



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Konstrukce stolní kotoučové pily**

**Table saw design**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2023**

**Vít Neužil**

**Studijní program:** B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** 2301R000 Studijní program je bezoborový

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Dub, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Neužil** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **501307**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukce stolní kotoučové pily**

Název bakalářské práce anglicky:

**Table saw design**

Pokyny pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zpracujte návrh kotoučové pily. Osnova:  
- Rešerše problematiky kotoučových pil včetně bezpečnostních systémů  
- Vytvoření koncepčních návrhů  
- Návrhové a kontrolní výpočty vybraných uzlů  
- 3D CAD model vybraného řešení  
- Vybraná výkresová dokumentace  
- Závěrečná zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol.: Technický průvodce, Části strojů, Praha. SNTL, Nakladatelství technické literatury, 1989.  
Katalogy výrobců, internetové zdroje, normy

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Dub, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **11.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Martin Dub, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Duba, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne: 20.5.2023

Vít Neužil

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této práce Ing. Martinu Dubovi, Ph.D. za ochotu, podporu a sdílení zkušeností při tvorbě této práce. Dále děkuji firmě FESTOOL, konkrétně Pavlu Musilovi a Václavu Zvánovcovi za poskytnutí technických podrobností ohledně jejich řešení okružní pily se SawStop systémem.

# Anotační list

**Jméno autora:** Vít Neužil  
**Název bakalářské práce:** Konstrukce stolní kotoučové pily  
**Anglický název:** Table saw design  
**Akademický rok:** 2022/23  
**Ústav:** Ústav konstruování a částí strojů  
**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Martin Dub, Ph.D.

**Bibliografické údaje:** Počet stránek: 62  
Počet tabulek: 12  
Počet obrázků: 46

**Klíčová slova:** kotoučová pila, okružní pila, SawStop

**Keywords:** table saw, circular saw, SawStop

**Anotace:** Tématem této práce je návrh konstrukce stolní kotoučové pily na dřevo s použitím v domácích dílnách. Součástí pily je SawStop systém, který zabraňuje možnosti zranění obsluhy řezným kotoučem. Obsahem práce je rešerše na dané téma, konstrukční část s výpočty a popisem vybraných prvků a výkresová dokumentace spolu s 3D CAD modelem.

**Abstract:** The topic of this thesis is a construction of a table saw for cutting wood in small home workshops. Part of the saw is the SawStop system which prevents operator from being injured by the saw blade. The paper contains a research part of the given topic, the construction part with calculations, detailed descriptions of selected parts and the drawing documentation together with a 3D CAD model.

# Obsah

Seznam zkratk a symbolů .....	1
1 Úvod a cíl práce .....	4
2 Rešeršní část.....	5
2.1 Historie stolních kotoučových pil .....	5
2.2 Typy kotoučových pil .....	7
2.2.1 Ruční pily .....	7
2.2.2 Omítací pily.....	8
2.2.3 Zkracovací pily.....	9
2.2.4 Stolní pily.....	10
2.2.5 Formátovací pily .....	11
2.2.6 Kolébkové pily .....	12
2.3 Řezný kotouč.....	13
2.4 Bezpečnostní prvky .....	17
2.4.1 Zpětné vymrštění.....	17
2.4.2 Prachové znečištění .....	18
2.4.3 Prevence kontaktu s řezným kotoučem.....	18
Kontaktní systémy .....	18
Bezkontaktní systémy .....	20
3 Konstrukční část .....	22
3.1 Volba kotouče.....	22
3.2 Návrh elektromotoru .....	23
3.2.1 Výpočet potřebných otáček.....	23
3.2.2 Výpočet řezné síly.....	23
3.2.3 Výpočet výkonu elektromotoru .....	25
3.2.4 Volba elektromotoru.....	26

3.3	Návrh řemenového převodu.....	27
3.3.1	Výpočtová délka řemene .....	28
3.3.2	Výpočet počtu řemenů .....	29
3.3.3	Skutečná osová vzdálenost.....	30
3.3.4	Silové poměry.....	31
3.3.5	Volba řemenic .....	32
3.4	Návrh průměrů hřídele a těsných per .....	33
3.4.1	Minimální průměr hnané a hnací hřídele .....	33
3.4.2	Kontrola těsného pera na hřídeli elektromotoru .....	33
3.4.3	Návrh pera na hnané hřídeli.....	34
3.5	Návrh upevnění kotouče .....	35
3.5.1	Výpočet síly potřebné pro utažení .....	35
3.6	Návrh uložení hnané hřídele.....	37
3.6.1	Silový rozbor.....	38
	Rovina XY.....	39
	Rovina XZ.....	40
	Výpočet reakcí.....	40
3.6.2	Kontrola ložisek.....	40
3.7	Návrh zastavovacího mechanismu .....	42
3.7.1	Patrona KT-TKS 80 .....	43
3.7.2	Mechanická pojistka.....	44
3.7.3	Senzor SawStop systému .....	44
3.7.4	Gumový silentblok.....	45
3.7.5	Řešení řemenového převodu .....	45
3.8	Pohybové mechanismy pro pohyb kotouče .....	46
3.8.1	Naklápěcí mechanismus .....	46

3.8.2	Vysouvací mechanismus.....	47
	Zdvížná převodovka TSE 2-RN.....	48
	Přírubová matice TSE 2-FM.....	49
3.8.3	Ruční pohon obou mechanismů.....	49
3.9	Další části konstrukce.....	50
3.10	Shrnutí konstrukce.....	52
4	Závěr.....	53
5	Bibliografie.....	54
6	Seznam obrázků.....	59
7	Seznam tabulek.....	61
8	Seznam příloh.....	62



## Seznam zkratk a symbolů

Symbol	Jednotka	Poznámka
$h_{max}$	[ <i>mm</i> ]	Maximální požadovaná hloubka řezu
$D_k$	[ <i>mm</i> ]	Vnější průměr kotouče
$b_{ř}$	[ <i>mm</i> ]	Šířka zubu
$t_k$	[ <i>mm</i> ]	Šířka těla kotouče
$d_k$	[ <i>mm</i> ]	Upínací otvor kotouče
$z_k$	[–]	Počet zubů kotouče
$n_{max}$	[ <i>ot · min<sup>-1</sup></i> ]	Maximální otáčky kotouče
$v_{ř}$	[ <i>m · s<sup>-1</sup></i> ]	Řezná rychlost kotouče
$n_2$	[ <i>ot · min<sup>-1</sup></i> ]	Otáčky kotouče
$p_{ř}$	[ <i>MPa</i> ]	Tvrdost dřeva
$\gamma$	[°]	Úhel jednoho zubu
$L$	[ <i>mm</i> ]	Délka oblouku jednoho zubu
$d_{ř}$	[ <i>mm</i> ]	Délka řezu
$z_{ř}$	[–]	Počet zubů v záběru
$z_s$	[–]	Počet zubů v záběru za sekundu
$f_{ř}$	[ <i>mm · s<sup>-1</sup></i> ]	Posuv materiálu
$f_z$	[ <i>mm · zub<sup>-1</sup></i> ]	Posuv na zub
$S_{tř}$	[ <i>mm<sup>2</sup></i> ]	Plocha třísky
$F_z$	[ <i>N</i> ]	Řezná síla jednoho zubu
$F_{ř}$	[ <i>N</i> ]	Celková řezná síla
$P_{ř}$	[ <i>W</i> ]	Potřebný řezný výkon
$\eta_{lož}$	[%]	Účinnost uložení v ložiskách
$\eta_{řem}$	[%]	Účinnost řemenového převodu
$P_{potř}$	[ <i>W</i> ]	Potřebný výkon motoru
$n_1$	[ <i>ot · min<sup>-1</sup></i> ]	Otáčky motoru
$i_{řem}$	[–]	Potřebný převodový poměr

$d_p$	[mm]	Výpočtový průměr malé řemenice
$D_p$	[mm]	Výpočtový průměr velké řemenice
$i_{skut}$	[-]	Skutečný převodový poměr
$n_{2skut}$	[ $ot \cdot min^{-1}$ ]	Skutečné otáčky kotouče
$a_{př}$	[mm]	Předběžná osová vzdálenost
$\beta$	[°]	Úhel opásání
$\alpha_0$	[°]	Doplňkový úhel
$L_p$	[mm]	Výpočtová délka
$c_1$	[-]	Součinitel úhlu opásání
$c_2$	[-]	Součinitel provozního zatížení
$c_3$	[-]	Součinitel vlivu délky klínového řemene
$P_r$	[W]	Přenášený výkon jedním řemenem
$z$	[-]	Potřebný počet řemenů
$a_{skut}$	[mm]	Skutečná osová vzdálenost
$v$	[ $m \cdot s^{-1}$ ]	Obvodová rychlost řemene:
$F$	[N]	Obvodová síla
$f_0$	[-]	Součinitel suchého tření u nového řemene
$f_d$	[-]	Součinitel tření
$f_k$	[-]	Redukovaný koeficient tření klínové drážky
$F_1$	[N]	Síla v přitěžované větvi
$F_2$	[N]	Síla v odlehčované větvi
$F_u$	[N]	Potřebná předepínací síla řemene
$F_O$	[N]	Tahová síla v ose řemenic
$F_{řem}$	[N]	Výsledná síla od řemene
$\tau_D$	[MPa]	Dovolené napětí v krutu
$M_{k1}$	[Nmm]	Krouticí moment na hnací hřídeli
$M_{k2}$	[Nmm]	Krouticí moment na hnané hřídeli
$d_{hmin}$	[mm]	Minimální průměr hnané hřídele
$d_{Mmin}$	[mm]	Minimální průměr hnací hřídele

$p_d$	[MPa]	Dovolený tlak
$t_1$	[mm]	Hloubka drážky pro pero
$b$	[mm]	Šířka pera
$F_{pi}$	[N]	Síla působící na pero
$l'_i$	[mm]	Minimální akční délka pera
$l_i$	[mm]	Minimální délka pera
$D_{př1}$	[mm]	Malý průměr příruby
$D_{př2}$	[mm]	Velký průměr příruby
$D_S$	[mm]	Střední průměr stykových ploch přírub
$F_t$	[N]	Třecí síla
$F_{t1}$	[N]	Třecí síla na jedné přírubě
$f_t$	[-]	Koeficient tření
$F_{Ošroub}$	[N]	Osová síla do šroubu
$\gamma$	[°]	Úhel stoupání závitu
$f_z$	[-]	Koeficient tření v závitu
$\varphi'$	[°]	Třecí úhel závitu
$F_{Zšroub}$	[N]	Síla v závitu
$M_Z$	[Nmm]	Třecí moment v závitu
$d_s$	[mm]	Třecí poloměr pod maticí
$M_m$	[Nmm]	Třecí moment pod maticí
$M_u$	[Nmm]	Celkový utahovací moment
$F_u$	[N]	Potřebná utahovací síla
$F_{posuv}$	[N]	Síla od posuvu řezaného materiálu
$F_{řemi}$	[N]	Síla od řemenového převodu do směru Y a Z
$F_{Ri}$	[N]	Celkové reakce
$P_i$	[N]	Ekvivalentní dynamické zatížení
$L_{10hi}$	[hod]	Základní trvanlivost ložisek
$P_{0i}$	[N]	Ekvivalentní statické zatížení
$s_{0i}$	[-]	Součinitel statické bezpečnosti

# 1 Úvod a cíl práce

V této bakalářské práci se zabývám návrhem konstrukce stolní kotoučové pily na dřevo. Kotoučové pily jsou hojně rozšířeným strojem v mnoha dřevozpracujících dílnách i domácích dílnách. Existuje velké množství variant a konfigurací těchto pil. Na světovém i českém trhu si zákazník může vybrat pro konkrétní požadavky vhodný nástroj. V rešeršní části této práce popisují nejčastější varianty stolních kotoučových pil.

V současné době se klade čím dál větší důraz na bezpečnost práce, a i proto dochází k neustálému vývoji prvků, které mají zabránit mnohdy vážným zraněním při práci na kotoučových pilách. Princip funkce jednotlivých typů těchto prvků popisují ve druhé části rešerše.

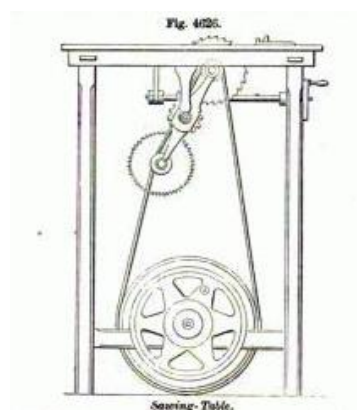
Druhou částí bakalářské práce je návrh konstrukce stolní kotoučové pily na dřevo s bezpečnostním prvkem zastavujícím kotouč při kontaktu s lidskou tkání. Návrh konstrukce jsem vyhotovil na základě zvolených parametrů a vlastní volby jednotlivých konstrukčních řešení. Návrh dílčích součástí je podložen výpočty a výkresovou dokumentací.

## 2 Rešeršní část

### 2.1 Historie stolních kotoučových pil

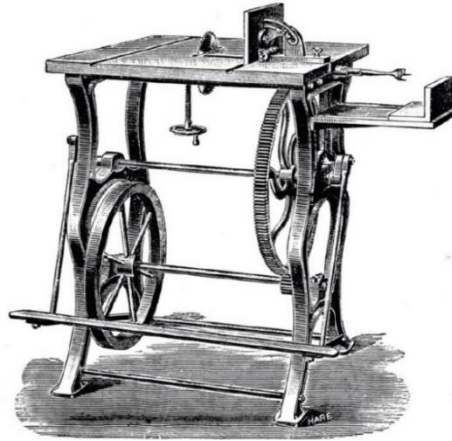
Kotoučové pily jsou dnes nepostradatelným nástrojem v každé vybavené dřevozpracující dílně. Před jejich vynálezem existovaly pouze přímé pily ruční či automatizované (například přímé pily na vodní pohon). Přímé pily se ovšem na určité řezací operace nehodí, třeba při prořezávání dlouhých nebo plochých bloků dřeva. Výhodou kotoučové pily je také skutečnost, že s ní jdou dobře řezat drážky o určité hloubce. Kotoučová pila má hlavně také větší efektivitu řezu, jelikož jsou řezné zuby v záběru neustále. U přímé pily dochází k řezu pouze při pohybu jedním směrem, poté se musí pilový list vrátit do původní polohy. Dříve se při výrobě trámů a prken používaly dlouhé ruční pily, které vyžadovaly přítomnost dvou pracovníků, kteří střídavě tahali za pilový list, proces to byl ale velmi náročný a kvůli „polovičnímu záběru“ také ne příliš efektivní.

První vynález kotoučové pily na dřevo není zcela jasný. Některé prameny zmiňují použití kotoučové pily kolem 16. až 17. století v Holandsku. První patent byl ale oficiálně představen v roce 1777 v Anglii, jednalo se o větrem poháněnou pilu na prořez dřevěných trámů do loděnic. Autorem návrhu byl anglický teolog Samuel Miller, ten je tedy zpravidla považován za „vynálezce“ kotoučové pily. V roce 1780 přichází ale s kotoučovou pilou i Gervinus z Německa. Mezi lety 1762 až 1790 se objevuje kotoučová pila i v Southamtonu u Waltera Taylora při řezání dřevěných součástí pro lodě. Pilu větších rozměrů představuje v roce 1813 i Tabitha Babbitt v Massachusetts. [1], [2], [3]



Obr. 1 - Nákres z patentu na rannou konstrukci stolní kotoučové pily [3]

Koncem 19. století se objevují malé pily s tzv. „šlapacím pohonem“, kde obsluha střídavě sešlapává dva pedály, které roztácejí řezný kotouč. Ve velkých provozech byly pily poháněny i vodou, větrem nebo parním strojem. [3]



*Obr. 2 - Kotoučová pila na šlapací pohon z roku 1889 [35]*

V roce 1922 Raymond Dewalt představil první kotoučovou pilu s radiálním ramenem (tzv. pokosová pila), byl zakladatelem společnosti DeWALT, která dodnes vyrábí nářadí. Dalším historickým milníkem byl příchod přenosné kotoučové pily (tzv. ruční okružní pila) v roce 1929. [3]

Ve dvacátém století docházelo k neustálému vylepšování konstrukcí kotoučových pil. K pohonu začaly být používány převážně elektromotory. V ojedinělých případech může být pila poháněna i spalovacím motorem (například při montážních pracích bez elektrické přípojky). Dnes jsou běžným výrobkem i akumulátorové stroje s vyměnitelnými bateriemi.



