

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## **Racionalizace výroby složité součásti**

Rationalization of the Production of Complex  
Components

Student:

Lukáš Havlíček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2018

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Havlíček**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Racionalizace výroby složité součásti**  
**Rationalization of the Production of Complex Components**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění složitých součástí.
3. Návrh nové technologie pro vybranou součást.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

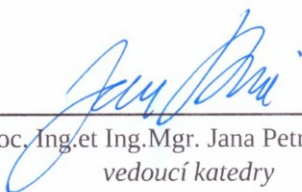
KOČMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.  
FOREJT, Milan a PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.  
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina, 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1  
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

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


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry




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

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje a technické parametry získané od firmy ZLKL, s.r.o. Údaje a technické parametry jsou vlastnictvím firmy a ta se zveřejněním některých údajů nesouhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018

  
.....

Podpis studenta



Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude – li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucí práce,
- s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona
- užít toto své dílo, 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 podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před veřejnou obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB – TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



.....  
Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Havlíček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jestřebí 90, 789 01 Zábřeh

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HAVLÍČEK, L. *Racionalizace výroby složité součásti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 62 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá návrhem nové výrobní technologie pro vybranou součást. V úvodní části je charakterizovaná součást a nastíněna problematika obrábění složitých součástí. Následuje volba vhodného obráběcího stroje s optimálně zvoleným technologickým postupem, kde na základě technologického postupu jsou zvoleny obráběcí nástroje s přijatelnými řeznými podmínkami. Pomocí měření jsou následně stanoveny vyhovující řezné podmínky pro docílení předepsaných požadavků zákazníka. V konečné části je provedeno technologické a ekonomické zhodnocení s ohledem na výpočet strojních časů a na finanční náročnost obráběcího procesu na zvoleném stroji.

## ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

HAVLÍČEK, L. *Rationalization of the Production of Complex Components: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 62 p. Thesis head: Vrba, V.

The bachelor thesis deals with a design of new production technology for a selected component. In a introductory part is characterized component and outlined the problematics of the machining complex components. Follows choice of a suitable machining machine with optimally chosen a technological proces, where based on the technological proces are selected a machining tools with suitable cutting conditions. With using measurement they are subsequently specify suitable cutting conditions for achievement prescribed requirements of customer. In a finally part is done technological and economic evaluation with respect to calculation of machine times and the cost-effectiveness of the machining process on the chosen machine.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	8
Úvod.....	10
1 Obecná charakteristika daného problému.....	11
1.1 Firma ZLKL, s. r. o. ....	12
1.1.1 Projekt Elbee .....	13
2 Problematika obrábění složitých součástí.....	13
2.1 CNC obráběcí stroje a jejich konstrukce .....	14
2.1.1 Požadavky kladené na CNC stroje .....	14
2.1.2 Rámy CNC obráběcích strojů.....	15
2.1.3 Ochranné kryty CNC strojů.....	16
2.1.4 Lineární posuvová soustava CNC stroje .....	16
2.1.5 Rotační soustava CNC stroje.....	17
2.1.6 Automatická výměna nástrojů a obrobků u CNC stroje.....	18
2.1.7 Nástrojové soustavy a upínání nástrojů CNC strojů .....	18
2.1.8 Adaptivní řízení, aktivní kontrola a diagnostika CNC strojů.....	19
2.2 CNC obráběcí stroje a jejich programování .....	22
2.2.1 Program CNC stroje .....	22
2.2.2 Souřadný systém a vztahené body CNC stroje.....	24
2.2.3 Druhy programování CNC strojů dle stupně automatizace.....	25
2.2.4 Způsoby programování CNC strojů dle způsobu zadávání souřadnic .....	26
2.2.5 Pomocné způsoby programování CNC strojů .....	26
2.2.6 Druhy řízení dráhy.....	27
3 Návrh nové technologie pro vybranou součást.....	28
3.1 Volba stroje.....	28
3.1.1 CTX beta 800 linear .....	28
3.2 Návrh celkového výrobního procesu .....	30
3.3 Návrh výrobního postupu obrábění součástí .....	32
3.3.1 OP 10 – Obrábění první strany.....	32
3.3.2 OP 20 – Obrábění druhé strany .....	33
3.4 Volba obráběcích a doplňkových nástrojů a přípravků .....	34

3.5 Volba řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40.....	42
3.5.1 Volba teoretických řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40 .....	43
3.5.2 Volba skutečných řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40 .....	44
3.6 Volba řezných podmínek pro celou součást .....	45
3.7 Tvorba CNC programu .....	46
3.7.1 Náhled CNC programu.....	46
4 Diskuse experimentů.....	48
5 Technicko-ekonomické zhodnocení .....	51
5.1 Technické zhodnocení .....	51
5.1.1 Ověření docílení výrobní série .....	52
5.2 Ekonomické zhodnocení.....	53
Závěr .....	57
Seznam použité literatury .....	59
Seznam příloh .....	62

## Seznam použitých značek a symbolů

Zkratka	Jednotka	Celý název
A	[%]	tažnost oceli
AC	[-]	adaptivní řízení
AK	[-]	aktivní kontrola
$a_p$	[mm]	hloubka třísky
CAD	[-]	Computer Aided Design – počítačem podporovaný návrh
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing – počítačem podporované obrábění
$C_k$	[Kč]	minimální výrobní náklady pro jeden kus
$C_N$	[Kč]	cena nástrojů
CNC	[-]	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
$C_O$	[Kč]	hodinová mzda obsluhy
$C_{PSH}$	[Kč]	hodinová sazba stroje
$C_V$	[Kč]	cena výkovku
f	[mm]	posuv nástroje při obrábění
g	[m·s <sup>-2</sup> ]	zrychlení
HB	[-]	tvrdost podle Brinella - vtlačované těleso kulička
HPC	[-]	vysokohodnotný beton s vylepšenými vlastnostmi
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella - vtlačované těleso diamantový kužel
$H_S$	[h]	počet čistých pracovních hodin za danou směnu
HSC	[-]	High Speed Cutting - vysokorychlostní obrábění
$k_d$	[-]	počet vyrobených kusů za jeden den
$k_s$	[h <sup>-1</sup> ]	počet kusů vyrobených za jednu pracovní směnu
KV	[J]	nárazová práce
KŠM	[-]	kuličkový šroub
$l_a$	[mm]	maximální délka aktivního ostří
$M_k$	[N·m]	kroučící moment
MQL	[-]	Minimal Quantities of Lubricant - minimální množství mazadla
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky
NC	[-]	řídící program CNC stroje
P	[W]	výkon



$P_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	hloubka profilu
$R_e$	[MPa]	mez kluzu oceli
$r_\epsilon$	[mm]	poloměr špičky vyměnitelné břitové destičky
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti oceli
$R_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	maximální teoretická výška nerovnosti obráběného povrchu
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů
$S_{Dmin}$	[-]	minimální počet dnů nutných pro výrobu kusů v sérii
$S_{Mmin}$	[-]	minimální počet měsíců nutných pro výrobu kusů v sérii
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
$v_c$	[ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	řezná rychlost
$V_C$	[h]	výrobní čas jednoho kusu
VDI	[-]	držáky s upínací stopkou dle DIN 69880
WOP	[-]	Workshop Oriented Programming – dílnsky orientované programování
Z	[%]	kontrakce oceli

## Úvod

V současné době jsou na strojírenské firmy po celém světě kladeny stále zvětšující se nároky zákazníků. Zákazníci své priority kladou především na kvalitní výrobu, vysokou produktivitu, spolehlivost a serióznost. To však v závislosti na požadavcích spojených s minimálními výrobními náklady. Rovněž jsou na firmy kladeny vysoké ekologické požadavky. Tyto požadavky jsou zaměřeny na úsporu energií potřebných k provozu, na šetrné zacházení s nerostnými surovinami, ale také na bezpečnou a ekologickou likvidaci provozních odpadů. Firmy se musí potýkat s neustále se měnícími ekonomickými podmínkami, ale taktéž s velkým množstvím konkurenčních společností. Firma, jež chce úspěšně prorazit na trhu, tedy musí být flexibilní k požadavkům zákazníků a schopná adaptovat se na stále vyvíjející se ekonomickou situaci.

