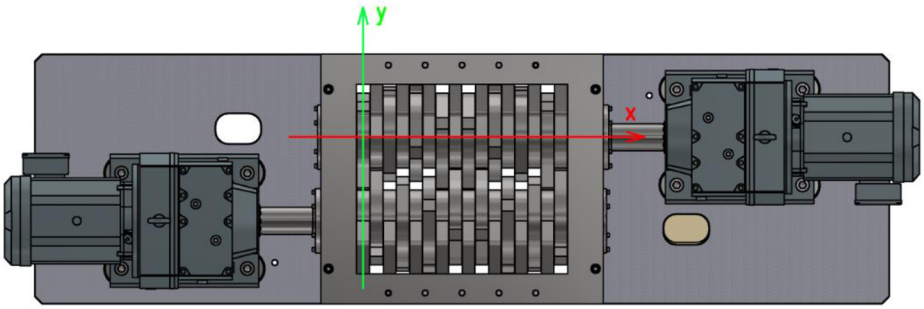
Na hřídele, jak již bylo zmíněno ve výpočtech, bude použit materiál 1.7225 (známý též jako 42CrMo4 a 15142) [16].

Každý hřídel bude uložen pomocí dvou soudečkových ložisek SKF 23026 CC/W33 v bočnicích [22]. Hřídele jsou dále opatřeny patřičnými hřídelovými těsněními typu GP. Jedná se o gufera s prachovkou zvolené podle normy ČSN 9401.1 [2].

5.4.3 DRTÍCÍ (PRACOVNÍ) PROSTOR

Drtícím (pracovním) prostorem je zde rozuměn prostor mezi stěnami stěračů a prostor mezi vnitřními kryty skříně. Mezi prostor vnitřních krytů skříně je obecně brán jako hlavní rozměr pracovního prostoru, který se nachází i v samotném označení drtiče. Mezi prostor stěn stěračů je pak brán jako vedlejší rozměr a běžně se neuvádí. V případě vlastního návrhu vychází hlavní rozměr pracovního prostoru na 839,75 mm → uvádí se v zaokrouhleném stavu a to tedy 840 mm. Vedlejší rozměr pracovního prostoru činí 754,5 mm → v zaokrouhleném stavu 755 mm.

Kromě hřídelů, jež zde vykonávají otáčivý pohyb navzájem proti sobě ve stejně proti sobě nastaveném stavu, jsou zde zvoleny patřičné drtící segmenty a distanční kroužky pro tyto segmenty. Zvolením pracovního prostoru 840 mm a šíří segmentů b = 52 mm, musely být distanční kroužky navrženy tak, aby na mezi stěny proti sobě jdoucích nožích v ose x byla vůle 0,25 mm. Další vůle, jež muselo být dodrženo, je rozměr v ose y od maximálního průměru segmentu D_{smax} po maximální průměr distančního kroužku d_{sdkmax} ve chvíli, když jsou si nejblíže. Tato vůle má mít 0,5 mm. Poslední vůlí, jež je třeba dostát, je vzdálenost stěn segmentů a stěn stěračů. V ose x tato vůle činí 1,5 mm a v ose y od maximálního průměru segmentu D_{smax} od stěny stěrače rovněž 1,5 mm. Tyto vůle jsou zvoleny na základě konzultace s konstruktérem z firmy UNIKASSET spol. s.r.o [10]. Osy x a y *dle obr. 16.*



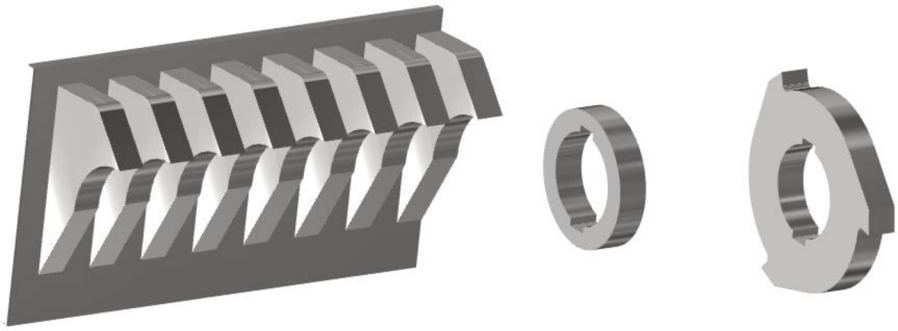
Obr 16. Osa y a y vzhledem k drtícímu prostoru