*Obr. 3 - První pila s radiálním ramenem od společnosti DeWalt z roku 1922 [36]*

## 2.2 Typy kotoučových pil

### 2.2.1 Ruční pily

Ruční kotoučové pily nebo také okružní pily jsou nejmenším typem kotoučových pil. Pilový kotouč je společně s elektromotorem opatřen držadly pro obsluhu a opěrnou plochou pro řezání. Při řezání se nemanipuluje s řezaným materiálem, ale se samotnou pilou. Používá se například při dělení velkorozměrových desek, nebo při montážních pracích na stavbách, kdy se nehodí použití velkých pil. [4]

Tyto pily jsou většinou vybaveny bezpečnostním krytem kotouče, který brání nechtěnému kontaktu s kotoučem mimo operaci řezání. Při najetí pily do záběru dojde postupným posunem pily k odklopení krytu. [4]

S některými typy těchto pil je možné používat i vodící lištu, která se připevní k řezanému materiálu a se zafixovanou pilou můžeme vykonat dlouhý rovný řez. U těchto pil je také možné nastavit hloubku a sklon řezu. [5]



*Obr. 4 - Ruční kotoučová pila s vodící lištou [5]*

## 2.2.2 Omítací pily

Omítací pily se používají v dřevařských provozech pro výrobu ve větších sériích. Slouží k řezání dlouhých podélných řezů, tedy převážně při řezání prken nebo trámů. Stroj může být vybaven i více kotouči, řeže se tak více řezů najednou. Řezaný materiál může být přisouván strojním posuvem nebo ručně. Přiloží se k vodící liště a nastaví se požadovaná šířka řezu, poté je posouván proti řezacímu kotouči. [4]

Další variantou je upnutí materiálu k pracovnímu stolu a posuv samotného kotouče po délce celé součásti vpřed a vzad. Posuv je zajištěn například pomocí řetězového pohonu. [6]



*Obr. 5 - Omítací pila s posouvajícím se kotoučem [38]*



*Obr. 6 - Omítací pila se dvěma kotouči a pásovým posuvem [37]*



### 2.2.3 Zkracovací pily

Zkracovací pily se používají pro rozdělování a zkracování dřeva napříč. Ruční zkracovací pily (tzv. pokosové) mají kotouč umístěný nad řezaným materiálem. V případě ramenové zkracovací pily se kotouč pohybuje podélným směrem po vodícím rameni, je tedy ve stále stejně nastavené výšce nad podložkou. To může být výhodné například při řezání drážek. U kyvadlové zkracovací pily je kotouč na kyvném rameni, které se sklopí k řezané součásti. Tento typ pil může být také vybaven bezpečnostním krytem kotouče, který se sklopením pily do řezu postupně odklopí. Některé typy pil mají kombinovaný mechanismus, pilou lze tedy hýbat „dopředu a dozadu“ i „nahoru a dolů“. Speciální zkracovací pily také umožňují naklopení řezného kotouče, a to i ve dvou osách. [4]



*Obr. 7 - Ruční zkracovací pila s kombinovaným mechanismem posuvu a možností naklopení kotouče do dvou směrů [4]*

Zkracovací pily se vyrábí i se strojním pohonem. Posun kotouče zajistí např. řetězový nebo hydraulický mechanismus. Pilový kotouč může být umístěn i pod řezanou součástí, vložený materiál se zajistí proti zvednutí a k proříznutí dojde ze spodní strany. Automatizované zkracovací pily se hojně využívají na pilách při řezání klád i opracovaných trámů či prken. Ruční pily poté převážně při montážních pracích nebo v menších dřevozpracujících provozech. [7], [8]



*Obr. 8 - Zkracovací pila se strojním posuvem kotouče ze spodní strany (s přidržovačem materiálu) [7]*

## 2.2.4 Stolní pily

Stolní pily jsou opatřeny pracovním stolem, ve kterém je otvor pro řezný kotouč, který je upevněný pod úrovní pracovní plochy. Kotouč je možné vysouvat nahoru a dolů, a tím tedy měnit hloubku řezu (vhodné například při řezání drážek). Dále je kotouč možné naklápět podél řezu, a vytvářet tak například zkosení nebo šikmé spoje. Na pracovním stole pily je obvykle umístěno podélné posuvné pravítko s nastavitelnou vzdáleností od kotouče. Posunem materiálu podél pravítka lze vytvářet dlouhé podélné řezy. Pila také může být vybavena příčným pravítkem, které se posouvá v podélné drážce v pracovním stole. Při zapření materiálu o příčné pravítko a posuvu do řezu je možné řezat rovné příčné řezy. Toto pravítko může být vybaveno i nastavením sklonu, s jehož pomocí je možné řezat příčné šikmé řezy. [4], [9]



*Obr. 9 - Stolní pila s podélným pravítkem [39]*

Tyto pily se vyrábějí v různých velikostech. Největší stolní pily jsou vybaveny velkým pracovním stolem a používají se pro přesné řezání velkých součástí. Další variantou jsou pily se skládacím stolem nebo přídatnými stojinami pro oporu řezaného materiálu. Nejmenšími pilami jsou stolní pily přenosné, které mohou být opatřeny skládacím rámem, na kterém stojí pracovní stůl, a případně i kolečky pro snadný přesun nebo také akumulátorem (samostatným zdrojem energie). Také existují pily určené k montáži přímo na dílenský stůl, jsou tak velice skladné a snadno přenosné. Nevýhodou menších pil je horší přesnost řezání a výkon oproti větším a těžším stolním pilám. [10]

### 2.2.5 Formátovací pily

Formátovací pily jsou speciálním typem stolních pil. Slouží k řezání velkých plochých desek například při výrobě nábytku. Jsou stejně jako stolní pily vybaveny pracovním stolem, navíc ale také dlouhými pravítky pro oporu velkých součástí. U těchto typů pil bylo většinou možné řezat pouze pravouhlé řezy, některé moderní typy formátovacích pil jsou ale již dnes vybaveny pravítky s měnitelným úhlem a možností naklápění kotouče podél řezu. [4], [9]



Obr. 10 - Velkorozměrová formátovací pila [11]

Stolní formátovací pily mohou být vybaveny i tzv. „předřezávacím“ kotoučem, který je umístěn před hlavním kotoučem a má menší průměr. Při posuvu materiálu se spodní část desky nařízne menším kotoučem a dále

se zcela prořízne kotoučem hlavním. Použití dvou kotoučů zvyšuje čistotu řezu například u dřevotřískových desek. [11]

Zvláštním typem jsou vertikální formátovací pily, na které se řezané desky umísťují svisle a kotoučová pila pojezdí po vedení nahoru a dolů. Nespornou výhodou vertikálních pil je menší půdorys oproti pilám s horizontálním pracovním stolem. [10]



Obr. 11 - Vertikální formátovací pila [10]

## 2.2.6 Kolébkové pily

Tyto pily se používají na zkracování dřevěných trámů, kulatin a prken většinou pro zpracování palivového dřeva. Pila slouží k rychlému řezání velkého množství materiálu. Pilový kotouč je buď přímo připevněn k pohonnému elektromotoru nebo je spojení realizováno řetězovým či řemenovým převodem. Řezaný materiál se umístí do „kolébkky“, která se poté přiklopí k rotujícímu kotouči. [12]



Obr. 12 - Kolébková pila [40]

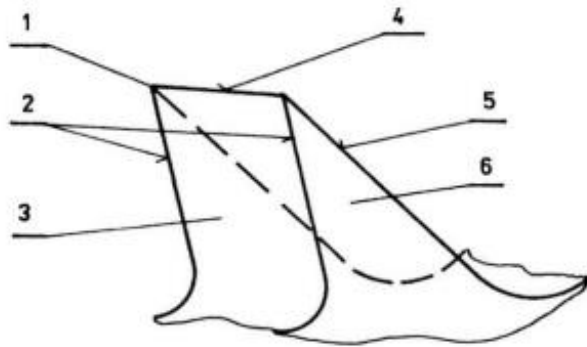
## 2.3 Řezný kotouč

Kotoučové pily používají pro dělení dřeva řezné kotouče. Jsou to kulaté kotouče z kovového plechu se zuby na vnějším obvodu. Po roztočení kotouče se řezaný materiál přisouvá k pohybujícím se zubům, které překonají odpor dřevěného materiálu (zapřeného o podložku) a odříznou malou třísku materiálu. Každý kotouč má předepsané vhodné otáčky pro správnou řeznou rychlost. Důležitá je také rychlost přísuvu řezaného materiálu. V případě ručního posuvu je proto důležitá řádná odbornost obsluhy. [9]

Rozlišujeme řezání podélné a příčné. Podélné je ve směru vláken dřevěného kmene, příčné je kolmé na vlákna, letokruhy. Podle směru řezání se liší potřebný řezný výkon (příčné řezání vyžaduje větší výkony). Odpor při řezání také závisí na druhu dřeva, tedy jeho hustotě, vlhkosti (například lipové dřevo jde řezat výrazně lépe než dubové). [13]

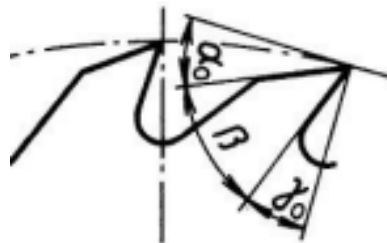
Řezné kotouče dělíme podle typu zubů, jedním typem jsou kotouče z jednoho dílu ocelového plechu (například zakalená rychlořezná ocel), po jehož obvodu jsou vyřezané a nabroušené zuby. Výhodou těchto kotoučů je nižší cena, nevýhodou je, že zuby jsou stejně tlusté jako celý kotouč, při řezání by tedy docházelo k tření kotouče v drážce řezaného materiálu. To lze řešit buď tzv. „podbroušením“ kotouče, kdy je tělo kotouče zbroušeno na menší tloušťku nebo použitím střídavě ohnutých či pěchovaných zubů (rozšířené na vnější straně). V dnešní době se ale při profesionálním řezání tyto kotouče příliš nepoužívají, nahradily je kotouče s připevněnými zuby z jiného materiálu. Tyto zuby jsou vyrobeny z tvrdších materiálů, jako jsou slinuté karbidy (ty mají vysokou výrobní cenu, proto z nich nemůže být vyroben celý kotouč). Připevnění těchto zubů může být pájením, nebo mohou být vyměnitelné (ve speciálních držácích nebo nýtované). [8], [13]

Geometrii zubů definují řezné úhly. Řezná část zubu se nazývá břit, ten je tvořen čelem a hřbetem, vedlejší břit je tvořen čelem a vedlejším hřbetem nástroje. Průsečnice těchto ploch se nazývají hlavní a vedlejší ostří. Řezné úhly označujeme jako úhel hřbetu, břitu a čela. [13]



Obr. 14 – Označení částí zubu pilového kotouče [13]

- 1) Špička; 2) Vedlejší ostří; 3) Čelo; 4) Ostří;  
5) Hlavní hřbet; 6) Vedlejší hřbet



Obr. 13 - Geometrie řezných úhlů [13]

$\alpha_0$  – úhel hřbetu;  $\gamma_0$  – úhel čela;  $\beta$  – úhel břitu

Každá geometrie zubů se hodí pro řezání materiálů s jinými vlastnostmi. Například úhel čela ovlivňuje „agresivnost“ řezu, čím pozitivnější úhel čela je, tím lépe zub řeže. Úhel čela mezi  $5^\circ$  a  $20^\circ$  je vhodný pro rozdělování masivnějších materiálů, úhel nad  $30^\circ$  pak například pro řezání dýhovaných překližek. Negativní úhel čela ( $-5^\circ$  až  $-10^\circ$ ) je vhodný třeba při řezání zkracovacími ramenými pilami, pokud je úhel pozitivní, má kotouč tendenci posouvat se samovolně dále do řezu (nežádoucí škubání). Obecně platí, že větší úhly hřbetu a čela se používají pro měkčí a poddajnější materiály. [14]

	<b>FZ</b> rovný zub <b>FZ N</b> rovný zub s negativním úhlem čela <b>LFZ</b> rovný zub s omezovačem úběru třísky		<b>TFZ</b> trapézový zub střídavě s rovným zubem <b>TFZ N</b> trapézový zub střídavě s rovným zubem s negativními úhly čela		<b>WZ/SSW</b> střídavý zub se střídavým čelem
	<b>WZ</b> střídavý zub <b>WZ N</b> střídavý zub s negativním úhlem čela <b>LWZ</b> střídavý zub s omezovačem úběru třísky		<b>DHZ</b> dutý zub střídavě se střechovitým zubem <b>DHZ N</b> dutý zub střídavě se střechovitým zubem s negativními úhly čela		<b>WZ/FA</b> rovný zub se střídavou fazetkou
	<b>TZ</b> trapézový zub <b>TZ/TZ</b> trapézový zub		<b>KON FZ</b> kónický zub s rovným ostrím <b>KON WZ</b> kónický zub se střídavým ostrím		<b>WZ/W</b> střídavý zub se střídavou fazetkou
	<b>KXZ FZ</b> soudečkový zub		<b>WZ/FA/K</b> plexi		<b>WZ/FA/N</b> rovný zub se střídavou fazetkou s negativním úhlem čela

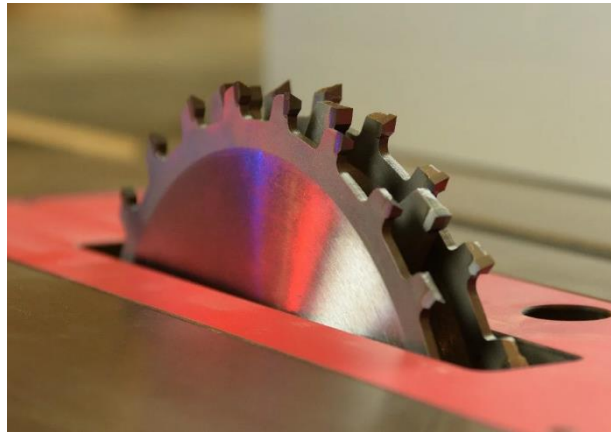
Obr. 15 - Výřez z katalogu výrobce PILANA s nejčastějšími typy zubů [41]

Existuje mnoho druhů kotoučů s různými kombinacemi úhlů a tvarů zubů. Liší se i počet zubů, podle tvrdosti materiálu a typu řezu. Obecně platí, že čím více zubů, tím čistší je řez. Při dělení tvrdých dřev je vhodnější menší počet zubů s větší zubovou mezerou pro odvod třísky. Častým typem zubů jsou šikmé zuby, nebo například trapézové střídavě s rovnými. Kotouče mohou být opatřeny i tzv. „omezovačem třísky“, což je zářez v kotouči, který má zlepšit chlazení kotouče, zmenšit tření s řezaným materiálem a zahladit řeznou drážku. [13]



Obr. 16 - Kotouč s omezovačem třísek

Některé kotoučové pily umožňují použití více řezných kotoučů spojených v jeden rotující celek. Používají se pro řezání širších drážek. Jsou složeny z postranních kotoučů s většinou šikmými zuby (tvoří boky drážek) a vnitřních kotoučů s rovnými nebo trapézovými zuby (odebírají vnitřek drážky). Pro tyto kotouče je nutná přítomnost krytu otvoru v pracovním stole s rozšířenou mezerou a speciálně uzpůsobený systém zafixování kotoučů na hnací hřídeli. [14], [15]



*Obr. 16 - Kotouče pro řezání drážek [15]*

V některých případech může být kotouč opatřen kromě otvoru pro hnací hřídel i otvory pro unášecí trny. Otvor také může mít například čtvercový, či kosočtvercový tvar pro lepší přenos momentu.



