

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## **Návrh technologie obrábění komutátorů elektrických točivých strojů**

Proposal of Technology Machining Commutators  
of Electrical Rotating Machines

Student:  
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Jan Hajzler  
Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Hajzler**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: **Návrh technologie obrábění komutátorů elektrických točivých strojů**  
**Proposal of Technology Machining Commutators of Electrical Rotating Machines**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do výroby komutátorů.
2. Popis zadávacích podmínek výroby.
3. Návrh technologie obrábění komutátorů.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metody v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Michal Jaroš

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



  
Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2013 .....

.....  
podpis studenta

## Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. 5. 2013



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Hajzler

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horní Čermná č. p. 120  
561 56

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HAJZLER, J. *Návrh technologie obrábění komutátorů elektrických točivých strojů*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 64s. Vedoucí práce: Petřů, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie obráběním drážek komutátorů elektrických točivých strojů. Byla realizována ve společnosti JCEE s.r.o. V úvodní části práce jsou uvedeny základní informace o komutátorech. Dále je popsán návrh a konstrukce stroje. Hlavní část se zaměřuje na návrh vhodné technologie obrábění drážek, vývoj tvarové kotoučové frézy a její ověření v praxi. V technicko-ekonomickém zhodnocení je uvedeno porovnání dosažených výsledků a výpočet návratnosti investice.

**ANNOTATION OF MASTER THESIS**

HAJZLER, J. *Proposal of Technology Machining Commutators of Electrical Rotating Machines*: Master Thesis. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 64p. Thesis head: Petřů, J.

This Master Thesis describes proposal of technology machining commutators of electrical rotating machines that was carried out at JCEE Ltd. The opening part provides basic information on commutators that is followed by the description of the design and machine construction. The main part focuses on the design of appropriate technology machining grooves, molding cutters development and its verification in practice. In the technical-economic evaluation is stated the comparison of the achieved results and a return investment calculation.

**Obsah diplomové práce:**

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Úvod do výroby komutátorů.....</b>	<b>13</b>
1.1 Obecná charakteristika daného problému .....	17
1.2 Představení společnosti JCEE s.r.o. ....	18
<b>2 Popis zadávacích podmínek výroby .....</b>	<b>20</b>
<b>3 Konstrukce stroje.....</b>	<b>24</b>
3.1 Podskupina 010 - Pohonné vřeteno .....	25
3.2 Podskupina 020 - Koník.....	27
3.3 Podskupina 040 - Rám stroje .....	28
3.4 Podskupina 050 - Krytování.....	29
3.5 Podskupina 060 – Tvarová fréza.....	30
3.6 Podskupina 070 – Pilový kotouč.....	32
3.7 Podskupina 080 - Stojany.....	34
3.8 Podskupina 090 - Měřicí sonda.....	35
3.9 Podskupina 100 – Válcová fréza.....	36
<b>4. Návrh technologie obrábění komutátorů .....</b>	<b>37</b>
4.1 Původní technologie.....	37
4.1.1 Prořezání vodorovné části komutátoru .....	37
4.1.2 Ostatní operace .....	40
4.2 Nová technologie .....	42
4.2.1 Vytipování pohonu nástroje .....	42
4.2.2 Vývoj tvarové frézy .....	45
4.2.3 Návrh ostatních nástrojů.....	48
4.2.4 Návrhy postupů při prořezávání drážek: .....	49
<b>5. Technicko-ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>51</b>
5.1 Parametry stroje .....	51

---

5.2 Zhodnocení původní technologie .....	52
5.3 Zhodnocení nové technologie .....	55
5.4 Výpočet návratnosti .....	58
<b>Závěr .....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam použité literatury: .....</b>	<b>61</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>64</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka:	Jednotka:	Popis:
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinuté karbidy
$a_p$	[mm]	Hloubka řezu
D	[mm]	Průměr pilového kotouče od firmy GSP
$D_1$	[mm]	Průměr hnacího ozubeného kola
$D_2$	[mm]	Průměr hnaného ozubeného kola
$D_{n1}$	[mm]	Průměr nástroje
$F_c$	[N]	Maximální řezná síla na nástroji
$i_c$	[-]	Výsledný převodový poměr
$i_p$	[-]	Převodový poměr planetové převodovky
$i_1$	[-]	Potřebný převodový poměr pro získání krouticího momentu 0,5Nm
$i_{1,2}$	[-]	Převodový poměr mezi ozubenými koly $D_1$ a $D_2$
$l_1$	[m]	Životnost pilového kotouče GSP $\varnothing$ 32 mm
$l_2$	[m]	Životnost pilového kotouče PRECITOOL $\varnothing$ 30 mm
$l_3$	[m]	Životnost tvarové frézy $\varnothing$ 12 mm
$l_{c1}$	[m]	Celková délka prořezaných drážek na komutátoru typ ZT
$l_{c2}$	[m]	Celková délka prořezaných drážek na komutátoru typ TE
$l_{c11}$	[m]	Celková délka prořezaných praporků komutátoru typ ZT
$l_{c22}$	[m]	Celková délka prořezaných praporků komutátoru typ TE
$l_{d1}$	[m]	Délka jedné drážky komutátoru typ ZT
$l_{d2}$	[m]	Délka jedné drážky komutátoru typ TE
$l_{d11}$	[m]	Délka jednoho praporku komutátoru typ ZT
$l_{d22}$	[m]	Délka jednoho praporku komutátoru typ TE
$M_k$	[Nm]	Krouticí moment elektromotoru udávaný výrobcem
$M_{k1}$	[Nm]	Maximální krouticí moment elektromotoru typ 370354
$M_{k2}$	[Nm]	Požadovaný krouticí moment
$M_{kn1}$	[Nm]	Maximální krouticí moment na nástroji $\varnothing$ 12 mm
$N_1$	[Kč]	Cena pilového kotouče GSP $\varnothing$ 32 mm
$N_2$	[Kč]	Cena pilového kotouče PRECITOOL $\varnothing$ 30 mm
$N_3$	[Kč]	Cena tvarové frézy $\varnothing$ 12 mm



$N_{c1}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ ZT bez prořezání praporků s použitím původní technologie
$N_{c2}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ TE bez prořezání praporků s použitím původní technologie
$N_{c3}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ ZT bez prořezání praporků s použitím nové technologie
$N_{c4}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ TE bez prořezání praporků s použitím nové technologie
$N_{c11}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ ZT včetně prořezání praporků s použitím původní technologie
$N_{c22}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ TE včetně prořezání praporků s použitím původní technologie
$N_{c33}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ ZT včetně prořezání praporků s použitím nové technologie
$N_{c44}$	[Kč]	Celková cena prořezání komutátoru typ TE včetně prořezání praporků s použitím nové technologie
$N_{d1}$	[Kč]	Cena za práci při ručním srážení hran komutátoru ZT
$N_{d2}$	[Kč]	Cena za práci při ručním srážení hran komutátoru typ TE
$N_{h1}$	[Kč/h]	Hodinová sazba při prořezávání na manuálním zařízení
$N_{h2}$	[Kč/h]	Hodinová sazba dělníka
$N_{h3}$	[Kč/h]	Hodinová sazba při prořezávání na stroji JZ 037
$N_{hp}$	[Kč/h]	Výpočet průměrné hodinové úspory při prořezávání na stroji JZ 037
$N_{hp1}$	[Kč/h]	Výpočet průměrné hodinové úspory při prořezání komutátorů bez praporků
$N_{hp2}$	[Kč/h]	Výpočet průměrné hodinové úspory při prořezání komutátorů včetně praporků
$N_{hu1}$	[Kč/h]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru ZT bez praporků
$N_{hu2}$	[Kč/h]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru TE bez praporků
$N_{hu11}$	[Kč/h]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru ZT včetně praporků
$N_{hu22}$	[Kč/h]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru TE včetně praporků
$N_{k1}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů GSP na prořezání komutátoru typ ZT

$N_{k2}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů GSP na prořezání komutátoru typ TE
$N_{k3}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů PRECITOOL bez prořezání praporků na komutátoru typ ZT
$N_{k4}$	[Kč]	Cena opotřebovaných tvarových fréz $\varnothing$ 12 mm bez prořezání praporků na komutátoru typ ZT
$N_{k5}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů PRECITOOL bez prořezání praporků na komutátoru typ TE
$N_{k6}$	[Kč]	Cena opotřebovaných tvarových fréz $\varnothing$ 12 mm bez prořezání praporků na komutátoru typ TE
$N_{k33}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů PRECITOOL za prořezání praporků na komutátoru typ ZT
$N_{k55}$	[Kč]	Cena opotřebovaných pilových kotoučů PRECITOOL za prořezání praporků na komutátoru typ TE
$N_{s1}$	[Kč]	Cena nákladů na prořezání komutátoru ZT, bez prořezání praporků, na stroji JZ 037
$N_{s2}$	[Kč]	Cena nákladů na prořezání komutátoru TE, bez prořezání praporků, na stroji JZ 037
$N_{s11}$	[Kč]	Cena nákladů za případné prořezání praporků komutátoru ZT na stroji JZ 037
$N_{s22}$	[Kč]	Cena nákladů za případné prořezání praporků komutátoru TE na stroji JZ 037
$N_{u1}$	[Kč]	Výpočet úspory při prořezání komutátoru ZT bez praporků
$N_{u2}$	[Kč]	Výpočet úspory při prořezání komutátoru TE bez praporků
$N_{u11}$	[Kč]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru ZT bez praporků
$N_{u22}$	[Kč]	Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru TE bez praporků
$N_{z1}$	[Kč]	Cena za práci při prořezání komutátoru ZT na manuálním zařízení
$N_{z2}$	[Kč]	Cena za práci při prořezání komutátoru TE na manuálním zařízení
$N_{z11}$	[Kč]	Cena za práci při případném prořezání praporků na komutátoru ZT
$N_{z22}$	[Kč]	Cena za práci při případném prořezání praporků na typu TE
$n$	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky pilového kotouče od firmy GSP
$n_m$	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky elektromotoru po zpřevodování převodem $i_1$
$n_1$	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky elektromotoru po zpřevodování
$n_2$	$[\text{min}^{-1}]$	Maximální otáčky na nástroji

$t_{d1}$	[h]	Čas potřebný na ruční sražení hran komutátoru ZT
$t_{d2}$	[h]	Čas potřebný na ruční sražení hran komutátoru typ TE
$t_{n8}$	[dny]	Návratnost investice při osmihodinovém provozu
$t_{s1}$	[h]	Čas potřebný na prořezání komutátoru ZT, bez praporků, na stroji JZ 037
$t_{s2}$	[h]	Čas potřebný na prořezání komutátoru TE, bez praporků, na stroji JZ 037
$t_{s11}$	[h]	Čas potřebný na případné prořezání praporků komutátoru ZT na stroji JZ 037
$t_{s22}$	[h]	Čas potřebný na případné prořezání praporků komutátoru TE na stroji JZ 037
$t_{z1}$	[h]	Čas prořezávání komutátoru ZT na manuálním zařízení
$t_{z2}$	[h]	Čas prořezávání komutátoru typ TE na manuálním zařízení
$t_{z11}$	[h]	Čas potřebný na ruční prořezání praporků komutátoru ZT
$t_{z22}$	[h]	Čas potřebný na ruční prořezání praporků komutátoru typ TE
$v_c$	[m/min]	Řezná rychlost pilového kotouče od firmy GSP
$v_{c1}$	[m/min]	Maximální řezná rychlost na nástroji
$v_f$	[mm/min]	Posuvová rychlost
$x_1$	[-]	Počet drážek komutátoru ZT
$x_2$	[-]	Počet drážek komutátoru TE

## Úvod

Až do konce 20. století byly stejnosměrné stroje s mechanickým komutátorem díky snadné regulaci prakticky nezbytnou součástí elektrických pohonů. V dnešní době se díky levným polovodičům nahrazují asynchronním motorem s elektronickým řízením. Ten je levnější a spolehlivější.

Nevýhodou komutátorových motorů jsou mechanické poruchy a krátká servisní perioda. Kartáče i komutátor se vlivem tření a jiskření obroušují a proto mají komutátorové motory krátkou životnost. Výměna kartáčů je snadná a levná, což se nedá říci o opravě obroušeného komutátoru. U obroušeného komutátoru je potřeba osoustružit jeho průměr a obnovit drážky prořezáním izolace mezi jednotlivými lamelami.

Cílem diplomové práce je navrhnout technologii obrábění drážek komutátorů na stroji JZ 037.

V diplomové práci je popsán návrh konstrukce a návrh technologie obrábění pro jednoúčelové zařízení. Toto zařízení je určeno na obrábění drážek komutátorů elektrických točivých strojů. Zadavatelem zakázky byla firma CZ LOKO, a.s. se sídlem v České Třebové. Ve výběrovém řízení vyhrála a následně zhotovila požadované zařízení firma JCEE s. r. o. se sídlem v Lanškrouně.

V následujících kapitolách teoretické části práce je v několika bodech popsána funkce a základní informace o komutátorech. Dále jsou uvedeny požadavky na zařízení a na tvar zhotovené drážky. V praktické části je popsána konstrukce jednoúčelového zařízení a návrhy vhodné technologie obrábění drážek komutátorů. V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou uvedeny parametry stroje, výpočet a porovnání ceny za prořezání komutátoru typ ZT a TE původní a novou technologií. Je zde také výpočet návratnosti investice za stroj JZ 037.

# 1 Úvod do výroby komutátorů

## Komutátor

Je to sestava vodivých součástí, které jsou od sebe vzájemně izolované a zároveň jsou izolované i od svých podpěr. Na podpěrách jsou přiloženy kartáče, které umožňují prostřednictvím kluzného kontaktu protékání proudu mezi otáčejícím se vinutím a obvykle stacionární částí obvodu. Dále umožňují komutaci proudu mezi jednotlivými cívkami otáčejícího se vinutí. Umístění komutátoru je vždy na rotoru stroje. Jelikož komutátor přenáší velké proudy, bývá zdrojem nežádoucích mechanických poruch nebo elektromagnetického rušení. To vzniká vlivem nežádoucího jiskření, které způsobuje mezera mezi sběračem proudu a povrchem komutátoru. Proto jsou komutátorové motory nevhodné do prostředí s možností výskytu hořlavých či výbušných plynů (např. hlubinné doly). Komutátor má za úkol přepínání směru proudu vedeného do rotorových cívek a to tak, aby byla napájena vždy cívka pod aktivním pólem a byla dosažena co největší účinnost stroje. [2]

Od komutátorů se v dnešní době ustupuje. Jsou poruchové a mohou vytvářet nežádoucí elektromagnetické rušení. Nahrazují je díky levným polovodičům asynchronní motory s elektronickým řízením. Ty jsou levnější a spolehlivější.

Příklady využití komutátorů:

- Stejnoseměrné rotační elektrické stroje (stejnoseměrný motor, dynamo)
- Univerzální motorky používané v domácnosti (mixéry, fény, vrtačky atd.)

## Komutace

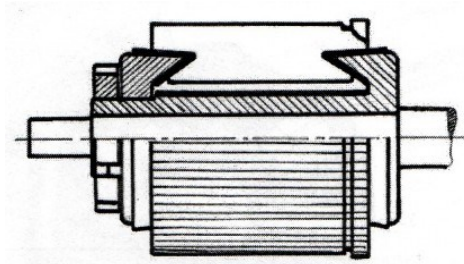
Jedná se o přechodový jev, který vzniká při postupném přepínání cívek vinutí z jedné paralelní větve do druhé při otáčející se kotvě. Přechodový jev je ovládán kluzným kontaktem mezi kartáčem a komutátorem. Kartáče jsou obvykle grafitové, v praxi nazývané jako uhlíky. Kluzný kontakt je problém elektrický, mechanický (tření) a elektrochemický (patina). Dále se zde projevuje vzájemné působení částic. Tření velice ovlivňuje proudová hustota, tím je ovlivněn i přechodový odpor. [1]

### Typy komutátorů

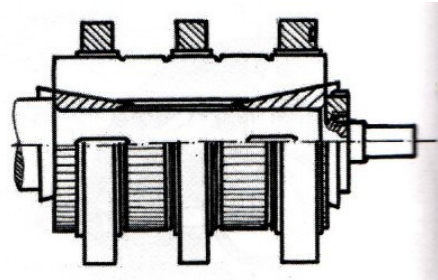
Povrch komutátoru musí mít dokonale hladkou válcovou plochu, souosou s rotační osou kotvy. Komutátor musí být naprosto jednolitý celek. [1]

Podle konstrukce (uchycení lamel proti účinkům odstředivé síly) dělíme komutátory na: [1]

- Rybinové
- Zděřové



Obr. 1 - Rybinový komutátor [1]



Obr. 2 - Zděřový komutátor [1]

Podle způsobu výroby na [1]:

- Lisované (malé komutátory cca  $\varnothing$  20 – 125mm)
- Skládané (komutátory větších průměrů)

Podle rozdílu mezi průměrem rotoru a průměrem komutátoru se liší připojení lamel komutátoru k vinutí kotvy.