Úspěšná firma se však musí pořád zdokonalovat i uvnitř organizace. Velkého posunu kupředu lze dosáhnout aktivním vývojem nových technologií, efektivním provozem, adekvátním nakládáním s hmotnými i nehmotnými majetky či snahou o dosažení vyššího stupně automatizace pro bezporuchový a spolehlivý chod, aby se tak mohla vyrovnat konkurenčním firmám a nadnárodním společnostem svým objemem vyprodukovaného zboží při nízkých nákladech. Firma by též neměla stagnovat při kooperaci s jinými společnostmi a měla by zkoumat konkurenční trh, protože analýza konkurence je jednou z důležitých částí marketingového plánování.

Jednou z takovýchto úspěšných a prosperujících firem je firma ZLKL, s. r. o. neboli celým názvem Závod lehkých konstrukcí Loštice. Jedná se o rodinnou firmu, která dokázala na trhu prorazit pouze díky své pílí a schopnosti progresivně a efektivně se adaptovat na stále se vyvíjející trh a flexibilně reagovat na potřeby zákazníků.

Na základě výběrového řízení, kterým si firma prošla, mi byla nabídnuta možnost tvorby bakalářské práce na téma návrhu nové výrobní technologie pro danou součást.

V následujících kapitolách je popsána zadaná součást, nastíněna problematika výroby složitých součástí a zobecněně popsán návrh nové výrobní technologie včetně technologického a ekonomického zhodnocení výrobního procesu.

# 1 Obecná charakteristika daného problému

Firma ZLKL, s. r. o. dostala v rámci výběrového řízení zakázku na výrobu součásti s interním označením ENAB (obrázek 1.1 a obrázek 1.2), kde zákazník požaduje výrobu součásti v sérii 12 000 kusů a to během 12 kalendářních měsíců.

Na žádost o bakalářskou práci jsem dostal za úkol navrhnout technologii výroby součásti. Náplní návrhu výrobní technologie bylo nejprve zvolit formu polotovaru a vhodný obráběcí stroj. Podle rozsahu možností obrábění vybraného stroje navrhnout technologický postup pro obrobení součásti z polotovaru do finálního výrobku. V závislosti na zvoleném stroji a na technologických operacích vybrat vhodné nástroje. Poslední částí návrhu výrobní technologie bylo zvolení řezných podmínek obráběcího procesu.

Obrázek 1.1 – Součást ENAB – první strana    Obrázek 1.2 – Součást ENAB – druhá strana

Po dokončení návrhu technologického postupu byl vyroben experimentální kus, na kterém byly ověřeny rozměry a geometrické tolerance zadané výrobcem. Podle výsledků měření byly následně upraveny řezné podmínky. Ve finální fázi návrhu technologie bylo provedeno finanční ohodnocení a výpočty strojních časů, jelikož součást bude vyráběna v sérii 12 000 kusů v časovém intervalu 12 měsíců a je tedy nutné efektivně snížit výrobní časy a finanční náklady s nimi spojené.

Možnost náhledu do výrobního výkresu součásti ENAB v příloze A.

## Materiálové vlastnosti

Materiálem součásti je nelegovaná ušlechtilá ocel dle ČSN EN 10027-1 určená k zušlechťování. Ocel se používá zejména pro ojnice, čepy, pístnice, hřídele spalovacích a parních motorů, sloupy a válce lisů, svorníky nádob, páky, součásti řízení, táhla atd..<sup>11, 12</sup>

Tabulka 1.1 – přehled vybraného značení materiálu dané součásti<sup>12, 13</sup>

Norma značení	ČSN EN 10027-1	ČSN EN 10027-2	ČSN 42 0002	DIN 10083-2	AISI
Země užití	CZE + EU	CZE + EU	CZE	DEU	USA
Značení materiálu					

Tabulka 1.2 – chemické složení materiálů z rozboru tavby u materiálu EN 10027-1 C35E<sup>12</sup>

Chemické prvky v %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu

Tabulka 1.3 – mechanické vlastnosti u materiálu EN 10027-1 C35E<sup>12</sup>

Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Kontrakce Z [%]	Nárazová práce KV [J]	Tvrdost	
					HB	HRC

## 1.1 Firma ZLKL, s. r. o.



Obrázek 1.3 – logo společnosti ZLKL, s. r. o.<sup>8</sup>

Závody lehkých konstrukcí Loštice neboli ZLKL, s. r. o. je rodinná firma se strojním zaměřením s dvacetiletou tradicí. Firma je rozdělena do tří provozů, ve kterých nabízí svým zákazníkům rozsáhlou škálu strojírenských technologií a činností. Nosným pilířem výrobního programu je obrábění, lisování, svařování, 3D kontrola kvality a povrchové úpravy. Společnost se aktivně podílí na vývoji a konstrukci, především u svého projektu Elbee. Nezanedbatelná část sortimentu nachází své uplatnění v elektrotechnickém průmyslu ve vodohospodářství a v doplňkovém průmyslu, ale především většina výroby směřuje do automobilového průmyslu. Přibližně 60% výroby míří na export. Společnost své výrobky dodává především nadnárodním koncernům po celém světě. Příkladem jsou firmy Emerson, Siemens, Ingersoll Rand, Marelli Motori, Gravotech a další. Společnost se díky své flexibilitě k požadavkům zákazníků dlouhodobě rozvíjí, proto je nositelem několika významných cen. Například časopis Forbes ji v roce 2015 označil jako 75 největší rodinnou firmu v ČR a v roce 2016 se umístila na 67 příčce ze sta nejlépe hodnocených firem v ČR a opakovaně se umísťuje na prvních pozicích v žebříčcích nejlépe hodnocených firem Olomouckého kraje.<sup>8</sup>

### 1.1.1 Projekt Elbee

Jedním z největších projektů společnosti ZLKL, s. r. o. je vývoj a konstrukce celosvětově známého vozítka pro handicapované. Ve společnosti vzniklo vlastní vývojové centrum, které zajišťuje konstrukci, nákup a výrobu prototypových dílů, kompletní montáž prototypů a v neposlední řadě jejich testování. Elbee bylo navrženo pro potřeby vozíčkářů, vozidlo je totiž možné řídit přímo z invalidního vozíku. Se svým benzínovým motorem o objemu 300 ccm s výkonem 12,5 kW při hmotnosti pouhých 400 kg dosahuje vozítka rychlosti až 80 km/h při průměrné spotřebě 4,5 l na 100 km. Díky těmto parametrům se vozítka důstojně vyrovná či předčí konkurenční výrobky.<sup>8,9</sup>



Obrázek 1.4 – Elbee, vozítka pro handicapované<sup>8</sup>

## 2 Problematika obrábění složitých součástí

Tvarově, geometricky či rozměrově složitá součást by se dala definovat jako součást, jejichž obrys tvoří pravidelná tělesa, ale prostorové křivky, nebo její rozměry spadají do úzkých rozměrových či geometrických tolerancí. U takových součástí bývá větší spektrum specifických obráběcích operací a větší počet strojů nutných k zhotovení součásti. Jako u součástí skříňovitěho charakteru, zápustek, forem či součástí motorů, turbín a jiných mechanismů.

Z důvodu finanční a časové neekonomičnosti obrábění a nepřesností, vznikajících při upínání mezi jednoúčelovými stroji, se do procesu obrábění zařazují nekonvenční metody obrábění. Případně v daleko větší míře se používají speciální CNC stroje a univerzální CNC stroje. Především pro ekonomičnost a nepotřebu specializované obsluhy, jelikož u CNC stroje postačuje obsluha, která zajišťuje plynulý chod stroje a ostatní náležitosti během výrobního cyklu, a programátor CNC stroje. CNC stroje značně urychlují výrobu. Výrazně se též sníží zmetkovitost a to činí výrobu plynulejší, efektivnější a méně nákladnou.<sup>35, 36</sup>



## 2.1 CNC obráběcí stroje a jejich konstrukce

Computer Numerical Control machining machines neboli počítačem číslicové řízení obráběcích strojů je vyznačováno tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je realizováno počítačem s řídicím systémem, který čerpá data z vytvořeného programu zapsaného pomocí alfanumerických znaků. Tento program obsahuje veškeré potřebné informace ke zhotovení součástí. Program zahrnuje informace o geometrii a rozměrech součástí, technologické informace charakterizující funkce stroje jako například posuv, otáčky, přísvy a další pomocné informace jako spínání a vypínání procesních kapalin nebo směr otáčení vřetene. Pro CNC stroje je typické, že ovládání všech strojních funkcí jako jsou směry a rychlosti pohybů, výměna nástrojů a obrobků či jiných činností, je výhradně prováděna bezobslužně řídicím systémem stroje. CNC stroje jsou také definovány svou univerzalitou a schopností pružně se přizpůsobovat měnícímu se sortimentu a automatizované práci v kontinuálních cyklech a svou možností nepřetržitého provozu.<sup>14, 15, 16</sup>

V následující podkapitole jsou probrány elementární stavební uzly CNC obráběcích strojů, které jsou identické pro všechny typy CNC strojů.

