



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

NÁVRH MALÉ STOLNÍ KOTOUČOVÉ PILY

DESIGN OF SMALL TABLE SAWS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Krajča

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Martin Krajča**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Návrh malé stolní kotoučové pily

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení malé stolní kotoučové pily pro poloprofesionální použití. Průměr kotouče do 260 mm, výkon cca 1,5 kW, s možností bočního naklápění kotouče až do úhlu 45°. Rozměry stolu cca 600x800 mm s možností rozšíření.

Cíle bakalářské práce:

1. Důkladná analýza problematiky.
2. Návrh variant řešení a jejich technicko–ekonomické zhodnocení.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty – 3D model.
4. Výpočtová dokumentace včetně dimenzování hlavních částí .
5. Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. Brno: Naladatelství VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. Dřevo a jeho obrábění. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 978-80-247-2961-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit konstrukční řešení malé stolní kotoučové pily pro poloprofesionální účely. Nejprve je provedena důkladná analýza problematiky stolních kotoučových pil obecně. Další část je věnována průzkumu dostupných pil na trhu, především však výběru vhodného konstrukčního řešení. Výsledkem této práce je podrobně zpracovaný 3D model s výpočtovou a výkresovou dokumentací.

Klíčová slova

Malá stolní kotoučová pila, konstrukční řešení

ABSTRACT

The main aim of this bachelor thesis is to create and solve a design of a small semi-professional table saw. The first part is based on analysis of problems of table saws in general. The next part consists of a research through the market and choosing a suitable design solution. The result of this thesis is a detailed 3D model with computational and drawing documentation.

Key words

Small table saw, constructional solutions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRAJČA, M. *Návrh malé stolní kotoučové pily*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh malé stolní kotoučové pily vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne

Martin Krajča

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 ANALÝZA PROBLEMATIKY	13
1.1 Základní uspořádání kotoučové pily	13
1.1.1 Vnější uspořádání	13
1.1.2 Vnitřní uspořádání.....	14
1.2 Hlavní prvky kotoučové pily a jejich problematika.....	15
1.2.1 Pracovní stůl.....	15
1.2.2 Rám pily	15
1.2.3 Vřeteno s hřídelí	16
1.2.4 Pilový kotouč.....	16
1.2.5 Stojan.....	17
1.3 Bezpečnostní prvky kotoučové pily a jejich problematika	17
1.3.1 Kotoučová vložka.....	17
1.3.2 Rozevírací klín	18
1.3.3 Kryt pilového kotouče	18
1.3.4 Příslušenství pily	18
1.3.5 SawStop.....	18
1.4 Dělení materiálu na kotoučových pilách.....	19
1.4.1 Příčné řezy	19
1.4.2 Podélné řezy	19
2 VARIANTY NÁVRHOVÝCH ŘEŠENÍ.....	20
2.1 Klíčové prvky návrhu	20
2.1.1 Pohon pily	20
2.1.2 Mechanizmy pily.....	21
2.1.3 Odvod pilin.....	21
2.2 Produkty dostupné na trhu	22
3 VÝPOČTOVÁ DOKUMENTACE.....	26
3.1 Volba elektromotoru	26
3.2 Návrh řemene a řemenic	26
3.2.1 Osové vzdálenosti řemenic.....	27
3.2.2 Délka klínového řemene.....	27
3.2.3 Potřebný počet klínových řemenů.....	27
3.3 Mechanismus zdvihu kotouče	28

3.3.1	Pohybový šroub	28
3.3.2	Kuželové soukolí	30
3.4	Návrh hřídele	31
3.4.1	Skutečné otáčky hřídele	32
3.4.2	Kroutící moment hřídele	32
3.4.3	Řezná síla kotouče	32
3.4.4	Obvodová síla v řemenu	32
3.4.5	Síla předpětí řemenice	33
3.4.6	Statická rovnováha	33
3.4.7	Výsledné vnitřní účinky	33
3.4.8	Materiál hřídele	34
3.4.9	Kontrola hřídele	34
3.4.10	Kontrola pera těsného v hřídeli	36
3.4.11	Kontrola ložisek na hřídeli	36
4	KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY	37
4.1	Proporce stolní kotoučové pily	37
4.2	Základní vnitřní uspořádání	38
4.3	Konstrukce pracovního stolu	38
4.4	Rám pily	39
4.5	Vřeteno	39
4.6	Hlavní mechanismy pily	40
4.7	Stojan	41
4.8	Kryt pily	41
4.9	Odvod pilin	42
4.10	Bezpečnostní prvky	42
5	PEVNOSTNÍ ANALÝZA	43
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	45
	ZÁVĚR	46
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK	53
	SEZNAM PŘÍLOH	54

ÚVOD

Proces dělení dřevěných materiálů se v dnešní době hojně využívá jak ve stavebnictví pro přípravu polotovarů nejrůznějších tvarů, tak v domácnostech nejen pro naporcování dřeva sloužícímu k vytápění. Pro tyto účely bylo zapotřebí vymyslet prostředky, které dělení dřevěných materiálů usnadní.

Nástroje pro dělení prošly dlouholetým vývojem. První zmínky sahají přibližně do doby 5000 let před n.l., kdy se pro výrobu používaly malé zuby, které byly připevněny na pazourky srpkovitých tvarů. Výrazný rozvoj nastal až na konci 18. století n.l., kdy se začaly objevovat první mechanické pily, které pro svůj pohon využívaly vodní energii, páru, později taky spalovací motor.

Průlom nastal krátce po Velké francouzské revoluci, kdy byla patentována kotoučová pila, tzv. „Pila bez konce“. V současné době je trh těmito pilami doslova přesycen. Největší nevýhodu těchto pil tvoří časté úrazy, které je nutno eliminovat vhodnou konstrukcí, kde je kladen důraz nejen na ergonomii a estetiku, ale především na bezpečnost.

Cílem práce je navrhnout malou stolní kotoučovou pilu pro poloprofesionální účely. V první části práce je pozornost věnována jednotlivým prvkům pily, konstrukčním uzlům a jejich problematice. Následně je proveden průzkum trhu, z něhož vyplývá výsledný konstrukční návrh stolní kotoučové pily. Tento návrh je podložen výpočtovou a výkresovou dokumentací.

1 ANALÝZA PROBLEMATIKY

Kotoučovou pilu lze považovat za jeden z nejdůležitějších strojů, který můžeme v každém dřezpracujícím podniku najít. Bohužel jde také o stroj, který způsobuje nejvíce úrazů. Na této pile se rozdělují dřevité materiály pomocí pilového kotouče, který se otáčí jedním směrem rovnoměrnou rychlostí. [4, 7]

1.1 Základní uspořádání kotoučové pily

Stolní kotoučová pila se skládá z mnoha částí, které slouží pro soudržnost základních prvků pily pohromadě a pro zaručení správné funkce chodu kotouče. Obsahuje mechanismy, které poskytují naklápění a posouvání kotouče, ale především disponuje prvky, které zaručují bezpečnost při práci a chrání tak zdraví obsluhy.

1.1.1 Vnější uspořádání

Typickým znakem stolních kotoučových pil je uzavřený pracovní stůl s otvorem na pilový kotouč, který je umístěný na stojanu. Pro zajištění bezpečného uložení obrobku na stole, lze pracovní stůl rozšířit. Na obrázku 1-1 lze vidět vnější uspořádání kotoučové pily. [4]

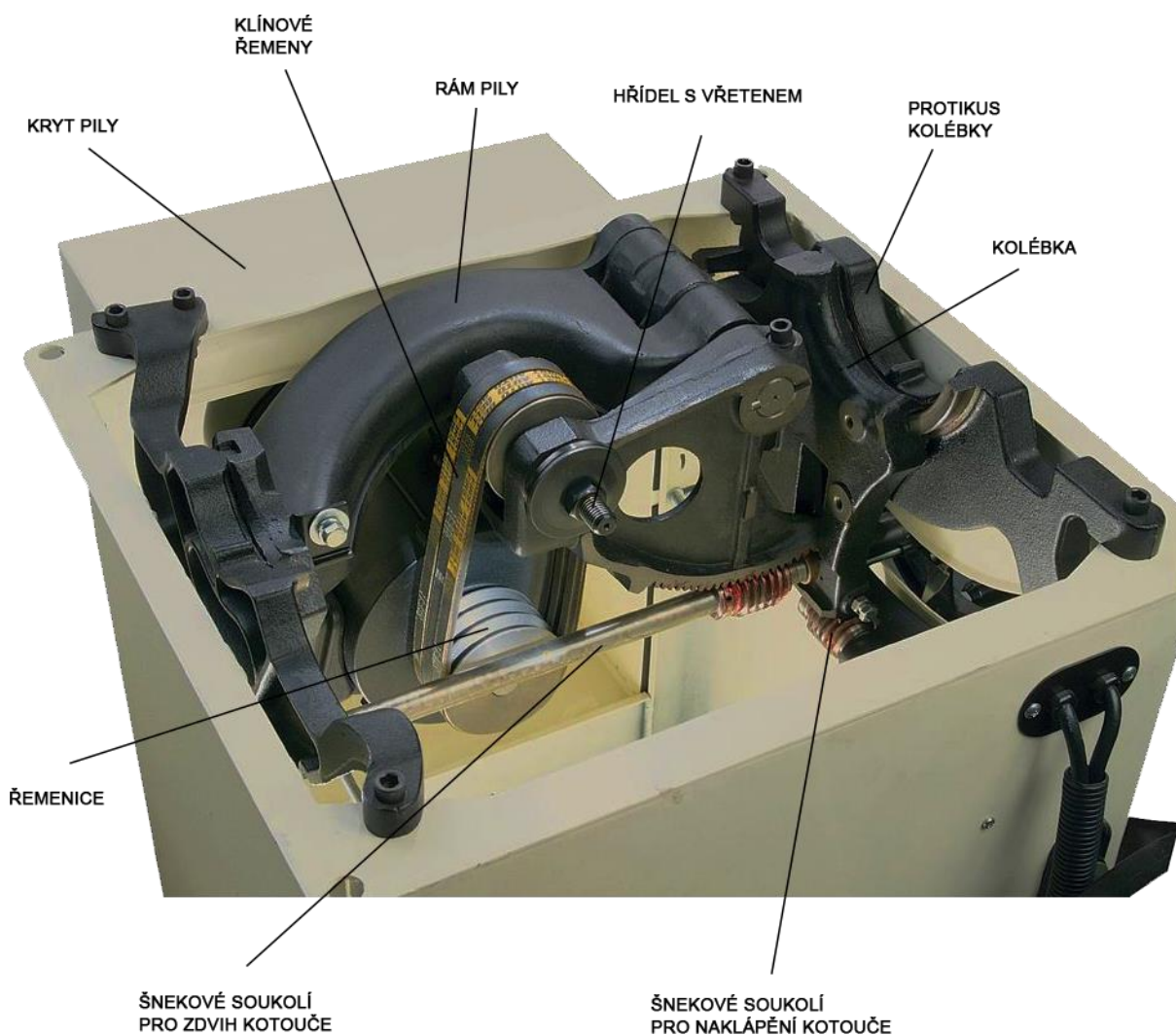


Obr. 1-1 Vnější uspořádání kotoučové pily [26]

1.1.2 Vnitřní uspořádání

Aby bylo možné pilový kotouč při práci vertikálně posouvat a naklápět, je zapotřebí patřičných mechanismů, které musí spolehlivě fungovat. Tuto funkci zajišťuje dvojice šnekových soukolí, které lze vidět na obrázku 1-2. [10]

Pro korespondenci místa řezu s pravítky je zapotřebí, aby byla osa naklápění kotouče na horní straně pracovního stolu. Toto uložení osy zajišťuje kolébka, která je pevně spojena s rámem pily a protikus kolébky přišroubován ke krytu.



Obr. 1-2 Vnitřní uspořádání kotoučové pily [27]

1.2 Hlavní prvky kotoučové pily a jejich problematika

1.2.1 Pracovní stůl

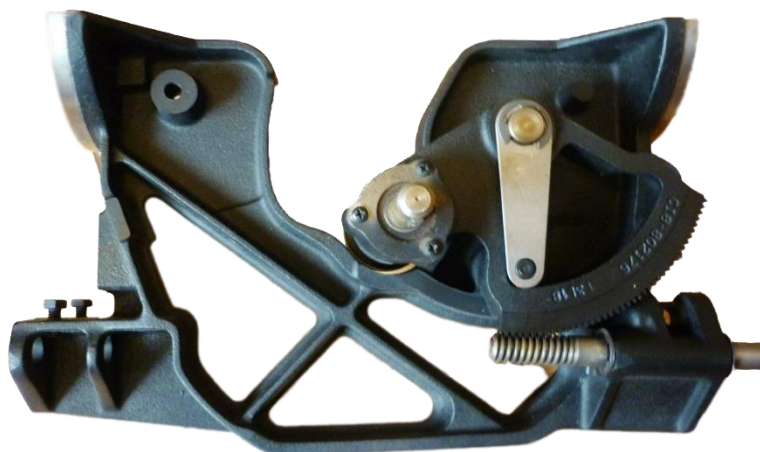
Pracovní stůl představuje základní manipulační plochu, na které je materiál umístěn a následně rozdělen. Dělený materiál musí po povrchu stolu hladce klouzat bez většího tření a zároveň se nesmí stůl prohýbat. Je tedy zapotřebí, aby pracovní stůl splňoval určité požadavky, mezi něž patří pevnost materiálu a hladkost povrchu. Obvykle se vyrábí ze slitiny hliníku.

Pracovní stůl je opatřen otvorem pro pilový kotouč. Na horní stranu stolu je možné umístit vodící pravítko pro podélné řezy a úhlové (příčné) pravítko, které slouží pro příčné řezy. Jestliže je to nutné, není problém obě pravítka demontovat a využít tak celou plochu pracovního stolu. [7, 9]

Vzhledem k tomu, že se musí při opracování pohybovat obrobek po stole, může nastat problém s jeho bezpečným uložením, obzvlášť při velkých formátech zpracovávaného materiálu. Zejména omítací řezy vyžadují speciální přípravky pro vedení řezu. Z těchto důvodů lze pracovní stůl rozšířit buďto přípojným stolem, nebo zabudovaným rozšířením stolu, v případě že ním daná kotoučová pila disponuje. [4]

1.2.2 Rám pily

Funkcí rámu pily je spojovat jednotlivé součásti a mechanismy. Tyto spoje jsou především šroubové, což zajišťuje jednoduchou demontáž a následnou údržbu. Součástí rámu bývají tzv. „kolébky“, které zajišťují přesné naklápění kotouče. Tato kolébka je spolu s rámem vyráběna jako odlitek. Pro redukci váhy bývá rám opatřen odlehčujícími otvory, jak lze vidět na obrázku 1-3.