Při malém rozdílu se konce cívek vinutí připájí přímo k lamelám.

Při rozdílných průměrech rotoru a průměrem komutátoru se provádí spojení cívek s lamelami komutátoru prostřednictvím tzv. praporků [1].

Dále může být provedeno vodivé spojení ekvipotenciálních vinutí tzv. vyrovnávacími spojkami. Tyto spojky se často připojují na čelo komutátoru (jsou připájeny k lamelám). [1]

### Povrch komutátoru

Kvalita povrchu komutátoru je důležitá pro komutační proces. Musí se dodržet maximální možné předepsané geometrické nerovnosti povrchu u funkční (kluzné) plochy komutátoru. Nedodržení těchto tolerancí by znamenalo jiskření a lámání kartáčů. Jedná se o ovalitu a o výškový rozdíl sousedních lamel. Dále by slídová izolace neměla nikdy

vyčnívat nad povrch lamel. Výškový rozdíl sousedních lamel by měl být co nejmenší. Povolená odchylka od válcovitého tvaru (ovalita) se mění podle obvodové rychlosti komutátoru (viz tab. 1). Ovalitu lze definovat jako rozdíl mezi největším a nejmenším poloměrem komutátoru (měřeno na jeho povrchu).

Tabulka 1 Doporučené hodnoty velikosti ovality v závislosti na obvodové rychlosti [1]

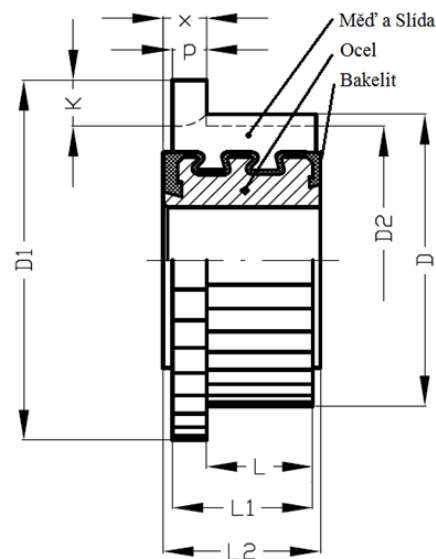
Obvodová rychlost [m/s]	Ovalita [mm]
Do 20	0,05
20-35	0,04
35-50	0,03
Nad 50	0,02

### Materiálové složení komutátoru

Aktivní část se skládá z lamel pro vedení proudu (měděné) a z izolace mezi lamelami (slídové). Aktivní část komutátoru je od nosné konstrukce odizolována. [3]

Komutátor se skládá z několika materiálů:

- Lamely – měď
- Izolace – slída
- Pouzdro – ocel
- Hmota – bakelit



Obr. 3: Průřez komutátoru [4]

### Měď

Měď se zde používá z toho důvodu, že vede velmi dobře elektrický proud. Řadí se mezi kovové prvky s nejlepší vodivostí. Podle mechanického zpracování lze měď rozdělit na měkkou, polotvrdou nebo tvrdou s pevností 196 až 373 MPa. S rostoucí pevností klesá tvárnost a vodivost. Měkká měď se používá na jádra izolovaných vodičů, polotvrdá na profilové vodiče a tvrdá na lamely komutátorů. [5]

Komutátory pracují při vyšších teplotách (až 350°C), proto se pro zvýšení odolnosti proti tečení a zvýšení pevnosti přidává do mědi malé množství (do 1%) Ag, Sn, Cr a Zn. Tyto prvky zvýší mez pevnosti až na 650 MPa, ale vodivost se zmenší zhruba na polovinu. Proto je lepší lamelovou měď dále zpevňovat drobnými částicemi, které jsou nekoherentní s krystalovou mřížkou. Při použití drobných částic dosáhneme zpevnění mědi, ale rezistivita stoupá pomaleji, než je tomu při zpevnění vyvolaném kovovými prvky. Používá se velmi jemných, disperzně vyloučených částic  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , které zpevní lamely až na  $R_m = 560$  MPa, přičemž se vodivost zmenší pouze cca o 20%. [5]

### **Slída**

Pro odizolování jednotlivých lamel komutátoru se používá slída. Z chemického hlediska je slída křemičitan hlinitodraselný (muskovit) neboli slída draselná nebo kyselý křemičitan draselnohlinitohorečnatý (flogopit) neboli slída horečnatá. Slída má vrstevnatou strukturu, proto se při obrábění vyštipuje až na tloušťky 0,05 mm. Vrstvy jsou tvořeny křemíko-kyslíkovými tetraedry spojenými vzájemně v rozích. Slída se využívá hlavně pro svoje izolační a teplovzdorné vlastnosti. Proto se zde používá jako materiál pro izolační desky (mikanit). Volba izolace je velice důležitá pro životnost a bezpečný provoz komutátorů. [2]

### **Ocel [6]**

Pro pouzdra komutátorů se používá např. ocel 11 109, 11 523 a 12 050.

11 109 - (11SMn30) Jedná se o automatovou ocel. Je velmi dobře obrobitelná a drsnost ploch po obrobení je dobrá.

11 523 - (S 355J2G3) Nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná ke svařování.

12 050 - (C 45) Konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování a povrchovému kalení.

Uklidněná ocel, svařitelnost obtížná.

### **Bakelit**

Bakelit se řadí mezi reaktoplasty. Reaktoplast je makromolekulární látka, která se vlivem tepla vytvrzuje. Příčinou je chemická reakce, při které dochází k propojení vazbami v jednu makromolekulu. Po ochlazení a vytvrzení je tato hmota odolná vůči teplu, mechanickému poškození a kyselinám. Pro svoje izolační vlastnosti je často využívána v elektrotechnickém průmyslu. [2]

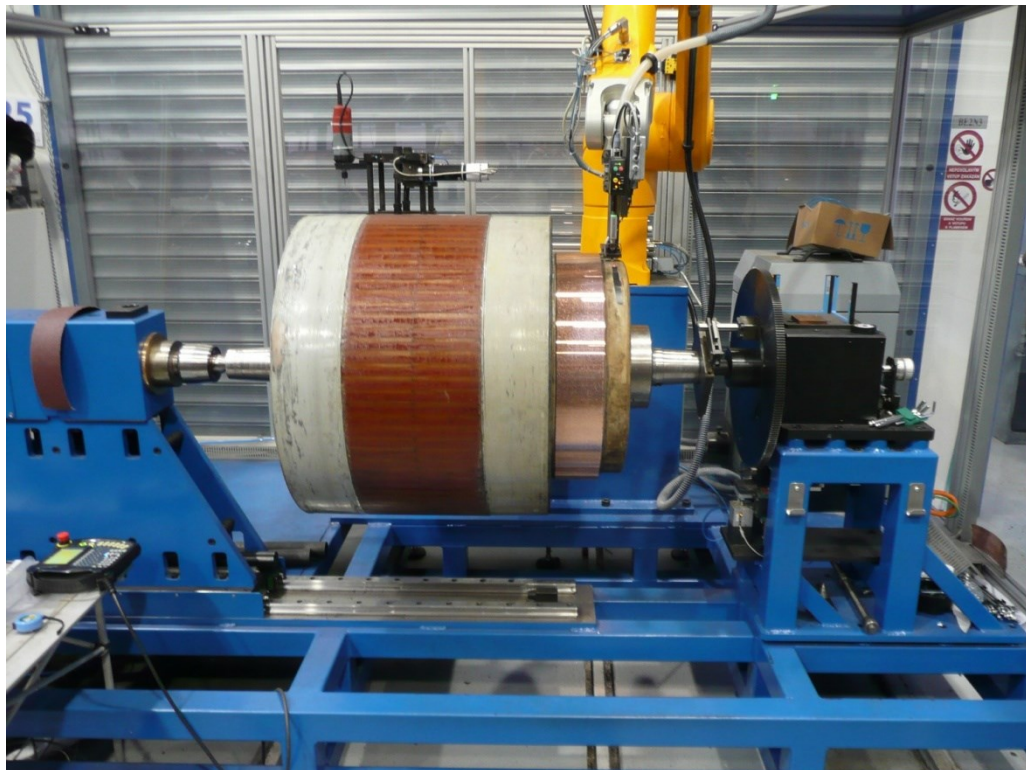


## 1.1 Obecná charakteristika daného problému

Při zadávání zakázky proběhla návštěva výrobního závodu CZ LOKO a.s. v České Třebové, kde se používá stávající zařízení na prořezávání drážek komutátorů. Konstrukce stávajícího zařízení byla sice určitou inspirací, ale vzhledem k požadavkům zákazníka z ní nebylo možno zcela vycházet. Podle požadované specifikace zákazníka byl vyhotoven návrh a konstrukce zařízení.

Konstrukce zařízení byla závislá především na rozměrech rotorů. Veškeré rozměry byly konzultovány s protistranou. Snaha byla minimalizovat nároky na zabraný prostor ve výrobní hale s ohledem na bezpečnost práce. Důraz byl kladen především na automatický provoz stroje. Ten by měl být schopen provést všechny potřebné operace bez zásahu obsluhy.

Návrh technologie prořezávání drážek byl stěžejní pro úspěšné dokončení stroje. Jednalo se hlavně o vývoj tvarové kotoučové frézy, ale i o návrh pilového kotouče a válcové frézy. Tuhost robotu a jeho další parametry ovlivňovali určení optimálních řezných podmínek.



Obr. 4 - Stroj na prořezávání drážek JZ 037

## 1.2 Představení společnosti JCEE s.r.o.

Společnost JCEE s.r.o. se sídlem v Lanškrouně byla založena v roce 1992 jako dceřiná společnost japonské firmy JCC Engineering Co. Ltd.. [7]

V roce 1995 se firma přemístila do vlastních prostor v Lanškrouně na ulici Dobrovského. Tím byly vytvořeny předpoklady pro další rozvoj společnosti. Původně konstrukční kancelář se v nových prostorách změnila v komplexní firmu se zaměřením na výrobu zakázkových jednoúčelových strojů a zařízení. [7]

V květnu roku 2001 byla zahájena výroba v nově vybudovaném provozu obrobny. [7]

V roce 2004 zahájil výrobu montážní závod v Moravské Třebové. [7]

V odděleních konstrukce, montáže, konvenčního a CNC obrábění a v ostatních podpůrných odděleních společnost v současné době zaměstnává 70 - 80 zaměstnanců. [7]

Největší část produkce firmy tvoří výrobní linky a automatizovaná montážní a kontrolní pracoviště pro automobilový a elektrotechnický průmysl. Tato zařízení jsou dodávána včetně kompletní instalace u zákazníka. [7]

V úzké spolupráci s mateřskou firmou JCCE Co. Ltd se JCEE s.r.o. podílí na produkci strojů pro výrobu elektronických součástek. Odběrateli jsou přední světoví výrobci elektrolytických kondenzátorů. [7]

Společnost JCEE s.r.o. také zastupuje přední zahraniční společnosti, kterými jsou JANOME (roboty a elektrolisy), Canon NTC (popisovače bužírek) či CSM (ohýbačky trubek). [7]

### Výroba jednoúčelových strojů

Hlavní náplní výrobního programu JCEE, s.r.o. je vývoj a výroba automatických strojů pro automobilový a elektrotechnický průmysl. Zajišťuje se zde výroba zakázkových zařízení od konstrukčního návrhu přes výrobu, oživení a instalaci strojů u zákazníka. Samozřejmostí je záruční a pozáruční servis. [8]

Firma vyrábí zejména montážní a kontrolní stroje, automatizovaná pracoviště a montážní linky sloužící k mechanizaci a automatizaci výrobních procesů. Tato zařízení jsou vyvíjena podle požadavků zákazníků nebo podle dodané technické dokumentace. Vyráběné stroje splňují požadavky evropských norem a mají certifikát CE. [8]

S ohledem na potřeby a požadavky zákazníků jsou stroje vybaveny různými komponenty renomovaných výrobců automatizační techniky – od mechanických prvků přes pneumatické a hydraulické jednotky, elektronické komponenty, robotické jednotky, výpočetní techniku až po řídicí systémy. [8]

V úzké spolupráci s mateřskou firmou JCC Engineering Co. Ltd. a FEE Co. Ltd. se firma podílí na produkci automatických strojů pro výrobu elektrolytických svitkových kondenzátorů pro přední světové výrobce těchto součástek. Jedná se zejména o tyto stroje: [8]

- Automatické navíječky kondenzátorových svitků
- Automatické montážní stroje
- Zahořovací a testovací automaty
- Balicí stroje



Obr. 5 - Montážní automat pro elektrotechnické součástky [8]

## 2 Popis zadávacích podmínek výroby

### Identifikace zadavatele

CZ LOKO, a.s.

Kontaktní osoba: Radovan Stránský

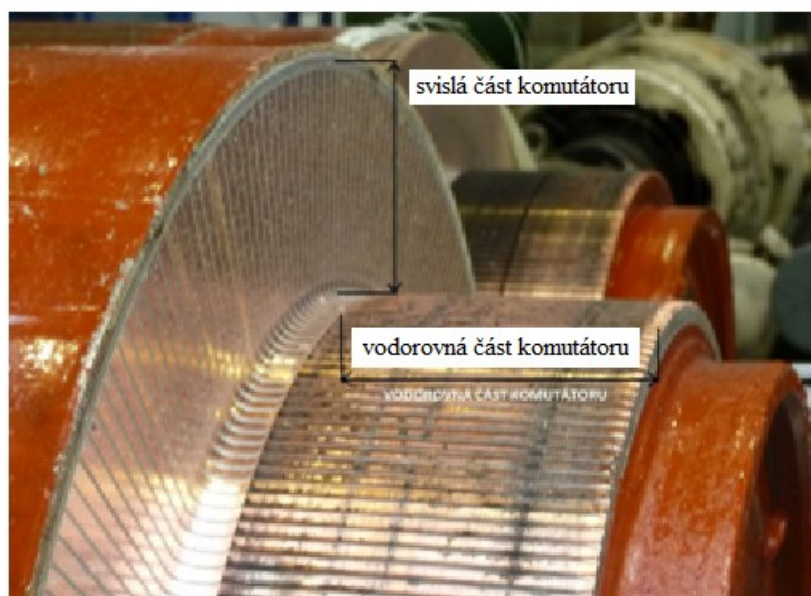
Adresa: Semanínská 580, 560 02 Česká Třebová

IČ: 61672131

Zadavatel zapsán u Krajského obchodního soudu v Hradci Králové, oddíl B, vložka 2584

### Přesné vymezení předmětu zakázky a požadavků zadavatele

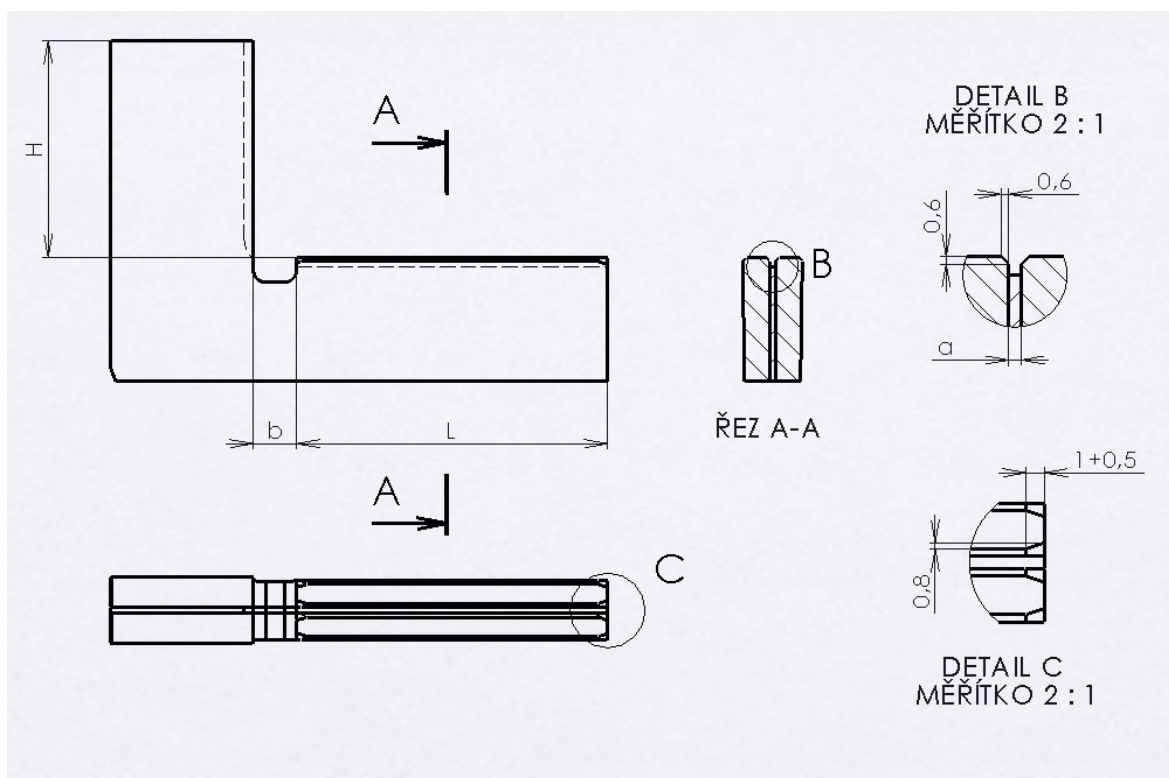
Předmětem výběrového řízení je návrh, nabídka, výroba, dodávka, montáž, zkoušky, zaškolení obsluhy a uvedení do provozu stroje na prořezávání komutátorů elektrických točivých strojů, který má za úkol prořezat vodorovnou i svislou část komutátorů točivých strojů po provedené opravě. Parametry prořezané vodorovné části komutátoru (viz obr. 8). Předpokládá se, že stroj bude pracovat v automatickém režimu.