### 2.1.1 Požadavky kladené na CNC stroje<sup>16, 18</sup>

Požadavky CNC strojů lze rozdělit na požadavky pro konstrukční a pohybové uzly.

#### **Polohování nástroje a obrobku**

##### **a) Rám s vodícími deskami a stůl**

Zde se klade důraz především na vysokou dynamickou a statickou tuhost, dobrý odvod třísek a efektivní výrobu částí stroje.

##### **b) Posuvová soustava**

U posuvové soustavy se především dbá na dostatečný regulační rozsah, zajištění plynulého pohybu v úplném rozsahu pracovních rychlostí, stabilitu pohybů, minimální vůli v kinematickém řetězci, maximální tuhost posuvové soustavy s případnou diagnostikou její poruchy a vývin dostatečné síly k překonání třecích, setrvačných a řezných odporů.

#### **Vřeteno s vřeteníkem**

##### **a) Uložení vřetena**

U uložení vřetena je především nutnost přesného chodu, rozsahu a dynamičnosti otáčkové schopnosti, maximální tuhosti a termické stability.

## **b) Upínací systém nástrojů**

U upínacího systému nástrojů je třeba dohlížet na opakovanost přesnosti upnutí a spolehlivý přívod procesních kapalin.

## **c) Náhon vřetena**

U náhonu vřetene je především důležité dbát na polohování vřetene, dostatečný regulační rozsah, zaručení potřebného výkonu a zabrzdění pohonu s možností pohotové reverzace a regulace otáček při konstantním krouticím momentu i při neměnném výkonu.

## **Zásobník a výměník nástrojů**

U zásobníku nástrojů je primární dostatečná kapacita nástrojových pozic při co nejmenším omezení pracovního prostoru. Tím pádem malé zástavbové rozměry zásobníku. U výměníku nástrojů jsou nejdůležitější časy výměn nástrojů, které by měly být co nejmenší. Důležité je též jednoduchost manipulačního cyklu a jeho konstrukce.

## **Zásobník a výměník obrobků**

Tyto dva konstrukční prvky se sledují především u automatizovaných linek. U ustavení palet je nutno dbát tuhého a přesného upnutí palety k pracovnímu stolu a přesnosti ustavení obrobku na paletě. U výměnného mechanismu se klade důraz na co nejjednodušší a nejkratší výměnné cykly, možnost napojení na dopravu v automatizovaných výrobních soustavách.

## **Přívod provozních médií, ochranné kryty a celková konstrukce stroje**

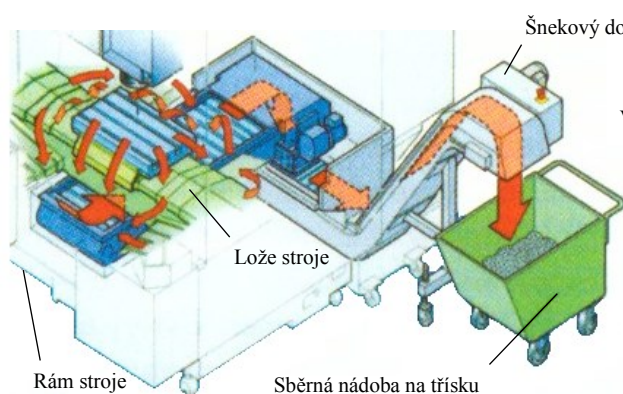
U přívodu provozních médií a u ochranných krytů se sledují především tři parametry. Těsnost stroje, ekologičnost provozních médií a stavebnicová konstrukce, která je založená na jednoduchosti s možností individuálního sestavení dle potřeb zákazníka.

### **2.1.2 Rámy CNC obráběcích strojů**

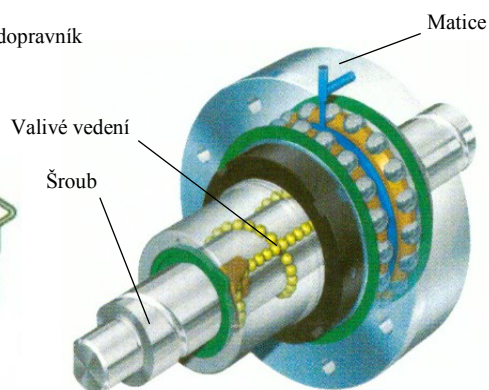
Základními prvky rámu CNC strojů jsou stojany, lože, příčnický, sloupy a konzoly. Jejich odolností proti opotřebení vodících ploch, dynamickou a termickou stabilitou, tuhostí, odolností vůči oscilaci a jejich vzájemným uspořádáním je převážně dána výsledná přesnost obrábění. Velkou zásluhu na přesném obrábění tvoří odolnost proti deformaci, pevnost a celková tuhost stroje. Ta je dána konstrukčním materiálem a topologií dílů, tj. tvarováním dílců, tloušťkou stěn, žebrováním, proporcí dílů a vzájemnými spoji, u kterých závisí na kvantitě fixních a pohyblivých spojení a na jejich rozmístění na rámu stroje.<sup>14, 16, 18</sup>

Nejpoužívanějšími materiály pro tvorbu rámců CNC strojů jsou oceli, litiny, HPC beton, polymerbeton, žula, uhlíková vlákna a kombinované materiály.

Dalším aspektem ovlivňujícím přesnost výroby je odvod odebrané třísky z materiálu. Ve fázi, kdy dojde k nashromáždění třísky, hrozí teplotní dilatace stroje a obrobku, proto je nutno provést konstrukční řešení k zajištění správného odchodu třísky, například šikmé lože se skluzu, kde je tříska následně odplavována na dopravník (obrázek 2.1).<sup>14, 16, 18</sup>



Obrázek 2.1 – schéma odvodu třísky Mori Seiki<sup>18</sup>



Obrázek 2.2 – provedení pohonu pohybového šroubu (stojí) a matice (otáčí)<sup>18</sup>

### 2.1.3 Ochranné kryty CNC strojů

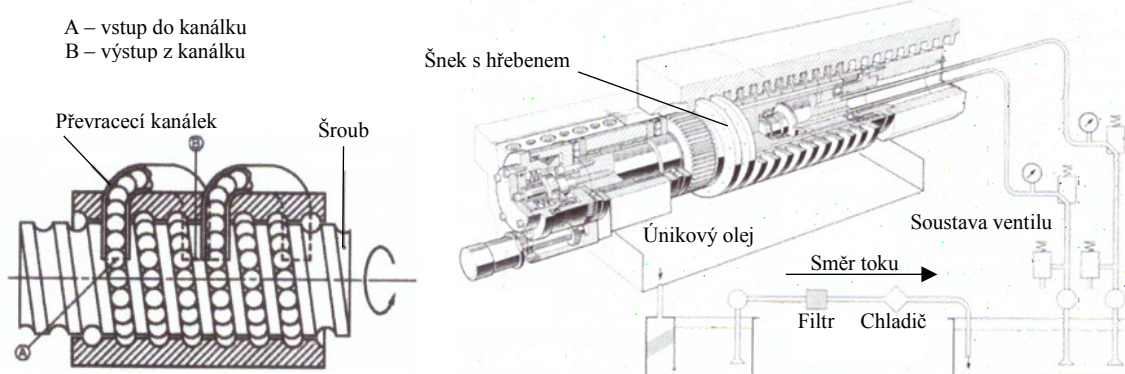
Kryty chrání stroj a pracovníky proti jevům doprovázejícím procesy třískového obrábění jako jsou zejména odletující třísky, odstřík provozní kapaliny, hluk nebo přímý střet obsluhy či provozních médií s činnými částmi stroje a tak zvyšují životnost stroje.