Obr. 1-3 Rám pily [20]

1.2.3 Vřeteno s hřídelí

Klíčovým prvkem stolní kotoučové pily je vřeteno, které obsahuje hřídel spolu s pilovým kotoučem. Pro dosažení přesného řezu kotouče musí být uložení hřídele ve vřetenu navrženo tak, aby došlo k eliminaci axiálních vůlí. Běžně je hřídel uložena ve dvou ložiscích, které mají axiálně zajištěný vnitřní i vnější kroužek. [17]

Na hřídeli je nalisována a perem zajištěna řemenice, na kterou je pomocí klínového řemene přenášen kroutící moment elektromotoru. Pilový kotouč je na hřídeli zajištěn pomocí dvojice přírub. V případě, že je mechanismus zdvihu kotouče řešen přes šnekové soukolí, může být součástí vřetena také šnekové kolo, které lze vidět na obrázku 1-5.



Obr. 1-4 Hřídel s řemenicí [3]



Obr. 1-5 Vřeteno s hřídelí [28]

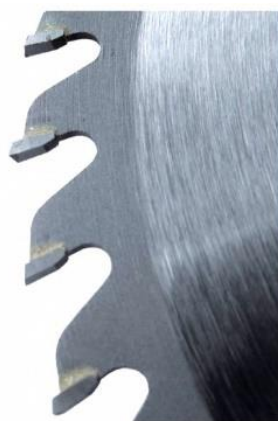
1.2.4 Pilový kotouč

Volba správného pilového kotouče vychází především z druhu materiálu, který je potřeba rozdělit, ale také z řezné rychlosti a požadované kvality řezu. Základní materiály pro výrobu pilových kotoučů jsou nástrojové uhlíkové, nebo legované oceli. Dnes je velmi rozšířená také varianta s plátkou slinutých karbidů, jak lze vidět na obrázku 1-7. Z důvodu hospodárnosti, bývá na méně kvalitním tělese kotouče přivařen pruh velmi tvrdého kovu, kde je vybroušeno ozubení. [4, 9]

Pravidelnosti jednotlivých zubů kotouče, jejich tvar a stejné velikosti mezer bývají často příčinou rozkmitání kotouče a ucpávání řezu pilinami. To způsobuje kratší životnost a nižší výkon. Vlastnosti moderních kotoučů byly zlepšeny změnou profilů zubů a jejich nepravidelnou roztečí. [9]



Obr. 1-6 Pilový kotouč [16]



Obr. 1-7 Detail SK [16]

1.2.5 Stojan

Stojan neboli podstavec stolní kotoučové pily se obvykle skládá z dutých profilů, které jsou spojeny čepy. Nejen pro nastavení výšky pracovního stolu, ale také pro uskladnění bývá mobilní stojan vybaven pohybovým šroubem, který zajistí posouvání pracovní plochy ve vertikálním směru. Pro jednoduchou manipulaci a mobilitu bývá vybaven také koly, která lze zabrzdit. Tento typ stojanu je zobrazen na obrázku 1-8.

Dalším typem je stojan pevný na obrázku 1-9, jehož rám tvoří sešroubované profily. Tento stojan je mnohdy součástí balení při zakoupení stolní kotoučové pily, na rozdíl od stojanu mobilního, který převážně tvoří příslušenství, jež lze dokoupit.



Obr. 1-8 Mobilní stojan [14]



Obr. 1-9 Pevný stojan [15]

1.3 Bezpečnostní prvky kotoučové pily a jejich problematika

Mezi základní bezpečnostní prvky každé stolní kotoučové pily patří kotoučová vložka, rozevírací klín, ochranný kryt kotouče a odsávání pilin. Mimo jiné samozřejmě kryty, které zcela zakrývají pilový kotouč nejen nad ním, ale i pod ním. [4]

1.3.1 Kotoučová vložka

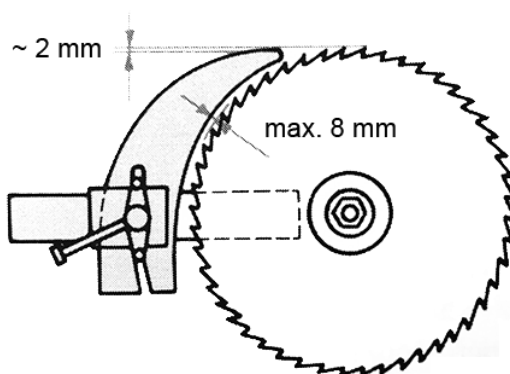
Kotoučová vložka (obrázek 1-10) má vyřezaný otvor pro pilový kotouč a je umístěna v pracovním stole. Důležitou roli hraje mezera mezi pilovým kotoučem a vložkou. V případě, že je mezera příliš velká, může dojít ke zpětnému rázu vlivem uvíznutí části materiálu právě v této mezeře. Toto riziko nastává především při provádění úzkých podélných řezů. Při širokých podélných řezech zaklínění nehrozí, stejně jako při řezech příčných. Vložka bývá vyrobena převážně z plastu či dřeva. [19]



Obr. 1-10 Kotoučové vložky [6]

1.3.2 Rozevírací klín

Pro bezpečný řez je nutno držet řeznou spáru otevřenou během dělení materiálu. Hlavní funkcí rozevíracího klínu je zabránit zaklínění a zpětnému vrhu materiálu. Nachází se v těsné blízkosti za pilovým kotoučem (viz obrázek 1-11). Musí být pevně zajištěn, aby nedošlo k nechtěnému samovolnému sklopení. Maximální vůle mezi řeznou kružnicí a hranou rozevíracího klínu je stanovena na 8 mm. Hrot zubu by měl ležet asi 2 mm nad špičkou klínu, aby bylo možno provádět skryté řezy. Důležitým rozměrem je šířka klínu, která musí být tlustší než pilový kotouč, ale zároveň tenčí než řezná spára. V případě, že je pilový kotouč vyměněn za menší, je nutno přizpůsobit pozici klínu pro aktuální kotouč. [4, 7]



Obr. 1-11 Rozevírací klín [4]

1.3.3 Kryt pilového kotouče

Úlohou krytu pilového kotouče je chránit obsluhu před odletujícími třísky z místa řezu, ale také zapříčinit kontaktu pilového kotouče s lidskou končetinou. V případě používání kotoučů většího průměru nežli 250 mm, musí být kryt kotouče umístěn mimo rozevírací klín. [4, 7]

1.3.4 Příslušenství pily

Mezi bezpečnostní příslušenství pily patří pomocný (odsuvný) kolík, který je třeba využít, jestliže je odstup k pravítku příliš malý. V případě že je odstup mezi pravítkem a krytem pilového kotouče úzký i na odsuvný kolík, je nutno použít omítací přípravek a držák odřezků. Při příčných řezech krátkých kusů je třeba posouvat obrobek pomocným přípravkem. [4]

1.3.5 SawStop

V případě, že je stolní kotoučová pila vybavena bezpečnostním systémem SawStop, dokáže rozpoznat kontakt s rukou obsluhy. Celý systém funguje na principu elektrického náboje, který kotouč nese. Destruktivní brzda v milisekundě dokáže zastavit kotouč v případě, že tento náboj poklesne vlivem kontaktu s lidskou kůží. Tato brzda obsahuje speciální prvek, který se při aktivaci zdeformuje v zubu pilového kotouče. [21]

1.4 Dělení materiálu na kotoučových pilách

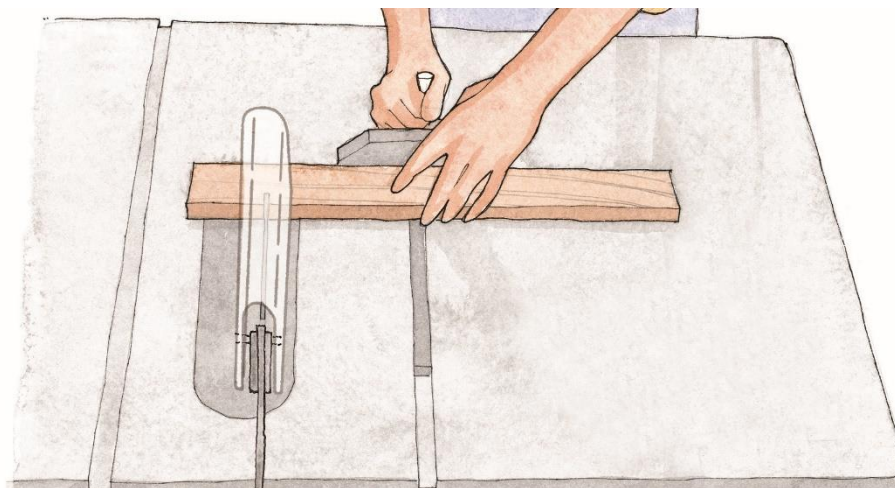
Při obsluze stolní kotoučové pily je nutno dodržovat základní bezpečnostní předpisy, aby se zabránilo případným zraněním.

1.4.1 Příčné řezy

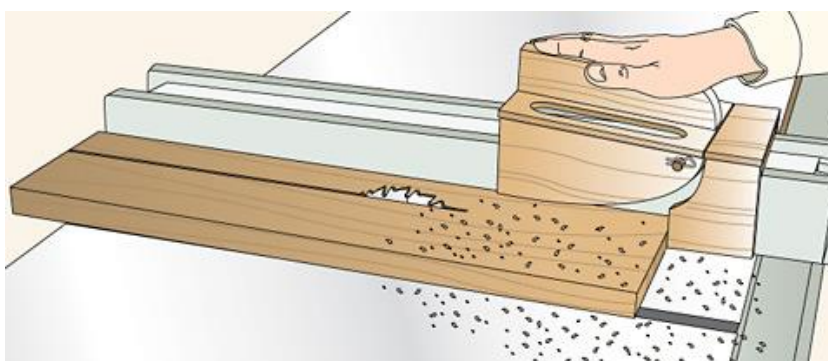
Pro docílení příčného či šikmého řezu se používá příčné (úhlové) pravítko. Na tomto pravítku lze nastavit požadovaný úhel. V případě dělení velkoformátové desky je možno pro příčný řez využít výsuvné rozšíření pracovního stolu, případně přidat stůl pomocný. Z důvodů bezpečnosti musí obsluha stát mimo nebezpečnou oblast, tedy na straně vedle stolní kotoučové pily. Příčný řez je možno vidět na obrázku 1-12. [7]

1.4.2 Podélné řezy

V případě podélného řezání (obrázek 1-13) lze pro požadovaný rozměr využít vodícího pravítka. Při provádění těchto řezů, je z hlediska bezpečnosti důležité stát celým tělem na levé straně od kotouče, jelikož je zde riziko zpětného rázu. Při řezání úzkých řezů je třeba vést materiál ke kotouči pomocí podávací rukojeti. [4, 7]



Obr. 1-12 Příčný řez s užitím úhlového pravítka [18]



Obr. 1-13 Podélný řez s užitím podávací rukojeti [18]

2 VARIANTY NÁVRHOVÝCH ŘEŠENÍ

2.1 Klíčové prvky návrhu

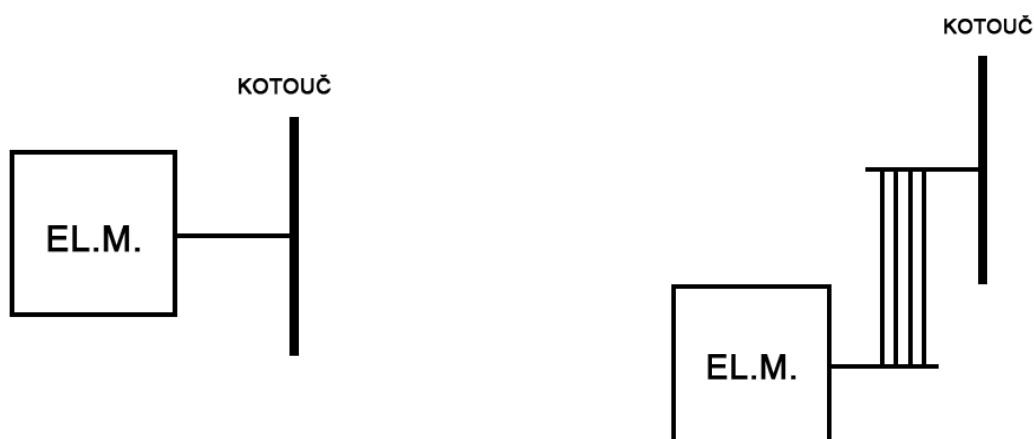
Stolní kotoučová pila obsahuje spoustu klíčových prvků, na které musí konstruktér dbát ohled při samotném návrhu řešení. V této kapitole jsou rozebrány pouze prvky základní, ze kterých vychází finální návrh viz kapitola 4.

2.1.1 Pohon pily

Základním klíčovým prvkem konstrukce stolní kotoučové pily je její pohon. K tomu se využívá pohonných strojů, obvykle elektromotorů. Od rozměrů elektromotoru se následně odvíjí rozměry krytu kotoučové pily. Pohonná síla, kterou poskytuje elektromotor je přenášena na hřídel pracovního stroje dvěma základními typy pohonu. [4]

Prvním typem je pohon přímý (obrázek 2-1), kde je nástroj pracovního stroje přímo spojen pomocí hřídele s elektromotorem. Tento typ pohonu se využívá jak u ručních přístrojů z důvodu jejich snadné ovladatelnosti, tak u stolních kotoučových pil. Další typ pohonu je pohon nepřímý (obrázek 2-2). Hřídel elektromotoru je nejčastěji spojená s hřídelí pracovního stroje pomocí prvku se silovým stykem (klínový řemen). Tento pohon je u malých stolních kotoučových pil méně používaný. Naopak jeho častější výskyt je u pevně instalovaných dřevoobráběcích strojů. Největší výhodou nepřímého pohonu je možnost změnit otáčky výstupní hřídele pracovního stroje pomocí změny průměrů hnané a hnací řemenice. Další výhodou oproti pohonu přímém je ochrana motoru při přetížení, jelikož může dojít k prokluzu nebo ke spadnutí řemene. [4, 9]

U konstrukční varianty v podobě nepřímého pohonu je nutno brát v potaz napnutí klínového řemene. Nejběžnější způsob napínání se provádí kyvným uložením motoru, či napínacími kladkami. Aby řemen přenesl rotační pohyb z hnací řemenice elektromotoru na hnanou řemenici pracovního stroje je důležité, aby měl řemen při běhu určité napětí. V případě, že řemen není dostatečně napnut, může způsobit smekání a prokluz na řemenici. [4]



Obr. 2-1 Přímý pohon kotouče

Obr. 2-2 Nepřímý pohon kotouče

2.1.2 Mechanizmy pily

Dalším klíčovým prvkem, ze kterého vychází finální návrh konstrukce stolní kotoučové pily je způsob naklápění a zdvih kotouče. Nejčastějším mechanismem je šnekový převod (viz obrázek 2-3), který se skládá ze šnekového hřídele a šnekového kola. Šnekové kolo bývá pevně spojeno s rámem, zatímco šnekový hřídel je uložen v ložiscích v krytu pily. Při tomto způsobu je nutno brát ohled na osu rotace šnekového kola, která musí být umístěna na vhodném místě, aby nedocházelo ke vzájemným kolizím.