Obr. 6 - Detail komutátoru



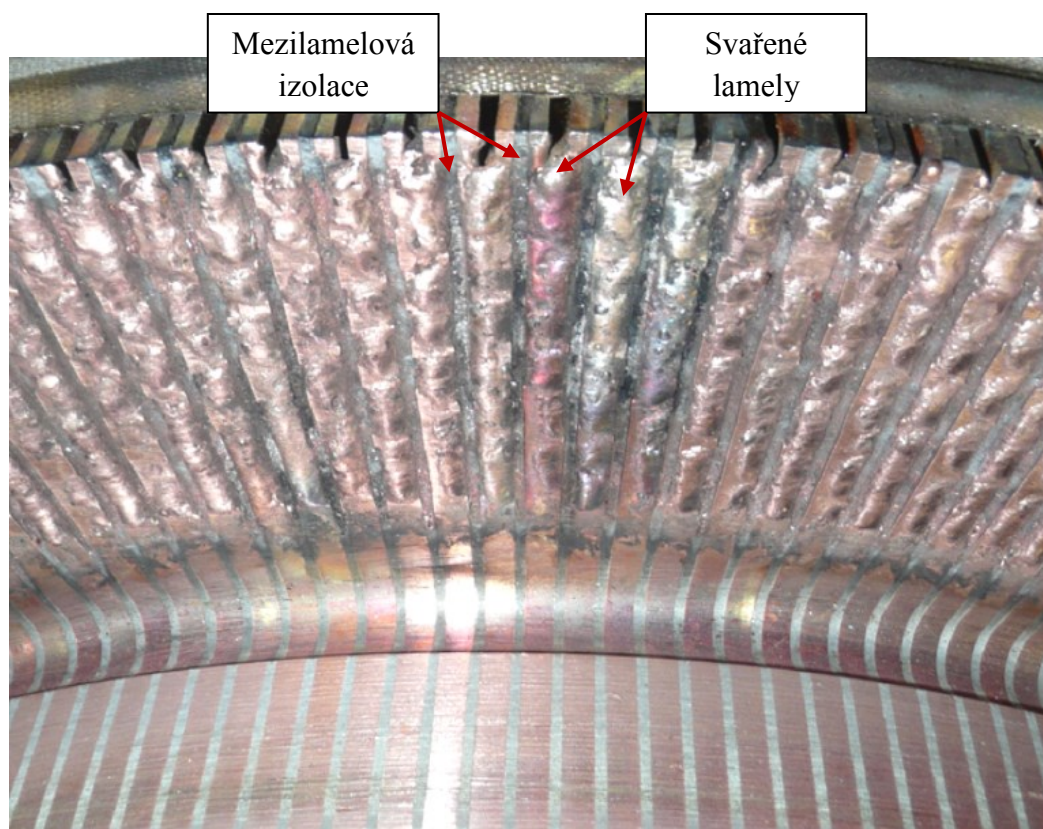
Obr. 7 - Příklad provedení rotoru TE 015 (vlevo) a rotoru TD 802 (vpravo)



Obr. 8 - Parametry prořezané drážky

Šířka drážky	$a = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ nebo 1 mm
Šířka zápichu	$b = 5$ až 10 mm
Délka komutátoru	$L = 50$ až 210 mm





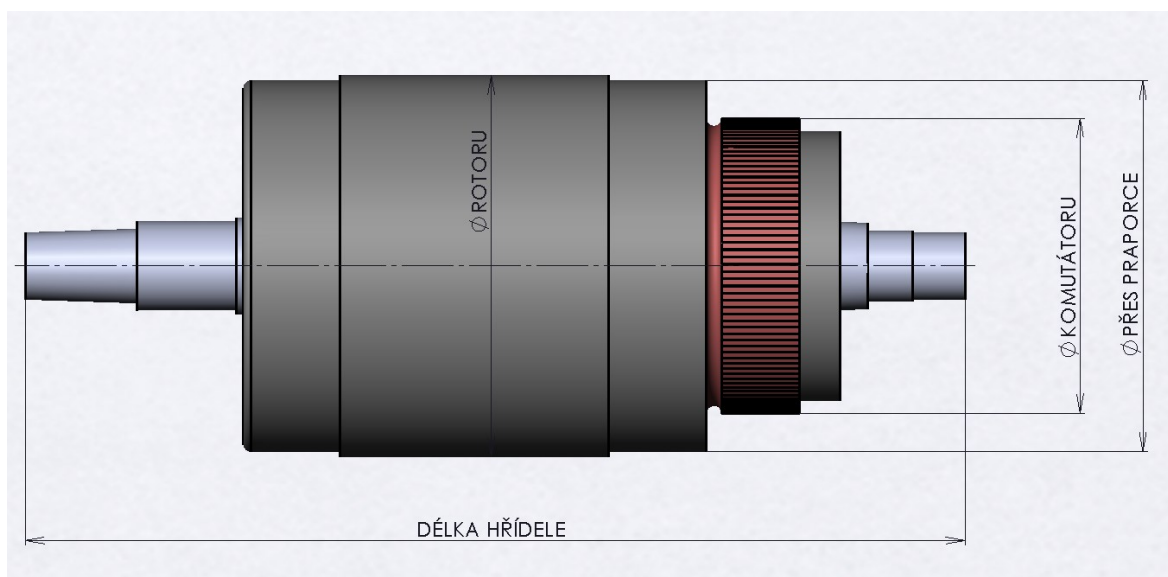
Obr. 9 - Svislá část komutátoru po sváření před prořezáním



Obr. 10 - Svislá část komutátoru po prořezání

Tabulka 2 - Parametry rotorů

Parametr	Min.	Max.	Jednotky
Průměr komutátoru	150	850	mm
Průměr komutátoru přes praporce	450	890	mm
Délka komutátoru	50	210	mm
Průměr rotoru	220	1 200	mm
Délka hřídele	500	1 230	mm
Hmotnost rotoru	50	2 500	kg



Obr. 11 - Rozměry rotoru

### Doplňující požadavky

- nabízený stroj by měl mít co nejjednodušší ovládání a nastavování
- nabízený stroj bude splňovat požadavky příslušných bezpečnostních, hygienických a ekologických předpisů vztahujících se na tato zařízení dle platných norem a zákonů platných v ČR
- nabízený stroj bude vybaven kompletní dokumentací pro obsluhu a údržbu v ČJ a to 2x v papírové a 1x v elektronické podobě. Součástí dokumentace bude i výkresová část.

### 3 Konstrukce stroje

Konstrukce jednoúčelového stroje na prořezávání drážek komutátoru byla provedena dle výše uvedených požadavků. Ve firmě JCEE s.r.o. se jednalo o první typ tohoto stroje, proto se návrh konstrukce neobešel bez různých úprav a vylepšení. Určitou inspirací mohla být konstrukce stávajícího zařízení, ale vzhledem k požadavkům zákazníka z ní nebylo možné vycházet.

Vzhledem k tomu, že stroj musel být automatický, bylo stěžejní částí vývoje vytvoření vhodného měření komutátoru. Lamely některých komutátorů nemají shodnou rozteč nebo nejsou zcela rovnoběžné s osou středících důlků hřídele rotoru. Dráhy nástroje se pak musí přepočítávat vzhledem k těmto nepřesnostem. Z tohoto důvodu byl stroj vybaven robotem od firmy STÄUBLI, který má 6 os. Díky 6-ti osám získává stroj velkou výhodu oproti konkurenčním zařízením na prořezávání drážek. Nevýhodou je však nižší tuhost, která omezuje řezné parametry.

Stroj musel být také velice univerzální (viz zadávací podmínky), což s sebou přináší další potíže. Přípravky vhodné na velké průměry se nehodí na malé, atd.

Konstrukce stroje byla pro větší přehlednost rozdělena do jednotlivých podskupin.

Podskupina 010 - Pohonné vřeteno

Podskupina 020 - Koník

Podskupina 040 - Rám

Podskupina 050 - Krytování

Podskupina 060 - Tvarová fréza

Podskupina 070 - Pilový kotouč

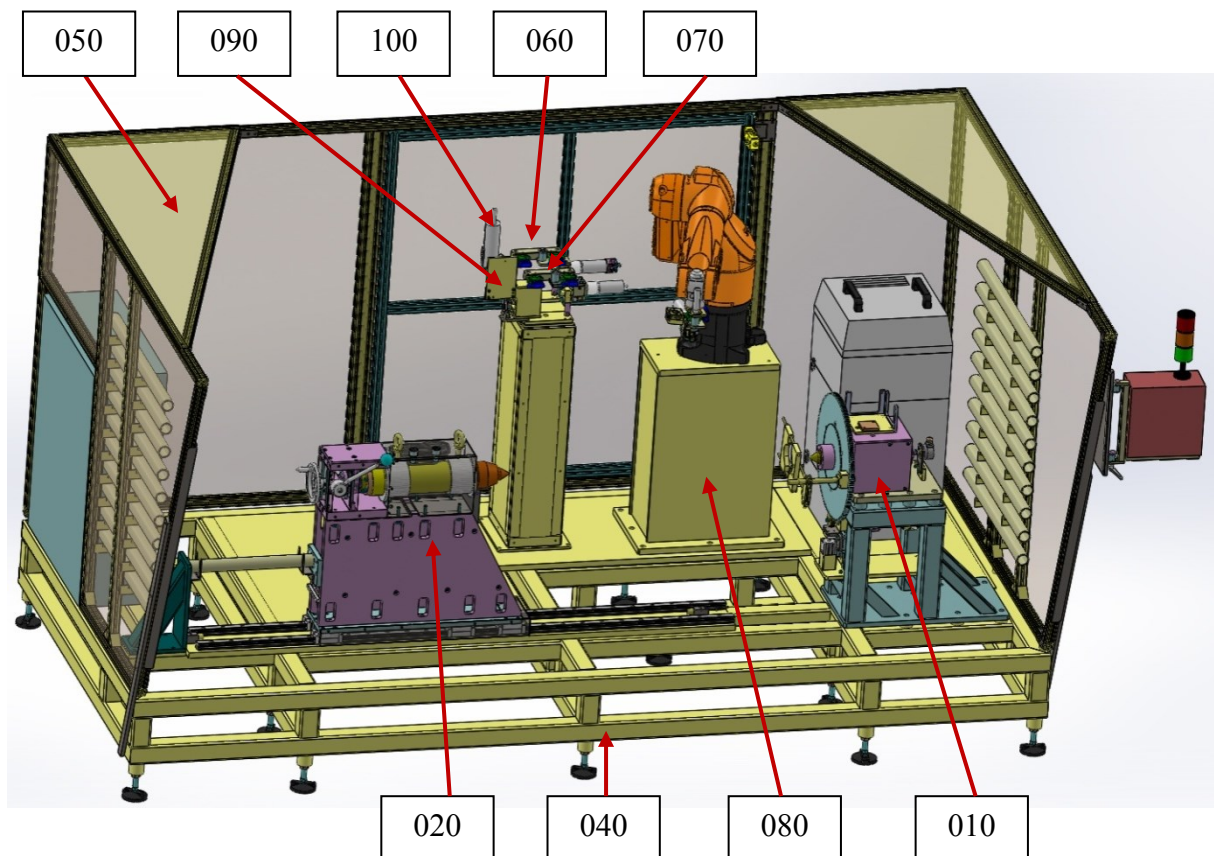
Podskupina 080 - Stojany

Podskupina 090 - Měřicí sonda

Podskupina 100 - Válcová fréza

Podskupina 200 - Pneumatika





Obr. 12 - Návrh stroje na prořezávání drážek

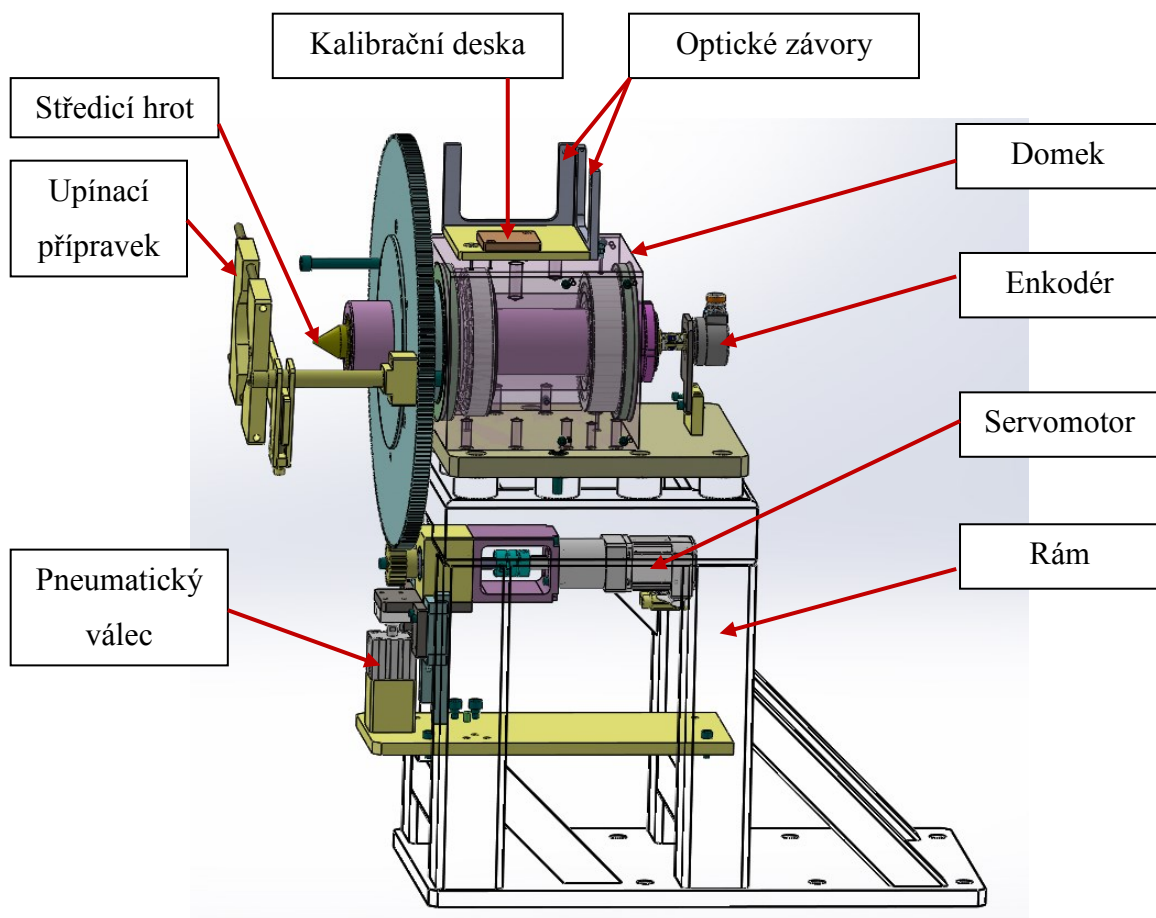
### 3.1 Podskupina 010 - Pohonné vřeteno

Tato podskupina, spolu s koníkem (podskupina 020), slouží k založení, upevnění a otáčení hřídele rotoru s komutátorem. Hřídel se upíná mezi středící hroty, krouticí moment se přenáší pomocí unášecího přípravku. Dále slouží pro kalibraci nástrojů. Nástroje se tu kalibrují ve všech třech osách, a to pomocí kalibrační desky a dvou optických závor.