Ochranné kryty lze rozdělit na ochranné panely, teleskopické kryty a stěny. Teleskopické kryty se skládají z plechových dílců vytvarovaných do tvaru kopírujícího chráněnou část a vedení je realizováno po rámu stroje. Vzájemně uložené části způsobují rázy při uvedení do pohybu, proto se kryty vybavují nůžkovým mechanismem, který tlumí doprovodné rázy a to především při vysokých rychlostech. Pro optickou kontrolu jsou kryty jako dveře vybaveny okny z materiálu se zvýšenou odolností proti průrazu jako Lexar. Pro pohyby v rovině se využívají 2D teleskopické stěny. Ochrana prostoru za vřeteny, případně pro pohyby v 3D, je uskutečněna pomocí článkových zástěn, roletami či měchy.<sup>16, 18</sup>

### 2.1.4 Lineární posuvová soustava CNC stroje

Lineární posuvová soustava umožňuje například pohyb suportů nebo protivřeten. Pohyb je realizován napojením pohonu na hřídel kuličkového šroubu. Pohyb je například uskutečněn pohybovým šroubem a maticí (obrázek 2.2). Šroub je uložen např. ve vedení valivém (obrázek 2.3), kluzném, hydrostatickém, aerostatickém nebo kombinovaném.<sup>16, 18</sup>

V současnosti se pro pohon nejvíce využívá rotačních servopohonů. Mezi další pohony patří lineární motor, buď synchronní nebo asynchronní, pohon pastorkem a hřebenem nebo pohon pomocí šneku a hřebenu (obrázek 2.4). Propojení pohonu a kuličkového šroubu je uspořádáno přímo s vloženou převodovkou, ozubením nebo řemenem. <sup>16, 18</sup>



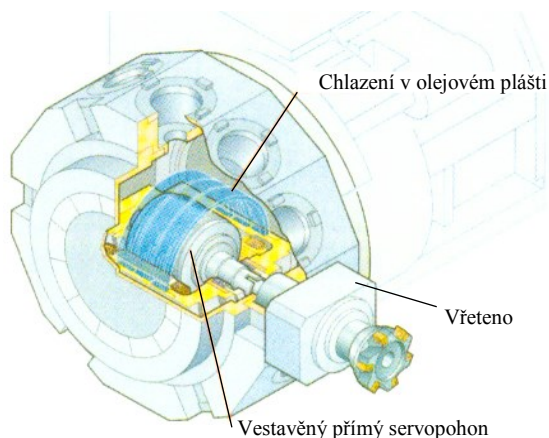
Obrázek 2.3 – převod kuliček v KŠM <sup>18</sup>      Obrázek 2.4 – hydrostatický šnek s hřebenem <sup>18</sup>

Mazání soustavy je prováděno olejem či tukem. Odměrování délek je uskutečňováno přímo nebo nepřímo. Ochrana vedení je zajištěna teleskopickými kryty. Přívod médií je realizován pomocí měchů nebo energických nosičů. <sup>16, 18</sup>

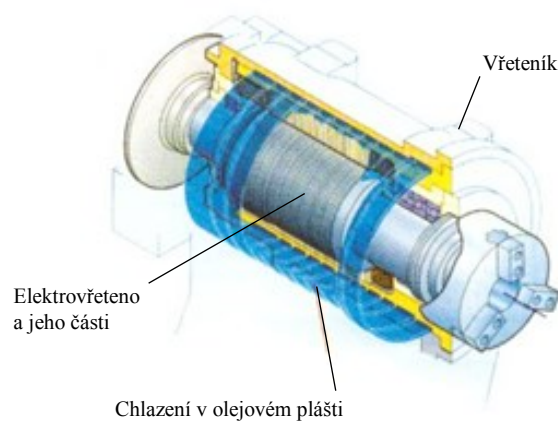
### 2.1.5 Rotační soustava CNC stroje

Rotační soustavu CNC stroje ztělesňuje vřeteno s pohonem. Primární úlohou vřetene je vytváření hlavního řezného pohybu, kupříkladu rotace obrobku u soustruhu. Mezi další účely patří například pohon nástrojů u revolverových hlav (obrázek 2.5). Vřeteno představuje velmi podstatný prvek ve skladbě CNC stroje, jelikož má významný dopad na přesnost obrábění. Nejpodstatnější vliv na přesnost vřetene má velikost radiálního házení způsobeného nesouosostí, vůlí ve valivých ložiscích a nekuhovým tvarem rotačních částí. Axiální házení je zachyceno jedním nebo dvěma axiálními ložisky. Přední ložiska jsou axiálně nehybná a zadní ložisko je axiálně volné z důvodu teplotní roztažnosti samotného vřetene. U protivřeten je nutnost velmi přesného vedení suportu z důvodu souososti. Vřetena je nutno konstrukčně realizovat jako předepnutá, aby při upínání obrobku byly deformace vykompenzovány a tím vřeteno svou deformací neovlivnilo přesnost obrábění.

Pohony vřeten jsou rozděleny podle toho, kterou kinematickou skupinu pohánějí. Rotační náhonové soustavy mohou pohánět nástrojovou soustavu, tedy náhon vřetene či náhon naklápění nástrojových hlav, nebo mohou pohánět soustavu obrobku, kde zajišťují rotaci obrobku či náklon stolu. Pohon zajišťují přímé torzní servopohony (obrázek 2.6) nebo je pohon zajištěn servopohony nepřímo pomocí ozubených kol, řemenů nebo šneků. <sup>16, 18</sup>



Obrázek 2.5 – řez revolverovou hlavou Mori Seiki<sup>18</sup>



Obrázek 2.6 – elektrovřeteno Mori Seiki<sup>18</sup>

### 2.1.6 Automatická výměna nástrojů a obrobků u CNC stroje

Automatická výměna nástrojů tvoří nedílnou součást CNC stroje. Při optimální kapacitě výměnného zásobníku snižuje pracovní časy stroje. Je tvořena rozsáhlým množstvím konstrukčních řešení pro dané technologické podmínky. Výměna je realizována buďto přímo, například revolverové hlavy anebo nepřímo pomocí manipulátoru či výměníku, kde portálový manipulátor nebo výměník s otočným ramenem přemístí nástroj ze zásobníku do výměníku a odsud nástroj putuje do vřetene. Zásobníky mohou být konstruovány jako diskové, kruhové, řetězové, velkokapacitní, centrální nebo revolverové.

Výměna obrobků je klíčová především v automatizované výrobě, kdy při upínání obrobků přímo na pracovní stůl dochází k navýšení strojních časů z důvodu nečinnosti stroje. Proto se aplikuje automatická výměna obrobků, kde se vedle sebe může nacházet hned několik pracovních stolů, které jsou sdruženy, a polohu mezi nimi mění stroj. Stroj mezi stoly pracuje střídavě a cyklicky. Na nečinném stole je upínání prováděno pomocí hydraulických, pneumatických nebo mechanických upínek v T drážkách. Upínání a seřizování provádí obsluha ručně nebo v případě automatizovaných linek je upnutí provedeno manipulátorem (robotem), který obrobky odebírá z technologických palet.<sup>16, 18</sup>

### 2.1.7 Nástrojové soustavy a upínání nástrojů CNC strojů

Různorodý sortiment obráběných součástí klade důraz na nástroje a jejich soustavy. Především by nástrojové soustavy měly zajistit univerzalitu při změně nástroje při zachování základního držáku. Nástroje a soustavy by také měly zajistit přívod provozních médií do místa řezu (obrázek 2.11). Časy vyměnitelnosti a seřízení by měly být minimální a to při jednoduchosti konstrukce i vysoké přesnosti. Příkladem je upínání Capto.<sup>16, 18, 19, 20</sup>



Upínání Coromant Capto® (obrázek 2.7) od společnosti Sandvik Coromant je charakteristické svým stavebnicovým systémem, který se skládá již z VBD, těl nástrojů, držáků, redukcí a nástavců. Při upnutí nástroje do držáku VDI dle DIN 69880, který je vhodný pro menší soustružnická centra, avšak ne pro automatickou výměnu, tvoří ideální systém pro univerzální soustružnická CNC centra s revolverovými hlavami. Pro revolverové hlavy s možností rotace nástrojů je mnohdy výhodné použití nástroje A (obrázek 2.8), se kterým při pootočení o 90° lze měnit tvary VBD pro různé operace.<sup>16, 18, 19, 20</sup>