Jelikož zdvih kotouče může být řešen jak rotačním (šnekové soukolí), tak translačním pohybem, je možno realizovat mechanismus pomocí pohybového šroubu (obrázek 2-4). Nevýhodou pohybového šroubu je především vysoká cena a složitá výroba.



Obr. 2-3 Šnekový mechanismus [24]

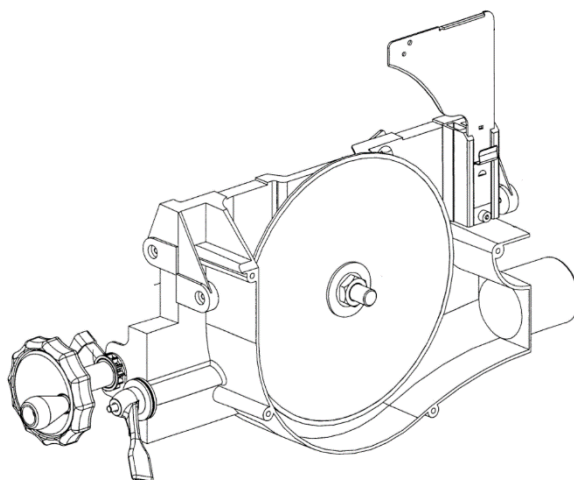


Obr. 2-4 Pohybový šroub [8]

2.1.3 Odvod pilin

Pro správnou funkci pracovního stroje je třeba zajistit, aby piliny odcházely ven z prostoru pily a nikde se nehromadily. To zajišťuje sběrač pilin, který je umístěn na rámu uvnitř krytu pod pilovým kotoučem, viz obrázek 2-5. Na tento sběrač je možno připojit centrální odsávání.

Některé modely stolních kotoučových pil mají kromě sběrače pilin pod kotoučem také možnost odsávání pilin a prachu přímo v místě řezu. Toto odsávání je zabudováno v krytu pilového kotouče.



Obr. 2-5 Sběrač pilin [22]

2.2 Produkty dostupné na trhu

- **Bosch PTS 10**



Obr. 2-6 Bosch PTS 10 [1]

Tab. 2-1 Parametry pily Bosch PTS 10 [1]

Parametry	
Typ pily	Okružní
Příkon elektromotoru	1400 W
Hmotnost pily	23,5 kg
Volnoběžné otáčky	5000 min ⁻¹
Řezný uhel	0 až 45°
Prořez (při 0° / při 45°)	75 mm / 63 mm
Maximální průměr kotouče	254 mm
Rozměry (d × š × v)	620 × 770 × 450 mm
Cena pily	10 206,- Kč

Kromě výše zmíněných parametrů, stolní okružní pila Bosch PTS 10 navíc disponuje postranním prodloužením s přidavným paralelním dorazem a také dorazem pro velmi úzké kusy obráběného materiálu. Stůl lze také rozšířit na zadní straně pily, což dovoluje pohodlné řezání velkých kusů materiálu. V případě aktivního rozšíření dosahují rozměry pracovního stolu velikosti 830 × 905 mm. Naklápění kotouče i jeho zdvih je řešeno pouze pomocí jednoho ručního kola, které má dvě polohy a nachází se na přední straně pily. Průměr hřídele je přizpůsoben pilovému kotouči s vrtáním 30 mm. Většina prvků této kotoučové pily je vyrobena z hliníku. Z hlediska ekonomického spadá tato kotoučová pila do relativně levné cenové třídy, vůči její konkurenci. [1]

- **Makita MLT100X**



Obr. 2-7 Makita MLT100X [12]

Tab. 2-2 Parametry pily Makita MLT100X [12]

Parametry	
Typ pily	Stolní kotoučová
Příkon elektromotoru	1500 W
Hmotnost pily	38 kg
Volnoběžné otáčky	4500 min ⁻¹
Řezný uhel	0 až 45°
Prořez (při 0° / při 45°)	91 mm / 63 mm
Maximální průměr kotouče	255 mm
Rozměry (d × š × v)	726 × 984 × 333 mm
Cena pily	16 616,- Kč

Stolní kotoučová pila Makita MLT100X má integrovány výsuvné držáky stolu a také posuvné podpěry pro příčné řezy. Jestliže je rozšíření stolu aktivní, rozměry pracovního stolu dosahují velikosti 835 × 1155 mm. Rozběh motoru je pozvolný, naopak o zastavené kotouče se stará elektrická brzda. Průměr hřídele je přizpůsoben pilovému kotouči s vrtáním 30 mm. Spolu s touto pilou bývá někdy součástí balení také pohyblivý stojan a pilový kotouč. Vůči předchozímu porovnávanému modelu je tato pila nepatrně dražší, pořád však spadá do nízké cenové kategorie. [12]

- **DeWALT DWE7491**



Obr. 2-8 DeWALT DWE7491 [2]

Tab. 2-3 Parametry pily DeWALT DWE7491 [2]

Parametry	
Typ pily	Okružní
Příkon elektromotoru	2000 W
Hmotnost pily	26,6 kg
Volnoběžné otáčky	3800 min ⁻¹
Řezný uhel	−3 až 48°
Prořez (při 0° / při 45°)	77 mm / 57 mm
Maximální průměr kotouče	250 mm
Rozměry (d × š × v)	742 × 577 × 425 mm
Cena pily	28 690,- Kč

Hlavním lákadlem této stolní okružní pily je její hmotnost, což z ní dělá nejlépe přenosnou pilu ve své třídě. Ochranná klec z oceli chrání pilu před poškozením. Pro zaručení vysoké přesnosti řezu lze vodítko pily oboustranně zajistit. Rozměry pracovního stolu s vysunutým rozšířením jsou 750 × 825 mm. Pracovní stůl vyráběn z hliníkové slitiny. Rozměry hřídele jsou kompatibilní s pilovými kotouči s vrtáním 30 mm. Tato pila již spadá do kategorie o poznání dražší. [2]

- METABO TS 36-18 LTX BL 254



Obr. 2-9 METABO TS 36-18 LTX BL 254 [13]

Tab. 2-4 Parametry pily METABO TS 36-18 LTX BL 254 [13]

Parametry	
Typ pily	Okružní - akumulátorová
Napájení	4 články LiHD (18 V / 7 Ah)
Hmotnost pily	34,5 kg
Volnoběžné otáčky	5000 min ⁻¹
Řezný uhel	0 až 45°
Prořez (při 0° / při 45°)	87 mm / 50 mm
Maximální průměr kotouče	254 mm
Rozměry (d × š × v)	970 × 995 × 408 mm
Cena pily	36 288,- Kč

Speciálním případem stolních kotoučových pil je METABO TS 36-18 LTX BL 254, která pro své napájení používá akumulátor. Náklon kotouče realizován pomocí vedení ozubeného věnce. Pila obsahuje nastavitelný paralelní doraz s dvojitým sevřením. Výhodou oproti dříve představeným pilám je také integrovaný pojezd pro zaručení maximální mobility. Jestliže je rozšíření stolu aktivní, rozměry pracovního stolu činí 1150 × 1085 mm. Průměr hřídele je přizpůsoben pilovému kotouči s vrtáním 30 mm. Nevýhodou této kotoučové pily je především vyšší pořizovací cena. V kategorii malých stolních kotoučových pil patří tento model mezi nejdražší dostupné pily. [13]

3 VÝPOČTOVÁ DOKUMENTACE

Pro realizaci výpočtového návrhu je potřeba mimo jiné zadané parametry upřesnit požadované otáčky pilového kotouče.

- Požadované otáčky pilového kotouče: $n_1 = 4500 \text{ min}^{-1}$

3.1 Volba elektromotoru

Nejdříve je nutno zvolit vhodný elektromotor. Od rozměrů elektromotoru se následně odvíjí rozměry vnitřního prostoru krytu pily.

Na základě hodnot ze zadání byl zvolen elektromotor **SIEMENS 1LA7090 - 2AA**. Tento motor disponuje následujícími parametry:

- Výkon elektromotoru: $P = 1,5 \text{ kW}$
- Otáčky elektromotoru: $n_2 = 2860 \text{ min}^{-1}$

Krouticí moment elektromotoru

Na základě znalosti výkonu a otáček elektromotoru můžeme určit výsledný krouticí moment,

$$P = Mk \cdot \omega \rightarrow Mk = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n_1} = \frac{1500}{2\pi \cdot \frac{2860}{60}} = 5,008 \text{ Nm} \quad (3.1)$$

kde $\omega \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ je úhlová rychlost hřídele elektromotoru.

3.2 Návrh řemene a řemenic

Z katalogu výrobce klínových řemenů a příslušné tabulky [5], dle jmenovitého výkonu přenášeného jedním řemenem, volen úzký řemen typu SPZ, pro který je minimální výpočtový průměr řemenice roven 63 mm.

Návrhový převodový poměr

Základním parametrem pro návrh klínového řemene a řemenic je převodový poměr. Nejdříve je nutno určit návrhový převodový poměr, později se určí skutečný převodový poměr (3.4).

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4500}{2860} = 1,57 [-] \quad (3.2)$$

Průměry řemenic

Jako průměr malé řemenice je volen minimální výpočtový průměr pro daný typ řemenu, průměr velké řemenice se vypočítá následujícím vztahem:

$$d_{r2} = d_{r1} \cdot i = 63 \cdot 1,57 = 98,91 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Normalizace průměrů řemenic:

- Průměr malé řemenice: $\emptyset d_{r1} = 63 \text{ mm}$ [23]
- Průměr velké řemenice: $\emptyset d_{r2} = 100 \text{ mm}$ [23]

Skutečný převodový poměr

Skutečný převodový poměr se spočítá z průměrů volených řemenic.

$$i_{skut} = \frac{d_{r2}}{d_{r1}} = \frac{100}{63} = 1,59 [-] \quad (3.4)$$

Obvodová rychlost řemene

$$v = \pi d_{r2} n_2 = \pi \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2860}{60} = 14,97 \frac{m}{s} \quad (3.5)$$

3.2.1 Osové vzdálenosti řemenic

Klínové řemeny jsou normalizované [5]. Pro zvolení správného řemene je nejdříve nutné spočítat interval osové vzdálenosti řemenic a výslednou vzdálenost zvolit.

Minimální osová vzdálenost mezi malou a velkou řemenicí:

$$a_{min} = 0,7 \cdot (d_{r1} + d_{r2}) = 0,7 \cdot (63 + 100) = 114,1 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Maximální osová vzdálenost mezi malou a velkou řemenicí:

$$a_{max} = 2 \cdot (d_{r1} + d_{r2}) = 2 \cdot (63 + 100) = 326 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Na základě spočítaného minimálního (3.6) a maximálního (3.7) intervalu, volba osové vzdálenosti: $a = 180 \text{ mm}$.

3.2.2 Délka klínového řemene

$$\begin{aligned} L_w &= 2a + \frac{\pi(d_{r1} + d_{r2})}{2} + \frac{(d_{r2} - d_{r1})^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 180 + \frac{\pi(63 + 100)}{2} + \frac{(100 - 63)^2}{4 \cdot 180} = 617,94 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.8)$$

S ohledem na spočítanou délku klínového řemenu (3.8) byl volen úzký klínový řemen **PHG SPZ 630**.

3.2.3 Potřebný počet klínových řemenů

Je třeba zjistit, jaký počet klínových řemenů bude potřeba pro spolehlivý převod. Tento počet se určí na základě následujících vstupních hodnot určených z tabulek katalogu SKF. [5]

- Jmenovitý výkon přenášený jedním řemenem: $P_B = 1,81 \text{ kW}$
- Součinitel úhlu opásání menší řemenice: $C_1 = 0,82 [-]$
- Součinitel provozního zatížení: $C_2 = 1,30 [-]$
- Součinitel délky klínového řemene: $C_3 = 0,97 [-]$

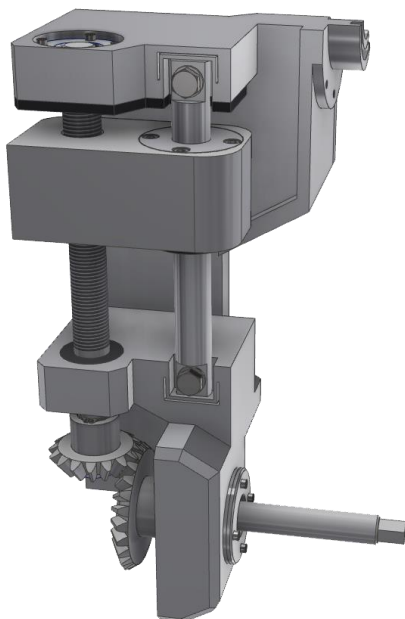
Potřebný počet klínových řemenů:

$$z = \frac{P \cdot C_2}{P_B \cdot C_3 \cdot C_1} = \frac{1,5 \cdot 1,3}{1,81 \cdot 0,97 \cdot 0,82} = 1,354 \quad (3.9)$$

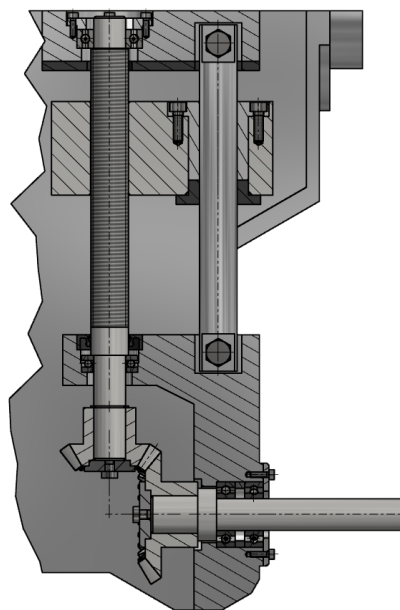
Je třeba použít 2 úzké klínové řemeny s označením: **PHG SPZ 630**.