**Při zakládání rotoru je potřeba dbát na správné podepření hřídele rotoru koníkem. Hrozí zde nebezpečí vypadnutí rotoru při nesprávném založení.**

**Popis podskupiny:**

Podskupina se skládá ze svařované ocelové konstrukce, ke které je přišroubovaná deska. K této desce je přišroubován ložiskový domek, ve kterém je uložen středící hrot. Na ložiskovém domku pohonného vřetena se nachází kalibrovací deska a dvě optické závory, sloužící pro kalibraci nástrojů. Dále je zde enkodér. Ten je napojen na hřídel středícího hrotu přes pružnou spojku. Enkodér od firmy TURCK zaručuje správné natočení komutátoru. K ozubenému kolu je připevněn unášecí přípravek, který slouží k přenosu krouticího momentu při otáčení rotoru. Pod deskou je hnací ozubené kolo a servomotor s převodovkou, který zajišťuje otáčení hřídele s komutátorem a to přes ozubená kola. Hnané ozubené kolo se servomotorem a převodovkou je umístěno na lineárním vedení. To z důvodu možnosti vymezení vůle zubové mezery pomocí kompaktního pneumatického válce od firmy FESTO. Ozubená kola a ložiska pohonné hřídele je třeba mazat jednou za měsíc.



Obr. 13 - Pohonné vřeteno

### 3.2 Podskupina 020 - Koník

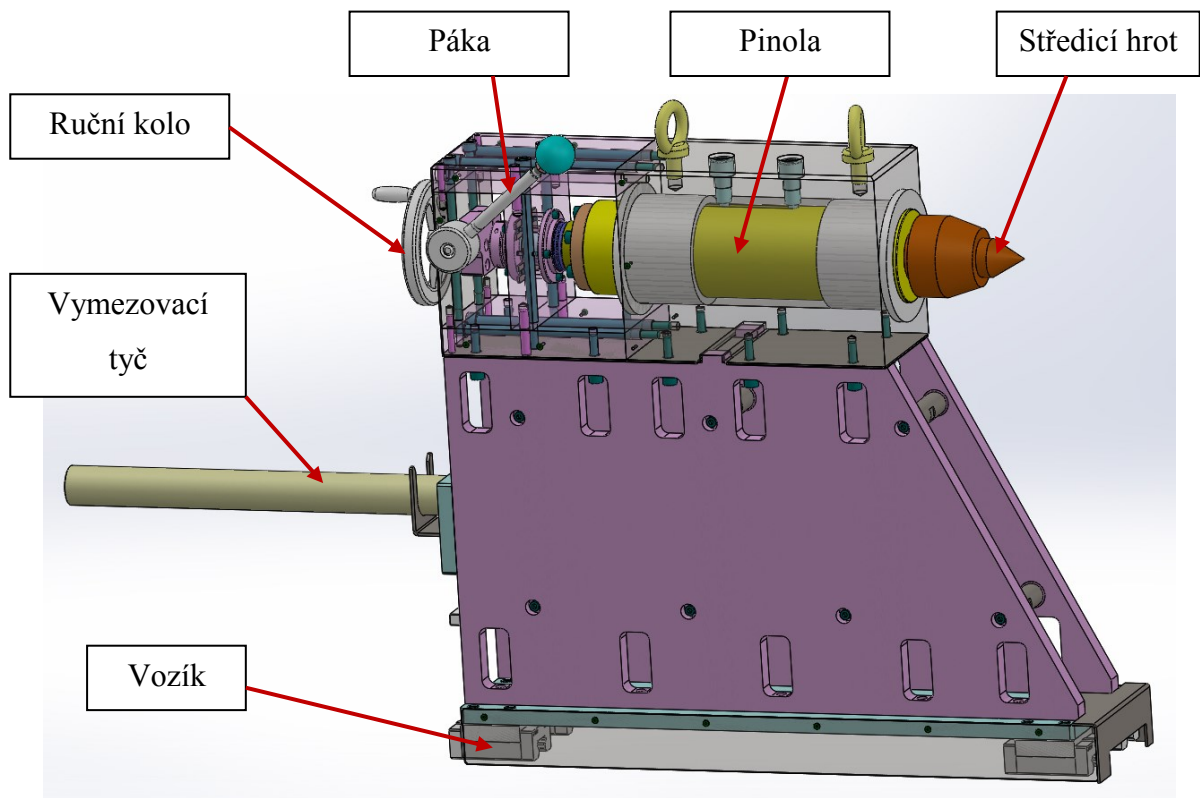
Tato podskupina, spolu s pohonným vřetenem (podskupina 010), slouží k založení a podepření hřídele rotoru pomocí středících hrotů.

**Při zakládání rotoru je potřeba dbát na správné podepření hřídele rotoru a dostatečné utažení páky. Hrozí zde nebezpečí vypadnutí rotoru při nesprávném založení.**

#### Popis podskupiny:

Koník se skládá ze dvou sešroubovaných desek, vzdálenost mezi deskami určují vymezovací válečky. K těmto deskám je přišroubován domek pinoly. V pinole je uložen středící hrot. Pohyb pinoly je zajištěn pomocí ručního kola. K aretaci pinoly slouží ruční svěrka ovládaná pákou. Koník je ustaven na lineárním vedení od firmy HIWIN. Rozmezí jeho pohybu je dáno vymezovacími tyčemi, které jsou vyrobeny dle požadovaných rozměrů a typů hřídelí komutátorů.

Vozíky lineárního vedení je potřeba mazat jednou za týden.



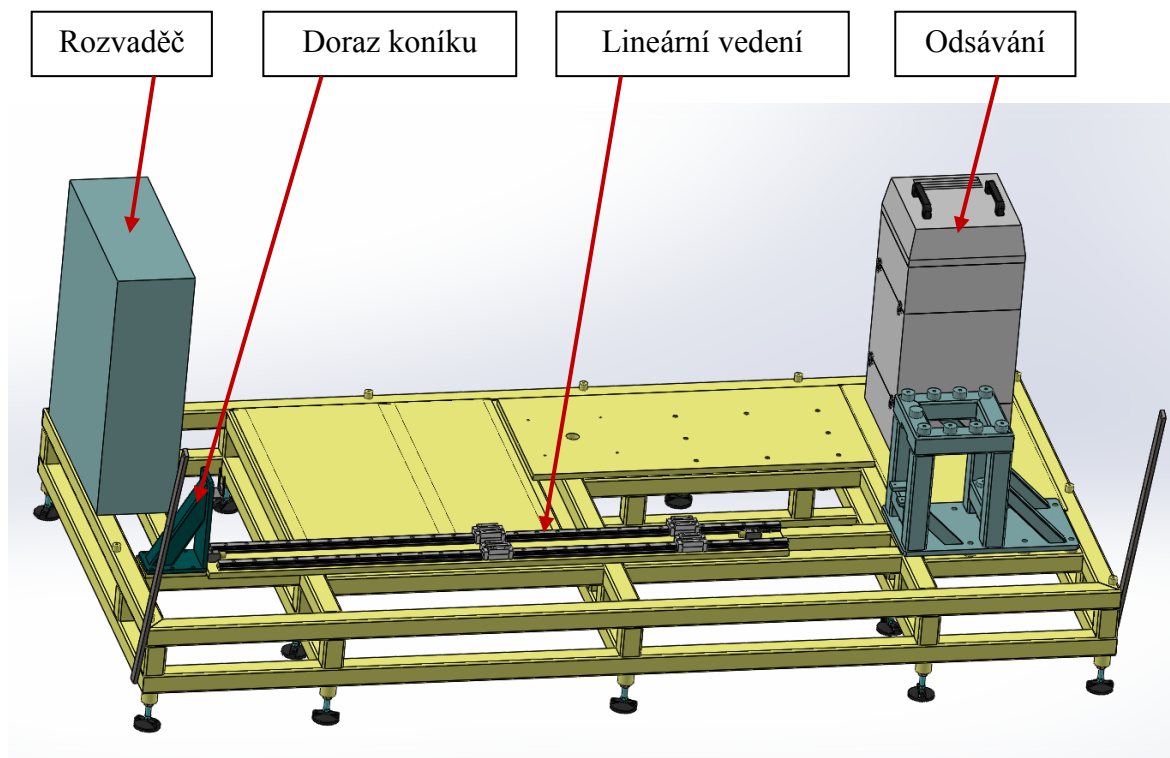
Obr. 14 - Koník

### 3.3 Podskupina 040 - Rám stroje

Tato podskupina tvoří základnu stroje, je důležitá pro tuhost celého stroje. Rám lze ustavit pomocí výškově nastavitelných noh.

#### Popis podskupiny:

Rám stroje je svařovaný z ocelových profilů. Na rámu jsou přivařeny dva plechy a deska, na kterou se přišroubuje stojan robotu (podskupina 080). Dále je zde přišroubované lineární vedení od firmy HIWIN, které slouží pro přesun koníku (podskupina 020). Rozmezí pohybu koníku je určeno dorazy. V levé části rámu je umístěn rozvaděč. Rám a všechny svařované díly jsou nalakovány dle požadavků zákazníka a to barvou RAL 5017 (dopravní modrá). V zadní části stroje je umístěn stavebnicový odsavač SOS AM 201. 3. B s vysokootáčkovými asynchronními motory a frekvenčním měničem. Toto odsávání je vhodné pro lokální odsávání škodlivin vznikajících při svařování, broušení, pájení apod. Je vyhovující pro pracoviště s vícesměnným provozem.

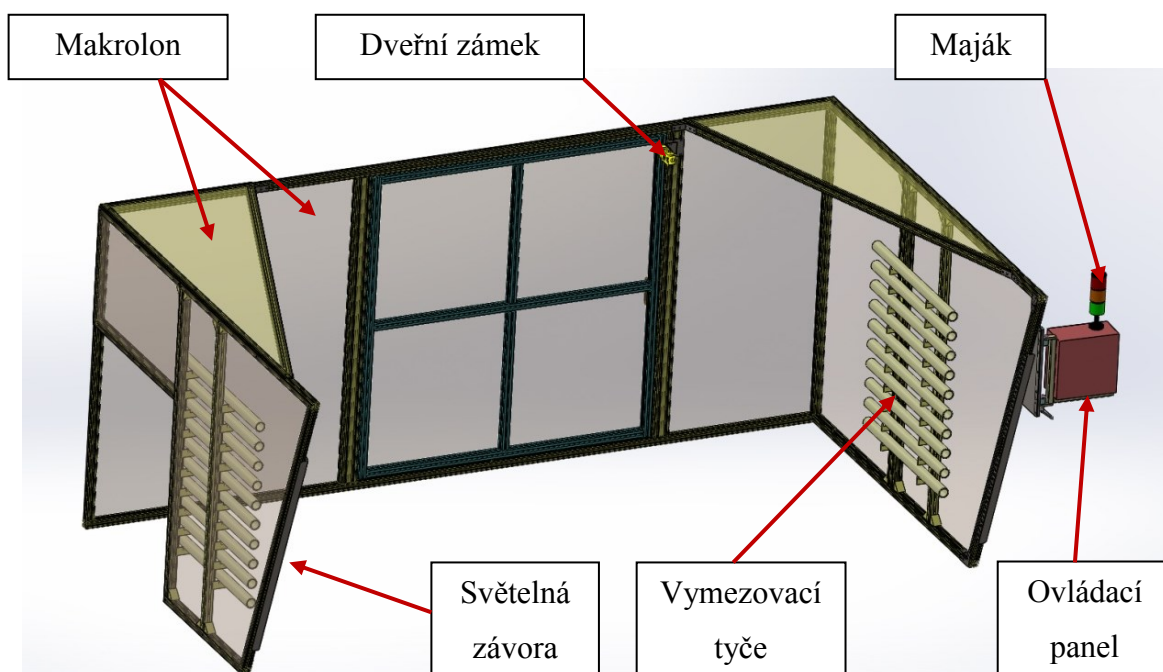


Obr. 15 - Rám stroje

### 3.4 Podskupina 050 - Krytování

Kryt stroje je zhotoven z hliníkových profilů ITEM a z průhledných plastů z polykarbonátu Makrolon. Vzadu je opatřen servisními dveřmi s bezpečnostním zámkem od firmy SICK.

Kryt stroje musí splňovat bezpečnostní předpisy vztahující se na toto zařízení dle platných norem v ČR. Proto je otevřený prostor vpředu opatřen světelnými závory od firmy SICK. Tyto bezpečnostní závory slouží k případnému zastavení zařízení při vniknutí osoby do pracovního prostoru za chodu stroje. Závory jsou zakryty plechovým krytem, který je chrání před poškozením. Vpravo je umístěn hlavní ovládací panel, kterým pracovník obsluhuje zařízení a spouští pracovní chod stroje. Ovládací panel je vybaven bezpečnostním tlačítkem EMERGENCY STOP. Na krytu jsou dále umístěny držáky pro odkládání vymežovacích tyčí.



Obr. 16 - Krytování



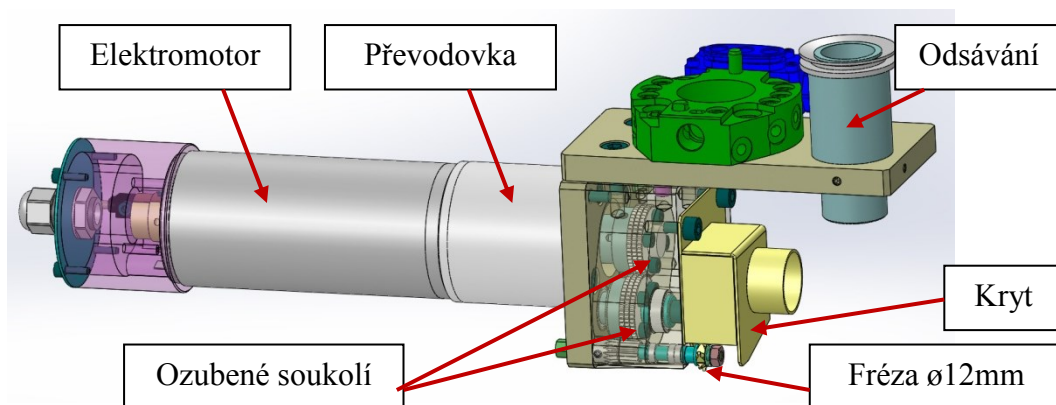
### 3.5 Podskupina 060 – Tvarová fréza

Tato podskupina slouží k doříznutí izolace vodorovné části komutátoru a ke sražení hran vzniklé drážky.

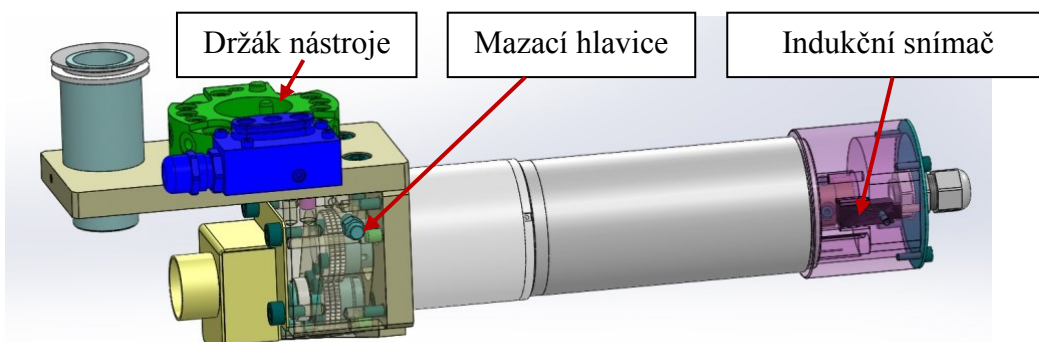
#### Popis podskupiny:

Skládá se ze dvou sešroubovaných desek, ke kterým je připevněn standardní držák nástroje od firmy STÄUBLI. Dále je zde elektromotor od firmy MAXON, který přes planetovou převodovku a ozubené soukolí zajišťuje pohon nástroje. Motor je vybaven indukčním snímačem pro určení skutečných otáček. Poháněný nástroj je tvarová fréza o průměru 12 mm. Ta je vybavena krytem a vývodem pro odsávání. Celá podskupina je umístěna na stojanu nástrojů. Pohybuje se pomocí robotu STÄUBLI TX90L.