5.4.4 DRTÍCÍ SEGMENTY, DISTANČNÍ KROUŽKY A STĚRAČE

Výsledné rozměry pro drtící segmenty činí konečně šířka segmentu b = 52 mm, maximální průměr segmentu D_{smax} = 419 mm a výška záběrového břitu a = 31,87 mm. S přičtením vůle 0,5 mm se výsledná frakce drží v požadovaném rozmezí 25 ÷ 35 mm. Počet těchto segmentů na hřídeli tak celkem dělá n_z = 8. Nutno ještě dodat, že jsou celkem čtyři různé segmenty. Odlišnost je v drážkách pro pero. Všechny segmenty mají od sebe drážku pootočenou o 180°. Rozdíl pak nastává v pootočení těchto drážek o 33° vůči předchozímu segmentu. Segmenty tak budou na hřídeli v pořadí 1, 2, 3, 4, 4, 3, 2, 1. Tímto způsobem je z břitů vytvořen tvar „V“, kterým je docíleno efektivnějšího drcení a tím zamezeno rázům. Drtící segmenty budou vyrobeny z otěruvzdorného materiálu Hardoxu 450 s návary z tvrdokovu.

Distanční kroužky pro segmenty pak musí mít šířku b_{dk} = 52,5 mm, maximální průměr d_{sdkmax} = 245 mm. Osa symetrie distančního kroužku v y směru na jednom hřídeli se shoduje s osou symetrie segmentu v y směru na druhém hřídeli. Z toho vyplývá, že je použitý stejný počet distančních kroužků jako je celkem segmentů. Materiál těchto kroužků se volí stejný jako u segmentů, v případě vlastního návrhu to je Hardox 450 (bez návarů z tvrdokovu).

Posledním funkčním dílem v pracovním prostoru jsou stěrače. Jedná se buď o sestavu z boční stěny a samotných stíracích částí, které jsou ke stěně přišroubovány, nebo se jedná o jeden svařený kus. Záleží na návrhu konstrukce, aby byla snadná montáž a demontáž. Ve vlastním návrhu jsou stěrače brány jako jeden svařený kus, protože to nebude mít žádný negativní vliv na montáž či demontáž. Osa symetrie stíracích prvků v y směru opět musí odpovídat ose symetrie distančního kroužku v y směru a na vzdálenější hřídeli ose symetrie drtícího segmentu v y směru. Stírací prvek z části kopíruje tvar distančního kroužku s vůlí 1,5 mm. Svařenec stěrače je v sestavě dvakrát. Jedná se o dva stejné kusy, které jsou připevněny k bočním stěnám skříně a kopírují tvar hřídelů proti sobě. Stěrače jsou rovněž vyrobeny z Hardoxu 450 (bez návarů z tvrdokovu).