3.3 Mechanismus zdvihu kotouče

Mechanismus navrženého zdvihu kotouče pomocí pohybového šroubu a kuželového soukolí lze vidět na obrázku 3-1. Řez těmito prvky je zobrazen na obrázku 3-2.



Obr. 3-1 Mechanismus zdvihu



Obr. 3-2 Řez mechanismem zdvihu

3.3.1 Pohybový šroub

Pohybový šroub pro ovládání zdvihu kotouče má lichoběžníkový rovnoramenný závit. Osová síla ve šroubu určena na základě hmotnosti všech zdvihaných prvků. Závit má následujícími parametry: [11]

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| • Označení závitu: | Tr 24 x 3 |
| • Stoupání závitu: | $P_h = 3 \text{ mm}$ |
| • Střední průměr závitu: | $d_2 = 22,5 \text{ mm}$ |
| • Součinitel tření v závitu: | $f = 0,12$ |
| • Osová síla ve šroubu: | $F_{OS} = 260 \text{ N}$ |
| • Malý průměr závitu: | $d_3 = 20,5 \text{ mm}$ |

Moment pro zvedání břemene

Ze silových poměrů na rozvinutém závitě vychází rovnice momentu pro zvedání břemene:

$$M_{ZV} = \frac{F_{OS} \cdot d_2}{2} \left[\frac{P_h \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi f d_2}{\pi d_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f P_h} \right] =$$

$$= \frac{260 \cdot 22,5}{2} \left[\frac{3 \cdot \cos\left(\frac{30}{2}\right) + \pi \cdot 0,12 \cdot 22,5}{\pi \cdot 22,5 \cdot \cos\left(\frac{30}{2}\right) - 0,12 \cdot 3} \right] = 490,1 \text{ Nmm} \quad (3.10)$$

Samosvornost závitu

Důležitým parametrem pohybového šroubu je jeho samosvornost, která zaručuje, že se kotouč samovolně nebude pohybovat ve vertikálním směru během práce. Samosvornost spočítána následujícím vztahem pro rovnoramenný lichoběžníkový závit:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{3}{\pi \cdot 22,5} = 2,43^\circ \quad (3.11)$$

$$\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0,04 \quad (3.12)$$

$$f > \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (3.13)$$

Jelikož je součinitel tření v závitě větší než tangens úhlu stoupání (3.13), závit je samosvorný.

Pevnostní kontrola pohybového šroubu

Smykové napětí od kroutícího momentu:

$$\tau = \frac{M_{ZV}}{\frac{\pi d_3^3}{16}} = \frac{490,1}{\frac{\pi \cdot 20,5^3}{16}} = 0,289 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

Normálové napětí v ose šroubu:

$$\sigma = \frac{F_{OS}}{\frac{\pi d_3^2}{4}} = \frac{260}{\frac{\pi \cdot 20,5^2}{4}} = 0,788 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

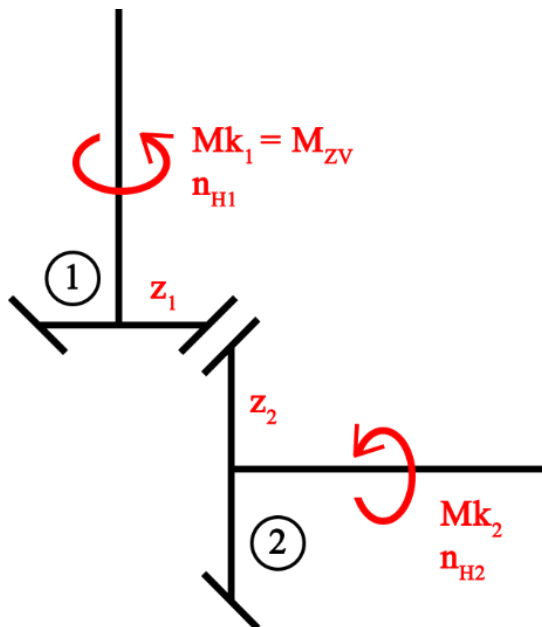
Redukované napětí podle podmínky měrné energie napjatosti změny tvaru:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{0,788^2 + 3 \cdot 0,289^2} = 0,934 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

Vzhledem k malému zatížení silou v ose a ke geometrickým rozměrům šroubového hřídele nedochází k velkému napětí a součinitel bezpečnosti je tak velmi vysoký.

3.3.2 Kuželové soukolí

Pro přenos krouticího momentu z ručního kola na pohybový šroub bylo použito kuželové soukolí s přímými zuby. První ozubené kolo má 16 zubů, druhé ozubené kolo má 24 zubů. Názorné schéma uspořádání soukolí lze vidět na obrázku 3-3.



Obr. 3-3 Schéma kuželového soukolí

Úhly roztečného kužele

Pro určení převodového poměru kuželového soukolí je třeba znát úhly roztečných kuželů obou ozubených kol. Určí se pomocí vztahu:

$$\delta_1 = \arctg \left(\frac{z_1}{z_2} \right) = \arctg \left(\frac{16}{24} \right) = 33,69^\circ \quad (3.17)$$

$$\delta_2 = \arctg \left(\frac{z_2}{z_1} \right) = \arctg \left(\frac{24}{16} \right) = 56,30^\circ \quad (3.18)$$

kde $\delta_1 [^\circ]$ je úhel roztečného kužele ozubeného kola č.1, $\delta_2 [^\circ]$ je úhel roztečného kužele ozubeného kola č.2, $z_1 [-]$ je počet zubů ozubeného kola č.1 a $z_2 [-]$ je počet zubů ozubeného kola č.2.

Převodový poměr kuželového soukolí

$$i_K = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{\sin(\delta_1)}{\sin(\delta_2)} = \frac{16}{24} \cdot \frac{\sin(33,69)}{\sin(56,30)} = 0,444 \quad (3.19)$$

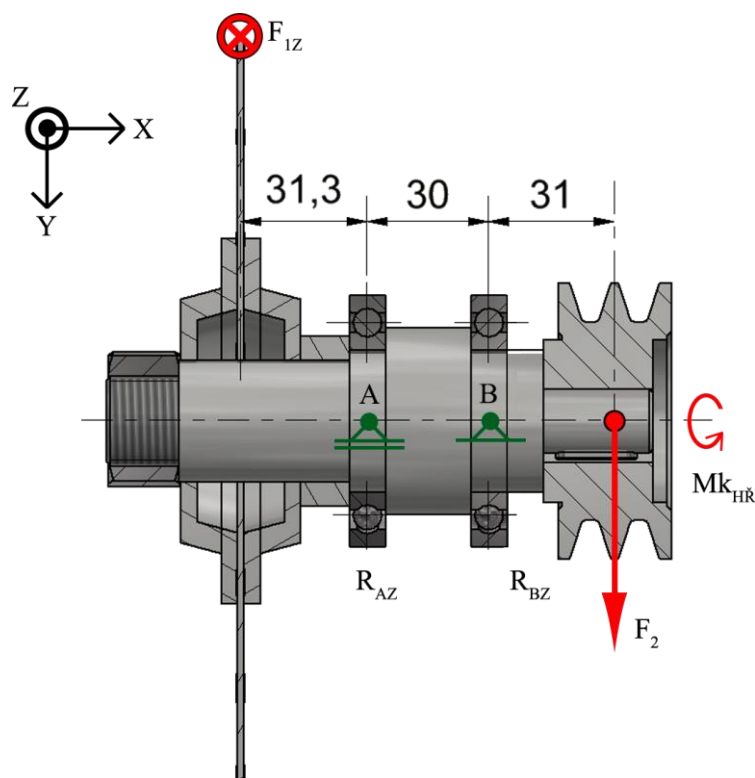
Hnací krouticí moment ručního kola

Potřebný krouticí moment pro zvednutí pilového kotouče při manipulaci s ručním kolem se vypočítá na základě momentu pro zvedání břemene (3.10) a převodového poměru kuželového soukolí (3.19):

$$Mk_2 = \frac{Mk_1}{i_K} = \frac{M_{ZV}}{i_K} = \frac{490,1}{0,444} = 1103,83 \text{ Nmm} \quad (3.20)$$

3.4 Návrh hřídele

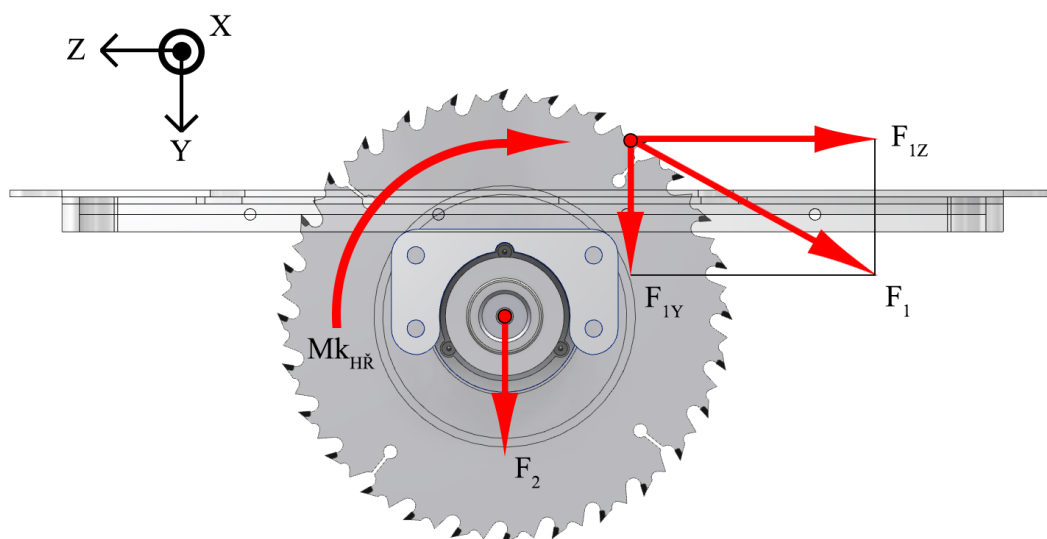
Klíčovým prvkem při konstrukci stolní kotoučové pily je právě hřídel, která musí splňovat bezpečnostní požadavky a nepředstavovat tak žádnou hrozbu při práci. Na obrázku 3-4 lze schematicky vidět rozmístění jednotlivých prvků hřídele a působení zatěžujících sil.



Obr. 3-4 Schéma hřídele

Řezná síla F_1 se skládá z mnoha složek, mezi které patří síla nutná k vlastnímu rozdělení hmoty obrobku břitem, síla nutná k odklonění hmoty třísky čelem nástroje, síla k překonání tření hříbetu, a z dalších sil, působících při řezném procesu. Z tohoto důvodu je sledování výsledné síly velmi obtížné. Obecně se však rozkládá do dvou základních složek, a to na sílu působící proti směru pohybu materiálu a sílu působící kolmo do stolu. [25]

Rozložení sil lze schematicky vidět na obrázku 3-5. Síla F_{1Z} působí proti směru pohybu materiálu ($Z+$), síla F_{1Y} pak do pracovního stolu. Složením těchto sil vznikne výsledná řezná síla F_1 . Síla od předpětí řemenice F_2 působí v ose Y .



Obr. 3-5 Rozklad sil na kotouči a řemenici

3.4.1 Skutečné otáčky hřídele

Skutečné otáčky hřídele (bez uvážení skluzu řemene) vychází ze skutečného převodového poměru (3.4), který byl vypočítán na základě průměrů volených řemenic (viz kapitola 3.2) a z otáček elektromotoru (kapitola 3.1).

$$n_{1SKUT} = n_2 \cdot i_{SKUT} = 2860 \cdot 1,59 = 4547,4 \text{ min}^{-1} \quad (3.17)$$

3.4.2 Kroučící moment hřídele

$$Mk_{HŘ} = \frac{Mk}{i_{SKUT}} = \frac{5008,4}{1,59} = 3149,9 \text{ Nmm} \quad (3.18)$$

3.4.3 Řezná síla kotouče

Pro zjednodušení výpočtu, byla výsledná řezná síla kotouče počítána pouze jako tečná síla kroučícího momentu hřídele, namísto složení síly z jednotlivých složek.

$$F_1 = \frac{2Mk_{HŘ}}{D_{KOTOUČ}} = \frac{2 \cdot 3149,9}{260} = 24,23 \text{ N} \quad (3.19)$$

3.4.4 Obvodová síla v řemenu

Obvodová síla v klínovém řemenu se spočítá jako podíl výkonu elektromotoru (kapitola 3.1) a obvodové rychlosti řemenu (3-5).

$$F_o = \frac{P}{v} = \frac{1500}{14,97} = 100,2 \text{ N} \quad (3.20)$$

3.4.5 Síla předpětí řemenice

$$F_2 = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 100,2 = 200,4 \text{ N} \quad (3.21)$$

3.4.6 Statická rovnováha

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow -F_1 - R_{AZ} + R_{BZ} - F_2 = 0 \quad (3.22)$$

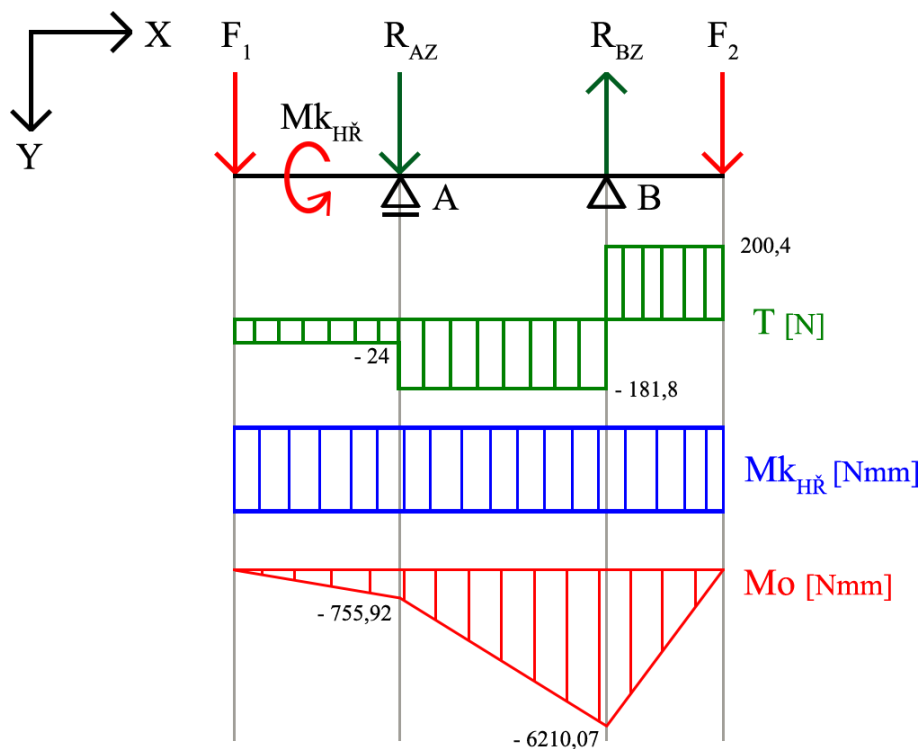
$$\sum M_A = 0 \rightarrow 31,3 \cdot F_1 + 30 \cdot R_{BZ} - 61 \cdot F_2 = 0 \quad (3.23)$$

$$R_{BZ} = \frac{61 \cdot F_2 - 31,3 \cdot F_1}{30} = \frac{61 \cdot 200,4 - 31,3 \cdot 24,23}{30} = 382,2 \text{ N} \quad (3.24)$$

$$R_{AZ} = R_{BZ} - F_2 - F_1 = 382,2 - 200,4 - 24,23 = 157,57 \text{ N} \quad (3.25)$$

3.4.7 Výsledné vnitřní účinky

Pro stanovení výsledných vnitřních účinků hřídele byla uvažována řezná síla F_1 , která působí ve směru osy Y. V případě uvažování pouze vertikální složky síly F_{1Y} , dojde ke zmenšení ohybového momentu v místě A. Jelikož je síla od předpětí řemenice mnohem větší než síla řezná, a také z důvodů geometrie hřídele, bude nebezpečné místo v bodě B.