Ozubená kola je potřeba mazat jednou za týden. Mazání se provádí pomocí mazací hlavice (obr. 18).



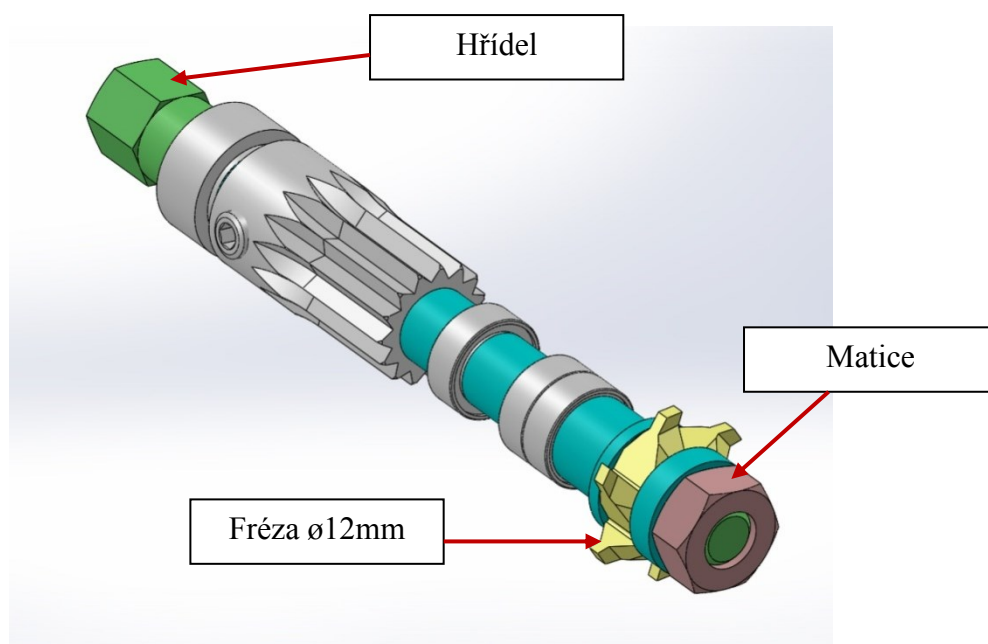
Obr. 17 – Podskupina 060



Obr. 18 - Podskupina 060

**Výměna tvarové frézy:**

Před výměnou frézy je nutné, aby hlavice s frézou nebyla upevněna na rameně robotu. Při výměně frézy použijte klíč číslo 6 na uchopení hřídele a klíč číslo 7 na uvolnění matice podle obr.. Pozor, je zde levý závit. Po uvolnění matice vyměňte frézu a utáhněte matici. Matice musí být dostatečně utažená, jinak hrozí, že řezná síla při prořezávání bude větší než třecí síla mezi nástrojem a maticí, což by znamenalo protočení nástroje a jeho následné vylomení. Doporučený utahovací moment je 3Nm.



Obr. 19 – Detail pro výměnu nástroje

Pozor na správné nasazení nástroje! Zuby nové frézy musí směřovat stejným směrem jako zuby opotřeбенé frézy. Fréza musí být nasazena tak, aby po roztočení ve směru hodinových ručiček (z pohledu obsluhy) byla schopna obrábět.

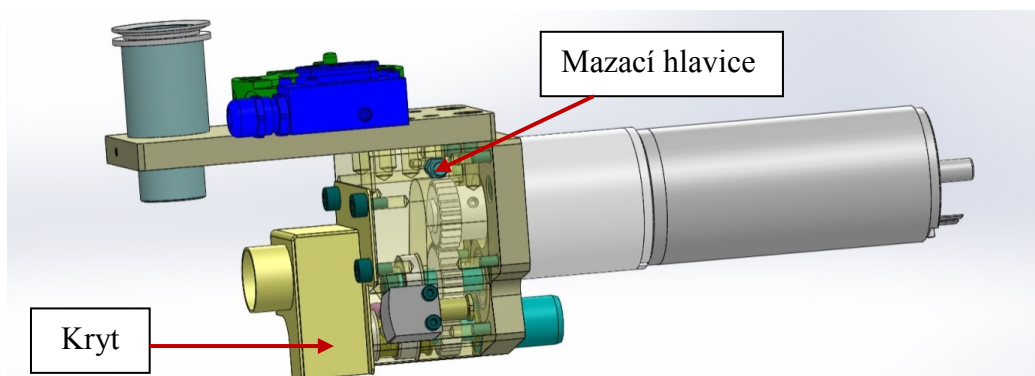
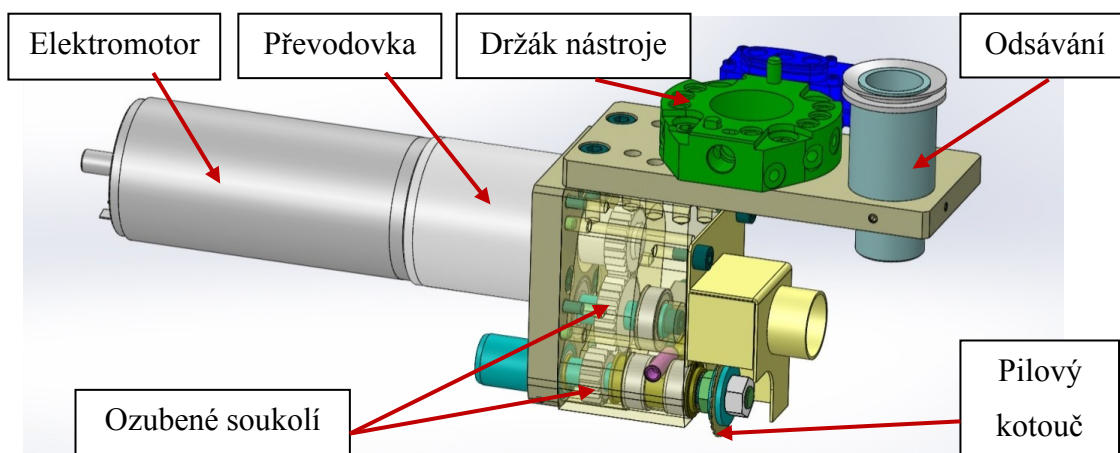
### 3.6 Podskupina 070 – Pilový kotouč

Tato podskupina je v technologickém postupu použita k prořezávání vodorovné a svislé části izolace komutátoru.

#### Popis podskupiny:

Skládá se ze dvou sešroubovaných desek, ke kterým je připevněn standardní držák nástroje od firmy STÄUBLI. Dále je zde elektromotor od firmy MAXON, který přes planetovou převodovku a ozubené soukolí zajišťuje pohon nástroje. Motor je vybaven indukčním snímačem pro určení skutečných otáček. Poháněný nástroj je pilový kotouč o průměru 30 nebo 32 mm. Ten je vybaven krytem a vývodem pro odsávání. Pro prořezávání svislé části izolace komutátoru lze uvolnit aretační pouzdro (obr. 22) a pilka se stane plovoucí v axiálním směru. Celá podskupina je umístěna na stojanu nástrojů. Pohybuje se pomocí robotu STÄUBLI TX90L.

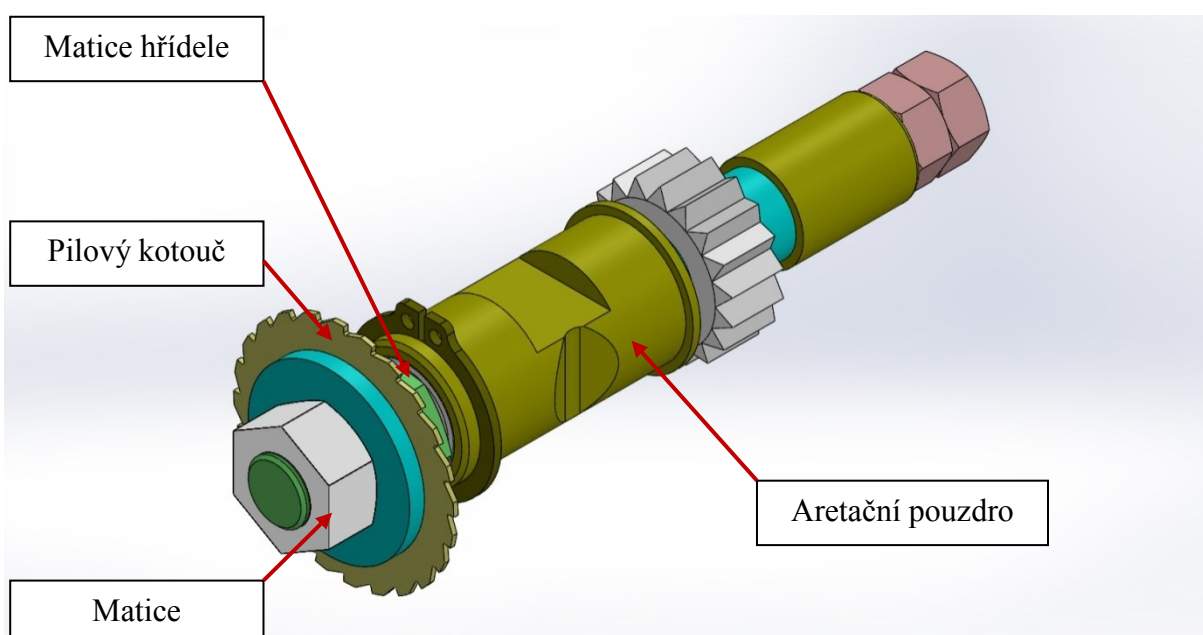
Ozubená kola je potřeba mazat jednou za týden. Mazání se provádí pomocí mazací hlavice (obr. 21).





**Výměna pilového kotouče:**

Před výměnou je nutné, aby hlavice s pilovým kotoučem nebyla upevněna na rameně robotu. Při výměně pilky použijte klíč číslo 13 na uchopení hřídele a klíč číslo 13 na uvolnění matice podle obr.. Pozor! Je zde levý závit. Po uvolnění matice vyměňte pilku a utáhněte matici. Matice musí být dostatečně utažená, jinak hrozí, že řezná síla při prořezávání bude větší než třecí síla mezi nástrojem a maticí, což by znamenalo protočení nástroje a pravděpodobně jeho následné vylomení. Doporučený utahovací moment 8Nm.



Obr. 22 - Detail pro výměnu nástroje

Pozor na správné nasazení nástroje! Zuby nové pilky musí směřovat stejným směrem jako zuby opotřebené. Pilka musí být nasazena tak, aby po roztočení ve směru hodinových ručiček (z pohledu obsluhy) byla schopna prořezávat.

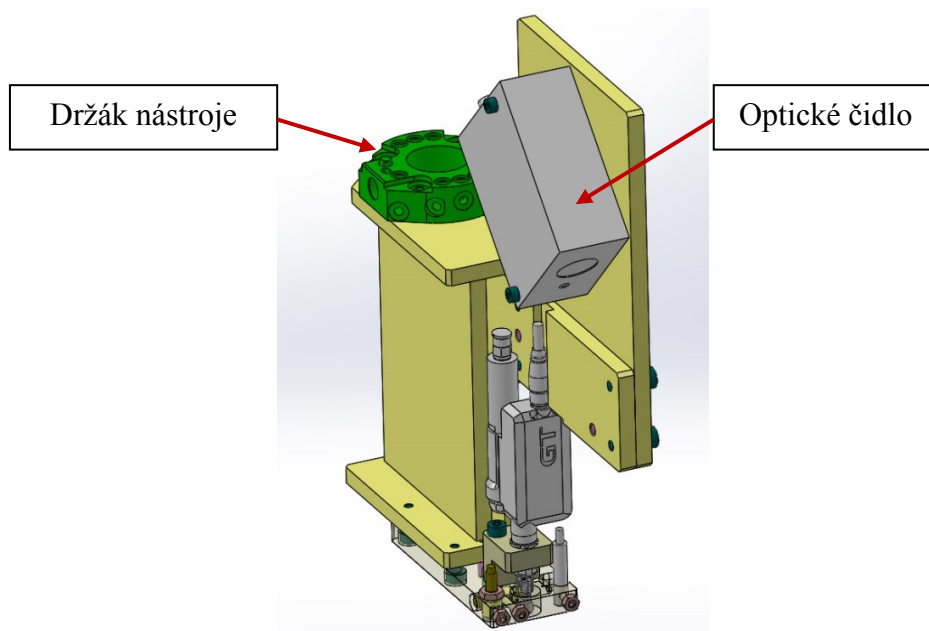


### 3.8 Podskupina 090 - Měřicí sonda

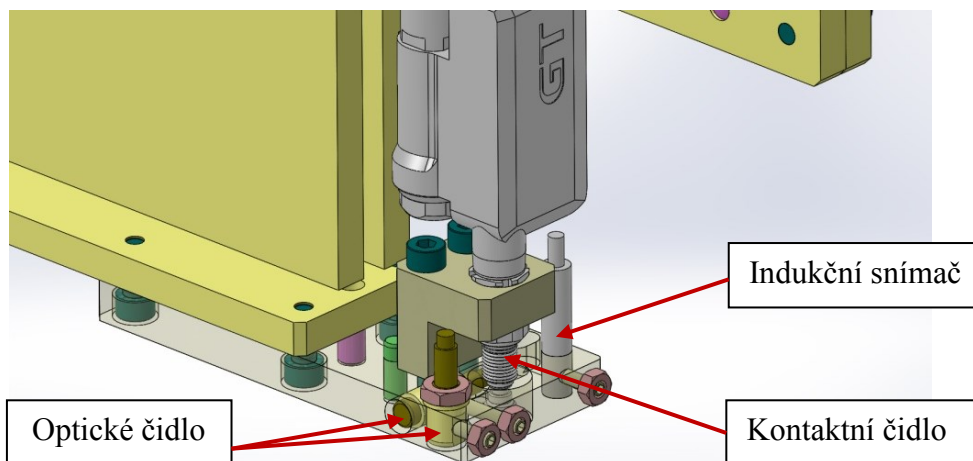
Tato podskupina se skládá z několika sešroubovaných desek, standardního držáku nástroje od firmy STÄUBLI, kontaktního čidla od firmy KEYENCE, optického čidla od firmy TURCK a indukčního snímače od firmy BALLUFF.

Měřicí sonda se pohybuje pomocí robotu a slouží k:

- rozpoznání a kontrole typu rotoru
- zjištění ovality komutátoru
- zjištění úhlové polohy drážek komutátoru
- zreferování polohy ramene robotu



Obr. 24 - Měřicí sonda



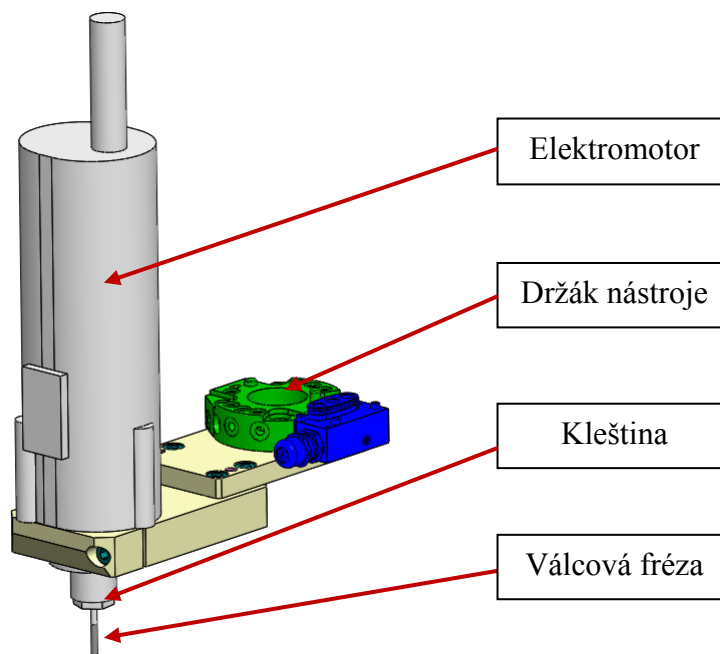
Obr. 25 – Detail měřicí sondy

### 3.9 Podskupina 100 – Válcová fréza

Tato podskupina slouží ke sražení hrany na začátku a na konci vodorovné části drážky komutátoru. Pohybuje se pomocí robotu a je na něm upevněna přes držák nástroje. Celá tato podskupina je umístěna na stojanu nástrojů.