## 2.4 Bezpečnostní prvky

Předmětem mé bakalářské práce je konstrukce stolní kotoučové pily, proto se budu zabývat bezpečností pouze tohoto typu pil.

Stolní kotoučové pily patří k nejnebezpečnějším nástrojům v truhlářských dílnách. Při jejich používání vzniká mnoho vážných, v krajních případech až smrtelných úrazů. V moderní době se tyto aspekty stávají čím dál tím více řešeným problémem. Moderní kotoučové pily jsou proto vybaveny řadou bezpečnostních prvků, zajišťujících bezpečné prostředí pro obsluhu.

### 2.4.1 Zpětné vymrštění

Při řezání vzniká rozříznutá drážka, která se může vnitřními silami ve dřevě mírně sevřít, rotující kotouč se poté zachytí za bok drážky a dojde ke zpětnému vymrštění dřeva proti směru posuvu (ve směru rotace kotouče). Dřevo je vymrštěno velkou rychlostí, při kontaktu s obsluhou tedy může způsobit vážné zranění. Z tohoto důvodu jsou stolní kotoučové pily opatřeny tzv. rozevíracím klínem, který je umístěný v pracovním stole za kotoučem. Je mírně širší než tělo rotujícího kotouče, rozříznutou drážku tedy rozevívá, nemůže tak dojít k zachycení dřeva kotoučem. [9], [16]



*Obr. 17 - Stolní pila s rozevíracím klínem, západkami proti zpětnému rázu a zvedacím krytem [43]*

K rozevíracímu klínu mohou být také připevněny „západky“ proti zpětnému rázu, které umožňují pohyb dřeva pouze ve směru posuvu proti kotouči a zamezují zdvihnutí materiálu od pracovního stolu (obsluha stroje by měla řezaný materiál neustále přitlačovat k pracovnímu stolu, pokud tomu tak není, tak při absenci

tohoto bezpečnostního prvku dojde k unesení materiálu kotoučem a vymrštění do prostoru). Dále může být přes rozvírací trn nad kotoučem umístěn i zvedací ochranný kryt, který brání nechtěnému kontaktu. [16]

### 2.4.2 Prachové znečištění

Při řezání dřeva vzniká velké množství malých prachových částic. Práce v prašném prostředí není z dlouhodobého hlediska pro obsluhu bezpečná, proto se kotoučové pily vybavují prvky odsávajícími co největší množství vzniklého prachu a pilin.

Řezný kotouč bývá v části pod pracovním stolem opatřen krytem, ke kterému může být napojen sběrač prachu (např. vyměnitelný pytlík) nebo odsavač prachu (např. externí odsavač s vlastním zásobníkem). Dále je také možné vybavit pilu horním odsavačem prachu, který je umístěný nad řezným kotoučem. Ten může být připevněn buď k rozvíracímu klínu, nebo na rameni připojenému ke kraji pracovního stolu. [17]



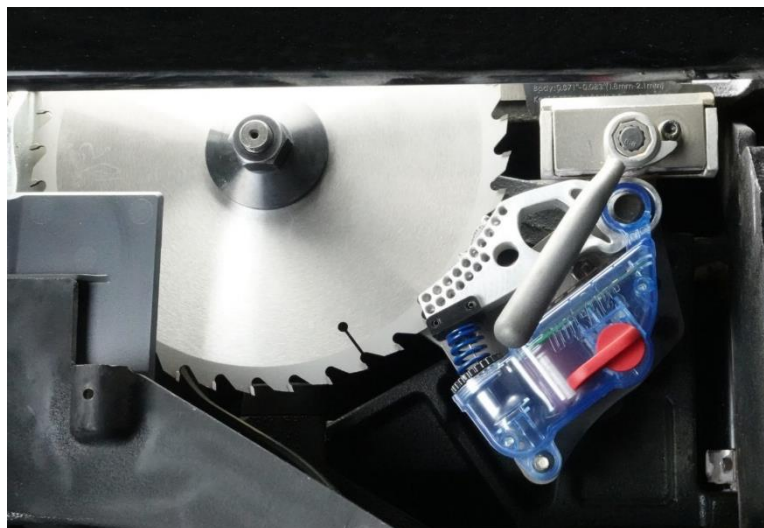
*Obr. 18 - Stolní pila s horním i dolním odsavačem pilin [17]*

### 2.4.3 Prevence kontaktu s řezným kotoučem

#### Kontaktní systémy

V roce 1999 americký fyzik Stephen F. Gass vymyslel bezpečnostní systém SawStop, který v případě kontaktu rotujícího kotouče s rukou obsluhy pilu okamžitě zastaví. První pila s tímto bezpečnostním prvkem se objevila na trhu poprvé v roce 2004. [18]

Kodizolovanému řeznému kotouči je připojen senzor, který měří elektrickou kapacitu. Lidská tkáň má určité elektrické vlastnosti, pokud dojde ke kontaktu prstu obsluhy s rotujícím kotoučem, senzor tuto malou změnu vyhodnotí a vyšle signál do zastavovacího zařízení. Zastavovací zařízení je složeno z hliníkového bloku, který je připevněný na kloubu pod pracovním stolem v blízkosti kotouče. Za hliníkovým blokem je stlačená tlačná pružina. V případě vyslání signálu ze senzoru dojde k přepálení drátku, který drží pružinu stlačenou, ta prudce vymrští hliníkový blok proti kotouči. Ten se vniknutím kotouče zdeformuje a okamžitě ho zastaví (současně musí být odpojen pohon elektromotoru). Zároveň je celý systém umístěný na kyvném rameni, vlivem setrvačných sil kotouče se po zastavení ihned samovolně zaklopí pod pracovní stůl. [19], [20]



*Obr. 19 - SawStop systém po zastavení kotouče [19]*

Celý proces od kontaktu s končetinou po zastavení a zasunutí kotouče zabere pouze 5 milisekund. Nevýhodou tohoto systému je právě nutnost dotyku, vzhledem k rychlosti reakce ale dojde maximálně k povrchovým zraněním (oděrky kůže). Další nevýhodou je, že při aktivaci systému dojde k jeho poškození (doporučuje se i výměna kotouče), pro další používání je tedy nutné systém vyměnit. Jedná se o investici v řádu jednotek tisíců. Výměnu je podle výrobce SawStop možné realizovat za 90 sekund. [19]



Obr. 20 - Zdeformovaný hliníkový blok [44]

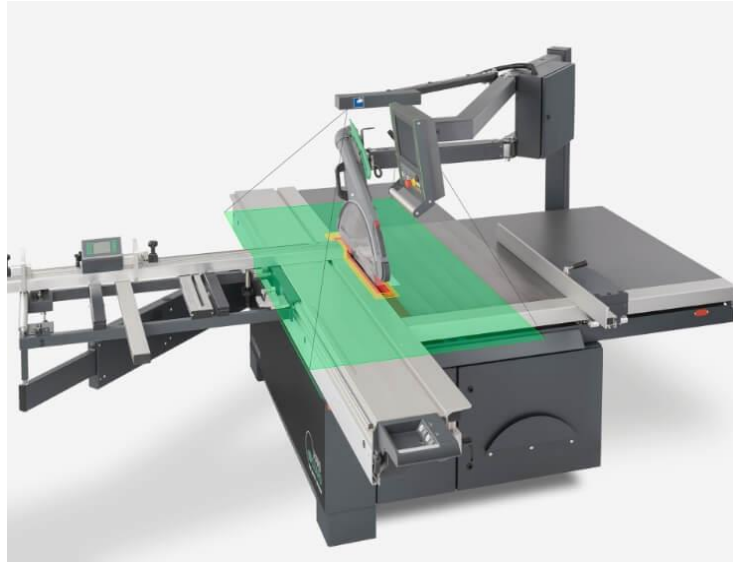
Hlavním problémem tohoto „Sawstop“ systému je, že detekuje všechny vodivé materiály, tedy i kovy nebo mokré dřevo. Z tohoto důvodu je možné před zapnutím pily řezaný materiál „otestovat“ dotykem se stojícím kotoučem. Pokud se jedná o dostatečně vodivý materiál, systém například zaktivuje výstražné světlo, obsluha poté může systém vypnout a řezat i mokré dřevo. Při používání tohoto systému není vhodné používat ochranné rukavice (materiál rukavic není vodivý, systém by se tedy včas neaktivoval). [18]

### **Bezkontaktní systémy**

Tyto bezpečnostní systémy se aktivují ještě před dotykem končetiny obsluhy s kotoučem. Systém PCS (Preventive Contact System) funguje na základě detekování elektrických vlastností lidské tkáně v určité vzdálenosti. Při přiblížení končetiny na několik milimetrů od kotouče systém vyhodnotí riziko a aktivuje zasunutí kotouče pod pracovní stůl. Zasunutí je provedeno pomocí vyslání signálu do silných elektromagnetů. Kotouč se pod pracovním stolem zastaví samovolně. Nespornou výhodou tohoto systému je možnost opakované aktivace, stačí kotouč vysunout zpět. Problémem tohoto systému je pořizovací cena, formátovací pila FORMAT 4 kappa 550 stojí cca 6000 EUR. [21]

Další variantou je použití dvou kamer připevněných nad pracovním stolem. Kamery jsou schopny rozpoznat pozici končetiny obsluhy v prostoru. V případě přiblížení do „nebezpečné zóny“ systém zpomalí kotouč, při dalším přiblížení ke kotouči ho zasune pod pracovní stůl, kotouč se poté samovolně zastaví. Tento systém uvedla na trh firma Altendorf pod jménem ALTENDORF HAND GUARD,

nabízí ho standartně ve svých formátovacích pilách, ceny se pohybují v řádu desetitisíců eur. [22]



*Obr. 21 - Vizualizace zorného pole kamer nad pracovním stolem formátovací pily [45]*

## 3 Konstrukční část

V této části mé bakalářské práce navrhují stolní kotoučovou pilu na dřevo. Jedná se o pilu pro použití do domácích dílen nebo dřevozpracujících firem s menšími zakázkami. Pilový kotouč je nastavitelný ve dvou směrech, ve směru hloubky řezu a sklonu kotouče vůči stolu. Kotouč je řemenovým převodem poháněn elektromotorem. Návrh zařízení realizuji prostřednictvím programu Autodesk Inventor. Zde jsou uvedeny některé požadované parametry:

- Maximální požadovaná hloubka řezu:  $h_{max} = 65 \text{ mm}$
- Úhel naklonění kotouče: 0 až 45°
- Velikost pracovního stolu maximálně: 1000 x 1000 mm
- Výška pracovního stolu: 900 mm
- Bezpečnostní prvky
  - Rozpínací klín
  - SawStop mechanismus
- Dráhy pro příčné a podélné vodící pravítka
- Demontovatelné nohy

### 3.1 Volba kotouče

Pro příčné i podélné řezání dřeva jsem zvolil univerzální kotouč s břitovými destičkami ze slinutých karbidů od PILANA: SK 250x3,2/2,2x30 5381-13 60 WZ. [23]



Obr. 22 - Vybraný řezný kotouč  
[23]

Tab. 1 - Parametry kotouče [23]

Vnější průměr	$D_k$	250 mm
Šířka zubu	$b_{\dot{\gamma}}$	3,2 mm
Šířka těla	$t_k$	2,2 mm
Upínací otvor	$d_k$	30 mm
Počet zubů	$z_k$	60
Tvar zubů	-	WZ (střídavý zub)
Úhel čela zubů	-	5°
Maximální otáčky	$n_{max}$	7640 ot · min <sup>-1</sup>

## 3.2 Návrh elektromotoru

### 3.2.1 Výpočet potřebných otáček

Potřebné otáčky elektromotoru se stanoví dle otáček řezného kotouče.

- Řezná rychlost kotouče dle výrobce:  $v_{\dot{\gamma}} = 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  [24]

Otáčky kotouče:

$$n_2 = \frac{60 \cdot v_{\dot{\gamma}} \cdot 1000}{\pi \cdot D_k} = \frac{60 \cdot 70 \cdot 1000}{\pi \cdot 250} = 5348 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1)$$

### 3.2.2 Výpočet řezné síly

Řezaný materiál klade zubu řezného kotouče odpor a různé typy dřev mají rozdílnou tvrdost (viz Tab. 2).

Tab. 2 - Tvrdosti dřeva [25]

Typ	Tvrdost [MPa]	Příklady
měkké	<40	smrk, jedle, borovice, topol, lípa
středně tvrdé	≥40	bříza, jasan, jilm, dub, ořech
tvrdé	≥80	habr, akát, tis

Maximální uvažovaná výpočtová tvrdost dřeva zvolena:  $p_{\dot{\gamma}} = 80 \text{ MPa}$

Úhel jednoho zubu:

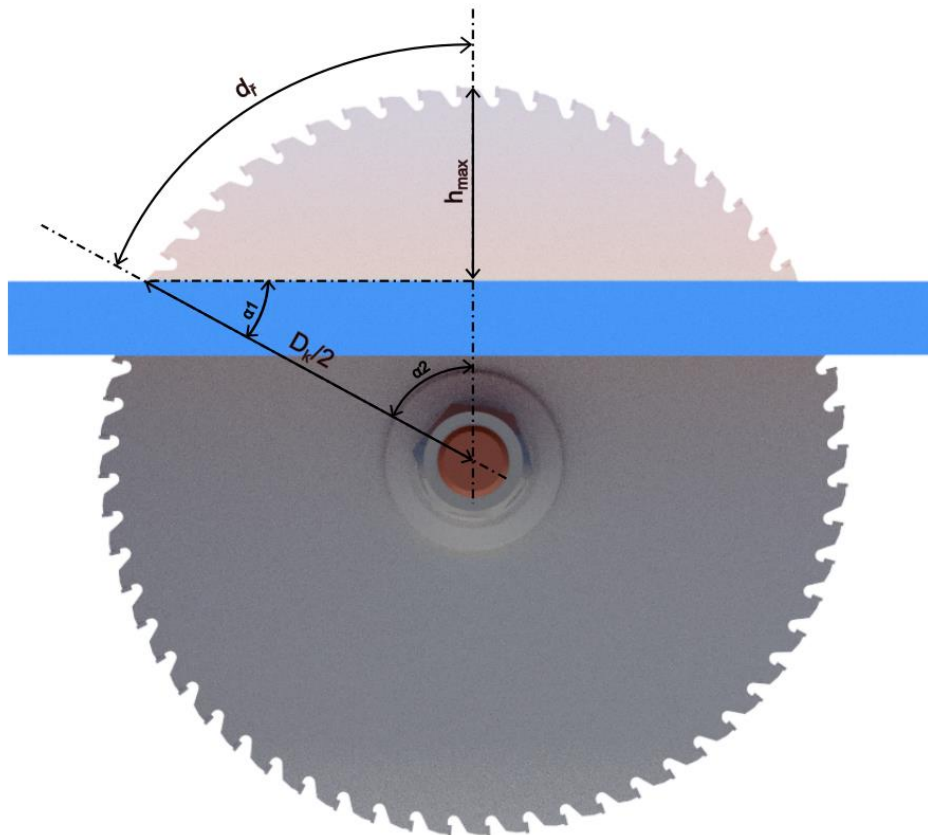
$$\gamma = \frac{360^\circ}{z_k} = \frac{306}{60} = 6^\circ \quad (2)$$

Délka oblouku jednoho zubu:

$$L = \pi \cdot D_k \cdot \frac{\gamma}{360^\circ} = \pi \cdot 250 \cdot \frac{6}{360} = 13,09 \text{ mm} \quad (3)$$

Délka řezu:

- Maximální hloubka řezu  $h_{max} = 65 \text{ mm}$



Obr. 23 - Výpočet délky řezu

$$\sin(\alpha_1) = \frac{\frac{D_k}{2} - h_{max}}{\frac{D_k}{2}} = \frac{125 - 65}{125} = 0,48 \quad (4)$$

$$\alpha_2 = 90 - \arcsin(\alpha_1) = 90 - \arcsin(0,48) = 61,3^\circ \quad (5)$$

$$d_f = \pi \cdot D_k \cdot \frac{\alpha_2}{360} = \pi \cdot 250 \cdot \frac{61,3}{360} = 133,8 \text{ mm} \quad (6)$$

Počet zubů v záběru:

$$z_f = \frac{d_f}{L} = \frac{133,8}{13,09} = 10,2 \text{ zubů} \quad (7)$$



Počet zubů v záběru za sekundu:

$$z_s = z_k \cdot n_2 = 60 \cdot \frac{5347,6}{60} = 5348 \text{ zubů} \cdot s^{-1} \quad (8)$$

Posuv na zub:

Pro tvrdé dřevo výrobce Pilana doporučuje posuv na zub 0,06-0,15, zároveň ale doporučuje optimální počet zubů v záběru 2-3. Pro mou maximální výšku řezu ale musí být v řezu zubů víc, tudíž bude hodnota posuvu na zub menší. Určím ji z přibližného posuvu řezaného materiálu. [26]

- Posuv materiálu:  $f_{\dot{r}} = 50 \text{ mm} \cdot s^{-1}$

$$f_z = \frac{f_{\dot{r}}}{z_s} = \frac{50}{5348} = 0,009 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1} \quad (9)$$

Plocha třísky:

- Šířka řezu dle šířky zubu  $b_{\dot{r}} = 3,2 \text{ mm}$

$$S_{tř} = f_z \cdot b_{\dot{r}} = 0,009 \cdot 3,2 = 0,03 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Řezná síla jednoho zubu:

$$F_z = S_{tř} \cdot p_{\dot{r}} = 0,03 \cdot 80 = 2,39 \text{ N} \quad (11)$$

Celková řezná síla:

$$F_{\dot{r}} = F_z \cdot z_{\dot{r}} = 2,39 \cdot 10,2 = 24,5 \text{ N} \quad (12)$$

### 3.2.3 Výpočet výkonu elektromotoru

Potřebný řezný výkon:

$$P_{\dot{r}} = F_{\dot{r}} \cdot v_{\dot{r}} = 24,5 \cdot 70 = 1712 \text{ W} \quad (13)$$

Potřebný výkon motoru:

- Účinnost uložení v ložiskách je zvolena  $\eta_{lož} = 98 \%$
- Účinnost řemenového převodu je zvolena  $\eta_{řem} = 92 \%$  [27]

$$P_{potř} = \frac{P_{\dot{r}}}{\eta_{řem} \cdot \eta_{lož}} = \frac{1712}{0,92 \cdot 0,98} = 1900 \text{ W} \quad (14)$$

### 3.2.4 Volba elektromotoru

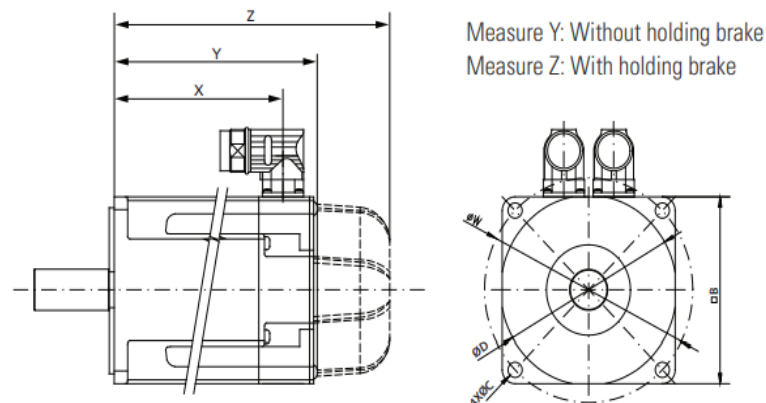
Kvůli náročnosti na některé parametry (nízká váha, malé rozměry) není možné zvolit klasický asynchronní motor. Zvolil jsem tedy servomotor na stejnosměrný proud výrobce Kollmorgen, typ AKM 52K. [28]



Obr. 24 - Elektromotor AKM [28]

Tab. 3 - Parametry elektromotoru [28]

Výkon	$P$	2140 W
Otáčky	$n_1$	3000 ot · min <sup>-1</sup>
Váha	$m_m$	5,8 kg
Napájecí napětí	$U_m$	230 V DC



Obr. 25 - Rozměry elektromotoru [28]

Tab. 4 - Rozměry elektromotoru [28]

$X^1$	$Y^1$	$B$	$\phi W$	$\phi C$	$\phi D$
136,3 mm	158,5 mm	108 mm	130 mm	9 mm	110 mm

### 3.3 Návrh řemenového převodu

Potřebný převodový poměr:

$$i_{rem} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3000}{5347,6} = 0,561 \quad (15)$$

- Zvolen výpočtový průměr malé řemenice  $d_p = 63 \text{ mm}$

Výpočtový průměr velké řemenice:

$$D_p = \frac{d_p}{i_{rem}} = \frac{63}{0,561} = 112,3 \text{ mm} \quad (16)$$

- Zvolen  $D_p = 112 \text{ mm}$

Skutečný převodový poměr:

$$i_{skut} = \frac{d_p}{D_p} = \frac{63}{112} = 0,563 \quad (17)$$

Skutečné otáčky kotouče:

$$n_{2skut} = \frac{n_1}{i_{skut}} = \frac{3000}{0,563} = 5333 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (18)$$

Ověření kritických otáček:

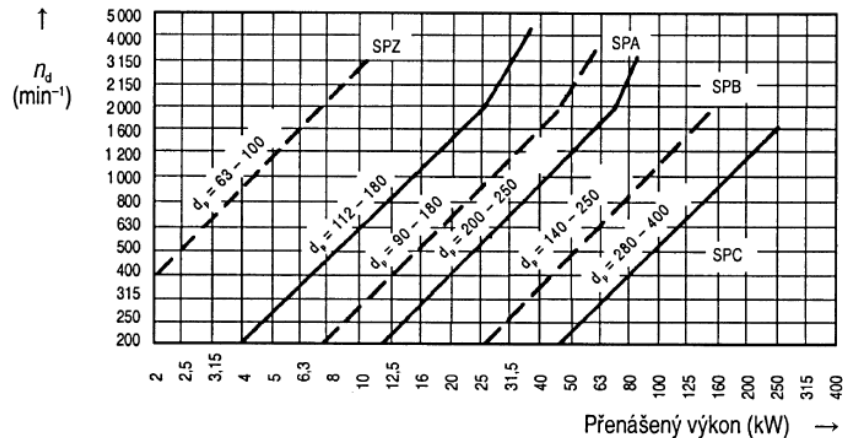
$$n_{2skut} < n_{max}$$

$$5333 < 7640$$

SPLNĚNO

Pro přenos krouticího momentu zvolím klínový řemen. Pro použití nižšího počtu řemenů zvolím klínový řemen úzkého průřezu. Typ úzkého řemene zvolím z diagramu (viz Obr. 26).

<sup>1</sup> Rozměry X a Y jsou v modelu mírně odlišné, z důvodu použití modelu jiného typu motoru



Obr. 26 - Diagram pro volbu typu řemene [29]

- Ze vstupních parametrů zvolím úzký klínový řemen SPZ.

### 3.3.1 Výpočtová délka řemene

- Předběžná osová vzdálenost zvolena  $a_{př} = 300 \text{ mm}$

Úhel opásání malé řemenice dle [29, s. 638]:

$$\beta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{D_p - d_p}{2 \cdot a_{př}}\right) = 2 \cdot \arccos\left(\frac{112 - 63}{600}\right) = 170,6^\circ \quad (19)$$

Doplňkový úhel dle [29, s. 638]:

$$\alpha_0 = 90^\circ - \frac{\beta}{2} = 90 - \frac{170,6}{2} = 4,68^\circ \quad (20)$$

Výpočtová délka dle [29, s. 638]:

$$\begin{aligned} L_p &= 2 \cdot a_{př} \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + \frac{\pi}{2} \cdot (D_p + d_p) + \frac{\pi \cdot \alpha_0}{180^\circ} \cdot (D_p - d_p) = \\ &= 2 \cdot 300 \cdot \sin\left(\frac{170,6}{2}\right) + \frac{\pi}{2} \cdot (112 + 63) + \frac{\pi \cdot 4,68}{180^\circ} \cdot (112 - 63) = 877 \text{ mm} \end{aligned} \quad (21)$$

- Zvolen řemen o délce  $L_p = 900 \text{ mm}$

### 3.3.2 Výpočet počtu řemenů

Součinitel úhlu opásání  $c_1$ :

Tab. 5 - Součinitel úhlu opásání [29]

$\frac{D_p - d_p}{a}$	$\beta$ (°)	$c_1$
0,00	180	1,00
0,05	177	0,99
0,10	174	0,99
0,15	171	0,98
0,20	169	0,97
0,25	166	0,97
0,30	163	0,96
0,35	160	0,95
0,40	157	0,94
0,45	154	0,93
0,50	151	0,93

- Pro úhel opásání  $\beta = 170,6^\circ$  zvolen součinitel  $c_1 = 0,98$

Součinitel provozního zatížení  $c_2$ :

- Pro lehký pohod s provozem do 10 hodin denně zvolen součinitel  $c_2 = 1$  [29]

Součinitel vlivu délky klínového řemene  $c_3$ :

Tab. 6 - Součinitel vlivu délky klínového řemene [29]

Výpočtová délka $L_p$ (mm)	Průřez úzkého klínového řemene			
	SPZ	SPA	SPB	SPC
630	0,82	–	–	–
710	0,84	–	–	–
800	0,86	0,81	–	–
900	0,88	0,83	–	–
1 000	0,90	0,85	–	–

- Pro délku řemene  $L_p = 900 \text{ mm}$  a průřez SPZ zvolen součinitel  $c_3 = 0,88$

Přenášený výkon jedním řemenem  $P_r$ :

Tab. 7 - Výkon přenášený jedním klínovým řemenem [29]

$d_p$ (mm)	$i$	$n_d$ (min <sup>-1</sup> )																				
		700				950				1 450				2 800				4 500			6 000	
		SPZ	SPA	SPB	SPC	SPZ	SPA	SPB	SPC	SPZ	SPA	SPB	SPC	SPZ	SPA	SPB	SPC	SPZ	SPA	SPB	SPZ	SPA
63	1	0,54				0,68				0,93				1,45				1,81				1,85
	3	0,68				0,88				1,23				2,03				2,74				3,08
71	1	0,70				0,90				1,25				2,00				2,59				2,74
	3	0,85				1,09				1,55				2,58				3,51				3,98
80	1	0,88				1,14				1,60				2,61				3,42				3,66
	3	1,03				1,33				1,90				3,18				4,35				4,89
90	1	1,09	1,17			1,40	1,48			1,98	2,02			3,26	3,00			4,30	3,24			4,56
	3	1,23	1,50			1,60	1,92			2,28	2,69			3,84	4,29			5,22	5,32			5,79
100	1	1,28	1,49			1,66	1,89			2,36	2,61			3,90	3,99			5,10	4,48			5,32
	3	1,43	1,81			1,86	2,33			2,66	3,28			4,48	5,29			6,03	6,56			6,56
112	1	1,52	1,86			1,97	2,38			2,80	3,31			4,64	5,15			5,99	5,83			6,05
	3	1,66	2,18			2,17	2,82			3,10	3,98			5,21	6,44			6,91	7,91			7,28
125	1	1,77	2,25			2,30	2,90			3,28	4,06			5,40	6,34			6,83	7,09			6,57
	3	1,91	2,58			2,50	3,34			3,58	4,73			5,98	7,63			7,75	9,17			7,81
140	1	2,06	2,71	3,02		2,68	3,49	3,83		3,82	4,91	5,19		6,24	7,64	7,15		7,64	8,27	5,00		
	3	2,20	3,03	3,70		2,87	3,93	4,76		4,11	5,58	6,61		6,81	8,94	9,89		8,56	10,35	9,39		
160	1	2,44	3,30	3,92		3,17	4,27	5,01		4,51	6,01	6,86		7,27	9,24	9,52		8,41	9,34	6,36		
	3	2,58	3,63	4,61		3,37	4,71	5,93		4,81	6,68	8,27		7,85	10,53	12,25		9,34	11,42	10,75		
180	1	2,81	3,89	4,82		3,65	5,04	6,16		5,19	7,07	8,46		8,20	10,67	11,62						
	3	2,95	4,21	5,50		3,85	5,47	7,09		5,49	7,74	9,88		8,78	11,96	14,35						
200	1		4,47	5,69			5,79	7,30			8,10	10,02			11,92	13,41						
	3		4,79	6,38			6,22	8,23			8,77	11,43			13,21	16,14						
224	1		5,16	6,73	8,13		6,67	8,63	10,19		9,30	11,81	13,22		13,15	15,14	11,89					
	3		5,48	7,41	9,81		7,10	9,56	12,47		9,96	13,23	16,69		14,44	17,87	18,60					
250	1		5,88	7,84	9,95		7,60	10,04	12,51		10,53	13,66	16,21		14,13	16,44	13,60					
	3		6,21	8,52	11,63		8,04	10,97	14,78		11,19	15,07	19,69		15,42	19,17	20,32					
280	1			9,09	12,01			11,62	15,10			15,65	19,44									
	3			9,77	13,69			12,55	17,38			17,07	22,92									
315	1			10,51	14,36			13,40	18,01			17,79	22,87									
	3			11,19	16,04			14,32	20,29			19,21	26,34									
355	1			12,10	16,96			15,33	21,17			19,96	26,29									
	3			12,78	18,64			16,26	23,45			21,37	29,77									

- Pro průměr malé řemenice  $d_p = 63 \text{ mm}$ , otáčky  $n_{2skut} = 5333 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  a průřezem SPZ určen přenášený výkon  $P_r = 1,85 \text{ kW}$ .

Potřebný počet řemenů dle [29, s. 638]:

$$z = \frac{P \cdot c_2}{P_r \cdot c_1 \cdot c_3} = \frac{2140 \cdot 1}{1850 \cdot 0,98 \cdot 0,88} = 1,34 \quad (22)$$

- Pro řemenový převod zvoleny dva řemeny typu SPZ 900 dle ČSN 02 3112.

### 3.3.3 Skutečná osová vzdálenost

Výpočet dle [29, s. 638]:

$$p = 0,25 \cdot L_p - 0,393 \cdot (D_p + d_p) = \quad (23)$$

$$= 0,25 \cdot 900 - 0,393 \cdot (112 + 63) = 156,23 \text{ mm}$$

$$q = 0,125 \cdot (D_p - d_p)^2 = 0,125 \cdot (112 - 63)^2 = 300,13 \text{ mm} \quad (24)$$

$$a = p + \sqrt{p^2 - q} = 156,23 + \sqrt{156,23^2 - 300,13} = 311,49 \text{ mm} \quad (25)$$

Osová představitelnost pro napnutí řemene dle [29, s. 638]:

$$x \geq 0,03 \cdot L_p = 0,03 \cdot 900 = 27 \text{ mm} \quad (26)$$

Napínání řemene je prováděno prostřednictvím zacvaknutí kyvného ramene, ke kterému je připojena hřídel s menší řemenicí. Řemen je možné nasadit při nezajištěném rameni, kdy lze libovolně zmenšit osovou vzdálenost, více viz Návrh zastavovacího mechanismu.