Obr. 3-6 Výsledné vnitřní účinky

3.4.8 Materiál hřídele

Jako materiál hřídele byla zvolena ocel 11 500 [11] s následujícími vlastnostmi:

- Mez kluzu: $Re = 300 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti: $Rm = 500 \text{ MPa}$

3.4.9 Kontrola hřídele

Nebezpečné místo je v bodě B, jelikož zde působí největší ohybový moment, jak lze vidět na obrázku 3-3. Navíc je v blízkosti velký koncentrátor napětí v podobě drážky pro pero. Proto stačí zkontrolovat pouze toto místo. Bezpečnost v ostatních místech hřídele se z důvodu větších geometrických průřezů bude pouze zvyšovat, proto v těchto místech není potřeba provádět pevnostní výpočty. Hřídel je zkontrolována na pevnost (3.31) a na únavu (3.42). [23]

Kontrola pevnosti hřídele

$$\sigma_{O \text{ NOM}} = \frac{F_2 \cdot a}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{200,4 \cdot 31}{\frac{\pi \cdot 16^3}{32}} = 15,45 \text{ MPa} \quad (3.26)$$

$$\sigma_o = \sigma_{O \text{ NOM}} \cdot \alpha_o = 15,45 \cdot 1,4 = 21,63 \text{ MPa} \quad (3.27)$$

$$\tau_{K \text{ NOM}} = \frac{Mk_{H\ddot{R}}}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{3149,9}{\frac{\pi \cdot 16^3}{16}} = 3,92 \text{ MPa} \quad (3.28)$$

$$\tau_K = \tau_{K \text{ NOM}} \cdot \alpha_K = 3,92 \cdot 1,2 = 4,70 \text{ MPa} \quad (3.29)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_K^2} = \sqrt{21,63^2 + 3 \cdot 4,70^2} = 23,11 \text{ MPa} \quad (3.30)$$

Bezpečnost vůči MSP

$$k = \frac{Re}{\sigma_{RED}} = \frac{300}{23,11} = 12,98 [-] \quad (3.31)$$

Vysoká bezpečnost hřídele (3.31) je samozřejmě nezbytná, jelikož je kotoučová pila zařízení, které se dostává do přímého styku s obsluhou.

Kontrola únavy hřídele

$$\sigma_{CO} = 0,504 \cdot Rm = 0,504 \cdot 500 = 252 \text{ MPa} \quad (3.32)$$

$$k_A = a \cdot Rm^b = 1,58 \cdot 500^{-0,085} = 0,96 \quad (3.33)$$

$$k_B = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} = \left(\frac{24}{7,62}\right)^{-0,107} = 0,89 \quad (3.34)$$

$$[k_C, k_D, k_E, k_F] = 1 \quad (3.35)$$

$$\sigma'_C = k_A \cdot k_B \cdot \sigma_{CO} = 0,96 \cdot 0,89 \cdot 252 = 215,3 \text{ MPa} \quad (3.36)$$

$$\beta_O = \frac{\alpha_O}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_O - 1) \cdot \frac{174}{Rm}}{\alpha_O \cdot \sqrt{r}}} = \frac{1,4}{1 + \frac{2 \cdot (1,4 - 1) \cdot \frac{174}{500}}{1,4 \cdot \sqrt{5,5}}} = 1,29 \quad (3.37)$$

$$\beta_K = \frac{\alpha_K}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_K - 1) \cdot \frac{174}{Rm}}{\alpha_K \cdot \sqrt{r}}} = \frac{1,2}{1 + \frac{2 \cdot (1,2 - 1) \cdot \frac{174}{500}}{1,2 \cdot \sqrt{5,5}}} = 1,14 \quad (3.38)$$

Soderbergovo kritérium

$$\sigma_o = \sigma_A = \sigma_{O \text{ NOM}} \cdot \beta_O = 15,45 \cdot 1,29 = 19,94 \text{ MPa} \quad (3.39)$$

$$\tau_K = \tau_{K \text{ NOM}} \cdot \beta_K = 3,92 \cdot 1,14 = 4,48 \text{ MPa} \quad (3.40)$$

$$\sigma_M = \left(1 - \frac{\sigma_A}{\sigma'_C}\right) \cdot Re = \left(1 - \frac{19,94}{215,3}\right) \cdot 300 = 272,22 \text{ MPa} \quad (3.41)$$

Bezpečnost vůči MSU

$$k = \frac{\sigma_A + \sigma_M}{\sigma_O + \tau_K} = \frac{19,94 + 272,22}{19,94 + 4,48} = 11,97 [-] \quad (3.42)$$

3.4.10 Kontrola pera těsného v hřídeli

Vzhledem k průměru hřídele bylo voleno pero těsné s označením ČSN 169A 5x5x20 [11], které má následující parametry:

- Hloubka drážky v náboji: $t_1 = 2,1 \text{ mm}$
- Základní hodnota tlaku: $p_o = 150 \text{ MPa}$
- Dovolený tlak: $p_D = 67,5 \text{ MPa}$

Síla působící na bok pera v náboji

$$F_{BOK} = \frac{Mk_{H\check{R}}}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{3149,9}{\frac{16}{2} + \frac{2,1}{2}} = 348,06 \text{ N} \quad (3.43)$$

Provozní tlak

$$p_p = \frac{F}{t_1(l-b)} = \frac{348,06}{2,1 \cdot (20-5)} = 11,05 \text{ MPa} \quad (3.44)$$

$$11,05 \text{ MPa} < 67,5 \text{ MPa} \quad (3.45)$$

Provozní tlak je menší než tlak dovolený (3.45), dané pero tedy VYHOVUJE.

3.4.11 Kontrola ložisek na hřídeli

Hřídel obsahuje dvě kuličková ložiska ČSN 02 4630 16007 volena z katalogu SKF [17].

Síla působící na ložisko v místě A

$$Pr_1 = R_{AZ} = 157,57 \text{ N} \quad (3.46)$$

Síla působící na ložisko v místě B

$$Pr_2 = R_{BZ} = 382,2 \text{ N} \quad (3.47)$$

Hodinová trvanlivost ložiska v místě A

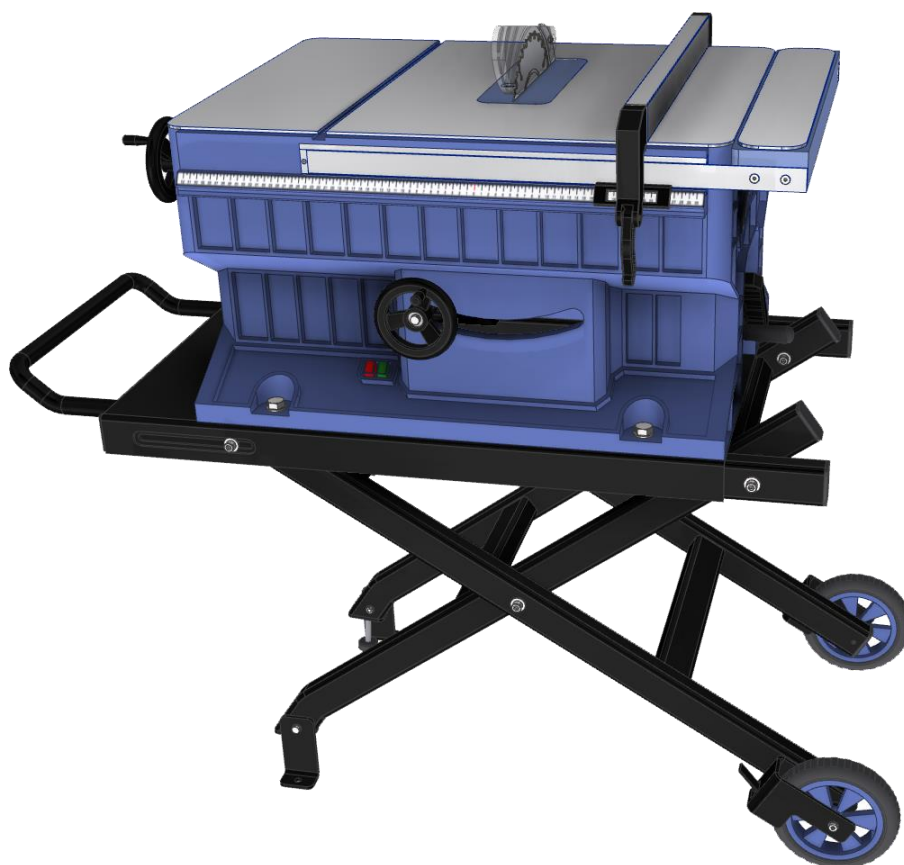
$$L_{HOD} = \left(\frac{C}{Pr_1} \right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = \left(\frac{12400}{157,57} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 4547,4} = 1786199,8 \text{ hod} \quad (3.48)$$

Hodinová trvanlivost ložiska v místě B

$$L_{HOD} = \left(\frac{C}{Pr_2} \right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = \left(\frac{12400}{382,2} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 4547,4} = 125163,8 \text{ hod} \quad (3.49)$$

4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY

Zvolený konstrukční návrh vychází z předchozí analýzy trhu, která byla provedena v první části práce, viz kapitola 1. Byla zvolena koncepce elektromotoru s nepřímým pohonem kotouče, který zajišťuje dvojice řemenic s klínovým řemenem. Mechanismus zdvihu pilového kotouče je řešen pomocí pohybového šroubu a kuželového soukolí na rozdíl od mechanismu naklápění, který je řešen pomocí soukolí šnekového. Tyto mechanismy jsou obsluhou ovladatelné pomocí dvojice ručních kol. Z pozice obsluhy stojící před pilou, přední ruční kolo zajišťuje zdvih kotouče a kolo na levé straně pily jeho náklon.



Obr. 4-1 Stolní kotoučová pila včetně stojanu

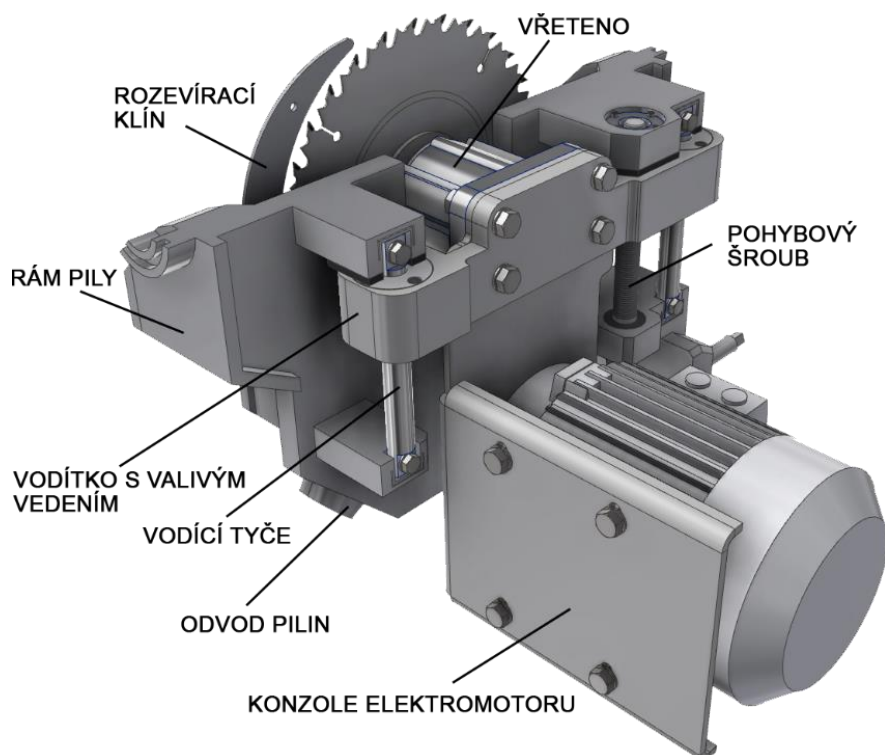
4.1 Proporce stolní kotoučové pily

Rozměry stolní kotoučové pily jsou $707 \times 982 \times 562 \text{ mm}$. V případě, že je pila ukotvena na zvednutém stojanu, činí rozměry $707 \times 1441 \times 1302 \text{ mm}$. Pro práci se stolní kotoučovou pilou není stojan nezbytný, může být umístěna na jiné speciálně upravené místo, aby bylo umožněno bezproblémové odvádění pilin.