Obrázek 2.7 – nástrojový systém  
Coromant Capto®<sup>19</sup>



Obrázek 2.8<sup>20</sup> – a) ISO kužel, c) tepelné  
b) Capto, d) hydraulické

Mezi další druhy upínačů nástrojů patří upínání pomocí kuželů. Mezi nejpoužívanější kužely patří ISO kužely a HSK kužely. Kužely se dále dělí na Morse, MAS BT, CAT, KM, BIG-PLUS, kužel R8 apod. Další možnosti upnutí se dělí podle typu upínače. Nejpřesnější z nich jsou tepelné, hydraulické, silově deformační, SINO a Capto upínače. Dalšími typy upínačů jsou například Weldon upínač, kleštinový držák, nástrčné nástroje a další.<sup>16, 18, 19, 20</sup>

### 2.1.8 Adaptivní řízení, aktivní kontrola a diagnostika CNC strojů

Pro docílení vyšší úrovně automatizace aplikujeme automatizační techniky, jež eliminují nepříznivé faktory lidské obsluhy v oblasti přesnosti obrábění a kontroly stroje s případnou identifikací a eliminací poruch.<sup>18</sup>

#### a) Adaptivní řízení (AC)

Principem AC je zvýšení produktivity úsporami v řezných časech výhradně v hrubovacích operacích. AC spočívá v regulaci řezných podmínek, především rychlosti posuvu a hloubky třísky, v závislosti na předem stanovených parametrech, např. hodnot sil v osách X, Y, kde zatížení nástroje je převážně přepočítáváno z výkonu vřetene.<sup>18</sup>

## b) Aktivní kontrola (AK)

Primární funkcí AK je automatická eliminace faktorů negativně ovlivňujících přesnost výroby a způsobilost stroje. AK snižuje přípravné časy pomocí doseřizování nástrojů i obrobků, kde případně umožňuje automatickou modifikaci programu a dále indikaci opotřebení a poškození nástrojů. <sup>18</sup>

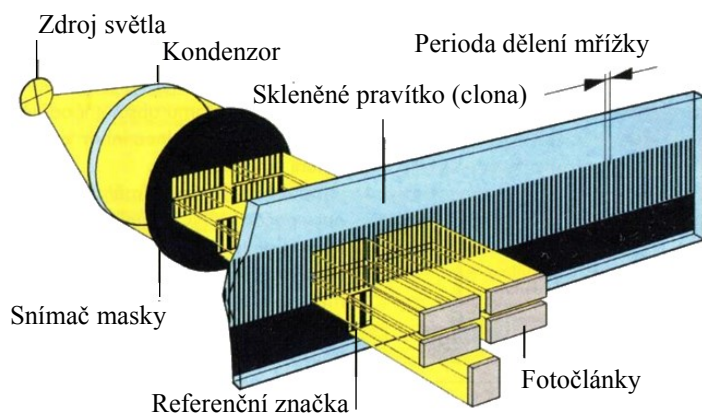
## c) Technická diagnostika obráběcích strojů

Technická diagnostika zvyšuje spolehlivost chodu stroje prostřednictvím zpracování informací, které lze získat bez demontáže a nahrazuje tak intuitivní empirický přístup k údržbě. Diagnostické systémy identifikují a klasifikují stupeň závažnosti poruchy, kde v případě rizika havárie automaticky zastavují provoz. Základní typy jsou vibrodiagnostika (oscilace bodů), diagnostika modální analýzou (frekvence konstrukce), hluková, teplotní, elektrodiagnostika, tribodiagnostika (stav maziv), termografická diagnostika atd. <sup>18</sup>

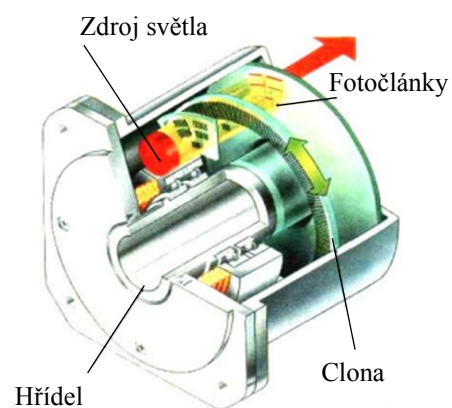
### 2.1.9 Odměřovací zařízení CNC strojů

Odměřovací zařízení zasílá okamžitou polohu suportů či stolů do regulátoru polohy, kde diferenční člen porovnává příchozí pulsy s naprogramovanou dráhou. Pokud je vyhodnocena shoda, je vydán povel ke čtení další informace a zároveň vystupují povely pro servomechanismy.

Odměrování provádíme přímo na pohyblivých uzlech nebo nepřímo, kdy je snímač uložen na kuličkovém šroubu nebo jeho převodu. Pro určení polohy nejčastěji používáme impulsní, číslicové, indukční, selsynové, magnetické a další odměřovací zařízení. <sup>15</sup>



Obrázek 2.9 – přímé odměřování  
fotoelektrickým principem <sup>18</sup>



Obrázek 2.10 – snímač natočení <sup>37</sup>

U odměrování dále rozlišujeme charakter předávaných informací odměřovacímu zařízení. Informace se dělí na absolutní, přírůstkové a cyklicky-absolutní. <sup>15</sup>

### 2.1.10 Média CNC strojů

Náležitým přívodem a odvodem provozních médií lze docílit požadovaných vlastností stroje a jakosti obrobene plochy.<sup>16, 18</sup>

#### a) Oleje

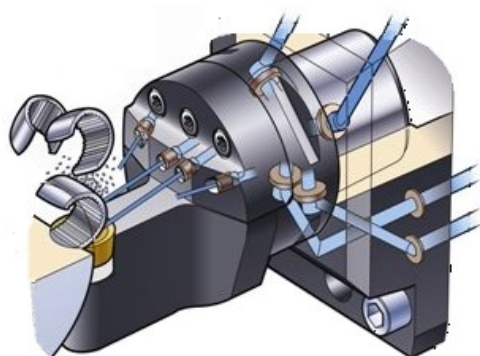
Olej zastává v obvodech CNC obráběcího stroje mazací funkci, teplotní stabilizaci a také slouží jako přenašeč energie. Mazání snižuje energetické ztráty. Olej též temperuje výkonné části CNC strojů, protože teplotní dilatace mají rozhodující vliv na přesnost stroje.<sup>16, 18</sup>

#### b) Vzduch

Stlačený vzduch slouží jako médium pro kontrolní (dosednutí čela nástrojového držáku na čelo vřetene), čistící a těsnící funkce (těsnění vřetene přes labyrintové těsnění).<sup>16, 18</sup>

#### c) Řezné kapaliny

Řezné kapaliny mají za úkol odvádět teplo vyvinuté při obrábění, mazat břit nástroje, chránit plochy stroje a čistit prostor stroje. Přívodem kapaliny do řezu se snižuje odpor a zvyšuje se jakost plochy. Přívod lze realizovat standartním, tlakovým (obrázek 2.11), vnitřním chlazením (obrázek 2.12) nebo chlazením mlhou. Obrábět lze i v plynném prostředí. Úspor lze docílit u suchého obrábění (MQL). To je však vhodné pro HSC.<sup>16, 18, 20</sup>



Obrázek 2.11 – tlakový přívod média<sup>19</sup>



Obrázek 2.12 – vnitřní přívod média<sup>19</sup>

#### d) Elektrická média

Mezi prvky, které využívají elektrickou energii, patří především vřetenové a posuvové pohony, prvky pro řízení a ovládání, signalizaci stavu výkonných mechanismů a bezpečnostní prvky.<sup>16, 18</sup>

#### e) Třísky

Rychlým a účinným odvodem třísky eliminujeme deformace strojních částí, které přicházejí do kontaktu se zahřátou třískou a zintenzivňujeme bezpečnost provozu.<sup>16, 18</sup>

## 2.2 CNC obráběcí stroje a jejich programování

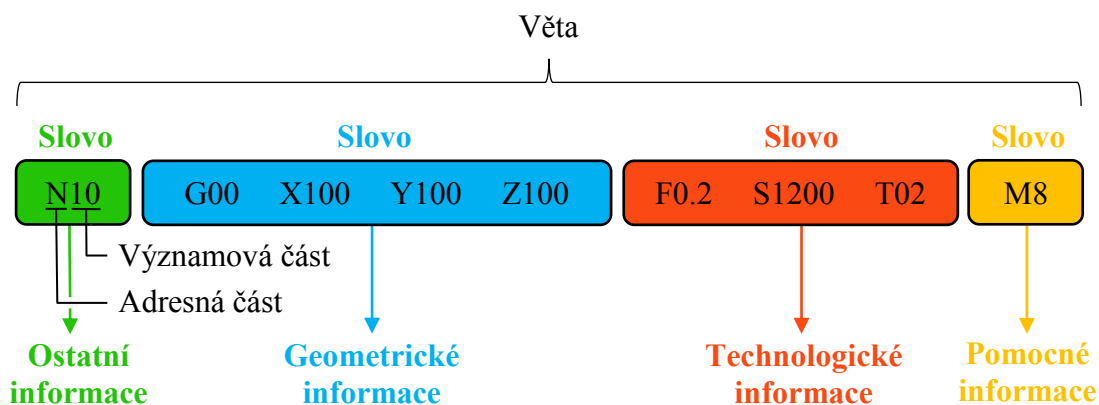
Programování CNC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která je zahrnuta do sféry technické přípravy výroby, kde kvalita programování je úměrná stupni znalostí programátora a funkcím programovaného CNC stroje. <sup>21</sup>

V podkapitole jsou probrány základní pojmy ohledně programování CNC strojů.