#### Popis podskupiny:

Skládá se ze dvou sešroubovaných desek, ke kterým je připevněn standardní držák nástroje od firmy STÄUBLI. Dále je zde elektromotor FM 530 od firmy KRESS, který zajišťuje pohon nástroje. Poháněný nástroj je válcová fréza technická o průměru 3 mm.



Obr. 26 - Podskupina 100

#### Výměna válcové frézy:

Před výměnou je nutné, aby hlavice s pilkou nebyla upevněna na rameně robotu. Po uvolnění kleštiny, vyměňte frézu a dostatečně utáhněte kleštinu.

## 4. Návrh technologie obrábění komutátorů

Již v samém začátku konstrukce byla řešena otázka použité technologie a technologického postupu pro prořezávání požadovaných drážek. Zavedení nové technologie s sebou přináší nemalé problémy a zjištění, že zdánlivě jednoduchá ruční práce se někdy těžko nahrazuje automatickým strojem. Jedna z věcí, která je spojená s použitím nové technologie, bylo vytipování vhodného pohonu nástroje. Dále vývoj nového nástroje a určení ostatních nástrojů potřebných pro zhotovení drážek komutátorů.

Po prvním testu prořezávání drážek bylo na stroji provedeno několik úprav. Jednou z úprav bylo upnutí hřídele rotoru. To se provádělo nejdříve pomocí sklíčidla a středicího hrotu. Tento způsob se však neosvědčil. Sklíčidlo ve spojení se středícím hrotem přinášelo do soustavy pnutí a následné deformace, které zhoršovali přesnost obrábění. Po odstranění sklíčidla musel být navržen unášecí přípravek, který přenáší krouticí moment potřebný pro otáčení hřídele rotoru.

### 4.1 Původní technologie

Původní technologie vyžaduje zaučeného, trpělivého a zručného pracovníka. Ve firmě CZ LOKO se tato technologie používá již přes 20 let.

#### 4.1.1 Prořezání vodorovné části komutátoru

Rotor již s osoustruženým komutátorem se pomocí jeřábu ustaví na manuální zařízení (manuální zařízení obr. 27), určené pro prořezávání drážek komutátorů. Rotor není nijak upnutý, pouze se odvaluje na ložiskovém průměru.

Obsluha musí seřídít zařízení tak, aby osa hřídele rotoru byla rovnoběžná s dráhou nástroje a zároveň aby nástroj směřoval do osy rotoru. Dále upne vhodný nástroj a seřídí hloubku prořezání drážek. Použitý nástroj je pilový kotouč  $\varnothing 32$  mm od firmy GSP.

Po tomto seřízení lze začít prořezávat. Obsluha musí do každé drážky ručně navést nástroj a to otáčením celého rotoru. To je velice namáhavé zvláště u velkých rotorů, které dosahují hmotnosti až 2500 kg a to i přes použití magnetu s madlem, který se upíná na obvodu rotoru.

Po tomto prořezání musí obsluha ručně dosekat, pomocí speciálního sekáče, konec drážky, který není prořezaný. Tato nedoříznutá část vzniká kvůli použití velkého pilového kotouče, kterým se nelze dostat až na konec drážky.



Obr. 27 – Manuální zařízení na prořezávání drážek komutátorů

### Pilový kotouč ø 32 mm od firmy GSP

Pilový kotouč je zhotoven z materiálu HSS/Dmo5. Jedná se o vysoce legovanou rychlořeznou ocel s obsahem wolframu, vanadu a molybdenu. Tyto legovací prvky zajišťují velmi dobré mechanické vlastnosti a zároveň vynikající pevnost. Jemná martenzitická struktura, jejíž tvorba je zajištěna 5% obsahem molybdenu, zvyšuje odolnost proti únavě materiálu. Obsah wolframu nejen formuje tvrdé karbidy a zlepšuje pevnost kotouče, ale především zabraňuje růstu zrn materiálu. Dále zvyšuje ořezavost, především při vysokých teplotách. Vanad vytváří jemná zrna, spolupodílí se na vzniku tvrdých karbidů a zvyšuje ořezavost nástroje. Tvrdost materiálu 64 +/- 1 HRC. [13]

Tabulka 3 - Typické chemické složení materiálu v % [13]

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
0,9	0,25	0,3	4,1	5	1,8	5,4



Obr. 28 - Pilový kotouč GSP [13]

Tabulka 4 - Použité řezné parametry

$v_c$ [m/min]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$v_f$ [mm/min]	$a_p$ [mm]	typ chlazení
132,7	1320	*	1,5	-

\* Velikost posuvu nástroje je proměnná a je prováděna pomocí ručního kola.

### Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 32 \cdot 1320}{1000} = 132,7 \text{ m/min} \quad (1)$$

kde  $D$  – Průměr pilového kotouče [mm]

$n$  – Otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ]



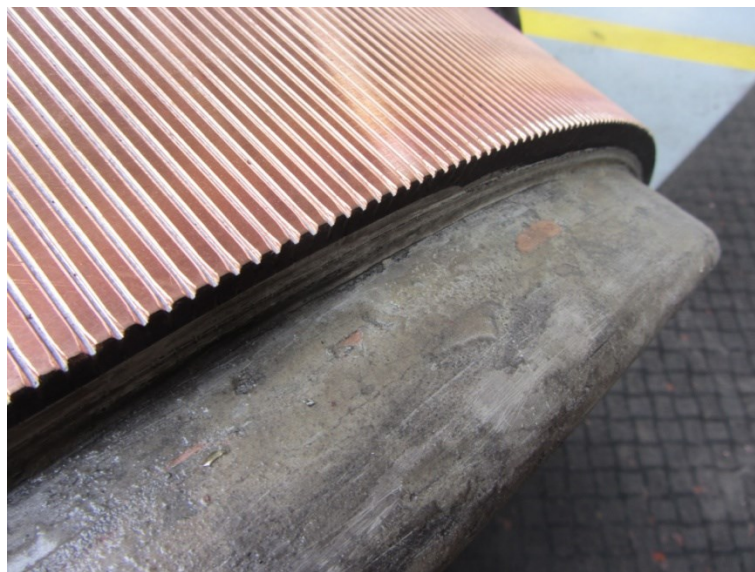
#### 4.1.2 Ostatní operace

##### **Sražení hran po celé délce drážky**

Tato operace se provádí ručně pomocí speciálně upraveného škrabáku. Pracovník musí škrabákem drážku několikrát projet, velikost sražení posuzuje pouze pohledem, proto nelze zaručit velikost a úhel sražení. Povrch sražení je velice dobrý. Po otupení se škrabák přebroušuje.

##### **Sražení hrany (oddálení lamel) na začátku drážky**

Provádí se ručně pomocí pilníku. U některých rotorů lze provádět velmi obtížně. To kvůli špatnému přístupu a nedostatku prostoru pro pilování (viz obr. 29). Velikost a tvar sražení se často neshoduje s požadavky dle normy.



Obr. 29 – Sražení zhotovené pomocí pilníku

##### **Sražení hrany (oddálení lamel) na konci drážky**

Tvar a velikost tohoto sražení je dle zadání shodné se sražením na začátku drážky. Provádí se ručně pomocí sekáče. Velikost a tvar sražení je dle zručnosti pracovníka.



**Prořezávání svislé části komutátoru:**

Toto prořezávání se neprovádí u všech komutátorů. Svislá část komutátoru se prořezává kvůli oddělení jednotlivých lamel komutátoru po svařování. Jedná se o velice pracný a neproduktivní způsob.

Rotor se pro tuto operaci ustaví do svislé polohy a obsluha prořezává jednotlivé drážky ručně (viz obr. 30) a to pomocí pilového kotouče od firmy GSP. Ten je upnut do držáku s rukovětí.



Obr. 30 – Prořezávání izolace svislé části komutátoru

## 4.2 Nová technologie

Zautomatizování původní technologie s sebou přináší nemalé problémy. Někdy se zdánlivě jednoduchá ruční práce těžko nahrazuje automatickým strojem. Problém nastal při měření polohy drážek. Ty byly z předchozí operace (soustružení) plně mědi a optický snímač proto nemohl rozeznat drážku. Tento problém byl vyřešen nanesením karosářského tmelu před soustružením.

Použití nové technologie dále obnáší vytipování vhodného pohon nástroje, vývoj nového nástroje a určení ostatních nástrojů potřebných pro zhotovení drážek komutátorů.

### 4.2.1 Vytipování pohonu nástroje

Jedním z omezení pro výběr pohonu byla hmotnost. Nominální nosnost robotu je 6 kg (maximální nosnost 15 kg). Proto se musela hmotnost celé frézovací hlavice přizpůsobit nosnosti a tuhosti použitého robotu. Frézovací hlavice se skládá z upínače nástrojů, sešroubovaných desek, elektromotoru, převodovky a nástroje.

Pohon nástroje byl vytipován s předpokladem, že potřebná řezná rychlost na nástroji se bude pohybovat kolem 150 m/min, průměr použitého nástroje 12 a 30 mm.

Při výběru pohonu nástroje jsme se zaměřili na tyto parametry:

- Výstupní otáčky motoru (otáčky nástroje)
- Krouticí moment
- Cena

Výběr motoru probíhal tak, že byl zvolen požadovaný krouticí moment 0,5Nm a přepočítali se otáčky a potřebný převodový poměr pro získání momentu 0,5Nm. Díky tomuto výpočtu byl získán lepší přehled pro porovnání motorů (viz tabulka 5).

#### Příklad výpočtu pro elektromotor typ 370354:

Výpočet potřebného převodového poměru pro získání krouticího momentu 0,5Nm:

$$i_1 = \frac{M_{k2}}{M_{k1}} = \frac{0,5}{0,405} = 1,23 \quad (2)$$

kde  $M_{k1}$  – Maximální krouticí moment elektromotoru [Nm]

$M_{k2}$  – Požadovaný krouticí moment [Nm]

Výpočet otáček elektromotoru po zpřevodování převodem  $i_1$ :

$$n_1 = \frac{n_m}{i_1} = \frac{5\,680}{1,23} = 4\,601 \text{ min}^{-1} \quad (3)$$

kde  $n_m$  – Maximální otáčky elektromotoru [min<sup>-1</sup>]

Tabulka 5 – Porovnání elektromotorů pro pohon nástrojů [16] [17] [18]

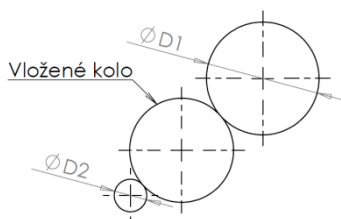
TYP	Průměr motoru [mm]	Výkon [W]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Krouticí moment [mNm]	Cena [Kč]	Převod	Otáčky nástroje [min <sup>-1</sup> ]
136208	45	250	5590	323	13820	1,55	3611
136209	45	250	5760	328	13820	1,52	3779
<b>370354</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>5680</b>	<b>405</b>	<b>9780</b>	<b>1,23</b>	<b>4601</b>
370355	50	200	5420	418	9780	1,20	4531
370356	50	200	4620	420	9780	1,19	3881
353295	65	250	3710	485	16560	1,03	3599

Z uvedené tabulky č. 5 lze vyčíst, že motor typ 370354 je vzhledem k daným požadavkům nejvhodnější. Při zvoleném krouticím momentu 0,5Nm dosahuje nejvyššího počtu otáček a zároveň patří mezi nejlevnější.

K elektromotoru byla vytipována planetová převodovka s převodovým poměrem 4,3 : 1. Aby bylo možné nástrojem doříznout drážku až do konce, byl pro každý nástroj použit převod ozubených kol (viz obr. 17 a obr. 20) a to tak, aby bylo dosaženo řezné rychlosti alespoň 150 m/min.

V tabulce níže můžeme vyčíst výsledný převodový poměr, krouticí moment na nástroji, otáčky, řeznou rychlost a řeznou sílu. Hodnoty jsou vypočítané pro použité nástroje a to  $\varnothing$  12 mm a  $\varnothing$  30 mm.

#### Příklad výpočtu pro nástroj $\varnothing$ 12mm:



Obr. 31 - Ozubená kola D1 a D2

Výpočet převodového poměru

mezi ozubenými koly  $D_2$  a  $D_1$ :

$$i_{1,2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{7,5}{26} = 0,288 \quad (4)$$

kde  $D_1$  – Průměr hnacího ozubeného kola [mm]

$D_2$  – Průměr hnaného ozubeného kola [mm]

Výpočet výsledného převodového poměru:

$$i_c = i_{1,2} \cdot i_p = 0,288 \cdot 4,3 = 1,24 \quad (5)$$

kde  $i_p$  – Převodový poměr planetové převodovky [-]

Výpočet maximálního krouticího momentu na nástroji:

$$M_{kn1} = M_{k1} \cdot i_c = 0,405 \cdot 1,24 = 0,502Nm \quad (6)$$

Výpočet maximálních otáček na nástroji:

$$n_2 = \frac{n_m}{i_c} = \frac{5680}{1,24} = 4579 \text{ min}^{-1} \quad (7)$$

Výpočet maximální řezné rychlosti na nástroji:

$$v_{c1} = \frac{\pi \cdot D_{n1} \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 4579}{1000} = 172,6m/min \quad (8)$$

Výpočet maximální řezné síly na nástroji:

$$F_c = \frac{M_k}{\frac{D_{n1}}{2}} = \frac{0,502}{\frac{0,012}{2}} = 83,73N \quad (9)$$

kde  $D_{n1}$  - Průměr nástroje [m]

Tabulka 6 – Získané hodnoty na nástroji

Typ nástroje	[-]	Malý	Velký
Průměr nástroje – $D_{n1}$	[mm]	12	30
Průměr hnacího ozubeného kola - $D_1$	[mm]	26	24
Průměr hnaného ozubeného kola - $D_2$	[mm]	7,5	18
Převodový poměr převodovky – $i_p$	[-]	4,3	4,3
Výsledný převodový poměr - $i_c$	[-]	1,24	3,24
Krouticí moment na nástroji – $M_{k1}$	[Nm]	0,502	1,306
Otáčky nástroje – $n_2$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	4579	1761
Řezná rychlost - $v_{c1}$	[m/min]	172,6	166,0
Řezná síla - $F_c$	[N]	83,7	87,1

#### 4.2.2 Vývoj tvarové frézy

Vývoj této frézy byl nutný, jelikož výrobci pilových kotoučů nevyrábí menší průměr než 20 mm. Pro doříznutí izolace komutátoru je kvůli velikosti zápichu nutné, aby měl použitý nástroj průměr 12 mm nebo menší.

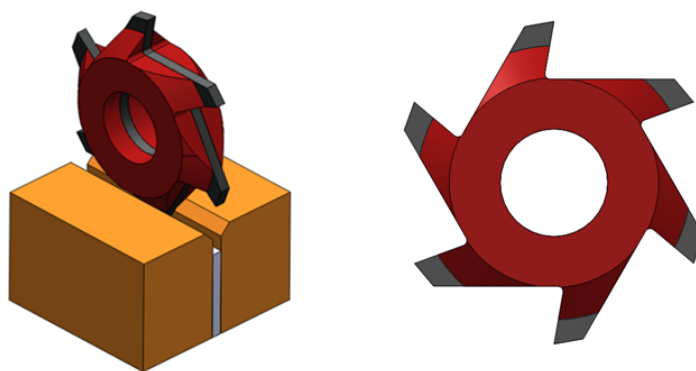
Původně měl nástroj sloužit pouze k prořezávání izolace, ale nakonec se vyvinul v tvarovou frézu, která zároveň i sráží hranu vzniklé drážky.

#### Skládaná fréza

Tento prototyp byl vyroben ve firmě JCEE s. r. o. dle výkresu (viz příloha). Jedná se o 3 kotoučové frézy, jedna středová na doříznutí izolace a dvě úhlové, na sražení hran vzniklé drážky.

Výhodou skládané frézy je možnost výměny pouze opotřebované části. Tou bude ve většině případů středová fréza, která prořezává izolaci. Úhlové frézy na kraji odřezávají měď, proto mají mnohem větší životnost.

Nevýhodou je složitá výměna frézy a téměř nemožné upnutí tak, aby všechny tři frézy měly zubů v jedné linii.