V případě vysunutého rozšíření pracovního stolu, dosahují celkové rozměry bez ukotvení na stojanu $707 \times 1357 \times 562 \text{ mm}$ a se stojanem $707 \times 1640 \times 1302 \text{ mm}$. Velikost pracovního stolu pak vychází ze zadání, tedy $600 \times 800 \text{ mm}$.

4.2 Základní vnitřní uspořádání

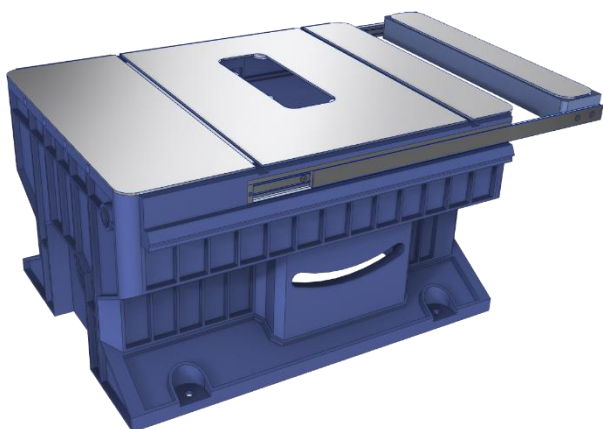
Na obrázku 4-2 je zobrazeno umístění jednotlivých komponent, které jsou spojeny s nosným rámem stolní kotoučové pily.



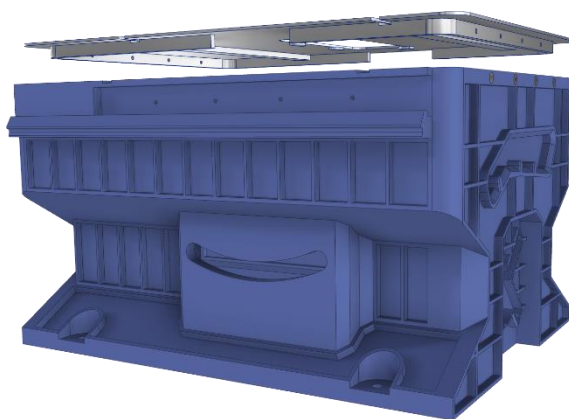
Obr. 4-2 Popis vnitřního uspořádání

4.3 Konstrukce pracovního stolu

Deska pracovního stolu je opřena o horní stranu krytu pily a zároveň je do něj vsazena (viz obrázek 4-4), aby byla dosažena větší pevnost pracovního stolu a předešlo se tak případnému prohýbání. Celý tento pracovní stůl je ke krytu přišroubovaný pomocí osmi šroubů, což zajišťuje bezproblémovou demontáž desky a následnou údržbu. Na obrázku 4-3 lze vidět možnost rozšíření pracovního stolu.



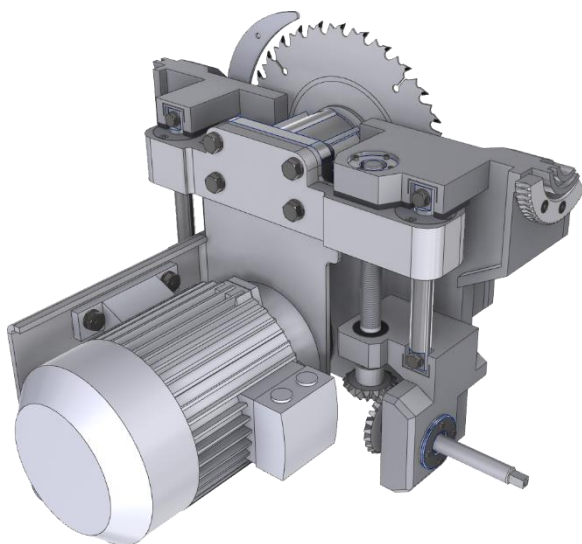
Obr. 4-3 Prodloužení stolu



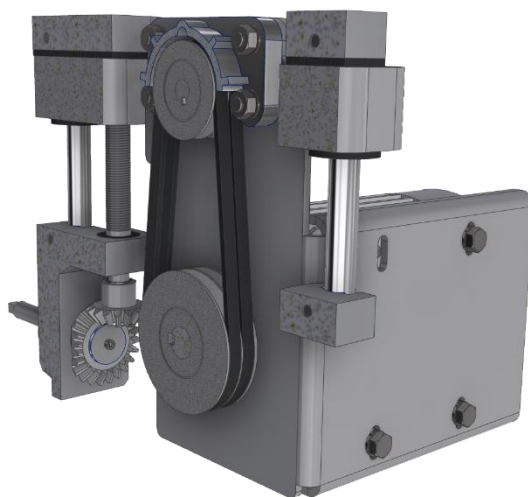
Obr. 4-4 Montáž pracovního stolu

4.4 Rám pily

Na nosný rám pily (viz obrázek 4-2), který je vyráběn jako odlitek slitiny hliníku, jsou přišroubovány dvě vodící tyče, umožňující pohyb konzole. Ke konzoli je pomocí čtyř šroubů, které se v drážkách můžou vertikálně pohybovat, přišroubován elektromotor. Toto řešení umožňuje napínání řemene díky gravitační síle, kterou elektromotor působí. Ukázka zmíněného konstrukčního řešení je zobrazena na obrázku 4-6, kde je pro ilustraci drážky jeden šroub s podložkou odebrán.



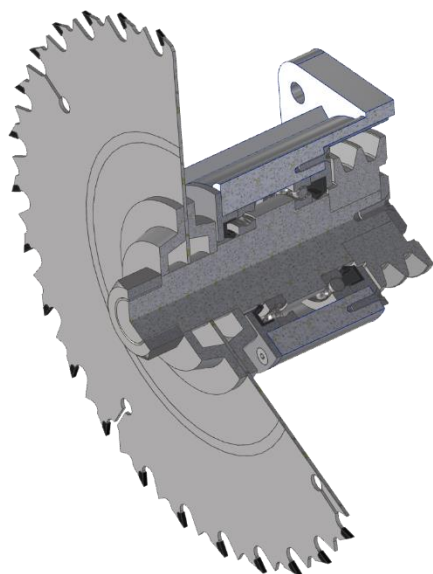
Obr. 4-5 Rám s mechanismy



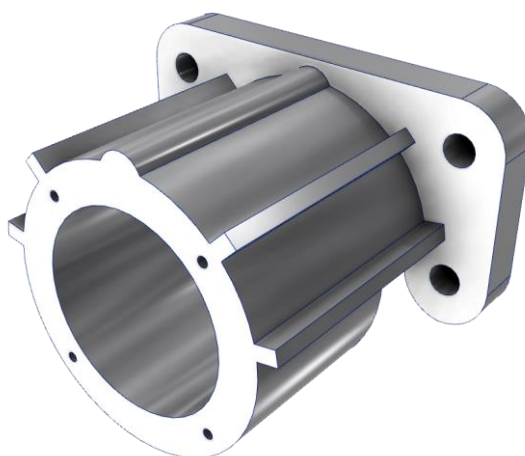
Obr. 4-6 Napnutí řemene

4.5 Vřeteno

Vřeteno pilového kotouče je vyrobeno ze slitiny hliníku pomocí tlakového lití. Je přišroubováno ke konzoli elektromotoru společně s vodičkem valivého vedení. Uvnitř vřetena je hřídel s pilovým kotoučem, uložena v ložiscích, která jsou zajištěna pomocí vík a utěsněna gufery.



Obr. 4-7 Řez sestavou vřetena



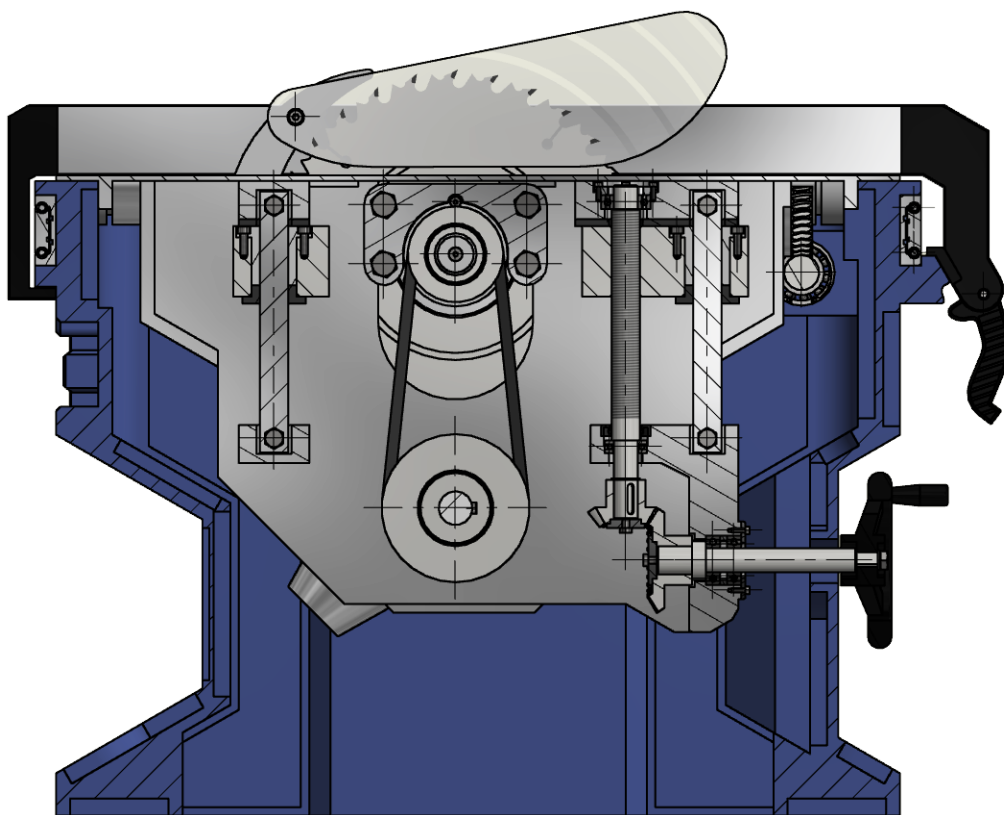
Obr. 4-8 Vřeteno

4.6 Hlavní mechanismy pily

V této kapitole jsou popsány hlavní mechanismy konstrukčního řešení, které zajišťují nastavení výšky kotouče a jeho naklápění. Celý mechanismus v řezu je zobrazen na obrázku 4-9.

Nastavení výšky kotouče je realizováno pomocí pohybového šroubu. Ručním kolem je přenášen krouticí moment pomocí kuželového soukolí na pohybový šroub, což způsobí uvedení konzole elektromotoru do pohybu. Spolu s konzolí se začne pohybovat také vřeteno s pilovým kotoučem, jelikož jsou obě součásti spojeny právě s vodítkem, které koná translační pohyb po dvou vodících tyčích. Kontakt mezi vodící tyčí a vodítkem je realizován pomocí valivého vedení. Celé toto uspořádání lze vidět na obrázku 4-6. Samosvornost pohybového šroubu zabráňuje samovolnému posouvání kotouče ve vertikálním směru. Na spodní straně je pohybový šroub opřen o axiální ložisko, které je utěsněno hřídelovým těsněním proti vniknutí pilin. Ze strany horní je celá hřídel s pohybovým šroubem uložena v ložisku radiálním a zajištěna víkem.

Naklápění kotouče zajišťuje šnekové soukolí. Šnekové kolo je pevně spojeno s rámem pomocí dvou zapuštěných šroubů, jak lze vidět na obrázku 4-5. Šnekové kolo je centrováno vůči kolébce rámu. Jak kolébka, tak šnekové kolo mají umístěnou osu na horní straně pracovního stolu, díky čemuž koresponduje místo řezu s pravítkem při naklápění kotouče. Šneková hřídel je uložena v radiálních ložiscích, v krytu pily. Jelikož zde není potřeba eliminovat axiální vůli, jsou ložiska zajištěna pomocí pojistných kroužků.

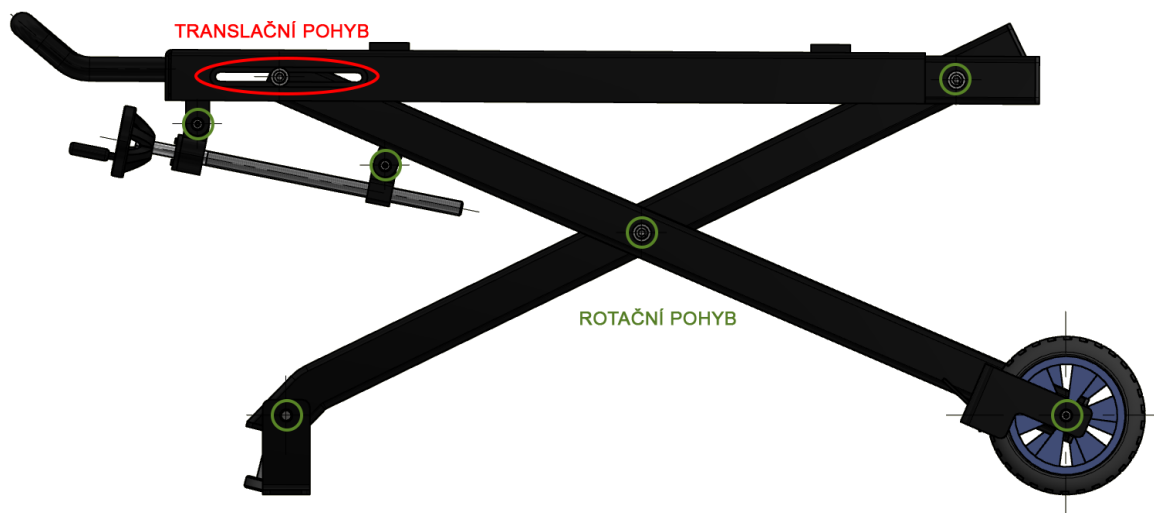


Obr. 4-9 Řez stolní kotoučové pily

4.7 Stojan

Práce na kotoučové pile lze zpříjemnit užitím rozkládacího stojanu, na kterém je možno přizpůsobit si pracovní výšku. Tento stojan však není pro práci s kotoučovou pilou nezbytný.