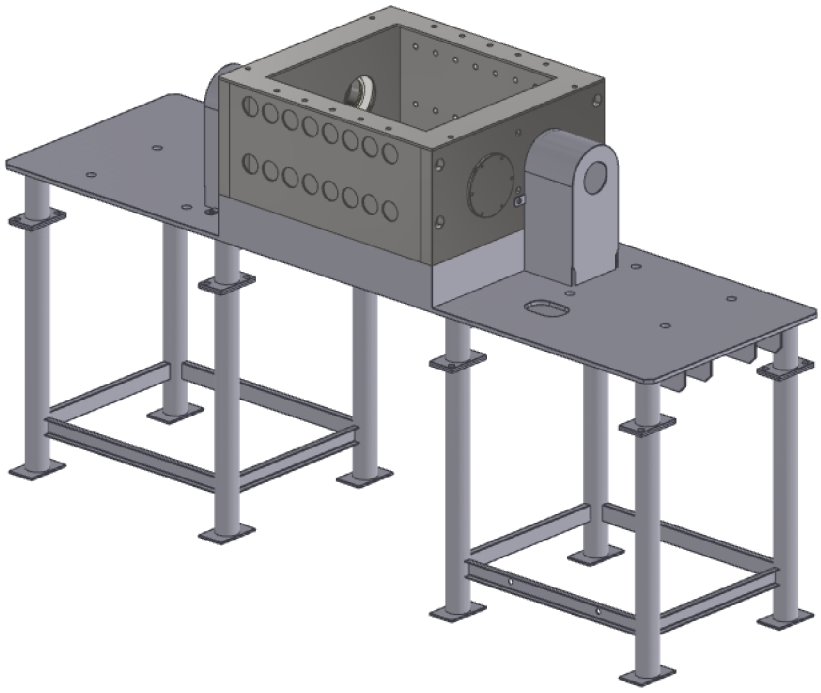


Obr 17. Stěrače, distanční kroužek a drtící segment

5.4.5 SKŘÍŇ A STŮL

Skříň je ve vlastním návrhu tvořena dvoumi dvakrát použitými bočnicemi, které jsou, stejně jako hřídele a stěrače, navrženy tak, aby se mohl použít dvakrát stejný kus. Tyto bočnice jsou svařenci s technologickými úpravami pro možnou montáž. Zevnitř směrem od pracovního prostoru k těmto bočnicím jsou proti sobě v ose x kryty skříně, které jsou opět jedním kusem použitým dvakrát. Zvenku jsou k bočnicím proti sobě v tentýž ose průchozí a neprůchozí přírubové víka. Na průchozí víka jsou souvisle napojeny kryty hřídelí. Kryty hřídelí jsou kromě skříně připojeny také ke stolu. Poslední částí skříně je kryt, který je připevněn ze shora. Všechny zmíněné spoje ve skříni jsou dosaženy pomocí šroubových spojů.

Skříň je usazena na stolu. Stůl je navržen tak, aby byl dostatečně robustný a odolný vůči rázům. Kromě skříně a krytů hřídelů jsou ke stolu za pomoci silentbloků připevněny elektromotory s čelní přírubovou převodovkou. Tento stůl je pak připevněn ze spodu na nástavbu stolu pomoci šroubových spojů. Výška této nástavby je navržena podle tabulky 1 z důvodu potřeby dostatečného místa na umístění pásového dopravníku. Stůl využívá nástavbu z důvodu případné konfigurace a umístění drtiče k jiným účelům. Komponenty skříně, stůl i nástavba stolu jsou z materiálu S355.



Obr 18. Stůl, nástavba stolu a součásti skříně

5.4.6 NÁSYPKA A VÝSYPKA

Násypka je svařený díl trychtýřovitého tvaru, který je ke skříni z hora připevněn pomocí šroubů. Násypka prodlužuje pracovní prostor v ose z a pomáhá odpadu snadněji vstupovat do pracovního prostoru drtiče.

Výsypka je připevněna ke stolu ze spodu rovněž pomocí šroubů a rovněž je připevněna za účelem prodloužit pracovní prostor, kde v tomto případě propadá již nadrcený odpad na požadovanou frakci.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření konstrukčně technického návrhu drtiče odpadů, který vychází z provedené rešerše konstrukcí a příslušných výrobců pro drcení odpadu. Pro konstrukční návrh se vycházelo z drtiče DUC 16 od firmy Unikasset.

Výsledkem rešeršní části je ucelený přehled o dostupných drtičů odpadů na trhu, jejich popis a zohlednění výhod a nevýhod. Dále obsahuje popis zařazení drtičů odpadů do drtících linek a přibližuje čtenáři stroje, které se v těchto linkách používají.

Návrh byl proveden po konzultaci s firmou Unikasset a po zohlednění výhod dvouhřídelových drtičů odpadů dostupných na trhu se zachováním stávajících rozměrů drtiče DUC 16. Byly provedeny potřebné výpočty pro ověření použitého pohonu a přenosu kroutících momentů na základě vědění, že bude vlastní návrh drtiče koncipován pro odpadní materiál dřeva, pneumatik, plastu, papíru a lepenky. Všechny vypočítané hodnoty byly dostatečně nadimenzovány, aby v provozu drtič odpadu vydržel.

Z návrhu pak byl vytvořen sestavný výkres, který obsahuje všechny náležité informace.

Posledním výstupem z této práce byl vytvořen 3D model sestavy, který byl vytisknut na 3D tiskárně. Učiněno tak bylo z důvodu dostání fyzického modelu, na kterém lze demonstrovat princip drcení odpadu na vlastním návrhu drtiče.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: Vysoké učení technické, 1988. Učební texty vysokých škol. ISBN 1524.

[2] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. Fourth Edition. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012. ISBN 978-0-230-57663-6.

[3] VOŠTOVÁ, Věra a Jiří FRIES. Zpracování pevných odpadů. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02672-8.

[4] Bubnové drtiče odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.deostech.cz/drtice/bubnove_drtice

[5] Čtyřhřídelové drtiče odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.deostech.cz/drtice/ctyrhridelove_drtice

[6] Dopravníky [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: http://www.odes.cz/zarizeni/dopravniky

[7] Drtiče DEOSTECH [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.deostech.cz/drtice

[8] Drtič DUC, dvouhřídelový pomaloběžný [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.unikasset.cz/aktuality/drtic-duc16-600-50-30kw-do-spolecnosti-ustav-jaderneho-vyzkumu-rez-u-prahy-15/

[9] Drtiče odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: http://www.odes.cz/zarizeni/drtice-odpadu

[10] Dvouhřídelové drtiče [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.unikasset.cz/produkty/drtice-jednomotorove/

[11] Dvouhřídelové drtiče odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: http://www.odes.cz/zarizeni/drtice-odpadu/dvouhridelove