Obr. 32 - Model skládané kotoučové frézy

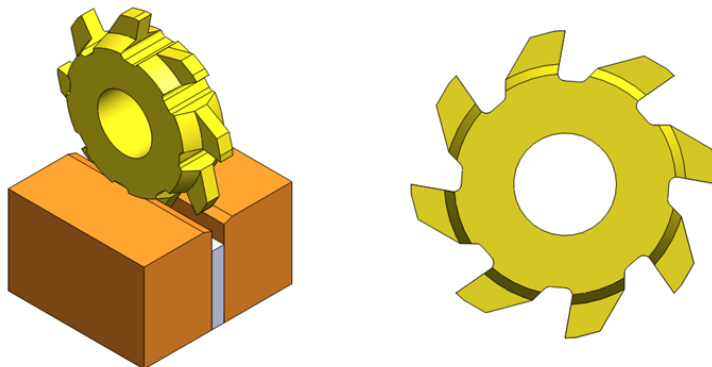
Tabulka 7 - Parametry skládaného nástroje

Počet zubů	Úhel hřbetu	Úhel čela	Materiál
6	10°	10°	SK / RO

**Tvarová kotoučová fréza monolitní 1. typ**

Tento prototyp byl vyroben ve firmě JCEE s. r. o. dle výkresu (viz příloha). Jedná se o monolitní tvarovou kotoučovou frézu, která má oproti skládané, snadnější výměnu.

Prototyp byl vyroben s fazetkou o délce 0,4 mm, kvůli které se nebyl schopen zařezávat do materiálu.



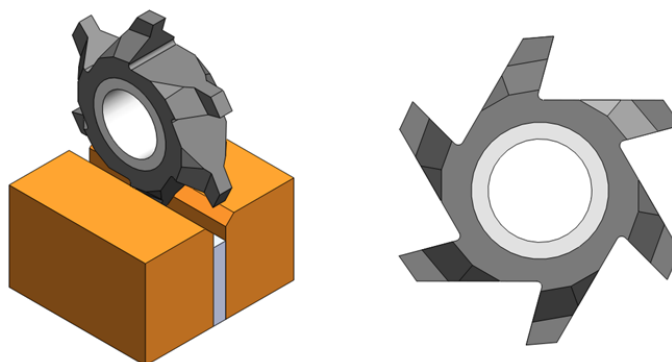
Obr. 33 - Model tvarové kotoučové frézy 1. Typ

Tabulka 8 - Parametry nástroje

Počet zubů	Úhel hřbetu	Úhel čela	Materiál
8	10°	10°	SK

**Tvarová kotoučová fréza monolitní 2. typ**

Tento typ vyrábí dle zadání (viz příloha) firma MONOMETAL nástroje s. r. o. Jedná se o konečný typ, který splňoval všechny požadavky. Má na rozdíl od předchozích typů různé úhly na obrábění slídy a na obrábění mědi.



Obr. 34 - Tvarová fréza 2. typ

**Materiál frézy - Böhler S 590 (PM-HSS)****Charakteristika**

Rychlořezná ocel, legovaná Co a Mo, vyrobená práškovou metalurgií s dobrou schopností zachování tvrdosti při vysokých teplotách a s vysokou odolností proti opotřebení otěrem. Díky způsobu výroby technologií práškové metalurgie má dobrou houževnatost a je dobře obrobitelní, například broušením. Kaleno na tvrdost 67 +/- 1 HRC. [9]

Tabulka 9 - Chemické složení materiálu S 590 [9]

Chemické složení	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Co
Obsah prvků v %	1,30	0,50	0,30	4,20	5,00	3,00	6,30	8,4

**Povlakování nástroje**

Povlak **TiAlN** - je především efektivní na abrazivních materiálech, např. litině. Jeho tepelná odolnost jej předurčuje pro použití při obrábění za sucha. Má výborný poměr tvrdosti a houževnatosti. Nanáší se metodou PVD. [10]

Tabulka 10 - Parametry použitého povlaku [11]

Typ povlaku	Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]	Tvrdost [GPa]	Max. teplota použití [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Koeficient tření oproti oceli
TiAlN	1-4	30	800	0,4

### 4.2.3 Návrh ostatních nástrojů

#### Pilový kotouč ø 30 mm od firmy PRECITOOL

Tento nástroj slouží k prořezávání izolace komutátoru. Obráběný materiál je slída.

Jedná se o pilový kotouč vybroušený z celotvrdokovového polotovaru, určený pro drážkování, řezání a frézování s vyšší přesností a kvalitou povrchu.

[14]

Celotvrdokovový pilový kotouč umožňuje zvýšit řeznou rychlost 3 až 5 násobně a životnost až o 10 až 20 násobek. [14]



Obr. 35 - Pilový kotouč PRECITOOL [14]

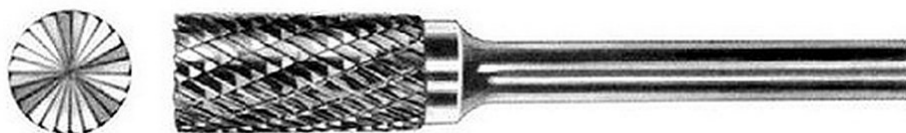
Tabulka 11 - Použité řezné parametry

$v_c$ [m/min]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$v_f$ [mm/min]	$a_p$ [mm]	typ chlazení
165	1 750	900	1,6	-

#### Válcová fréza ø 3 mm od firmy MASTER

Tento nástroj slouží ke srážení hran drážky na začátku a na konci drážky. Obráběný materiál je slída a měď.

Jedná se o technickou válcovou frézu z SK s čelním břitem od firmy MASTER katalogové číslo 905. Délka řezné části je 14mm.



Obr. 36 - Válcová fréza technická [12]

Tabulka 12 - Použité řezné parametry

$v_c$ [m/min]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$v_f$ [mm/min]	typ chlazení
85	9 000	až 900	-



#### 4.2.4 Návrhy postupů při prořezávání drážek:

- Pouze tvarová fréza  $\varnothing$  12 mm a válcová fréza  $\varnothing$  3 mm
- Kombinace pilového kotouče  $\varnothing$  30 mm, tvarové frézy  $\varnothing$  12 mm a válcové frézy  $\varnothing$  3 mm

##### **Pouze tvarová fréza $\varnothing$ 12mm a válcová fréza $\varnothing$ 3 mm**

##### **Popis:**

Prořezání izolace a srážení hran drážky probíhá zároveň. Výhodou je úspora jednoho nástroje, což by mělo rapidně snížit celkový čas obrábění. Avšak tento způsob více zatěžuje rameno robota a tím způsobuje nepřesnosti a horší drsnost obrobené plochy. Proto je nutné pro získání stejně kvalitního povrchu snížit posuv zhruba na polovinu. Další nevýhodou je cena tvarové frézy  $\varnothing$  12 mm. Ta se vyrábí na zakázku, proto je cena několika násobně vyšší oproti pilovému kotouči  $\varnothing$  30 mm a její trvanlivost, při prořezávání izolace, je nižší.

##### **Kombinace pilového kotouče $\varnothing$ 30 mm, tvarové frézy $\varnothing$ 12 mm a válcové frézy $\varnothing$ 3 mm**

Tento postup se používá na stroji JZ 037.

##### **Popis:**

Válcová fréza  $\varnothing$  3 mm srazí hrany na začátku a na konci drážky. Tato operace se dříve prováděla jako poslední, ale kvůli vznikajícímu otřepu, byla přesunuta na první místo.

Dále pilový kotouč  $\varnothing$  30 mm prořízne co největší část drážky. Celou není schopen proříznout, protože velikost zápichu je 5 – 10 mm a poloměr kotouče 15 mm. Následně je použita tvarová fréza  $\varnothing$  12 mm, která dořízne drážku a srazí ji po celé délce hranu.

Výhoda tohoto postupu je v tom, že většina izolace se prořízne kotoučem  $\varnothing$  30 mm, který je levný, zároveň je produktivnější a má delší trvanlivost, než na zakázku vyráběná fréza  $\varnothing$ 12 mm.

**Použitý technologický postup**

Tabulka 13 - Technologický postup prořezávání

Číslo operace	Popis operace	Nástroj	Řezné podmínky			
			$v_c$ [m/min]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [mm/min]	$a_p$ [mm]
- Upnou mezi hroty na stroji JZ 037						
1.	Provést měření upnutého komutátoru	Měřicí sonda	-	-	-	-
2.	Srazit hranu na začátku a na konci drážky	Válcová fréza technická Ø 3 mm	85	9 000	300	0,6
3.	Prořezat izolaci	Pilový kotouč Ø 30 mm	165	1 750	900	1,6
4.	Doříznout drážku a srazit hranu po celé její délce	Tvarová kotoučová fréza Ø 12 mm	172	4 550	900	1,5

\* Všechny operace jsou prováděny bez chladicího média

## 5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Porovnání původní a nové technologie se provádělo pomocí dvou typů komutátorů. Tyto komutátory se pro porovnání časů prořezaly původní a novou technologií. Jednalo se o komutátor typ ZT a TE (viz tabulka 14).

Tabulka 14 - Parametry komutátorů

Typ komutátoru	ZT	TE
Průměr komutátoru [mm]	818	315
Délka vodorovné části komutátoru [mm]	130	90
Délka praporku (svislé části komutátoru) [mm]	30	65
Počet drážek [mm]	609	232

### 5.1 Parametry stroje

Cena stroje JZ 037	3 500 000 Kč
Rozměry zařízení (d x š x v)	2370 x 4000 x 2100 mm
Hmotnost zařízení	4200 kg
Řídicí část	PLC B&R PP500
Hlavní jistič stroje	F100 25 A/C
Krytí	IP 42
Přívod vzduchu	0,5 - 0,6 MPa
Připojení na síť	3x 400 V / 50 Hz TN-S,
Předřazené jištění	doporučená hodnota 30 A
Příkon	7,5 kVA
Jmenovitá pracovní napětí	230VAC 50Hz
Jmenovitý proud	12 A
Jmenovité nap. řídicích obvodů	24V DC
Ochrana (dle IEC 364-4-41)	-samočinným odpojením od zdroje v síti TN - krytím - izolací

Pracovní podmínky normální

Pracovní prostředí podle

ČSN 33 2000 - 5-51ed. 3 normální

Obsluha: pracovník seznámený ve smyslu vyhlášky č. 50/78 Sb.

Hladina akustického tlaku A na stanovišti obsluhy: nepřekračuje 70 dB (A)



Obr. 37 - Údaje na štítku stroje

## 5.2 Zhodnocení původní technologie

Tabulka 15 - Časy jednotlivých operací

Operace	Čas [min]	
	Typ ZT	Typ TE
Prořezání izolace	180	60
Sražená hran drážky po celé délce	230	60
Sražení hrany na začátku drážky	100	25
Sražení hrany na konci drážky a dořiznutí izolace	150	35
Vedlejší práce (přesun na jednotlivá pracoviště)	20	20
Případné prořezání praporků	(480)	(170)
<b>Celkem</b>	<b>680 (1 160)</b>	<b>200 (370)</b>

### Výpočet ceny za celkové prořezání komutátoru

- Typ ZT

Výpočet ceny za práci při prořezání izolace na manuálním zařízení:

$$N_{z1} = t_{z1} \cdot N_{h1} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ Kč} \quad (10)$$

kde  $t_{z1}$  – Čas potřebný na prořezání izolace na manuálním zařízení [h]

$N_{h1}$  – Hodinová sazba při prořezávání na manuálním zařízení [Kč/h]

Výpočet ceny za práci při ručním srážení hran:

$$N_{d1} = t_{d1} \cdot N_{h2} = 8,33 \cdot 150 = 1\,250 \text{ Kč} \quad (11)$$

kde  $t_{d1}$  – Čas potřebný na ruční srážení hran [h]

$N_{h2}$  – Hodinová sazba dělníka [Kč/h]

Výpočet ceny za práci při případném prořezání praporků:

$$N_{z11} = t_{z11} \cdot N_{h2} = 8 \cdot 150 = 1\,200 \text{ Kč} \quad (12)$$

kde  $t_{z11}$  - Čas potřebný na ruční prořezání praporků [h]

- Typ **TE**

Výpočet ceny za práci při prořezání izolace na manuálním zařízení:

$$N_{z2} = t_{z2} \cdot N_{h1} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ Kč} \quad (13)$$

kde  $t_{z2}$  – Čas potřebný na prořezání izolace na manuálním zařízení [h]

Výpočet ceny za práci při ručním srážení hran:

$$N_{d2} = t_{d2} \cdot N_{h2} = 2,33 \cdot 150 = 350 \text{ Kč} \quad (14)$$

kde  $t_{d2}$  – Čas potřebný na ruční srážení hran [h]

Výpočet ceny za práci při případném prořezání praporků:

$$N_{z22} = t_{z22} \cdot N_{h2} = 2,8 \cdot 150 = 420 \text{ Kč} \quad (15)$$

kde  $t_{z22}$  - Čas potřebný na ruční prořezání praporků [h]

### Náklady na nástroje

Životnost pilových kotoučů je při použití stávající technologie průměrně  $l_1 = 10$  m prořezaných drážek na jeden pilový kotouč od firmy GSP  $\varnothing 32$  mm. Tento údaj však může být ovlivněn obsluhou stroje.

Náklady na ostatní použité nástroje jsou zanedbány (pilník a škrabák).

- Typ **ZT**

Výpočet celkové délky prořezaných drážek:

$$l_{c1} = l_{d1} \cdot x_1 = 0,13 \cdot 609 = 79,17 \text{ m} \quad (16)$$

kde  $l_{d1}$  – Délka jedné drážky komutátoru ZT [m]

$x_1$  – Počet drážek komutátoru ZT [-]

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů:

$$N_{k1} = \frac{l_{c1}}{l_1} \cdot N_1 = \frac{79,17}{10} \cdot 220 = 1\,742 \text{ Kč} \quad (17)$$

kde  $l_1$  – Životnost pilového kotouče GSP  $\varnothing$  32 mm [m]

$N_1$  – Cena pilového kotouče GSP  $\varnothing$  32 mm [Kč]

- Typ **TE**

Výpočet celkové délky prořezaných drážek:

$$l_{c2} = l_{d2} \cdot x_2 = 0,09 \cdot 232 = 20,88 \text{ m} \quad (18)$$

kde  $l_{d2}$  – Délka jedné drážky komutátoru TE [m]

$x_2$  – Počet drážek komutátoru TE [-]

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů:

$$N_{k2} = \frac{l_{c2}}{l_1} \cdot N_1 = \frac{20,88}{10} \cdot 220 = 459 \text{ Kč} \quad (19)$$

### **Celkové náklady na prořezání komutátorů**

- Typ **ZT**

Celková cena bez prořezání praporků:

$$N_{c1} = N_{k1} + N_{z1} + N_{d1} = 1\,742 + 600 + 1\,250 = 3\,592 \text{ Kč} \quad (20)$$

Celková cena s prořezáním praporků:

$$N_{c11} = N_{c1} + N_{z11} = 3\,592 + 1\,200 = 4\,792 \text{ Kč} \quad (21)$$

- Typ **TE**

Celková cena bez prořezání praporků:

$$N_{c2} = N_{k2} + N_{z2} + N_{d2} = 459 + 200 + 350 = 1\,009 \text{ Kč} \quad (22)$$

Celková cena s prořezáním praporků:

$$N_{c22} = N_{c2} + N_{z22} = 1\,009 + 420 = 1\,429 \text{ Kč} \quad (23)$$

### 5.3 Zhodnocení nové technologie

Tabulka 16 - Časy jednotlivých operací

Operace	Čas [min]	
	Typ ZT	Typ TE
Měření	15	10
Sražení hrany na začátku drážky	30	11
Sražení hrany na konci drážky	30	11
Prořezání izolace	120	34
Sražení hran drážky po celé délce a doříznutí izolace	120	34
Vedlejší práce (upínání a odepínání)	15	10
Případné prořezání praporků	(30)	(20)
<b>Celkem</b>	<b>330 (360)</b>	<b>110 (130)</b>

#### Výpočet ceny za celkové prořezání komutátoru

Stroj JZ 037 je plně automatický, obsluha je potřeba pouze na výměnu rotoru.