### 2.2.1 Program CNC stroje

CNC řídicí program poskytuje stroji informace o pracovním cyklu a jedná se o uspořádaný soubor geometrických, technologických, pomocných a ostatních informací zapsaných v logické posloupnosti pomocí alfanumerických znaků do vět (bloků). <sup>27, 28, 29</sup>

Věty (bloky) programu se skládají ze slov (příkazů). Slova se sestávají z adresné části, která udává kategorii povelu a z významové části, která zahrnuje rozměrové nebo bezrozměrné údaje o slově. Rozměrové informace slouží ke stanovení délky souřadnic a bezrozměrné k vyjádření programové funkce jako číslo nástroje či velikost otáček. <sup>27</sup>



Obrázek 2.13 – popis věty řídicího programu <sup>27, 29</sup>

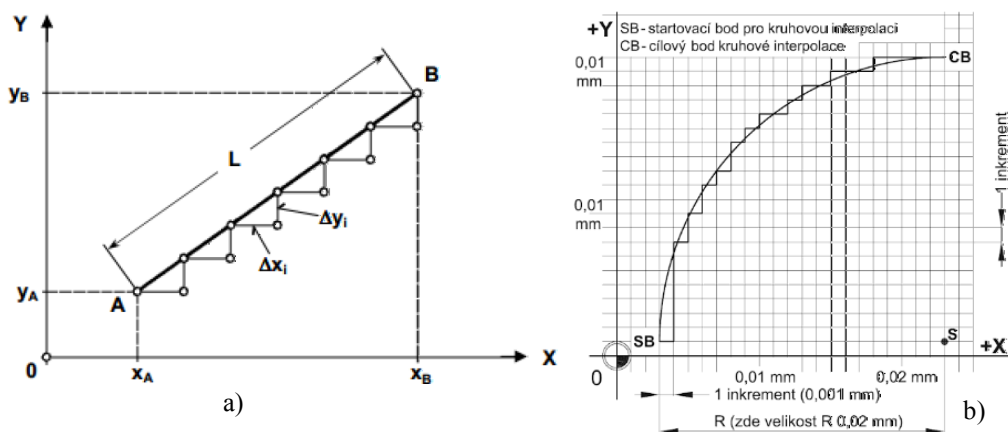
Nezbytným dokumentem k řídicímu programu je seřizovací list, který zahrnuje informace organizační, technologické a doplňkové. Organizační informace poskytují údaje o součásti, programátorovi atd. Technologické informace zahrnují parametry nástrojů jako značení a umístění nástroje, poloměr zaoblení špičky, délka činné části nástroje a další. <sup>26</sup>

### Rozbor informací řídicího programu

Geometrické informace popisují teoretickou dráhu nosiče nástroje, kterou je nutno korigovat na skutečnou dráhu podle rozměrů nástroje včetně jeho aktuálního opotřebení.

Takto zkorigované informace jsou dále zpracovávány interpolátorem, což je aritmetická jednotka, která vyhodnocuje elementární dráhy křivky v jednotlivých osách,

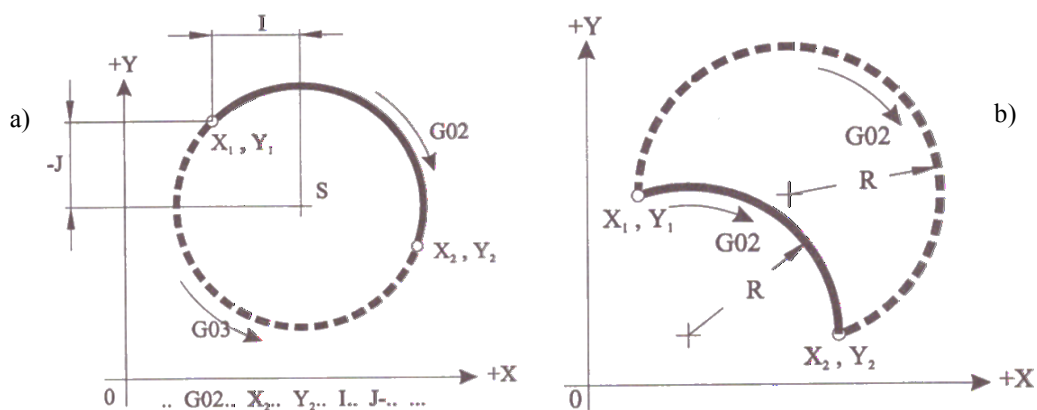
kdy dráha mezi dvěma body vyhovuje definovanému matematickému vztahu, např. rovnici kružnice. Elementární dráhy jsou definovány jednoduchými křivkami prostřednictvím např. lineární nebo kruhové interpolace. Dráhy elementárních částí křivky však nejsou generovány plynule, ale po určitých nenulových „skocích“ formou pulsů. Tyto „skoky“ nazýváme přírůstky neboli inkrementy. Inkrement je nejmenší programovatelná a odměřitelná dráha, nejčastěji 0,01 mm či 0,001 mm. Z toho vyplývá, že tyto „skoky“ vytváří tzv. „schodovité“ čáry, které aproximují interpolační funkci (obrázek 2.14).<sup>15, 28</sup>



Obrázek 2.14 – způsob generování dráhy a) lineární<sup>15</sup> b) kruhové<sup>17</sup>

Lineární interpolace (obrázek 2.14 a) slouží k nalezení mezilehlých bodů úsečky po jednotlivých inkrementech. Úsečka je definovaná body  $X_A$ ,  $Y_A$  a  $X_B$ ,  $Y_B$ , přičemž do programové věty stačí zadat pouze koncové body, jelikož počáteční si program pamatuje a mezibody vyhodnotí interpolátor.

Kruhová interpolace (obrázek 2.14 b) pracuje na podobném způsobu jako lineární, avšak mezibody leží na kruhovém oblouku. Oblouk lze definovat dvěma body s jejich středem S a interpolačními parametry středu I, J, K od počátečního bodu (obrázek 2.15 a). Oblouk je též možno popsat dvěma body a obloukem R (obrázek 2.15 b), avšak pokud neleží S na spojnici bodů má zadání dvě řešení, kdy systém vybere oblouk s menším vrcholovým úhlem.<sup>15, 28</sup>



Obrázek 2.15 – způsob zadávání dráhy a) parametry<sup>28</sup> b) obloukem<sup>28</sup>



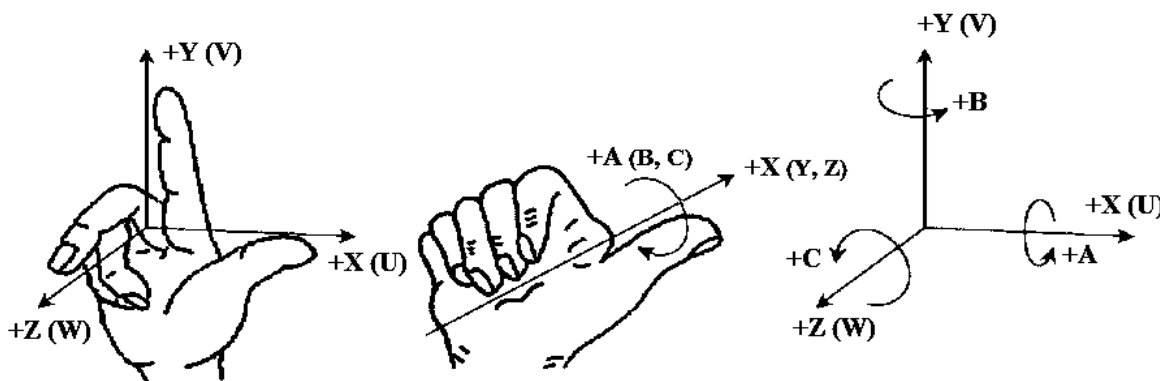
Technologické informace obsahují údaje o rychlosti posuvu, otáčkách vřetene či nástrojích, o jejich značení a umístění v případném zásobníku.<sup>29</sup>