Výsledná osová vzdálenost:

$$a_{skut} = a + x = 311,49 + 27 = 338,49 \text{ mm} \quad (27)$$

- Zvolená vzdálenost:  $a_{skut} = 339 \text{ mm}$

### 3.3.4 Silové poměry

Obvodová rychlost řemene:

$$v = \frac{D_p \cdot n_1}{19100} = \frac{112 \cdot 3000}{19100} = 17,6 \text{ m/s} \quad (28)$$

Obvodová síla:

- Přenášený výkon  $P = 2140 \text{ W}$

$$F = \frac{P}{v} = \frac{2140}{17,6} = 121,65 \text{ N} \quad (29)$$

Součinitel tření:

- Součinitel suchého tření u nového řemene:  $f_0 = 0,35$  [30, s. 143]

$$f_d = f_0 + 0,012 \cdot v = 0,35 + 0,012 \cdot 17,6 = 0,561 \quad (30)$$

Redukovaný koeficient tření klínové drážky:

- Úhel drážky řemenice  $\alpha = 34^\circ$  [31]

$$f_k = \frac{f_d}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,561}{\sin(17^\circ)} = 1,919 \quad (31)$$

Přitěžovaná větev:

$$F_1 = F \cdot \frac{e^{f_k \cdot \beta}}{e^{f_k \cdot \beta} - 1} = 121,65 \cdot \frac{e^{1,919 \cdot 2,978}}{e^{1,919 \cdot 2,978} - 1} = 122,05 \text{ N} \quad (32)$$

Odlehčovaná větev:

$$F_2 = F \cdot \frac{1}{e^{f_k \cdot \beta} - 1} = 121,65 \cdot \frac{1}{e^{1,919 \cdot 2,978} - 1} = 0,4 \text{ N} \quad (33)$$

Potřebná předepínací síla řemene dle [29, s. 638]:

$$F_u = (1,5 \text{ až } 2) \cdot F \rightarrow F_u = 1,8 \cdot 121,65 = 218,97 \text{ N} \quad (34)$$

Tahová síla v ose řemenic dle kosinové věty:

$$F_O = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos(\beta)} = \quad (35)$$

$$= \sqrt{122,05^2 + 0,4^2 - 2 \cdot 122,05 \cdot 0,4 \cdot \cos(170,6^\circ)} = 122,25 \text{ N}$$

Výsledná síla:

$$F_{rem} = F_O + F_u = 122,25 + 218,97 = 341 \text{ N} \quad (36)$$

### 3.3.5 Volba řemenic

Zvoleny klínové řemenice se dvěma drážkami výrobce TYMA. Menší řemenice SPZ063-02 STAND, větší řemenice SPZ112-02 (s nestandardním, širším nábojem kvůli větší délce pera na hřídeli elektromotoru). Materiál řemenic je šedá litina ČSN 42 2420. [31]

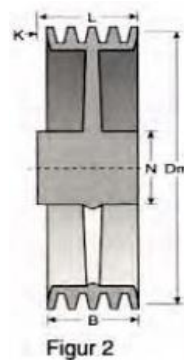
Tab. 8 - Rozměry řemenic [31]

Typ	Dm	B	L	N	Váha
SPZ063	63 mm	28 mm	-	-	0,6 kg
SPZ112	112 mm	28 mm	52 mm	40 mm	1 kg

Řemenice jsou na hřídelích axiálně zajištěny ocelovou deskou, pružnou podložkou ČSN 02 1740-8 a šroubem se šestihrannou hlavou ISO 4017-M8x16.



Obr. 28 - Klínová řemenice SPZ [31]



Obr. 27 - Rozměry řemenic [31]



### 3.4 Návrh průměrů hřídele a těsných per

#### 3.4.1 Minimální průměr hnané a hnací hřídele

- Použitý materiál hřídele ocel 11375. Dovolené napětí v krutu:  
 $\tau_D = 25 \text{ MPa}$  [32, s. 394]

Krouticí moment na hnací hřídeli:

$$M_{k1} = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{2140 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 3000} = 6812 \text{ Nmm} \quad (37)$$

Krouticí moment na hnané hřídeli:

$$M_{k2} = M_{k1} \cdot i_{skut} \cdot \eta_{řem} = 6,812 \cdot 0,563 \cdot 0,92 = 3525 \text{ Nmm} \quad (38)$$

Minimální průměr hnané hřídele:

$$\frac{M_{k2}}{W_k} \leq \tau_D \rightarrow d_{hmin} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (39)$$

$$d_{hmin} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3525}{\pi \cdot 25}} = 9 \text{ mm}$$

Vzhledem k průměru otvoru v kotouči  $d_k = 30 \text{ mm}$  volím minimální průměr hřídele  $d_h = 25 \text{ mm}$ , i s drážkou pro pero tak hřídel s dostatečnou rezervou splňuje pevnostní podmínku.

Minimální průměr hnací hřídele:

$$\frac{M_{k1}}{W_k} \leq \tau_D \rightarrow d_{Mmin} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k1}}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (40)$$

$$d_{Mmin} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 6812}{\pi \cdot 25}} = 11,2 \text{ mm}$$

Při předpokladu stejného materiálu hřídele elektromotoru hřídel motoru  $d_M = 24 \text{ mm}$  také s rezervou splňuje pevnostní podmínku.

#### 3.4.2 Kontrola těsného pera na hřídeli elektromotoru

Hřídel elektromotoru je od výrobce uzpůsobena pro těsné pero ČSN 02 2562 7 x 8 x 40. Pro toto pero tedy provedu pevnostní kontrolu na otlacení:

- Materiál řemenice: litina 42 2420,  $p_d = 50 \text{ MPa}$  [32, s. 266]
- Hloubka drážky pro pero:  $t_1 = 2,9 \text{ mm}$

- Šířka pera:  $b = 8 \text{ mm}$

Síla působící na pero:

$$F_{p1} = \frac{M_{k1}}{\frac{d_M}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{6812}{\frac{24}{2} + \frac{2,9}{2}} = 506,5 \text{ N} \quad (41)$$

Minimální akční délka pera:

$$\frac{F_{p1}}{l'_1 \cdot t_1} \leq p_d \rightarrow l'_1 \geq \frac{F_{p1}}{p_d \cdot t_1} = \frac{506,5}{50 \cdot 2,9} = 3,5 \text{ mm} \quad (42)$$

Minimální délka pera:

$$l_1 = l'_1 + b = 3,5 + 8 = 11,5 \text{ mm} \quad (43)$$

- Zvolené pero má délku 40 mm, tudíž vyhovuje.

### 3.4.3 Návrh pera na hnané hřídeli

Pro hřídel o průměru  $d_h = 25 \text{ mm}$  volím těsné pero ČSN 02 2562 7 x 8. Pro toto pero vypočítám minimální akční délku z podmínky na otláčení.

Síla působící na pero:

$$F_{p2} = \frac{M_{k2}}{\frac{d_h}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{3525}{\frac{25}{2} + \frac{2,9}{2}} = 252,7 \text{ N} \quad (44)$$

Minimální akční délka pera:

$$\frac{F_{p2}}{l'_2 \cdot t_1} \leq p_d \rightarrow l'_2 \geq \frac{F_{p2}}{p_d \cdot t_1} = \frac{252,7}{40 \cdot 2,9} = 1,7 \text{ mm} \quad (45)$$

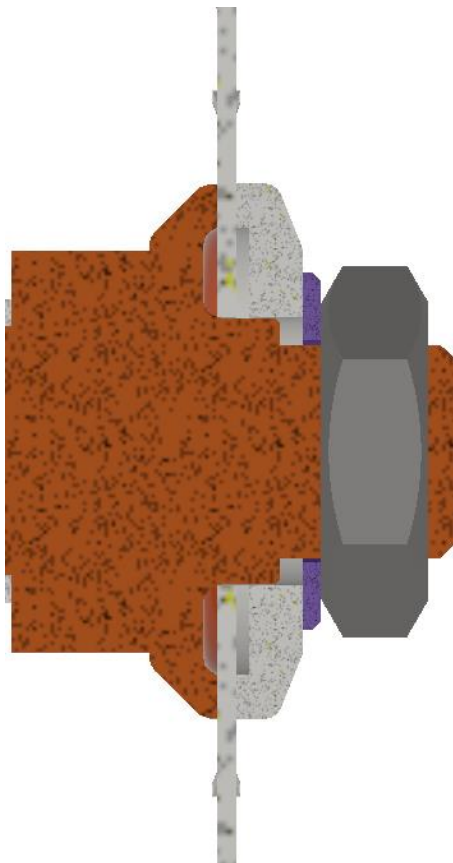
Minimální délka pera:

$$l_2 = l'_2 + b = 1,7 + 8 = 9,7 \text{ mm} \quad (46)$$

- Na hnanou hřídel tedy zvolím pero délky ČSN 02 2562 7 x 8 x 20. Uložení řemenice pro snadnou montáž a demontáž zvoleno H8/k7.

### 3.5 Návrh upevnění kotouče

Kotouč je na hřídeli upevněn ocelovou přírubou. Ta je na hřídeli zajištěna deskou a maticí ISO 4035-M24 (pravý závit z důvodu otáčení kotouče v protisměru hodinových ručiček, u levého závitu by tedy docházelo k povolování). Na hřídeli je vytvořeno šestihorné vybrání pro nasazení klíče a povolení matice druhým klíčem.



Obr. 29 - Upevnění řezného kotouče

#### 3.5.1 Výpočet síly potřebné pro utažení

Výpočet středního průměru stykových ploch přírub:

Malý průměr:  $D_{př1} = 50 \text{ mm}$

Velký průměr:  $D_{př2} = 60 \text{ mm}$

$$D_s = \frac{D_{př1} + D_{př2}}{2} = \frac{50 + 60}{2} = 55 \text{ mm} \quad (47)$$

Výpočet třecí síly pro přenos potřebného krouticího momentu:

- Zvolena bezpečnost  $k_t = 2$

$$M_{k2} \cdot k_t \leq F_t \cdot \frac{D_S}{2} \rightarrow F_t \geq \frac{2 \cdot k_t \cdot M_{k2}}{D_S} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3525}{55} = 256,4 \text{ N} \quad (48)$$

Třecí síla na jedné přírubě:

$$F_{t1} = \frac{F_t}{2} = \frac{256,4}{2} = 128,2 \text{ N} \quad (49)$$

Výpočet osové síly do šroubu:

- Zvolen koeficient tření  $f_t = 0,2$  [29, s. 52]

$$F_{Ošroub} = \frac{F_{t1}}{f_t} = \frac{128,2}{0,2} = 641 \text{ N} \quad (50)$$

Úhel stoupání závitu dle [32, s. 225]:

Parametry závitu M24 dle [29, s. 266]:

- Rozteč:  $P_z = 3 \text{ mm}$
- Střední průměr závitu:  $d_{2z} = 22,051 \text{ mm}$
- Úhel profilu:  $\beta_z = 60^\circ$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{P_z}{\pi \cdot d_{2z}}\right) = \arctg\left(\frac{3}{\pi \cdot 22,051}\right) = 2,48^\circ \quad (51)$$

Třecí úhel závitu:

- Koeficient tření v závitu zvolen  $f_z = 0,3$  [32, s. 226]

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\beta_z}{2}\right)}\right) = \arctg\left(\frac{0,3}{\cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}\right) = 19,11^\circ \quad (52)$$

Síla v závitu dle [32, s. 225]:

$$F_{Zšroub} = F_{Ošroub} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') = 641 \cdot \operatorname{tg}(2,48^\circ + 19,11^\circ) = 254 \text{ N} \quad (53)$$

Třecí moment v závitu dle [32, s. 225]:

$$M_Z = F_{Zšroub} \cdot \frac{d_{2z}}{2} = 254 \cdot \frac{22,051}{2} = 2796 \text{ Nmm} \quad (54)$$

Třecí poloměr pod maticí:

- Rozměr matice  $s = 36 \text{ mm}$
- Průměr otvoru příruby (díra pro šroub):  $d_o = 25 \text{ mm}$

$$d_s = \frac{s + d_o}{2} = \frac{36 + 25}{2} = 30,5 \text{ mm} \quad (55)$$

Třecí moment pod maticí:

- Koeficient tření ve stykové ploše  $f_m = 0,2$  [32, s. 226]

$$M_m = F_{Z\text{šroub}} \cdot \frac{d_s}{2} \cdot f_m = 254 \cdot \frac{22,051}{2} \cdot 0,2 = 559 \text{ Nmm} \quad (56)$$

Celkový utahovací moment:

$$M_u = M_Z + M_m = 2796 + 559 = 3355 \text{ Nmm} \quad (57)$$

Potřebná utahovací síla:

- Při utahování normovanými klíči M24 působí člověk silou na rameni o délce přibližně  $L_{\text{klíč}} = 200 \text{ mm}$

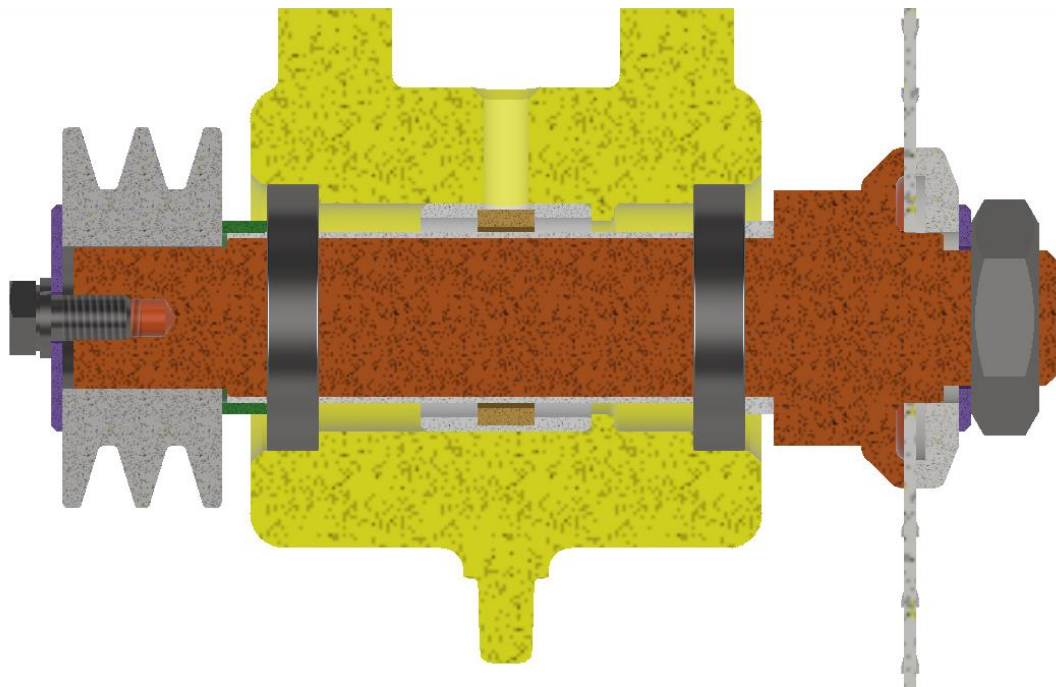
$$F_u = \frac{M_u}{L_{\text{klíč}}} = \frac{3355}{200} = 17 \text{ N} \quad (58)$$

Tuto sílu je schopen běžný člověk bez problémů vyvinout.

### 3.6 Návrh uložení hnané hřídele

Hnaná hřídel je uložena v kyvném rameni ve dvou kuličkových ložiskách SKF 61906-2RZ s integrovaným oboustranným těsněním. Na ocelové hřídeli je nalisovaná plastová trubka (kvůli izolaci pro správnou funkci senzorů SawStop systému). Ložiska jsou nasunuta na tuto trubku (trubka obrobena na přesný průměr až po nalisování) a proti axiálnímu pohybu zajištěna plastovým kroužkem, který je zajištěný šroubem ISO 4017 M8-16 a pružnou podložkou ČSN 02 1741-8 přes desku a klínovou řemenici (obdobným způsobem je zajištěna i řemenice na hnací hřídeli). V kyvném rameni je vložen i senzor pro správnou funkci SawStop systému (více viz Senzor SawStop systému). Řez sestavou viz Obr. 30.

Vzhledem k rozměrům hřídele a malé velikosti zatěžujících sil není nutné provádět kontrolu hřídele. Výpočet by bylo možné provést například pomocí softwaru Autodesk Inventor a provést statickou pevnostní kontrolu, deformační kontrolu a dynamickou kontrolu.