- Typ **ZT**

Výpočet ceny nákladů na prořezání izolace, bez prořezání praporků, na stroji JZ 037:

$$N_{s1} = t_{s1} \cdot N_{h3} = 5,5 \cdot 100 = 550 \text{ Kč} \quad (24)$$

kde  $t_{s1}$  – Čas potřebný na prořezání izolace, bez praporků, na stroji JZ 037 [h]

$N_{h3}$  – Hodinová sazba při prořezávání na stroji JZ 037 [Kč/h]

Výpočet ceny nákladů za případné prořezání praporků na stroji JZ 037:

$$N_{s11} = t_{s11} \cdot N_{h3} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ Kč} \quad (25)$$

kde  $t_{s11}$  - Čas potřebný na případné prořezání praporků na stroji JZ 037 [h]

- Typ **TE**

Výpočet ceny nákladů na prořezání izolace, bez prořezání praporků, na stroji JZ 037:

$$N_{s2} = t_{s2} \cdot N_{h3} = 1,83 \cdot 100 = 183 \text{ Kč} \quad (26)$$

kde  $t_{s2}$  – Čas potřebný na prořezání izolace, bez praporků, na stroji JZ 037 [h]

Výpočet ceny nákladů za případné prořezání praporků na stroji JZ 037:

$$N_{s22} = t_{s22} \cdot N_{h3} = 0,33 \cdot 100 = 33 \text{ Kč} \quad (27)$$

kde  $t_{s22}$  - Čas potřebný na případné prořezání praporků na stroji JZ 037 [h]



**Náklady na nástroje**

Životnost pilových kotoučů, při použití nové technologie na stroji JZ 037 je průměrně  $l_2 = 200$  m prořezaných drážek na jeden pilový kotouč od firmy PRECITOOL  $\varnothing 30$  mm.

Životnost tvarové kotoučové frézy  $\varnothing 12$  mm je průměrně  $l_3 = 200$  m prořezaných drážek.

Náklady na válcovou frézu technickou  $\varnothing 3$  mm zanedbáváme.

- Typ **ZT**

Výpočet celkové délky prořezaných drážek praporků:

$$l_{c11} = l_{d11} \cdot x_1 = 0,03 \cdot 609 = 18,27 \text{ m} \quad (28)$$

kde  $l_{d11}$  – Délka jednoho praporku [m]

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů PRECITOOL  $\varnothing 30$  mm bez prořezání praporků:

$$N_{k3} = \frac{l_{c1}}{l_2} \cdot N_2 = \frac{79,17}{200} \cdot 700 = 277 \text{ Kč} \quad (29)$$

kde  $l_2$  – Životnost pilového kotouče PRECITOOL  $\varnothing 30$  mm [m]

$N_2$  – Cena pilového kotouče PRECITOOL  $\varnothing 30$  mm [Kč]

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů PRECITOOL  $\varnothing 30$  mm za případné prořezání praporků:

$$N_{k33} = \frac{l_{c11}}{l_2} \cdot N_2 = \frac{18,27}{200} \cdot 700 = 64 \text{ Kč} \quad (30)$$

Výpočet ceny opotřebených tvarových fréz  $\varnothing 12$  mm:

$$N_{k4} = \frac{l_{c1}}{l_3} \cdot N_3 = \frac{79,17}{200} \cdot 1\,100 = 435 \text{ Kč} \quad (31)$$

kde  $l_3$  – Životnost tvarové frézy  $\varnothing 12$  mm [m]

$N_3$  – Cena tvarové frézy  $\varnothing 12$  mm [Kč]

- Typ **TE**

Výpočet celkové délky prořezaných drážek praporků:

$$l_{c22} = l_{d22} \cdot x_2 = 0,065 \cdot 232 = 15,08 \text{ m} \quad (32)$$

kde  $l_{d22}$  – Délka jednoho praporku [m]

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů PRECITOOL ø 30 mm bez prořezání praporků:

$$N_{k5} = \frac{l_{c2}}{l_2} \cdot N_2 = \frac{20,88}{200} \cdot 700 = 73 \text{ Kč} \quad (33)$$

Výpočet ceny opotřebených pilových kotoučů PRECITOOL ø 30 mm za případné prořezání praporků:

$$N_{k55} = \frac{l_{c22}}{l_2} \cdot N_2 = \frac{15,08}{200} \cdot 700 = 53 \text{ Kč} \quad (34)$$

Výpočet ceny opotřebených tvarových fréz ø 12 mm:

$$N_{k6} = \frac{l_{c3}}{l_3} \cdot N_3 = \frac{20,88}{200} \cdot 1\,100 = 115 \text{ Kč} \quad (35)$$

### Celkové náklady na prořezání komutátorů

- Typ **ZT**

Celková cena bez prořezání praporků:

$$N_{c3} = N_{k3} + N_{k4} + N_{s1} = 277 + 435 + 550 = 1\,262 \text{ Kč} \quad (36)$$

Celková cena s prořezáním praporků:

$$N_{c33} = N_{c3} + N_{s11} + N_{k33} = 1\,262 + 50 + 64 = 1\,379 \text{ Kč} \quad (37)$$

- Typ **TE**

Celková cena bez prořezání praporků:

$$N_{c4} = N_{k5} + N_{k6} + N_{s2} = 73 + 115 + 183 = 371 \text{ Kč} \quad (38)$$

Celková cena s prořezáním praporků:

$$N_{c44} = N_{c4} + N_{s22} + N_{k55} = 371 + 33 + 53 = 457 \text{ Kč} \quad (39)$$

## 5.4 Výpočet návratnosti

Výpočet hodinové úspory při použití stroje JZ 037 s novou technologií

- Typ **ZT**

Výpočet úspory při prořezání komutátoru bez praporků:

$$N_{u1} = N_{c1} - N_{c3} = 3\,592 - 1\,262 = 2\,330 \text{ Kč} \quad (40)$$

Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru bez praporků:

$$N_{hu1} = \frac{N_{u1}}{t_{s1}} = \frac{2\,330}{5,5} = 424 \text{ Kč/h} \quad (41)$$

Výpočet úspory při prořezání komutátoru včetně praporků:

$$N_{u11} = N_{c11} - N_{c33} = 4\,792 - 1\,379 = 3\,413 \text{ Kč} \quad (42)$$

Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru včetně praporků:

$$N_{hu11} = \frac{N_{u11}}{t_{s1} + t_{s11}} = \frac{3\,413}{5,5 + 0,5} = 569 \text{ Kč/h} \quad (43)$$

- Typ **TE**

Výpočet úspory při prořezání komutátoru bez praporků:

$$N_{u2} = N_{c2} - N_{c4} = 1\,009 - 371 = 638 \text{ Kč} \quad (44)$$

Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru bez praporků:

$$N_{hu2} = \frac{N_{u2}}{t_{s2}} = \frac{638}{1,83} = 349 \text{ Kč/h} \quad (45)$$

Výpočet úspory při prořezání komutátoru včetně praporků:

$$N_{u22} = N_{c22} - N_{c44} = 1\,429 - 457 = 972 \text{ Kč} \quad (46)$$

Výpočet hodinové úspory při prořezání komutátoru včetně praporků:

$$N_{hu22} = \frac{N_{u22}}{t_{s2} + t_{s22}} = \frac{972}{1,83 + 0,33} = 450 \text{ Kč/h} \quad (47)$$

Výpočet průměrné hodinové úspory při prořezání komutátoru bez praporků:

$$N_{hp1} = \frac{N_{hu1} + N_{hu2}}{2} = \frac{424 + 349}{2} = 387 \text{ Kč/h} \quad (48)$$

Výpočet průměrné hodinové úspory při prořezání komutátoru včetně praporků:

$$N_{hp2} = \frac{N_{hu11} + N_{hu22}}{2} = \frac{569 + 450}{2} = 510 \text{ Kč/h} \quad (49)$$

Výpočet průměrné hodinové úspory při produkci 70% komutátorů bez prořezání praporků a 30% s prořezáním praporků na stroji JZ 037:

$$N_{hp} = 0,7 \cdot N_{hp1} + 0,3 \cdot N_{hp2} = 0,7 \cdot 387 + 0,3 \cdot 510 = 424 \text{ Kč/h} \quad (50)$$

Návratnost investice při osmihodinovém provozu

$$t_{n8} = \frac{N_s}{t_s \cdot N_{hp}} = \frac{3\,500\,000}{8 \cdot 424} = 1\,032 \text{ dní} \quad (51)$$

### Shrnutí

Tabulka č. 17 zobrazuje porovnání ceny prořezání komutátorů při použití původní a nové technologie. Následně je uvedena tabulka č. 18 s hodinovou úsporou a návratností investice.

Tabulka 17 - Porovnání původní a nové technologie

Typ komutátoru	Popis	Původní technologie	Nová technologie
ZT	Čas prořezávání bez praporků	11 h 20 min	5 h 30 min
	Čas prořezávání včetně praporků	19 h 20 min	6 h
	Cena prořezání bez praporků [Kč]	3 592 Kč	1 009 Kč
	Cena prořezání včetně praporků [Kč]	4 792 Kč	1 329 Kč
TE	Čas prořezávání bez praporků	3 h 20 min	1 h 50 min
	Čas prořezávání včetně praporků	6 h 10 min	2 h 10 min
	Cena prořezání bez praporků [Kč]	1 262 Kč	371 Kč
	Cena prořezání včetně praporků [Kč]	1 379 Kč	457 Kč

Tabulka 18 - Hodinová úspora a návratnost investice

Popis	Bez prořezání praporků	Při prořezávání praporků
Průměrná hodinová úspora	387 Kč/h	510 Kč/h
Průměrná hodinová úspora při produkci 70% komutátorů bez prořezání praporků a 30% s prořezáním praporků	424 Kč/h	
Návratnost investice při osmihodinovém provozu	1 032 dní	

## Závěr

V diplomové práci je popsán návrh konstrukce a návrh technologie obrábění pro jednoúčelové zařízení. Toto zařízení je určené na obrábění drážek komutátorů elektrických točivých strojů. Zadavatelem zakázky byla firma CZ LOKO a.s. se sídlem v České Třebové. Požadované zařízení vyvinula, vyrobila a smontovala firma JCEE s. r. o. se sídlem v Lanškrouně.

V teoretické části práce je v několika bodech popsána funkce a základní informace o komutátorech. Dále je zde představena společnost JCEE s. r. o. a jsou zde uvedeny požadavky na zařízení a na tvar zhotovené drážky.

V praktické části je popsána konstrukce jednoúčelového zařízení a jeho rozdělení do jednotlivých podskupin. V návrhu technologie obrábění komutátorů je popis stávající technologie ve firmě CZ LOKO a.s. a následně popis návrhu nové technologie. Nová technologie je spojena s vytipováním pohonu nástroje, vývojem nové tvarové kotoučové frézy na srážení hran drážky a doříznutí izolace komutátoru, návrhem pilového kotouče na proříznutí izolace a válcové frézy na srážení hran na začátku a na konci drážky.

V technicko–ekonomickém zhodnocení jsou uvedeny parametry stroje, výpočet a porovnání ceny za prořezání komutátoru typ ZT a TE původní a novou technologií. Je zde také výpočet návratnosti investice za stroj JZ 037. Návratnost je podle výpočtů stanovena na 1032 pracovních dní při osmihodinovém provozu.

## Seznam použité literatury:

- [1] CHMELÍK, Karel, VESELKA, František, *Kluzný kontakt v elektrických strojích*. Ostrava: Key Publishing s.r.o, 2007, 256 s. ISBN 978-80 87071-59-5
- [2] VAŇKOVÁ, J. *Materiály pro výrobu komutátorů elektrických strojů*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2011, 33 s. Vedoucí práce: Vodárek, V.
- [3] WIEDEMANN, E, KELLENBERGER, W, *Konstrukce elektrických strojů*, Praha:SNTL, 1973, 652s.
- [4] CEBES a. s. [online]. 2008 [cit. 2013-2-12]. Katalog komutátorů. Dostupné z: <<http://www.cebes.cz/ke-stazeni/>>.
- [5] HAMPL, Josef, LIPTÁK, Jan, SEDLÁČEK Josef, ŠTUPL, Karel, *Materiály pro elektrotechniku*, Praha:ČVUT,1996,165s.
- [6] Feromat [online]. 2010 [cit. 2013-2-18]. Jakosti ocelí. Dostupné z: <[http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli/](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli/)>.
- [7] JCEE s. r. o. [online] 2006 [cit. 1-3-2013]. Dostupné z: <<http://www.jcee.cz/>>.
- [8] JCEE s. r. o. [online]. 2006 [cit. 2013-3-1]. Jednouúčelové stroje. Dostupné z: <<http://www.jcee.cz/jednoucelove.php>>.
- [9] Böhler Uddeholm CZ s.r.o. [online]. 2009 [cit. 2013-3-16]. Materiál S590. Dostupné z: <<http://www.bohler.cz/czech/files/downloads/S590.pdf>>.
- [10] Výkonné vrtací nástroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-vrtaci-nastroje-vysoka-produktivita-obrabeni-2.html>>.

- [11] LISS a. s. [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Typy povlaků. Dostupné z: <<http://www.liss.cz/?page=products&i=kopz2i380m8jhuf5uz906xd5lhqkmfwf>>.
- [12] MT nástroje [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Technické frézy. Dostupné z: <<http://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/28-1-Technicke-frezy-SK/474-3-valcove-s-celnim-britem/5/2339-Freza-valcova-s-celnim-britem-SK-D3x14-st-D3>>.
- [13] GSP - High Tech Saws, s.r.o [online]. 2013 [cit. 2013-04-3]. Český katalog. Dostupné z: <http://www.gspzborovice.cz/download/download/Cesky-katalog.pdf>
- [14] VERKO [online]. 2013 [cit. 2013-04-11]. Kotoučová pilka tvrdokovová. Dostupné z: <<http://www.verko.cz/kotoucova-pilka-tvrdokovova-din-1837a-z-20-9354/>>.
- [15] EKO – ŠIMKO s. r. o. [online]. 2013 [cit. 2013-04-13]. Výrobky. Dostupné z: <[http://www.ekosimko.cz/index.php?id=389&lang\\_id=1&tparent\\_id=97&group\\_id=99&group\\_id=184](http://www.ekosimko.cz/index.php?id=389&lang_id=1&tparent_id=97&group_id=99&group_id=184)>.
- [16] MAXON MOTOR [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Elektromotory EC 45. Dostupné z: <[http://www.maxonmotor.ch/medias/sys\\_master/8800984104990/12\\_159\\_EN.pdf](http://www.maxonmotor.ch/medias/sys_master/8800984104990/12_159_EN.pdf)>.
- [17] MAXON MOTOR [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Elektromotory RE 50. Dostupné z: <[http://www.maxonmotor.ch/medias/sys\\_master/8800950878238/12\\_083\\_EN.pdf](http://www.maxonmotor.ch/medias/sys_master/8800950878238/12_083_EN.pdf)>.
- [18] MAXON MOTOR [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Elektromotory RE 65. Dostupné z: <[http://www.maxonmotor.ch/medias/sys\\_master/8800950943774/12\\_084\\_EN.pdf](http://www.maxonmotor.ch/medias/sys_master/8800950943774/12_084_EN.pdf)>.
- [19] MAXON MOTOR [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Planetary Gearhead. Dostupné z: <[http://www.maxonmotor.ch/medias/sys\\_master/8801129463838/12\\_245\\_246\\_en.pdf](http://www.maxonmotor.ch/medias/sys_master/8801129463838/12_245_246_en.pdf)>.



- [20] Staubli [online]. 2013 [cit. 2013-04-15]. Parametry robotu TX 90. Dostupné z: <[http://www.staubli.com/index.php?eID=tx\\_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/user\\_upload/staublicom/robotics/PDF-files/TX90\\_GB-042013.pdf&t=1368097668&hash=fd4116d4bd6ca8a683ae0091efac5fb705f51c59](http://www.staubli.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/user_upload/staublicom/robotics/PDF-files/TX90_GB-042013.pdf&t=1368097668&hash=fd4116d4bd6ca8a683ae0091efac5fb705f51c59)>.

## Seznam příloh

	Počet listů
<b>Příloha A</b> – Rotor typ ZT.....	1
<b>Příloha B</b> – Rotor typ TE .....	1
<b>Příloha C</b> – Materiál PM HSS – Böhler S 590 [9].....	2
<b>Příloha D</b> – Parametry elektromotorů MAXON EC 45, 250W[16].....	1
<b>Příloha E</b> – Parametry elektromotorů MAXON RE 50, 200W[17].....	1
<b>Příloha F</b> – Parametry elektromotorů MAXON RE 65, 250W [18].....	1
<b>Příloha G</b> – Parametry převodovek MAXON ø52mm, 4-30Nm [19].....	1
<b>Příloha H</b> – Parametry robotu TX 90 L [20].....	1

### Výkresová dokumentace:

JZ037-060-008 – Fréza ø 12 mm

JZ037-060-028 - Skládání nástroj malý

JZ037-060-029 - Tvarová fréza 1. typ

JZ037-060-031 - Tvarová fréza 2. typ

JZ037-200 - Pneumatické schéma

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat společnosti JCEE s.r.o. za možnost vypracování diplomové práce, dále panu Michalu Jarošovi za perfektní přístup, poskytnutí podkladů a za cenné rady při řešení daného problému.

Další poděkování bych chtěl věnovat vedoucí diplomové práce paní Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při tvorbě diplomové práce.