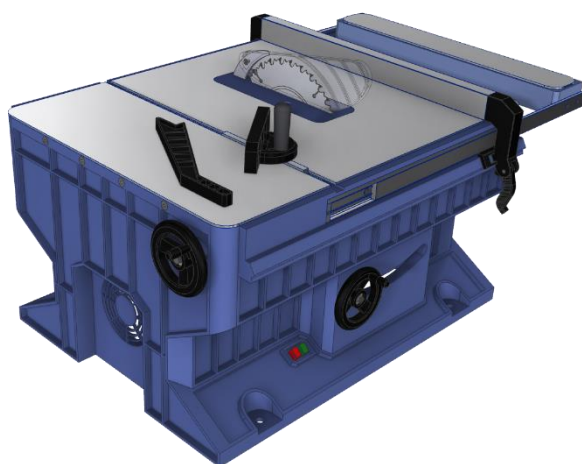
Konstrukci stojanu lze přirovnat k nůžkovému mechanismu. Obsahuje několik prvků s rotační vazbou a jeden prvek, který umožňuje pohyb translační. Nastavení výšky stojanu je realizováno pomocí pohybového šroubu, který lze ovládat ručním kolem. Schéma stojanu lze vidět na obrázku 4-10.



Obr. 4-10 Schéma stojanu

4.8 Kryt pily

Kryt kotoučové pily (obrázek 4-12) plní několik základních funkcí, mezi které patří především bezpečnost, ergonomie, ale také funkčnost. V poslední řadě působí také esteticky. Za funkční vlastnost lze považovat vybrání v krytu, které slouží pro umístění posuvného kolíku, úhlového a vodícího pravítka v případě, že nejsou používány při práci.



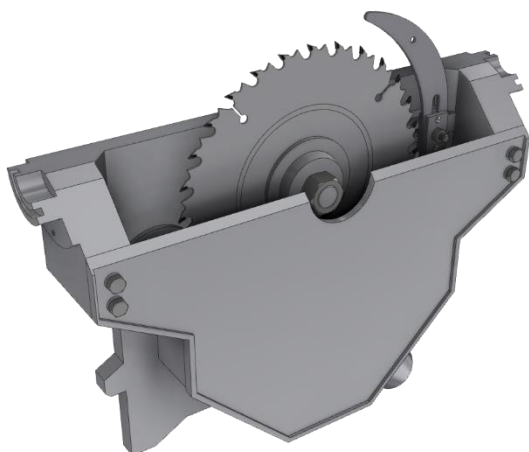
Obr. 4-11 Kotoučová pila s příslušenstvím



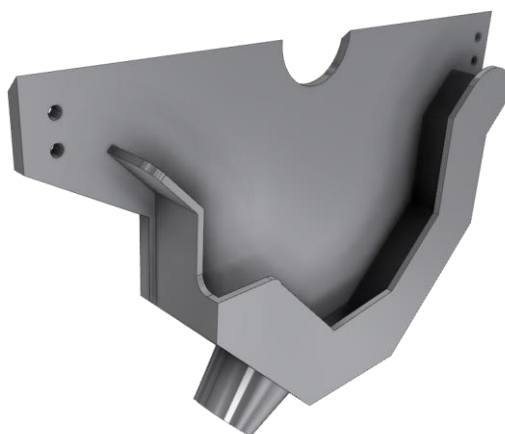
Obr. 4-12 Kryt pily s pravítkem

4.9 Odvod pilin

Pro bezproblémový odvod oddělených třísek je k rámu pily pomocí čtyř šroubů přichycen sběrač pilin ve tvaru vany, jak je znázorněno na obrázku 4-13. Tento sběrač pilin je konstruován pro jednoduché připojení k centrálnímu odsávání v místnosti. Dno sběrače je nakloněno pod úhlem, aby se třísky nehromadily na jednom místě, ale sklouzávaly směrem k odsávacímu otvoru. Odvádění pilin ven ze sběrače usnadňuje také proud vzduchu, který vytvoří pilový kotouč při vysokých otáčkách.



Obr. 4-13 Sběrač pilin s rámem



Obr. 4-14 Sběrač pilin

4.10 Bezpečnostní prvky

Pro zajištění bezpečnosti je stolní kotoučová pila vybavena mnoha prvky, které chrání zdraví obsluhy. Pilový kotouč se nachází uvnitř průhledného krytu kotouče, který zamezuje kontaktu s lidskou končetinou. Za kotoučem se nachází nepatrně tlustší rozevírací klín, zabráňující zaklínění a zpětnému vrhu děleného materiálu. Pro přizpůsobení rozevíracího klínu velikosti pilového kotouče je možné nastavení klínu ve dvou osách. V pracovním stole je umístěna kotoučová vložka z plastu.

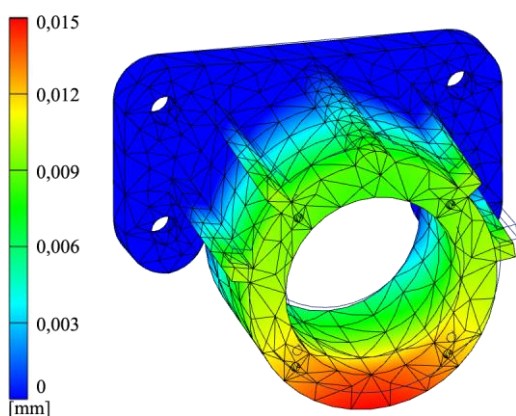
Pila je vybavena podélným a příčným pravítkem, které lze v případě potřeby demontovat a umístit na určená místa v krytu pily. V případě provádění úzkých řezů, je nutno použít odsuvný kolík, zobrazen na obrázku 4-11.

Ovládací prvky pro zapínání a vypínání pilového kotouče jsou umístěny na přední straně kotoučové pily, aby bylo možno kotouč ihned zastavit v případě nouze. Umístění ručních kol pro nastavení úhlu a výšky řezu je konstruováno s ohledem na ergonomii a bezpečnost, z důvodu eliminace úrazu při obsluze těchto prvků.

5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

Z důvodu, že na každé těleso sestavy působí určité zatížení a nachází se tak ve stavu napjatosti, je potřeba zkontrolovat pevnost jednotlivých součástí, aby se předešlo nechtěným problémům. V této kapitole je pomocí metody konečných prvků zjištěno maximální napětí Von Mises, které na těleso při daném víceosém namáhání působí. Na základě tohoto maximálního napětí je stanovena minimální bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti. Posledním zkoumaným prvkem je deformace součástí.

Vřeteno

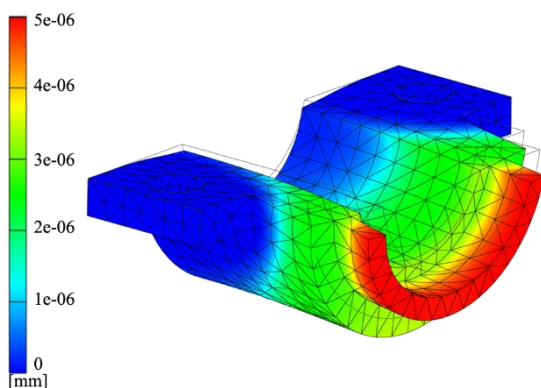


Obr. 5-1 Deformace vřetena

Tab. 5-1 Pevnostní analýza vřetena

Maximální napětí Von Mises	$\sigma_{RED} = 10,1 \text{ MPa}$
Minimální bezpečnost vůči MSP	$k > 15$
Maximální deformace	$w = 0,015 \text{ mm}$

Protikus kolébky

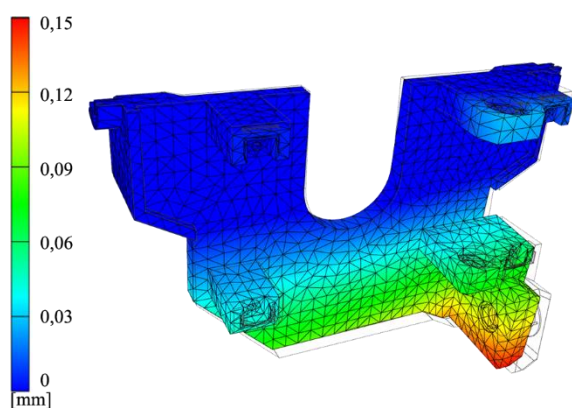


Obr. 5-2 Deformace protikusu kolébky

Tab. 5-2 Pevnostní analýza protikusu kolébky

Maximální napětí Von Mises	$\sigma_{RED} = 1,1 \text{ MPa}$
Minimální bezpečnost vůči MSP	$k > 15$
Maximální deformace	$w < 0,001 \text{ mm}$

Rám pily

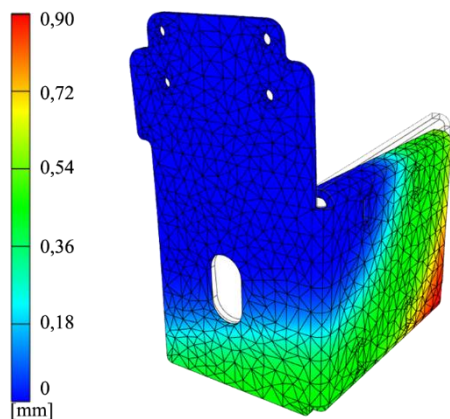


Obr. 5-3 Deformace rámu pily

Tab. 5-3 Pevnostní analýza rámu pily

Maximální napětí Von Mises	$\sigma_{RED} = 43,3 \text{ MPa}$
Minimální bezpečnost vůči MSP	$k = 6,35$
Maximální deformace	$w = 0,15 \text{ mm}$

Konzole elektromotoru

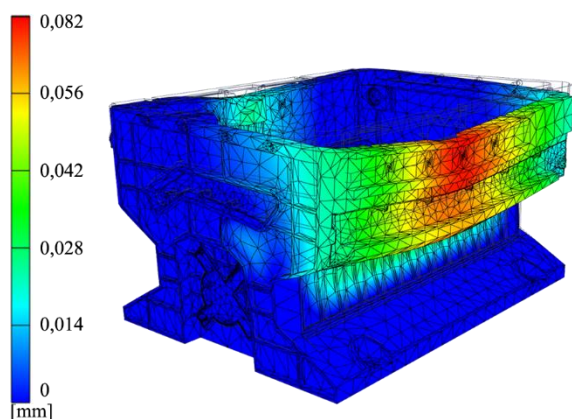


Obr. 5-4 Deformace konzole elmotoru

Tab. 5-4 Pevnostní analýza konzole elmotoru

Maximální napětí Von Mises	$\sigma_{RED} = 92,7 \text{ MPa}$
Minimální bezpečnost vůči MSP	$k = 2,3$
Maximální deformace	$w = 0,90 \text{ mm}$

Kryt pily



Obr. 5-5 Deformace krytu pily

Tab. 5-5 Pevnostní analýza krytu pily

Maximální napětí Von Mises	$\sigma_{RED} = 3,4 \text{ MPa}$
Minimální bezpečnost vůči MSP	$k = 5,8$
Maximální deformace	$w = 0,082 \text{ mm}$

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při uvážení sériové výroby produktu je nutno vyrobit formy pro plastové výlisky a formy pro hliníkové slitiny lité pod tlakem. Kompenzací těchto nákladů pro výrobu forem jsou nízké náklady zhotovených výlisků a přijatelnější náklady odlitků. Toto zhodnocení se nezabývá pořizovacími náklady forem, ale výrobními náklady jednoho kusu pily v sériové výrobě.

Na základě hrubých odhadů, které lze vidět v tabulce 6-1, byla stanovena přibližná výrobní cena stolní kotoučové pily. Veškeré odhady jsou pouze orientační a mohou se výrazně lišit vůči reálným cenám u výrobce.

Tab. 6-1 Nacenění součástí pily

ODHADOVÁNO		NAKOUPENO	
Součást	Cena bez DPH [Kč]	Součást	Cena bez DPH [Kč]
Hliníkový rám pily	5500	Pilový kotouč	1000
Vřeteno	1000	Elektromotor	3000
Plastový kryt pily	800	Prvky hřídelí	300
Hřídele	300	Řemenice	850
Sběrač pilin	1200	Klínové řemeny	130
Protikusy kolébky	600	Kuželové soukolí	800
Vodící tyče	100	Šnekové soukolí	1000
Pohybové šrouby	900	Valivé vedení	300
Konzole elektromotoru	270	Vodící lišty stolu	1600
Vodítko	2000	Profily stojanu	1300
Rozevírací klín	30	Ruční kola	1000
Pracovní stůl	2500	Spojovací materiál	350
Ostatní		Příslušenství	
příslušenství	2000	stojanu	1500

Mezi ostatní příslušenství odhadovaných součástí pily patří prodloužení stolu, kryt kotouče, příčné a podélné pravítko, odsuvný kolík a kotoučová vložka. Cenu nakoupeného zboží ovlivňuje několik faktorů, mezi které patří například prodejce a doba nákupu. Proto jsou ceny nakoupeného zboží pouze orientační a stejně tak jako náklady odhadované se můžou lišit. Odhadnuté pořizovací náklady stolní kotoučové pily byly vyčísleny na 30 330,- Kč. Celkové výrobní náklady, jestliže je brána v potaz také montáž, byly odhadnuty na **31 000,- Kč** bez DPH za jeden kus včetně rozkládacího stojanu.

Při srovnání konstrukčního návrhu s konkurencí dostupnou na trhu (viz kapitola 2.2), lze na první pohled vidět, že výrobní cena návrhu je značně vyšší, než prodejní cena pil na trhu. Důvodem vyšších výrobních nákladů konstrukčního řešení je především větší kvalita použitých součástí a lepší mechanika nakládání a zdvihu. Konkurenční pily jsou mnohdy řešeny konstrukcí s přímým pohonem, u které odpadá použití řemenic, klínových řemenů a jiných komponent, což výrobní cenu pily také snižuje.

ZÁVĚR

Hlavním cílem bylo provést konstrukční návrh malé stolní kotoučové pily pro poloprofesionální účely. První část práce byla věnována analýze problematiky pily a její obsluze. Následně byly definovány klíčové prvky a posléze proveden průzkum sortimentu na trhu. Ze zjištěných poznatků byl vytvořen finální návrh konstrukce, kterému se věnují zbylé části práce.

Záměrem konstrukčního řešení bylo navrhnout stolní kotoučovou pilu, která bude nejen funkční, bezpečná a přesná, ale také ergonomická s estetickým dojmem. Pro docílení těchto požadavků bylo nutno zajistit hladký chod všech součástí, bez vzájemné kolize. Veškeré prvky, které můžou být potenciální hrozbou úrazu při práci byly řádně zakrytovány a zajištěny. Jelikož je kotoučová pila zařízení, které přichází s obsluhou do přímého styku, bylo nutno zajistit zvýšenou bezpečnost klíčových prvků. Toto zajištění bylo docíleno především vhodnou konstrukcí, ale také volbou materiálu.