Tyto informace jakož i ovládací povely jsou výhradně zpracovávány v zařízení zvaném přizpůsobovací logika.<sup>28</sup> Zařízení upravuje vztahy mezi řídicím systémem a konkrétním strojem tím, že řeší logické vztahy mezi povely a signály ze stroje. Výstupy z přizpůsobovací logiky ovládají vlastní mechanismy stroje jako spuštění vřetene (povel) při podmínce upnutí sklíčidla a uzavření krytů pracovního prostoru (signál ze stroje).<sup>15, 28</sup>

Pomocné informace zahrnují informace nutné k výrobě součásti. Příkladem takových informací je zapnutí či vypnutí řezných médií a otáček vřeten nebo konec programu. Ostatní informace zahrnují například čísla bloků nebo poznámky.<sup>29</sup>

### 2.2.2 Souřadný systém a vztažené body CNC stroje

Souřadný systém stanovuje počátek a orientaci os. Popis os jak v kartézských tak v polárních souřadnicích určuje ČSN ISO 841 a to pro návaznost os strojů od různých výrobců. Základní soustava pro stanovení os je pravoúhlá pravotočivá neboli systém "pravé ruky" (obrázek 2.16).<sup>15, 26, 27</sup>



Obrázek 2.16 – orientace os podle pravidla pravé ruky v kartézských souřadnicích<sup>15, 28</sup>

Kartézský souřadnicový systém je určen na sebe kolnými osami X, Y, Z, po nichž se pohybují nástroje. Pokud se obrobek pohybuje proti nástroji, osy se značí X', Y', Z'. Doplňkové paralelní osy těchto os se značí U, V, W. Rotační pohyb kolem os X, Y, Z definují osy A, B, C. Systém je zakotven pomocí osy Z, která náleží ose hlavního vřetene a osou X, jež musí být paralelní s upínací rovinou obrobku.

Orientaci os definuje pravidlo pravé ruky. Prsty ukazují kladný směr os a kladný smysl otáčení určují prsty "svírající osu" tehdy, když palec směřuje kladným směrem.

V souřadném systému je nutno definovat tzv. vztažené body, pomocí kterých se definuje vzájemná poloha obrobku a nástroje. Tyto body jsou rovněž určeny normou.<sup>15, 18, 26, 28</sup>

### 2.2.3 Druhy programování CNC strojů dle stupně automatizace

Programování lze dělit na online programování, kdy je prováděno přímo na CNC stroji a na offline, kdy se programuje mimo řídicí systém stroje. Dále je možno dělit druhy programování dle stupně automatizace výrobního procesu.<sup>25</sup>

#### **Ruční programování**

Je vhodné pro jednodušší, tvarově prosté součásti. Uplatnění nalézá i v renovačním provozu či při nedostatku výkresů ve formě CAD dat.<sup>25</sup>

- **Ruční programování v ISO kódu**

Nejjednodušší, avšak časově náročný, systém kompletování programu pomocí znalostí ISO kódu v jednoduchém textovém editoru.<sup>25</sup>

#### **Programování pomocí softwarů**

Používán už není pouhý textový editor, nýbrž software, do kterého se již nezadáva ISO kód, ale specifické instrukce, pomocí kterých software vygeneruje znění programu.<sup>25</sup>

- **Programování v interaktivním prostředí pomocí dialogového kódu**

Program je vytvářen pomocí dialogů a grafických ztvárnění obsažených v tabulkách. Systém tvorby je stručnější a přehlednější než ruční tvorba ISO kódu.<sup>25</sup>

- **Dílensky orientované programování**

WOP umožňuje programování přímo v řídicím systému CNC stroje. Na ovládacím panelu s grafickou podporou se zadávají geometrické a technologické informace jednotlivých elementárních tvarů.<sup>25</sup>

- **Programování pomocí CAD/CAM systémů**

Systémy zefektivňují programovací časy a nahrazují ruční programování složitých součástí. Programování se sestává z dílčích etap. Konstrukční příprava je první fáze, při níž se vytvoří 2D výkres a 3D model součásti a polotovaru. Dále následuje technologická a plánovací příprava, při které jsou do programu zapsány materiály, řezné podmínky, nástroje atd., aby mohla být provedena kontrolní etapa, při níž jsou provedeny simulace a kolizní kontrola. Po kontrole jsou CL data CAD/CAM systému převedena do NC programu a následuje výroba.<sup>25</sup>

## 2.2.4 Způsoby programování CNC strojů dle způsobu zadávání souřadnic

Řada geometrických elementů je na výkresech kótována v kartézském souřadném systému, pokud je však geometrický útvar vytyčen pomocí úhlu a vzdáleností od středu, tedy v polárních souřadnicích, lze přejít v části programu do programování v polárních souřadnicích.<sup>28</sup> Programování se dělí dle definování souřadnic pro popsání dráhy nástroje.<sup>29</sup>

**Absolutní programování** – je realizováno tzv. kótováním od základny, kde základna je nulový bod obrobku W. Všechny programované body se vztahují k nulovému bodu. Pohyb by se dal definovat jako příkaz nástroji "jed' NA polohu".<sup>15, 27, 29</sup>

**Přírůstkové programování** – je tvořeno rozměrovými inkrementy, tzv. řetězcovým kótováním, kde se všechny programované body vztahují k poslednímu programem definovanému bodu, který je aktuálně považován za bod nulový. Pohyb by mohl být formulován jako příkaz nástroji "jed' O vzdálenost".<sup>15, 27, 29</sup>

## 2.2.5 Pomocné způsoby programování CNC strojů

V podkapitole jsou probrány některé z pomocných způsobů programování CNC strojů.

### Korekce nástrojů

Korekce zamezuje vzniku odchylek mezi programovanou trajektorií a konturou obrobku a umožňuje programovat body kontury bez ohledu na skutečné rozměry nástroje. Poloha nástroje je určena polohou nosiče nástroje, která je vztažena k bodu T, který opisuje ekvidistantu kontury obrobku. Ekvidistanty při aktivní korekci interpolátor generuje automaticky. Korekce nástroje je superpozicí jeho absolutních rozměrů a změn rozměrových hodnot v důsledku opotřebení a slučuje se z délkové korekce vztažené k bodu T a rádiusové korekce, jež např. zahrnuje rádius špičky nástroje.<sup>14, 28, 29</sup>

### Parametrické programování

Tento způsob programování zobecňuje a zjednodušuje program. Princip spočívá v zapsání významové části slova věty programu pomocí parametru, jež se konkretizuje individuálně. Lze tak programy, obráběcí cykly a podprogramy modifikovat pro geometricky příbuzné součásti podobných rozměrů, vrtání různé kvantity děr na roztečné kružnici, obrábění matematicky definovaných křivek (parabola, elipsa), atd.. Pomocí parametru lze zapsat i matematickou rovnici či funkci.<sup>26, 27, 28</sup>

## Obráběcí cykly

Obráběcí cyklus je podprogram (makro) o daném algoritmu, jež simplifikuje a zestručňuje program. U cyklů je nutno pouze zadat vstupní hodnoty a systém automaticky vygeneruje trajektorie drah nutných k provedení úkonu. Příklady cyklů jsou podélné hrubovací, zapichovací, vyvrtávací, závitovací, frézování drážek a další.<sup>28, 29</sup>