Obr. 30 - Hnaná hřídel v řezu

### 3.6.1 Silový rozbor

Pro kontrolu ložisek je nejdříve zapotřebí silový rozbor zatížení hnané hřídele.

Síla od posuvu řezaného materiálu je zvolena na základě síly, kterou by měla obsluha podle normy ČSN EN 1005-3+A1:2009 při práci vyvíjet.

$$F_{posuv} = 250 \text{ N}$$

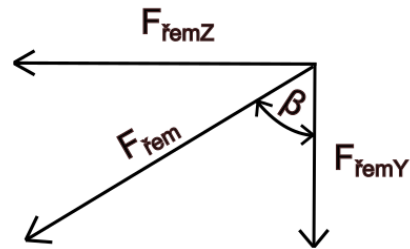
Další zatěžující síly jsou:

- u řemenice síla od řemenového převodu  $F_{rem} = 341 \text{ N}$
- u kotouče řezná síla  $F_{ř} = 24,5 \text{ N}$  (vzhledem k velikosti je zanedbána)
- síla od vlastní tíhy hřídele, při naklopení hřídele působí i axiální zatížení (vzhledem k velikosti je zanedbána)

Síly je nutné rozložit do směru osy  $z$  a  $y$  a vypočítat radiální reakce v podporách, tedy v místě styku s ložisky. Úhel  $\beta = 75,9^\circ$  svírá rovina procházející osami obou řemenic a rovinou  $XY$  souřadnicového systému.

$$F_{\check{r}emY} = F_{\check{r}em} \cdot \cos\beta = 341 \cdot \cos(75,88^\circ) = 83,2 \text{ N} \quad (59)$$

$$F_{\check{r}emZ} = F_{\check{r}em} \cdot \sin\beta = 341 \cdot \sin(75,88^\circ) = 330,9 \text{ N} \quad (60)$$

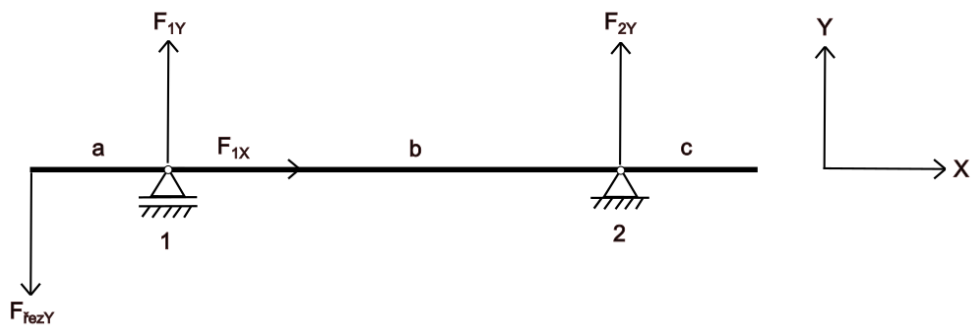


Obr. 31 - Rozklad síly od řemenu

Rozměry hřídele:

- $a = 26,5 \text{ mm}$
- $b = 75 \text{ mm}$
- $c = 33,6 \text{ mm}$

Rovina XY



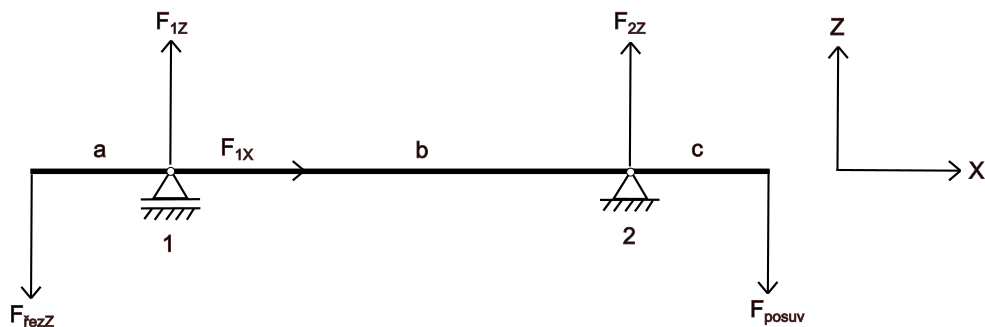
Obr. 32 - Zatížení hřídele v rovině XY

$$F_{1X} = 0 \quad (61)$$

$$M_1: -F_{\check{r}emY} \cdot a - F_{R2Y} \cdot b = 0 \quad (62)$$

$$M_2: -F_{\check{r}emY} \cdot (a + b) - F_{R1Y} \cdot b = 0 \quad (63)$$

## Rovina XZ



Obr. 33 - Zatížení hřídele v rovině XZ

$$M_1: -F_{remZ} \cdot a - F_{R2Z} \cdot b + F_{posuv} \cdot (b + c) = 0 \quad (64)$$

$$M_2: -F_{remZ} \cdot (a + b) + F_{R1Z} \cdot b + F_{posuv} \cdot c = 0 \quad (65)$$

## Výpočet reakcí

$$F_{R2Y} = \frac{-F_{remY} \cdot a}{b} = \frac{83,2 \cdot 26,5}{75} = 29,4 \text{ N} \quad (66)$$

$$F_{R1Y} = \frac{-F_{remY} \cdot (a + b)}{b} = \frac{83,2 \cdot (26,5 + 75)}{75} = 112,6 \text{ N} \quad (67)$$

$$F_{R2Z} = \frac{F_{posuv} \cdot (b + c) - F_{remZ} \cdot a}{b} = \frac{-250 \cdot (75 + 33,6) + 330,7 \cdot 26,5}{75} = -245,2 \text{ N} \quad (68)$$

$$F_{R1Z} = \frac{F_{remZ} \cdot (a + b) - F_{posuv} \cdot c}{b} = \frac{-330,7 \cdot (26,5 + 75) + 250 \cdot 33,6}{75} = -335,5 \text{ N} \quad (69)$$

Celkové reakce:

$$F_{R1} = \sqrt{F_{R1Y}^2 + F_{R1Z}^2} = \sqrt{112,6^2 + 335,5^2} = 353,9 \text{ N} \quad (70)$$

$$F_{R2} = \sqrt{F_{R2Y}^2 + F_{R2Z}^2} = \sqrt{29,4^2 + 245,2^2} = 246,9 \text{ N} \quad (71)$$

## 3.6.2 Kontrola ložisek

Kontrola ložisek, volba uložení, geometrických tolerancí a vlastností povrchu provedena na základně pokynů výrobce SKF, dle katalogu valivých ložisek. [33]



Tab. 9 - Parametry ložiska SKF 61096-2RZ

Základní dynamická únosnost	$C$	7280 N
Základní statická únosnost	$C_0$	4550 N
Mezní únavové zatížení	$P_u$	212 N
Přípustné otáčky	$n_{max}$	30000 ot · min <sup>-1</sup>

- Požadovaná základní trvanlivost ložisek:  $L_{10h} = 10000$  hodin
- Exponent rovnice trvanlivosti:  $p = 3$
- Otáčky hřídele:  $n = 5333$  ot · min<sup>-1</sup>

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$P_1 = F_{R1} = 353,9 \text{ N} \quad (72)$$

$$P_2 = F_{R2} = 246,9 \text{ N} \quad (73)$$

Základní trvanlivost ložisek:

$$L_{10h1} = \left(\frac{C}{P_1}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{7280}{353,9}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 5333} = 27200 \text{ hod} \quad (74)$$

$$L_{10h2} = \left(\frac{C}{P_2}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{7280}{246,9}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 5333} = 80100 \text{ hod} \quad (75)$$

Ekvivalentní statické zatížení:

$$P_{01} = F_{R1} = 353,9 \text{ N} \quad (76)$$

$$P_{02} = F_{R2} = 246,9 \text{ N} \quad (77)$$

Součinitel statické bezpečnosti:

$$s_{01} = \frac{C_0}{P_{01}} = \frac{4550}{353,9} = 12,9 \quad (78)$$

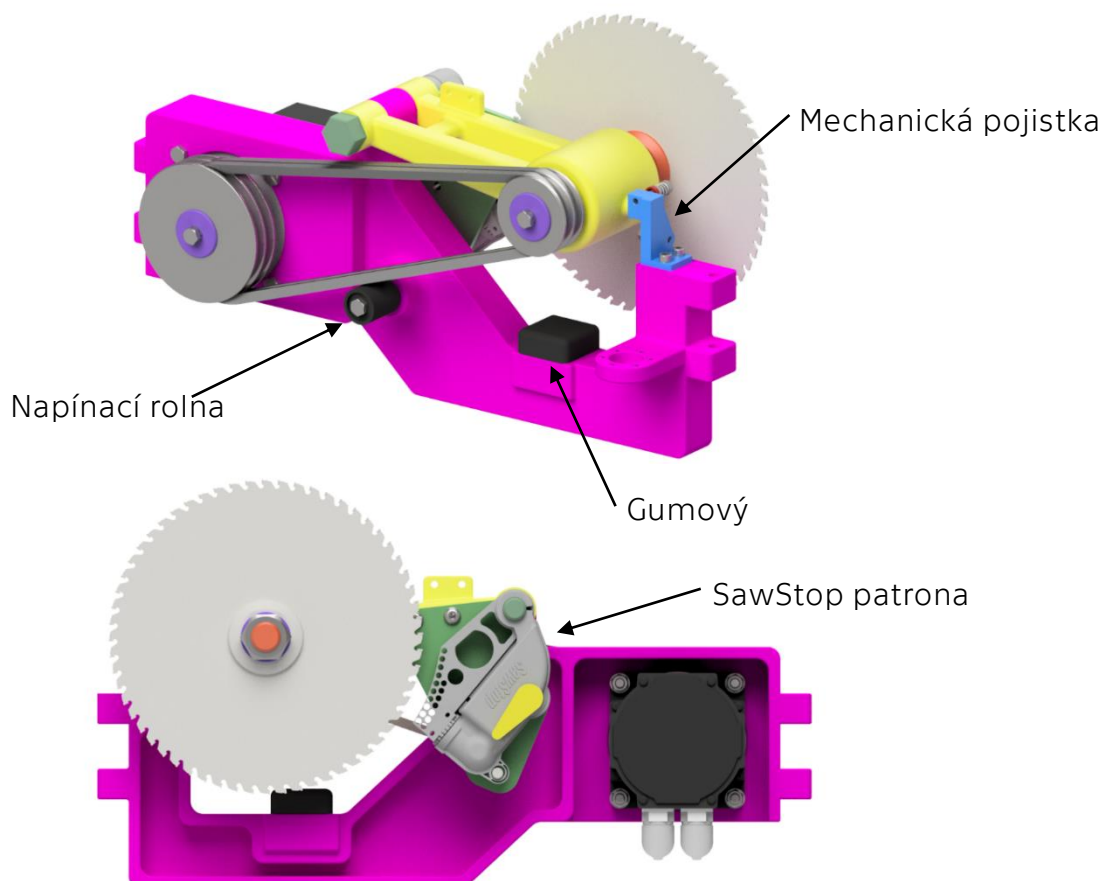
$$s_{02} = \frac{C_0}{P_{02}} = \frac{4550}{246,9} = 18,4 \quad (79)$$

Ložiska dle provedených výpočtů s rezervou vyhovují, splňují maximální povolené otáčky, požadovanou trvanlivost i statické bezpečnosti.

### 3.7 Návrh zastavovacího mechanismu

Některé části zastavovacího mechanismu použitého v této pile vychází z konstrukce SawStop systému firmy Festool. Kotouč je uložen na hliníkovém kyvném rameni, které je zajištěno mechanickou pojistkou. Po aktivaci systému se kyvné rameno vlivem momentu setrvačnosti kotouče (zastaveného hliníkovým deformačním prvkem) vytrhne z mechanické pojistky a zaklopí se pod rovinu stolu, kde narazí do gumového silentbloku. Zároveň je elektrický motor odpojený od napájení. Kyvné rameno je zajištěno čepem se závitem, který je v jedné z průchozích děr na kyvném rameni. Na konci čepu je šestihranné vybrání pro klíč.

Předmětem této práce není konkrétní zapojení elektrických částí. Některé součásti jsou ale uzpůsobené pro montáž elektrických částí.



Obr. 34 - Schéma SawStop systému

### 3.7.1 Patrona KT-TKS 80

Použita patrona výrobce Festool pro stolní kotoučovou pilu TKS 80. Součástí patrony je hliníkový deformační prvek, který po aktivaci systému vystřelí pružina proti řeznému kotouči. Potřebné montážní rozměry byly odměřeny z CAD modelu poskytnutého firmou Festool.

Patrona je připevněna ke kyvnému rameni přes ocelový plech nasunutím na dva ocelové čepy. Proti pohybu je zajištěna mechanickým zámek (zajištění vsunutím a otočením). Plech je k rameni přišroubován dvěma šrouby ISO 7380 M8x16.



*Obr. 35 - Patrona KT-TKS 80 [46]*

### 3.7.2 Mechanická pojistka

Kyvné rameno je opatřeno nálitkem, který se zacvakne do mechanické pojistky. Sestava mechanické pojistky je přišroubována k posuvnému rameni dvěma šrouby ISO 4762 M6x16. Nálitek je proti vytržení zajištěný otočným háčkem, na který tlačí pružina zajištěná šroubem. Utahováním šroubu se mění napjatost pružiny a tím i síla potřebná k vytržení nálitku z pojistky. Vzhledem ke složitosti výpočtu pružiny lze její parametry a míru utahení šroubu určit experimentálně. Důležité je, aby nebyla potřebná síla příliš velká, aby k vytržení došlo, ale ani příliš malá, aby nedocházelo k samovolnému vytržení při řezání.



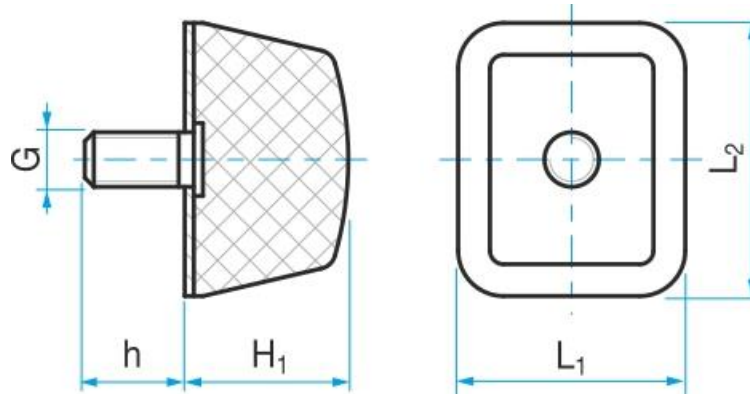
*Obr. 36 - Mechanická pojistka*

### 3.7.3 Senzor SawStop systému

Nedílnou součástí SawStop systému je senzor zaznamenávající kontakt lidského těla s řezným kotoučem. Celá sestava hnané hřídele je odizolována od ostatních částí pily. V hliníkovém rameni, ve kterém jsou usazeny ložiska, je vložený odizolovaný mosazný kroužek (zalitý v plastovém pouzdru). K tomuto kroužku je poté otvorem v rameni připojeno měřicí zařízení, které zaznamenává změny elektrické kapacity vodivé soustavy uvnitř. Po kontaktu s kotoučem je vyslán signál do SawStop patrony a k napájení elektromotoru. Viz Obr. 30 - Hnaná hřídel v řezu.

### 3.7.4 Gumový silentblok

K posuvnému rameni je do závitové díry připevněn gumový silentblok, do kterého po uvolnění narazí kyvné rameno. Je zakoupen od výrobce Rubena, typ KD - 50x50/20 - M10x26 - 55 ShA.