Převážná většina prvků pily je vyrobena ze slitiny hliníku. Tato slitina poskytuje ideální poměr hmotnosti a pevnosti součástí. Některé prvky bylo ovšem potřeba navrhnout z materiálu, který zaručí pevnost vyšší na úkor jeho hmotnosti. Jednalo se především o protikus kolébky vyrobený z oceli, na kterém celá konstrukce rámu stojí a bylo tedy nutno zaručit spolehlivou funkci. Požadavky na změnu materiálu na ocel odhalila také pevnostní analýza v případě konzole elektromotoru. Opačným případem je kryt pily vyrobený z plastu, který dosahuje dostatečné hodnoty nejen bezpečnosti, ale také deformace. Vřeteno i rám pily zaručuje dostatečnou bezpečnost, v případě výroby z hliníkové slitiny. Součásti jako řemenice, kuželová a šneková soukolí, pohybový šroub... jsou samozřejmě vyrobeny z oceli.

Nepřímý pohon pilového kotouče zajišťuje elektromotor Siemens 1LA7090-2AA, který přenáší kroutící moment na hřídel pilového kotouče pomocí dvojice úzkých klínových řemenů s označením PHG SPZ 630. Naklápění kotouče realizováno pomocí šnekového soukolí, zdvih kotouče pomocí pohybového šroubu. Oba mechanismy jsou ovládány pomocí ručních kol.

Důležitým parametrem stolních kotoučových pil je prořez kotouče. V případě vysunutého kotouče v maximální vertikální poloze je prořez 75 mm. Jestliže je pilový kotouč sklopen pod úhlem 45°, dosahuje prořez hodnoty 53 mm.

Spolu s kotoučovou pilou je možné použít také rozkládací stojan, který však není pro funkci pily nezbytný. V případě kombinace pily se stojanem, dosahují celkové rozměry 707 × 1441 × 1302 mm. Při aktivním rozšíření, kterým je pila vybavena se rozměry vyšplhají na 707 × 1640 × 1302 mm. Pila je konstruována pro pilový kotouč o maximálním průměru 260 mm. V příloze této práce se nachází výkresová dokumentace.

Výrobní náklady stolní kotoučové pily se stojanem byly odhadnuty na 31 000,- Kč. Při pomyšlení na zařazení tohoto konstrukčního návrhu do skutečné výroby, by byl brán ohled na volbu elektromotoru s vyšším výkonem. Důležitým prvkem pro stolařskou výrobu je také předřez, který zabráňuje vytrhávání vláken z děleného materiálu. Zadáním však bylo navrhnout malou stolní kotoučovou pilu pro poloprofesionální účely, která za normálních okolností předřezem vybavena není.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Bosch PTS 10* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/bosch-pts-10/>
- [2] *DeWalt DWE7491* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.rucni-naradi.cz/dewalt-dwe7491-stolni-okruzni-pila>
- [3] *Hřidel s řemenicí* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/p/Sears-Craftsman-10-Contractor-Table-Saw-Arbor-Bracket-Shaft-With-Bearings/1341120639>
- [4] JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Dřevo a jeho obrábění*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 978-80-247-2961-9.
- [5] *Katalog klínových řemenů* [online]. 2016 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://www.skf.com/binary/28-268672/Catalogue---SKF-Power-Transmission-belts---06875_3-EN.pdf
- [6] *Kotoučová vložka* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.sliversmill.com/category_158_Craftsman.html
- [7] KRÁL, Pavel. *Obrábění dřevařských materiálů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. ISBN 978-80-7375-267-5.
- [8] *Kuličkový šroub* [online]. 2016 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://blog.misumiusa.com/ball-screw-steel-ball-recirculation/>
- [9] KVIETKOVÁ, Monika. *Obrábění dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, 2015. Vysokoškolská učebnice. ISBN 978-80-213-2604-0.
- [10] *Ladění stolní kotoučové pily* [online]. 2004 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://eberhardt.bz/GME_Wood_Land/GME_Woodworking_Stuff/2_Tool_Tune_Ups/8_Tuneup_Tablesaw.pdf
- [11] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. : il. ISBN 80-7361-011-6.
- [12] *Makita MLT100X* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.akunaradi.cz/stolni-kotoucova-pila-makita-mlt100x/d-71136/>
- [13] *Metabo TS 36-18 LTX BL 254* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.naradimetabo.com/metabo-ts-36-18-ltx-bl-254?gclid=Cj0KCQjw5fDWBrdAARIsAA5uWTg0XELmblwTep4n5zB467v5G-379g7q3yIx60xuCVb30wW86YQcbMcaAni-EALw_wcB
- [14] *Mobilní stojan* [online]. 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.naradionline.cz/stul-transportni-pro-pily-bosch-gcm-a-gts-gta-60w.html>
- [15] *Pevný stojan* [online]. 2010 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://prislusenstvi-pro-pily.heureka.cz/bosch-podstavec-pro-pilu-pts-10/>
- [16] *Pilový kotouč* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://gola-sada-tona.cz/kotouce-s-sk-platkem/60886-pilkot-sk-200x16--24-zub-5902628814135.html>
- [17] *Použití ložisek* [online]. 2006 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: https://www.pksevis.com/data/web/skf/6000_CS_00_06_Pou%C5%BEit%C3%AD%20lo%C5%BEisek.pdf
- [18] *Práce na stolních kotoučových pilách* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.startwoodworking.com/post/how-crosscut-tablesaw>

- [19] *Praktik: 36 stran nápadů pro dům, byt a zahradu*. Praha: Bydlení, 1996, sv. ; 30 cm. ISSN 1211-5533.
- [20] *Rám pily* [online]. 2016 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://forum.woodtools.ru/index.php?topic=57386.650>
- [21] *SawStop* [online]. 2007 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: http://www-personal.umich.edu/~dbeil/Auctions_to_learn_demand.pdf
- [22] *Sběrač pilin* [online]. 2001 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US6736042B2/en>
- [23] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [24] *Šnekový mechanismus* [online]. 2011 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.thewoodwhisperer.com/viewer-projects/bens-refurbished-pm-66-tablesaw/>
- [25] VARKOČEK, Jan, Miroslav ROUSEK a Jindřich HOLOPÍREK. *Dělení, obrábění a tváření materiálů*. Vyd. 2. nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2004. ISBN 80-7157-759-6. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:acd89930-fc56-11e3-89c6-005056827e51>
- [26] *Vnější uspořádání kotoučové pily* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.naradihornig.cz/makita-mlt100x-stolni-pila-se-stolem-1500w-260mm-30mm-prerez-93mm_z31117/
- [27] *Vnitřní uspořádání kotoučové pily* [online]. 2011 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/708663PK-JTAS-10XL50-W1-3-Horsepower-Extension-230-Volt/dp/B0000223L6>
- [28] *Vřeteno s hřídelí* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/Rebuilt-Rockwell-Delta-Model-10-Table-Saw-Arbor-Assembly-NEW-Bearings-/222470345957>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
k	Bezpečnost vůči meznímu stavu	[–]
L_w	Délka klínového řemene	[mm]
l	Délka pera	[mm]
p_D	Dovolený tlak na pero	[MPa]
C	Dynamická únosnost ložiska	[N]
t_1	Hloubka drážky v náboji	[mm]
P_B	Jmenovitý výkon přenášený jedním řemenem	[kW]
σ'_c	Korigovaná mez únavy	[MPa]
M_k	Kroutící moment elektromotoru	[Nmm]
$M_{k_{H\check{R}}}$	Kroutící moment hřídele	[Nmm]
M_{k1}	Kroutící moment na pohybovém šroubu	[Nmm]
M_{k2}	Kroutící moment na ručním kole	[Nmm]
d_3	Malý průměr závitu šroubu	[mm]
w	Maximální deformace	[mm]
a_{max}	Maximální osová vzdálenost řemenic	[mm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
σ_{CO}	Mez únavy	[MPa]
a_{min}	Minimální osová vzdálenost řemenic	[mm]
M_{ZV}	Moment pro zvedání břemene	[Nmm]
i	Návrhový převodový poměr	[–]
$\sigma_{O\ NOM}$	Nominální ohybové napětí	[MPa]
$\tau_{K\ NOM}$	Nominální smykové napětí	[MPa]
v	Obvodová rychlost řemene	[m · s ⁻¹]
F_O	Obvodová síla v řemenu	[N]
σ	Ohybové napětí	[MPa]
F_{OS}	Osová síla ve šroubu	[N]
n_1	Otáčky pilového kotouče	[min ⁻¹]
n_2	Otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
z_1	Počet zubů kuželového kola č. 1	[ks]
z_2	Počet zubů kuželového kola č. 2	[ks]
z	Potřebný počet klínových řemenů	[ks]
d	Průměr hřídele v nebezpečném místě	[mm]
$D_{KOTOUČ}$	Průměr kotouče	[mm]
d_{f1}	Průměr malé řemenice	[mm]
d_{f2}	Průměr velké řemenice	[mm]
i_K	Převodový poměr kuželového soukolí	[–]

R_{AZ}	Reakční síla v místě A	[N]
R_{BZ}	Reakční síla v místě B	[N]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa]
F_1	Řezná síla kotouče	[N]
F_2	Síla předpětí řemenice	[N]
F_{BOK}	Síla působící na bok pera v náboji	[N]
Pr_1	Síla působící na ložisko v místě A	[N]
Pr_2	Síla působící na ložisko v místě B	[N]
$n_{1 SKUT}$	Skutečné otáčky hřídele	[min ⁻¹]
i_{SKUT}	Skutečný převodový poměr	[-]
τ	Smykové napětí	[MPa]
k_f	Součinitel dalších vlivů	[-]
C_3	Součinitel délky klínového řemene	[-]
β_0	Součinitel ohybové únavy	[-]
C_2	Součinitel provozního zatížení	[-]
β_K	Součinitel smykové únavy	[-]
k_e	Součinitel spolehlivosti	[-]
f	Součinitel tření v závitu šroubu	[-]
α_0	Součinitel tvaru ohybového napětí	[-]
α_K	Součinitel tvaru smykového napětí	[-]
C_1	Součinitel úhlu opásání menší řemenice	[-]
k_a	Součinitel vlivu jakosti povrchu	[-]
k_d	Součinitel vlivu teploty	[-]
k_b	Součinitel vlivu velikosti	[-]
k_c	Součinitel vlivu způsobu zatěžování	[-]
P_h	Stoupání závitu	[mm]
b	Šířka pera	[mm]
d_2	Střední průměr závitu šroubu	[mm]
L_{HOD}	Trvanlivost ložiska	[hod]
α	Úhel stoupání závitu šroubu	[°]
δ_1	Úhel roztečného kužele kola č. 1	[°]
δ_2	Úhel roztečného kužele kola č. 2	[°]
ω	Úhlová rychlost hřídele elektromotoru	[rad · s ⁻¹]
P	Výkon elektromotoru	[kW]
p_0	Základní hodnota tlaku	[MPa]
a	Zvolená osová vzdálenost řemenic	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1-1** Vnější uspořádání kotoučové pily [26]
Obr. 1-2 Vnitřní uspořádání kotoučové pily [27]
Obr. 1-3 Rám pily [20]
Obr. 1-4 Hřídel s řemenicí [3]
Obr. 1-5 Vřeteno s hřídelí [28]
Obr. 1-6 Pilový kotouč [16]
Obr. 1-7 Detail SK [16]
Obr. 1-8 Mobilní stojan [14]
Obr. 1-9 Pevný stojan [15]
Obr. 1-10 Kotoučové vložky [6]
Obr. 1-11 Rozevírací klín [4]
Obr. 1-12 Příčný řez s užitím úhlového pravítka [18]
Obr. 1-13 Podélný řez s užitím podávací rukojeti [18]
Obr. 2-1 Přímý pohon kotouče
Obr. 2-2 Nepřímý pohon kotouče
Obr. 2-3 Šnekový mechanismus [24]
Obr. 2-4 Pohybový šroub [8]
Obr. 2-5 Sběrač pilin [22]
Obr. 2-6 Bosch PTS 10 [1]
Obr. 2-7 Makita MLT100X [12]
Obr. 2-8 DeWALT DWE7491 [2]
Obr. 2-9 METABO TS 36-18 LTX BL 254 [13]
Obr. 3-1 Mechanismus zdvihu
Obr. 3-2 Řez mechanismem zdvihu
Obr. 3-3 Schéma kuželového soukolí
Obr. 3-4 Schéma hřídele
Obr. 3-5 Rozklad sil na kotouči a řemenici
Obr. 3-6 Výsledné vnitřní účinky
Obr. 4-1 Stolní kotoučová pila včetně stojanu
Obr. 4-2 Popis vnitřního uspořádání
Obr. 4-3 Prodloužení stolu
Obr. 4-4 Montáž pracovního stolu
Obr. 4-5 Rám s mechanismy
Obr. 4-6 Napnutí řemene
Obr. 4-7 Řez sestavou vřetena
Obr. 4-8 Vřeteno
Obr. 4-9 Řez stolní kotoučové pily
Obr. 4-10 Schéma stojanu
Obr. 4-11 Kotoučová pila s příslušenstvím
Obr. 4-12 Kryt pily s pravítkem
Obr. 4-13 Sběrač pilin s rámem
Obr. 4-14 Sběrač pilin
Obr. 5-1 Deformace vřetena

Obr. 5-2 Deformace protikusu kolébky

Obr. 5-3 Deformace rámu pily

Obr. 5-4 Deformace konzole elmotoru

Obr. 5-5 Deformace krytu pily

SEZNAM TABULEK

- Tab. 2-1** Parametry pily Bosch PTS 10 [1]
- Tab. 2-2** Parametry pily Makita MLT100X [12]
- Tab. 2-3** Parametry pily DeWALT DWE7491 [2]
- Tab. 2-4** Parametry pily METABO TS 36-18 LTX BL 254 [13]
- Tab. 5-1** Pevnostní analýza vřetena
- Tab. 5-2** Pevnostní analýza protikusu kolébky
- Tab. 5-3** Pevnostní analýza rámu pily
- Tab. 5-4** Pevnostní analýza konzole elmotoru
- Tab. 5-5** Pevnostní analýza krytu pily
- Tab. 6-1** Nacení součástí pily

SEZNAM PŘÍLOH

Typ výkresu	Název výkresu	Číslo výkresu
Výkres sestavy	Stolní kotoučová pila	A2-SKP-00
Výrobní výkres	Hřídel	A3-SKP-01
Výrobní výkres	Malá řemenice	A3-SKP-02