[12] Drtiče VECOPLAN [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://vecoplan.com/en

[13] Drtiče LINDER [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://alpinetech.cz/lindner/stacionarni-drtice/univerzalni-drtice/

[14] Jednohřídelové drtiče odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.deostech.cz/drtice/jednohridelove_drtice

[15] Katalog odpadů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.katalogodpadu.cz/odpad/odpady-ze-zdravotnictvi-a-veterinarni-pece-a-nebo-z-vyzkumu-s-nimi-souvisejiciho-s-vyjimkou-kuchynskych-odpadu-a-odpadu-ze-stravovacich-zarizeni-ktere-se-zdravotnictvim-bezprostredne-nesouvisi/

[16] Materiál hřídelů [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-42crmo4

[17] Mechanické vlastnosti dřeva [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.universityofgalway.ie/media/timberengineeringresearchgroup/Harte---2009---Introduction-to-timber-as-an-engineering-material.pdf

[18] Mechanické vlastnosti dřeva [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNNK/NNK-11.pdf

[19] NORD elektromotory [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-42crmo4

[20] Odvažovací zařízení [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.deostech.cz/odvazovaci_zarizeni

[21] Separátory [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: http://www.odes.cz/zarizeni/separatory

[22] SKF ložiska [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.skf.com/au/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-23026%20CC%2FW33

[23] Třidiče [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: http://www.odes.cz/zarizeni/tridice

[24] Výpočet drážkování [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-12.pdf

[25] Výpočet per na otlačení [online]. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 2024 [cit. 2024-05-24]. ISBN L15-B3-IV-31/41 845. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-10.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	Výška zabírajícího břitu na drtícím segmentu
b	[mm]	Šířka segmentu
b_{dk}	[mm]	Šířka distančního kroužku
d_{min}	[mm]	Minimální průměr hřídele
d_{ps}	[mm]	Průměr hřídele pod segmenty
D_s	[mm]	Střední průměr drážkového profilu
$D_{s\ max}$	[mm]	Maximální průměr na drtícím segmentu
$d_{sk\ max}$	[mm]	Maximální průměr distančního kroužku pro segmenty
F_c	[N]	Střižná síla
f_t	[-]	Součinitel tření
h_d	[mm]	Skutečná opěrná výška drážky
i	[-]	Počet drážek
k	[-]	Bezpečnost
k_1	[-]	Poměr mezi maximálním odporem ve střihu a mezí pevnosti
k_2	[-]	Zvětšení střižné síly po otupění nožů
k_3	[-]	Zvětšení boční vůle mezi střižnými noži
k_d	[-]	Korekční součinitel
l_d	[mm]	Osová délka dotyku mezi boky drážek hřídele a náboje za provozu
l_p	[mm]	Délka pera
M_{k2}	[MPa]	Kroutící moment na hřídeli na výstupu z převodovky
M_{kc}	[MPa]	Kroutící moment na drtícím segmentu
n_{em}	[ot/min]	Otáčky elektromotoru
n_v	[ot/min]	Výchozí otáčky na hřídeli
n_z	[-]	Počet segmentů na hřídeli
P	[kW]	Zvolený výkon elektromotoru
P_c	[kW]	Potřebný výkon elektromotoru
p_{dDV}	[MPa]	Dovolený tlak na bocích drážek
p_{pDV}	[MPa]	Dovolený tlak pro pera
r_{ds}	[mm]	Poloměr drtícího segmentu
$R_{e\ min}$	[MPa]	Minimální mez kluzu v hřídeli
R_{md}	[MPa]	Mez pevnosti v tahu pro dřevo
R_{mh}	[MPa]	Mez pevnosti v tahu v hřídeli

R_{mdmax}	[[MPa]]	Maximální mez pevnosti v tahu pro dřevo
S	[mm^2]	Plocha zabírajícího břitu segmentu
t_1	[mm]	Hloubka drážky v náboji
ς_{DO}	[MPa]	Dovolené napětí
τ	[MPa]	Mez pevnosti ve střihu pro dřevo
τ_{max}	[MPa]	Maximální mez pevnosti ve střihu pro dřevo
τ_{DO}	[MPa]	Dovolený krut

SEZNAM PŘÍLOH

I. VÝKRES SESTAVY - DRTIČ ODPADU_1_5

II. VÝKRES SESTAVY - DRTIČ ODPADU_2_5

III. SEZNAM ČÁSTÍ - DRTIČ ODPADU_3_5

IV. SEZNAM ČÁSTÍ - DRTIČ ODPADU_4_5

V. SEZNAM ČÁSTÍ - DRTIČ ODPADU_5_5

VI. FOTKYVYTISKNUTÉHO MODELU NA 3D TISKÁRNĚ