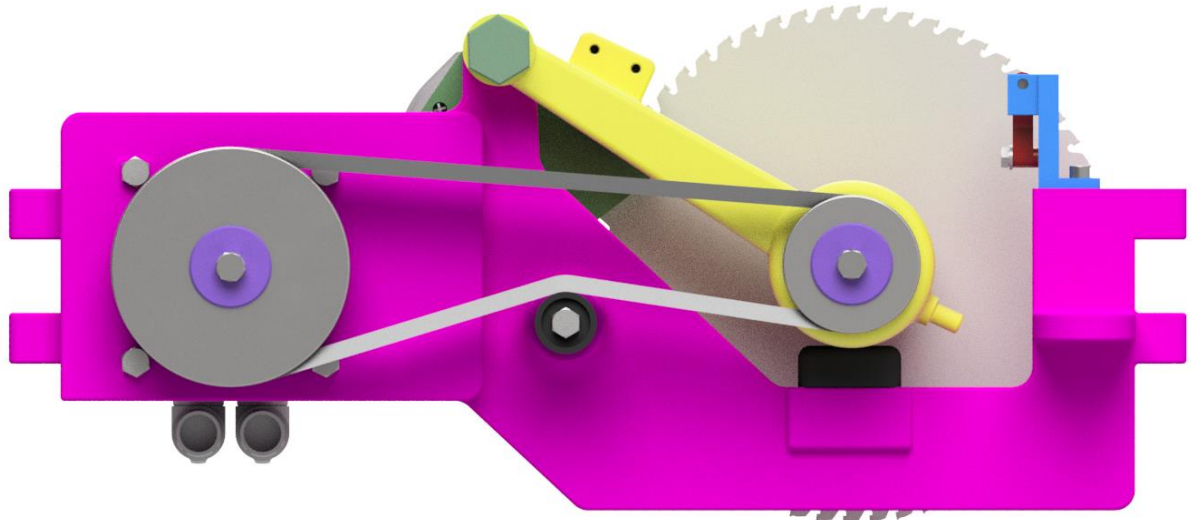
Obr. 37 - Silentblok výrobce Rubena [47]

### 3.7.5 Řešení řemenového převodu

Při zaklopení kyvného ramene po aktivaci SawStop systému se zmenší osová vzdálenost mezi hnací a hnanou řemenicí. Z tohoto důvodu je pod řemeny umístěna napínací rolna se šroubem výrobce Tyma. Jedná se o typ RP 1, průměr 30 mm, materiál polyamid maximální otáčky  $8000 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při pohybu ramene se oba řemeny opřou o tuto rolnu a zůstanou tak napnuté. Pro snadnou montáž řemenů je možné rolnu odšroubovat.



Obr. 38 - Napínací rolna RP 1 [48]



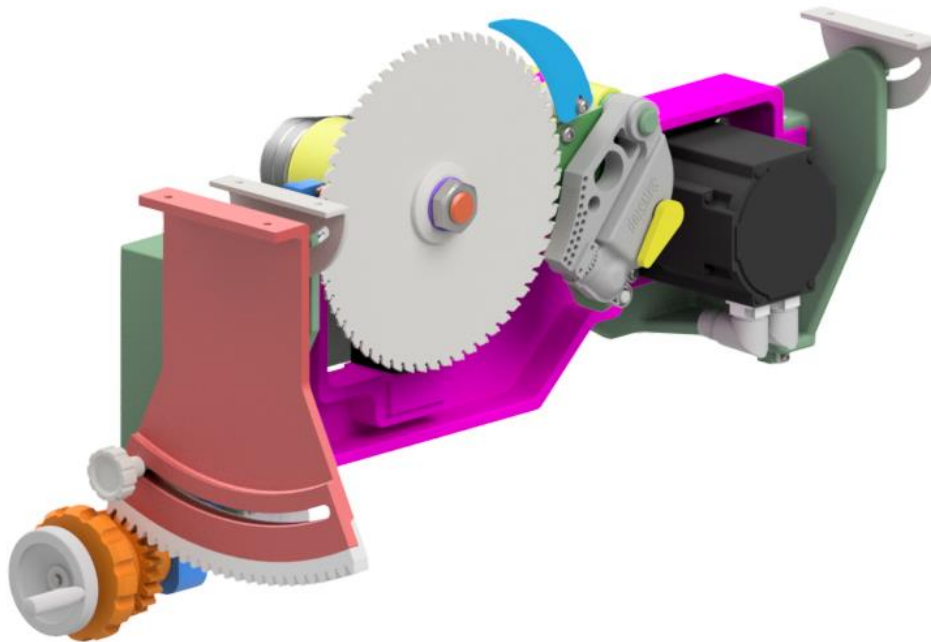
*Obr. 39 - Řemenový převod ve sklopeném stavu*

## 3.8 Pohybové mechanismy pro pohyb kotouče

### 3.8.1 Naklápěcí mechanismus

Kotouč je možné vůči rovině stolu naklopit od  $90^\circ$  do  $45^\circ$ . To je provedeno prostřednictvím hliníkového kyvného ramene, které je uloženo v obloukových drážkách na posuvných čepech. Osa rotace je v průsečíku střední roviny kotouče a roviny stolu, při naklápění se tak nemění pozice kotouče vůči stolu, což je výhodné pro co nejmenší rozměr otvoru pro kotouč.

Naklápění probíhá prostřednictvím otáčení plastového kola, jehož osa se tak odvaluje po plastovém ozubeném hřebenu společně s celým ramenem. Aretace tohoto mechanismu probíhá prostřednictvím utažení šroubu připevněného ke kyvnému rameni. Při utahování se šroub zapře o plochu spojenou s ozubeným řemenem, čímž se zabrání pohybu kyvného mechanismu.



Obr. 40 - Naklápěcí mechanismus

Tab. 10 - Parametry ozubení

Typ ozubení	<i>přímé evolventní</i>
Úhel profilu	20°
Modul	3,5 mm
Průměr rozteč. kružnice hřebene	581 mm
Průměr rozteč. kružnice kola	73,5 mm
Šířka ozubení	15 mm
Počet zubů kola	21 zubů
Vzdálenost os	328,043 mm

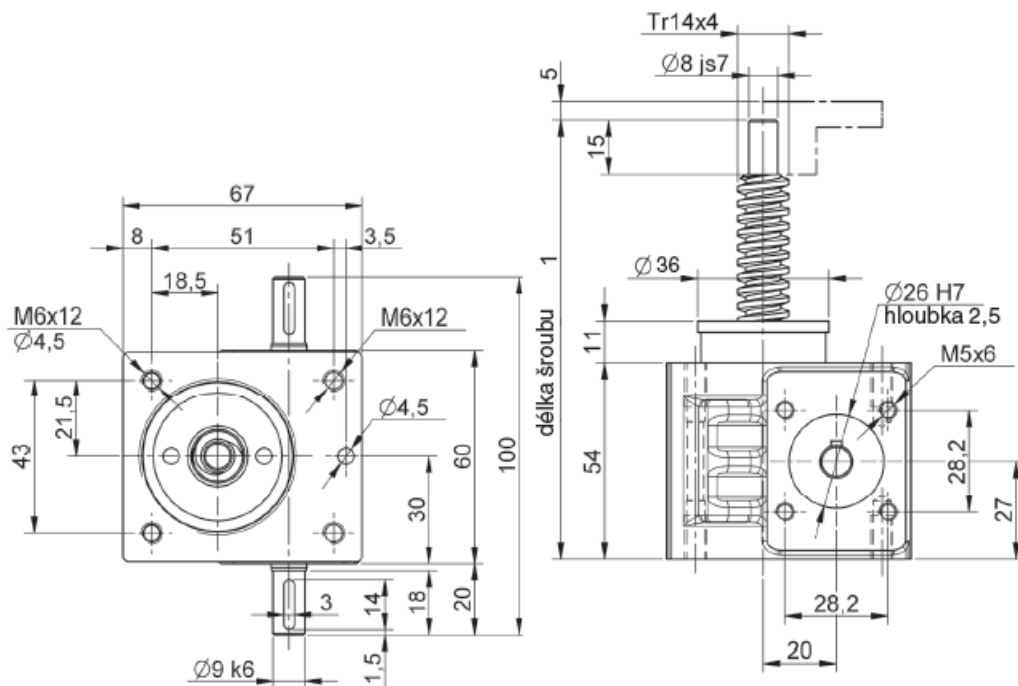
### 3.8.2 Vysouvací mechanismus

Kotouč je možné nad rovinu stolu vysunout do maximální výšky  $h_{max} = 65 \text{ mm}$ . Také je možné ho zcela zasunout pod stůl, celkový možný rozdíl vysunutí je 70 mm. Pohyb je proveden prostřednictvím hliníkového posuvného ramene, které je kluzně uloženo na ocelových osách, které jsou přišroubovány ke kyvnému rameni. Kotouč je tak možné posouvat i naklápět vůči stolu.

Vzhledem ke kluznému uložení ve čtyřech podporách by mohlo dojít ke vzpříčení mechanismu posuvného ramene. Tento problém je eliminován dostatečnou vzdáleností horní a dolní podpory u obou os, vhodným obrobením kontaktních ploch (nízká drsnost povrchu) a volbou vhodného uložení.

Posuvný pohyb je vykonáván prostřednictvím pohybového šroubu s lichoběžníkovým závitem a bronzovou maticí přišroubovanou 6 šrouby ISO 4017 M5x20. Pohybový šroub je připevněn ke zdvižné šnekové převodovce. Celý mechanismus je zakoupen od výrobce T.E.A. TECHIK s.r.o.

### Zdvižná převodovka TSE 2-RN



Obr. 41 - Rozměry zdvižné převodovky TSE 2-RN [34, s. 613]

Tab. 11 - Parametry zdvižné převodovky TSE 2-RN [34, s. 613]

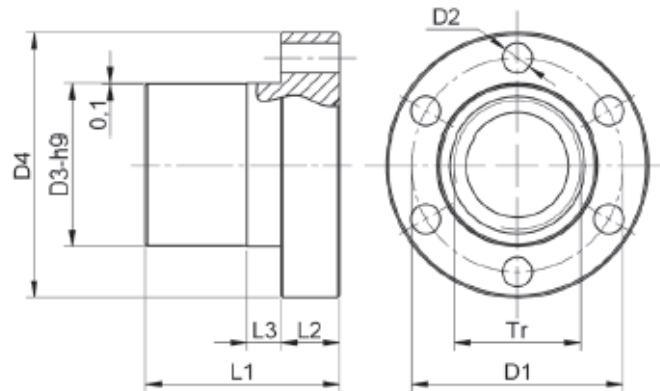
Max. zdvižná síla	2 kN
Max. otáčky hnací hřídele	1800 ot · min <sup>-1</sup>
Délka šroubu	207 mm
Převodový poměr	5:1

Vzhledem ke šnekovému převodu se jedná o samosvorný mechanismus. Váha celého posuvného ramene je dle programu Autodesk Inventor přibližně 15 kg, což s rezervou splňuje maximální zdvižnou sílu převodovky.



Na nevyužitou část hnací hřídele je nasazena zakoupená krytka TSE-2 SK [34, s. 626] a zajištěna pomocí 2 šroubů ISO 4762 M8x10.

### Přírubová matice TSE 2-FM



Obr. 42 - Parametry matice [34, s. 622]

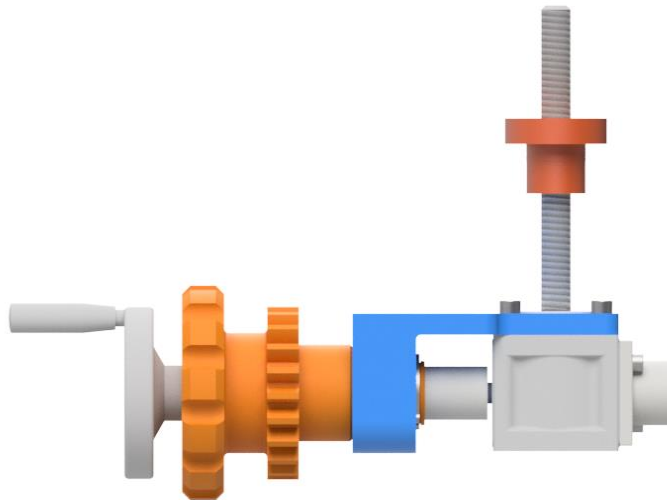
Tab. 12 - Rozměry matice [34, s. 622]

TR	D3	D1	D4	D2	L1	L2	L3
TR 14x4	28 mm	38 mm	48 mm	6 mm	35 mm	12 mm	8 mm

Matice je kvůli lepší kluzným vlastnostem vyrobena z bronzu.

### 3.8.3 Ruční pohon obou mechanismů

Ovládání kyvného mechanismu je provedeno otáčením ozubeného kola. Otáčení hnací hřídele převodovky je zajištěno prostřednictvím zakoupeného ručního kola HR-60. To je nasazeno na hřídeli a zajištěno těsným perem ČSN 02 2562 4x4x10 a šroubem ISO 4017 M5x10 s deskou. Hřídel je zasunut do otvoru v ose ozubeného kola, při naklápění kyvného ramene se tak pohybují po společné kružnici. Ozubené kolo je zasunuto do otvoru ocelového držáku, ke kterému je připevněna čtyřmi šrouby ISO 4762 M6x10 i převodovka. Proti pohybu je ozubené kolo zajištěno hřídelovým kroužkem ČSN 2930-30. Celá sestava v ocelovém držáku (viz Obr. 43) je poté třemi šrouby ISO 4762 M5x20 připevněna ke kyvnému rameni.



*Obr. 43- Pohybový mechanismus*

### 3.9 Další části konstrukce

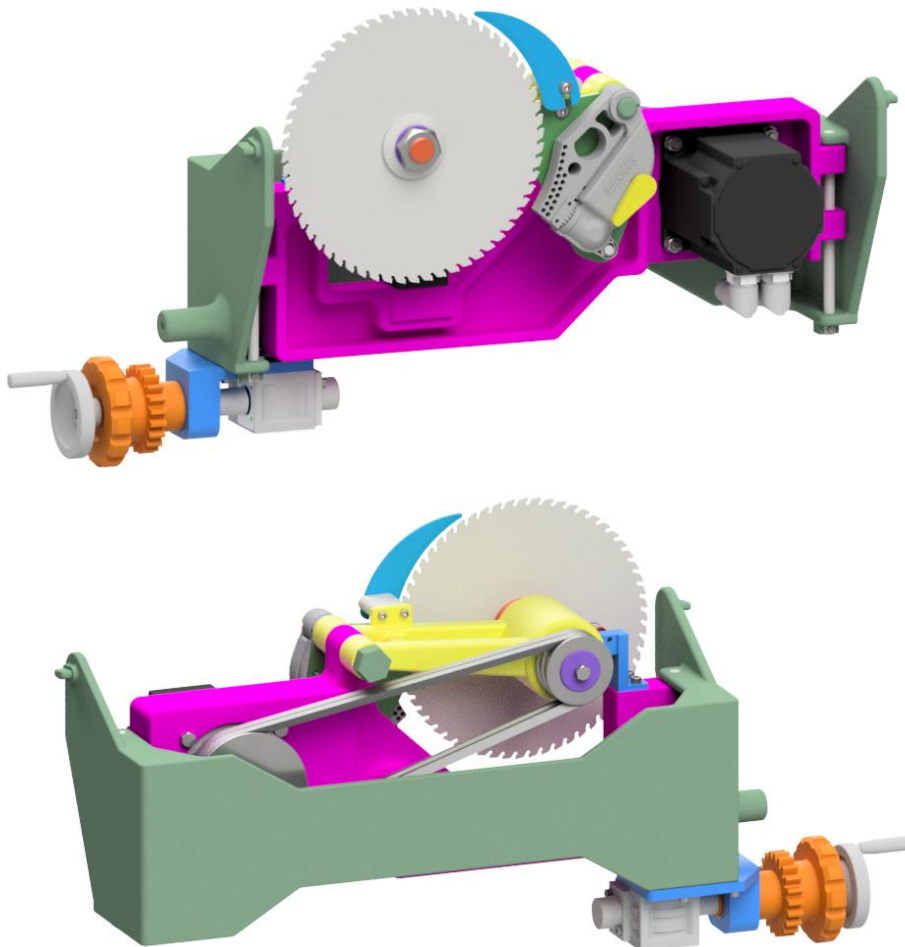
Základem pily je hliníkový stůl (odlitek s obrobenými kontaktními plochami), k němu jsou připevněny 4 hliníkové nohy s gumovými patkami pomocí stavěcích šroubů ISO 4027 M6x8. Dále je ke stolu pomocí šroubů ISO 4762 M6 připevněn ozubený hřeben pro pohybový mechanismus a ohnuté plechy s obloukovými drážkami, ke kterým je připevněné kyvné rameno.

Ve stole je také otvor pro řezný kotouč. V tomto otvoru je zasazen kryt, po jeho zvednutí je možná výměna kotouče a SawStop patrony.

U kotouče je na rameni nainstalovaný rozevírací klín, který zabraňuje zpětnému vyvrstvení.



Obr. 45 - Celá konstrukce kotoučové pily



Obr. 44 - Vnitřní část pily

### 3.10 Shrnutí konstrukce

Cílem konstrukční části této práce je návrh celého zařízení kotoučové pily. Hlavním bodem je základní konstrukce „vnitřních částí“ pily, tedy pohonu, pohybových mechanismů atd. Návrh stolu je proveden pouze koncepčně. Předmětem této práce není ani návrh elektrických zařízení a schémat zapojení. Pro sériovou výrobu této pily by bylo vhodné například provést detailnější výpočty a ověřit návrh experimentálním měřením a testováním. Zde je výčet některých dalších možných prvků:

- Zakrytí pohyblivých částí pily s odvodem pilin
- Instalace posuvných pravítek
- Odměřovací stupnice pro nastavení řezu
- Nastavovací délka nohou
- Kolečka pro snadný přesun pily
- Držáky na příslušenství (kotouče, klíče, pravítka)
- Kryt kotouče připevněný k rozevíracímu klínu

## 4 Závěr

V rešeršní části této práce jsem se zabýval historií kotoučových pil, jednotlivými typy zařízení a konstrukčním řešením vybraných částí. Dále jsem zmapoval používané bezpečnostní prvky včetně zařízení, které aktivně zabraňují zranění při práci na kotoučových pilách.

V konstrukční části jsem provedl návrh zařízení stolní kotoučové pily na dřevo pro použití do domácích dílen a menších provozů. Při návrhu jsem vycházel z konstrukčních řešení vybraných výrobců a vlastních řešení. Návrh jsem provedl na základě výpočtů vybraných uzlů mechanismu. Celé zařízení s jednotlivými díly jsem vymodeloval v softwaru Autodesk Inventor. Z těchto modelů jsem vyhotovil vybrané sestavné a návrhové výkresy, které jsou v příloze této práce.

Cílem práce bylo navrhnout zařízení jako fungující celek, primárně pohyblivé části pily (pohon, pohyblivé mechanismy atd.). Pokud by mělo dojít k sériové výrobě tohoto zařízení, bylo by nutné dokončit návrh dalších částí. To ale vzhledem k rozsahu není předmětem této bakalářské práce.

## 5 Bibliografie

- [1] BELLIS, Mary. *The History of Hardware Tools: Who Invented Wrenches, Gauges and Saws?* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.yorksaw.com/history-circular-saw/>
- [2] *Circular Saw* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <http://www.edubilla.com/invention/circular-saw/>
- [3] The History of the Circular Saw. In: *YORK SAW & KNIFE* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.yorksaw.com/history-circular-saw/>
- [4] MILLER, Dan. *15 Types of Power Saws & Their Uses* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://www.finepowertools.com/saws/power-saw-types-their-uses/>
- [5] WOOD MAGAZINE STUFF. *Tracksaws* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://www.woodmagazine.com/tool-reviews/circular-saws/tracksaws>
- [6] Jak omítací pila funguje?. In: *Omítací pila* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://omitacipila.cz/omitaci-pila/>
- [7] Automatická krátkí pila KP 500 AUTOMAT. In: *Störi Mantel* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: [https://www.stoerimantel.cz/automaticka-kratici-pila-kp-500-automat\\_si19](https://www.stoerimantel.cz/automaticka-kratici-pila-kp-500-automat_si19)
- [8] DRASTÍKOVÁ, Alena. *Zkracovací kotoučová pila kyvná*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.
- [9] BC. HULINSKÝ, Pavel a Roman BITTMANN. *Učební text pro obor Truhlář 3. ročník* [online]. 2009 [cit. 2022-11-29]. ISBN 978-80-88058-39-7. Dostupné z: <https://publi.cz/book/173-ucebni-text-pro-obor-truhlar-3-rocnik>
- [10] ORTIZ, Pete. *49 DIFFERENT TYPES OF SAWS AND THEIR USES – WHICH IS RIGHT FOR YOU?* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://housegrail.com/different-types-of-saws/>

- [11] FORMÁTOVACÍ PILA ROBLAND Z400 X3. In: *Epimex* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <http://epimex.cz/drevoobrabeci-stroje/formatovaci-pily-s-predrezem/formatovaci-pila-robland-z400-x3/>
- [12] THIEMEL, Ondřej. *Okružní pila na palivové dřevo*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů. Vedoucí práce Ing. Tadeáš Szlachta, Ph.D.
- [13] KOVAŘÍK, Martin. *Podélné řezání dřeva pilovým kotoučem*. Zlín, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.
- [14] HUNTER, Bob. *Circular-saw-blade Basics* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.woodmagazine.com/tool-reviews/circular-saws/circular-saw-blade-basics>
- [15] SANDRY, Willie. *The Incredible Dado Blade* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://info.lagunatools.com/the-incredible-dado-blade>
- [16] KEVIN C., Chung a Shauver MELLISA J. *Table saw injuries: epidemiology and a proposal for preventive measures* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: doi:10.1097/PRS.0b013e3182a3bfb1
- [17] Stolní okružní pila TKS 80 EBS. In: *Festool* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.festool.cz/produkty/%C5%99ez%C3%A1n%C3%AD/stoln%C3%AD-okru%C5%BEen%C3%AD-pila/575781---tk-80-ebs#P%C5%99ehled>
- [18] ČAPKA, Radomír. *Vaše prsty jsou k nezaplacení!* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://drevmag.com/cs/2019/11/05/vase-prsty-jsou-k-nezaplaceni/>
- [19] Sawstop safety. In: *SawStop* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.sawstop.com/why-sawstop/safety/>
- [20] Technologie Sawstop. In: *Festool* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.festool.cz/kampan%C4%9B/microsites/sawstop#TechnologieSawStopAIM>

- [21] PCS (Preventive Contact System). In: *Felder Group* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.felder-group.com/en-us/pcs>
- [22] Altendorf Hand Guard. In: *Altendorf GROUP* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.altendorf-handguard.com/>
- [23] Pilový kotouč SK 305x3,2/2,2x30 5337 45 WZ/FZ H - PILANA. In: *Pilana Market* [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: [https://www.pilanamarket.cz/pilovy-kotouc-sk-305x3-2-2-2x30-5337-45-wz-fz-h-pilana/?\\_gl=1\\*1millfd\\*\\_up\\*MQ.&gclid=Cj0KCQjwk7ugBhDIARIsAGuvgPai8MX8kfyN18\\_EobHXhiRV8goQ-V4CM377\\_Z9j\\_znMBXBeHfHwsbEaAgFYEALw\\_wcB](https://www.pilanamarket.cz/pilovy-kotouc-sk-305x3-2-2-2x30-5337-45-wz-fz-h-pilana/?_gl=1*1millfd*_up*MQ.&gclid=Cj0KCQjwk7ugBhDIARIsAGuvgPai8MX8kfyN18_EobHXhiRV8goQ-V4CM377_Z9j_znMBXBeHfHwsbEaAgFYEALw_wcB)
- [24] Technické informace pro pilové kotouče z nástrojové oceli. In: *Pilana Market* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/clanky/technicke-informace-pro-pilove-kotouce-z-nastrojove-oceli/>
- [25] ŠPUNDA, Kateřina. TVRDOST DŘEVA – VŠE, CO POTŘEBUJETE VĚDĚT. In: *OPTIMTOP* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.optimtop.cz/tvrдост-dreva-prehled/>
- [26] Seřízení pilového kotouče na stroji. In: *Pilana Market* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://pilanawood.cz/p/serizeni-piloveho-kotouce-na-stroji>
- [27] Účinnost řemenů a úspora energie. In: *Tyma* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/technicke-informace/ucinnost/>
- [28] AKM OMYVATELNÉ SERVOMOTORY. In: *RAVEO s.r.o.* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/AKM-omyvatelne-servomotory>
- [29] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-718-3312-6.
- [30] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: Mechanické převody*. Vydavatelství ČVUT, 2003.



- [31] Klínové řemenice SPZ. In: *TYMA* [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/remenice/klinove/s-nabojem-bez-diry/spz/>
- [32] BOLEK, Alfréd a Josef KOCHMAN. *Části strojů 1. svazek: Páté, přepracované vydání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00046-7.
- [33] Katalog valivá ložiska. In: *SKF* [online]. [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/rolling-bearings>
- [34] ZDVIŽNÁ PŘEVODOVKA TYP TSE ROTUJÍCÍ. In: *T.E.A. TECHIK s.r.o* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-tse-rotujici/>
- [35] Table saw 1889. In: *Paleotool.com* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://paleotool.com/2014/12/20/table-saw-1889/>
- [36] DeWalt Products Co. In: *Vintage Machinery* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <http://vintagemachinery.org/photoindex/detail.aspx?id=7122>
- [37] Omítací pila EG 100. In: *Wood-Mizer* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://woodmizer.cz/eg100-edger>
- [38] Jak vypadá naše omítací pila?. In: *Omítací pila* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://omitacipila.cz/galerie/>
- [39] ITECH 315MM TABLE SAW BENCH. In: *Aries Ductfix* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://ariesductfix.co.uk/products/itech-315mm-table-saw-bench>
- [40] Scheppach Wippkreissäge wox d500 4,2kW. In: *WGM - Werkzeuge und Maschinen* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.wgm-maschinen.de/holzbearbeitung/wippkreissaegen/scheppach-wippkreissaege-wox-d500-4-2kw-3164.html>
- [41] Katalog řezné nástroje. In: *Pilana Market* [online]. [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/clanky/ke-stazeni/>
- [42] Pilový kotouč SK 5394.1 WZ EFFECTIVE. In: *Pilana Market* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/pilovy-kotouc-sk-5394-1-wz-effective/>

- [43] COMPACT TABLE SAW. In: *SawStop* [online]. [cit. 2022-12-08]. Dostupné z: <https://www.sawstop.com/product/compact-table-saw/>
- [44] How do Table Saws Detect Fingers?. In: *Tools teritory* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://toolsterritory.com/how-do-table-saws-detect-fingers/>
- [45] Formátovací pila ALTENDORF HAND GUARD. In: *Altendorf GROUP* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.altendorf.cz/formatovaci-pily-altendorf/hand-guard/>
- [46] Patrona KT-TKS 80. In: *Festool* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.festool.cz/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/575851---kt-tks-80#P%C5%99ehled>
- [47] Nárazník KD - 50x50/20 - M10x26 - 55 ShA. In: *Rubena* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://eshop.rubena.cz/naraznik-kd-50x50-20-m10x26-55-sha/d-163750-c-2246/>
- [48] Napínací rolny se šroubem RP. In: *TYMA* [online]. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/prislusenstvi/napinaky/napinaky-remenu/rp-rolny-se-sroubem/>

## 6 Seznam obrázků

Obr. 1 - Nákres z patentu na rannou konstrukci stolní kotoučové pily [3].....	5
Obr. 2 - Kotoučová pila na šlapací pohon z roku 1889 [35].....	6
Obr. 3 - První pila s radiálním ramenem od společnosti DeWalt z roku 1922 [36]..	6
Obr. 4 - Ruční kotoučová pila s vodící lištou [5].....	7
Obr. 5 - Omítací pila s posouvajícím se kotoučem [38].....	8
Obr. 6 - Omítací pila se dvěma kotouči a pásovým posuvem [37].....	8
Obr. 7 - Ruční zkracovací pila s kombinovaným mechanismem posuvu a možností naklopení kotouče do dvou směrů [4].....	9
Obr. 8 - Zkracovací pila se strojním posuvem kotouče ze spodní strany (s přidržovačem materiálu) [7].....	10
Obr. 9 - Stolní pila s podélným pravítkem [39].....	10
Obr. 10 - Velkorozměrová formátovací pila [11].....	11
Obr. 11 - Vertikální formátovací pila [10].....	12
Obr. 12 - Kolébková pila [40].....	12
Obr. 13 - Geometrie řezných úhlů [13].....	14
Obr. 14 – Označení částí zubu pilového kotouče [13].....	14
Obr. 15 - Výřez z katalogu výrobce PILANA s nejčastějšími typy zubů [41].....	15
Obr. 16 - Kotouč s omezovačem třísek [42].....	15
Obr. 17 - Kotouče pro řezání drážek [15].....	16
Obr. 18 - Stolní pila s rozevíracím klínem, západkami proti zpětnému rázu a zvedacím krytem [43].....	17
Obr. 19 - Stolní pila s horním i dolním odsavačem pilin [17].....	18
Obr. 20 - SawStop systém po zastavení kotouče [19].....	19
Obr. 21 - Zdeformovaný hliníkový blok [44].....	20
Obr. 22 - Vizualizace zorného pole kamer nad pracovním stolem formátovací pily [45].....	21
Obr. 23 - Vybraný řezný kotouč [23].....	22
Obr. 24 - Výpočet délky řezu.....	24
Obr. 25 - Elektromotor AKM [28].....	26
Obr. 26 - Rozměry elektromotoru [28].....	26

Obr. 27 - Diagram pro volbu typu řemene [29].....	28
Obr. 28 - Klínová řemenice SPZ [31] .....	32
Obr. 29 - Rozměry řemenic [31] .....	32
Obr. 30 - Upevnění řezného kotouče.....	35
Obr. 31 - Hnaná hřídel v řezu .....	38
Obr. 32 - Rozklad síly od řemenu .....	39
Obr. 33 - Zatížení hřídele v rovině XY.....	39
Obr. 34 - Zatížení hřídele v rovině XZ.....	40
Obr. 35 - Schéma SawStop systému.....	42
Obr. 36 - Patrona KT-TKS 80 [46] .....	43
Obr. 37 - Mechanická pojistka .....	44
Obr. 38 - Silentblok výrobce Rubena [47].....	45
Obr. 39 - Napínací rolna RP 1 [48].....	45
Obr. 40 - Řemenový převod ve sklopeném stavu.....	46
Obr. 41 - Naklápěcí mechanismus.....	47
Obr. 42 - Rozměry zdvižné převodovky TSE 2-RN [34, s. 613].....	48
Obr. 43 - Parametry matice [34, s. 622] .....	49
Obr. 44- Pohybový mechanismus .....	50
Obr. 45 - Vnitřní část pily .....	51
Obr. 46 - Celá konstrukce kotoučové pily.....	51

## 7 Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry kotouče [23].....	23
Tab. 2 - Tvrdosti dřeva [25].....	23
Tab. 3 - Parametry elektromotoru [28].....	26
Tab. 4 - Rozměry elektromotoru [28].....	27
Tab. 5 - Součinitel úhlu opásání [29].....	29
Tab. 6 - Součinitel vlivu délky klínového řemene [29].....	29
Tab. 7 - Výkon přenášený jedním klínovým řemenem [29].....	30
Tab. 8 - Rozměry řemenic [31].....	32
Tab. 9 - Parametry ložiska SKF 61096-2RZ.....	41
Tab. 10 - Parametry ozubení.....	47
Tab. 11 - Parametry zdvižné převodovky TSE 2-RN [34, s. 613].....	48
Tab. 12 - Rozměry matice [34, s. 622].....	49



## 8 Seznam příloh

- NEU501307-00-00
- NEU501307-00-04
- NEU501307-00-04-K
- NEU501307-00-05
- Model pily NEU501307-00-00