## Konturové programování

Při programování kontury obrobku pomocí interpolací je nutno znát body styku křivek. Potíže mohou nastat, když výkres není zcela zakótován nebo když úsečky obrysů nejsou rovnoběžné se souřadným systémem či oblouky netvoří celé kvadranty, např. tečná spojení, sražení, zaoblení apod. Konturové programování umožňuje zadáváním různých zjednodušených spojení geometrických elementů a jejich parametrů obsažených ve výkrese, vygenerovat požadované souřadnice průsečíků a zanést je do programu.<sup>14, 27, 28</sup>

### 2.2.6 Druhy řízení dráhy

Druhy řízení dráhy je možno rozdělit dle složitosti pracovních cyklů na řídicí systémy:

#### a) Řídicí systémy s přetržitým řízením

Mezi pohyby v osách souřadného systému neexistuje funkční závislost.<sup>15</sup>

**Systém stavění souřadnic** – Nástroj není veden lineární či kruhovou interpolací, ale rychloposuvem nejprve v první a pak druhé ose či jejich sloučeným pohybem pod úhlem 45° než dosáhne první osa naprogramované hodnoty. Systém např. pro vyvrtávací stroje.<sup>15, 29</sup>

**Systémy s pravoúhlým řízením** – Nástroj je během obrábění veden paralelně se souřadným systémem, avšak pouze v jedné ose. Umožňuje obrábět na sebe kolmé plochy a soustružit válcové plochy. Systém lze použít i u lisů.<sup>15, 29</sup>

#### b) Řídicí systémy se souvislým řízením

Tyto systémy se využívají pro realizaci ploch ohraničených prostorovými, rovinnými nebo libovolnými křivkami. Mezi počátečním a koncovým bodem obecných křivek existují funkční závislosti, které zpracovává interpolátor. Systémy dále umožňují korekci geometrie pohybu nástroje. Řídicí systémy dělíme dle počtu možností současného řízení os. Podle počtu současně řízených os se systémy dělí na 2D, 2.5D, 3D, 4D, 5D.<sup>15, 29</sup>

### **3 Návrh nové technologie pro vybranou součást**

Prvním krokem při návrhu nové technologie bylo zvolit formu polotovaru. Na základě ekonomičnosti k materiálu, časů nutných k obrobení polotovaru a finančních nákladů, bylo rozhodnuto o externí výrobě polotovaru ve formě výkovku firmou UNEX a.s. (obrázek 3.1 a obrázek 3.2). Dalším bodem návrhu technologie byla volba stroje. Pro stroj byl následně zvolen technologický postup obráběcích operací s vhodně zvolenými reznými podmínkami. Správnost výsledné technologie byla podložena měřením.

Obrázek 3.1 – výkovek ENAB – první strana    Obrázek 3.2 – výkovek ENAB – druhá strana

#### **3.1 Volba stroje**

S ohledem na minimalizaci nákladů na výrobu součásti byl nejprve CNC stroj vybírán ze strojů, které již firma vlastní, aby byly nejefektivněji sníženy náklady na výrobu součásti. Při výběru stroje byly zohledněny parametry z podkapitoly 2.1 CNC obráběcí stroje a jejich konstrukce.

##### **3.1.1 CTX beta 800 linear**

Pro výrobu součásti byl vybrán stroj CTX beta 800 linear (obrázek 3.3) od výrobce DMG MORI Czech, s.r.o., který již firma vlastní.

Jedná se o multifunkční CNC soustruh s revolverovou hlavou. Revolverová hlava je vybavena 12 poháněnými nástroji s přímým pohonem Direct Drive (obrázek 3.4). Tento počet pozic nástrojů je téměř dostačující pro úplné obrobení součásti aniž by byla nutná mezivýměna nástrojů během obráběcího procesu. Tento fakt může výrazně snížit výrobní čas součásti, jelikož pro velkou hmotnost a rozměry držáků nástrojů s upínacími stopkami VDI není možná automatická výměna nástrojů.

Přímý pohon Direct Drive umožňuje dosáhnout otáček  $n$  až  $10\,000\text{ min}^{-1}$  při výkonu  $P$  14,2 kW a při krouticím momentu  $M_k$  34 Nm s upínacími stopkami VDI 40. Na všech dvanácti pozicích je rovněž použito upínání nástrojů TRIFIX®. Upínací rozhraní TRIFIX® umožňuje velice přesné a bezpečné upnutí nástroje, přičemž se přípravné časy seřízení nástroje snižují až o 80%. Nástroj lze nastavit za méně než 30 vteřin při přesnosti polohování  $6\ \mu\text{m}$  u držáku určeného pro jednu polohu v revolverové hlavě. U výměny držáku mezi jednotlivými polohami je přesnost polohování nástroje  $10\ \mu\text{m}$ . Lze také použít velké nástroje s převodovkou s převodovým poměrem až 4:1. <sup>1, 2, 4, 5, 10</sup>



Obrázek 3.3 – CTX beta 800 linear <sup>1</sup>

Revolverová hlava je uložena na Y ose. Osa Y je určena pro excentrické komplexní obrábění složitých součástí jako například frézování mimo osu obrobku nebo jako v případě výroby součástí ENAB vrtání vyosených děr. Tuhosti pojezdu je docíleno pomocí konstrukce klínového kluzáku. S revolverovou hlavou lze na ose Y manipulovat o  $\pm 60\text{ mm}$ . Rychlost posuvu dosahuje při rychloposuvu  $22,5\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

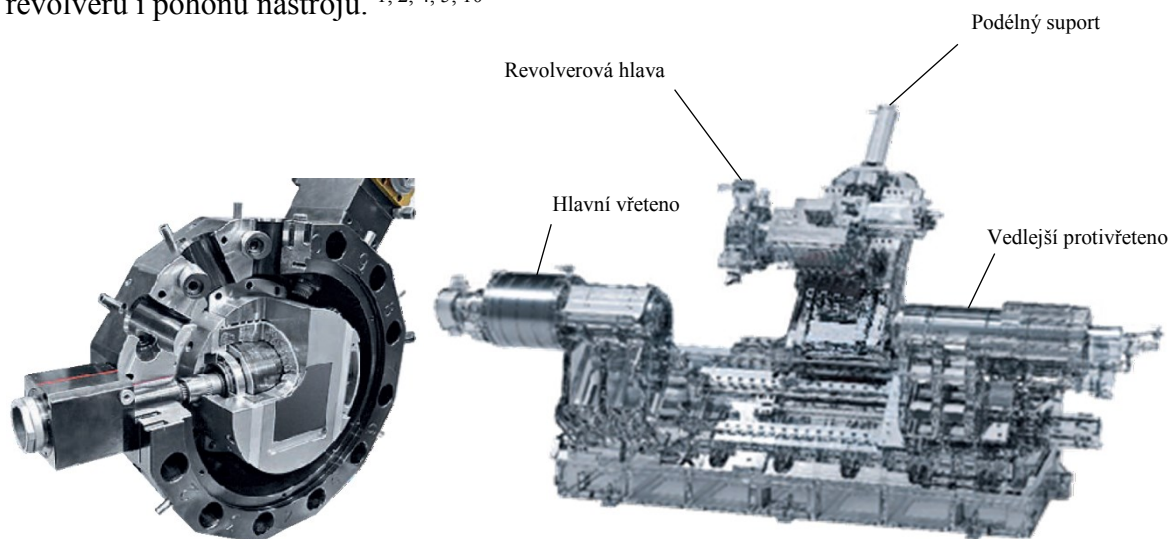
Hlavní vřeteno je doplněno o protivřeteno (obr. 3.5), které výrazně zvýší přesnost a sníží čas při upínání, kdy k přepnutí součásti dojde při otáčení obou vřeten. Maximální otáčky  $n$  obou vřeten jsou  $5000\text{ min}^{-1}$  při výkonu  $P$  34 kW a při momentu  $M_k$  380 Nm.

Pro pohon suportu a protivřetene v ose X je využíván bezúdržbový lineární pohon bez mechanické převodovky, avšak s mechanickým oddělením, které zabraňuje poškození při kolizi. Rychlost posuvu v ose X může být až  $60\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  se zrychlením  $1\text{ g}$ .

Absolutní odměřování délkových rozměrů a úhlů je prováděno pomocí magnetických systémů, které jsou vhodné pro snímání při rychlostech až  $200\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .



Stroj si zachovává velkou termickou stabilitu do 10  $\mu\text{m}$  a to především díky vodou chlazeným integrovaným vřetenovým motorům a dále díky integrovanému chlazení disku revolveru i pohonu nástrojů. <sup>1, 2, 4, 5, 10</sup>



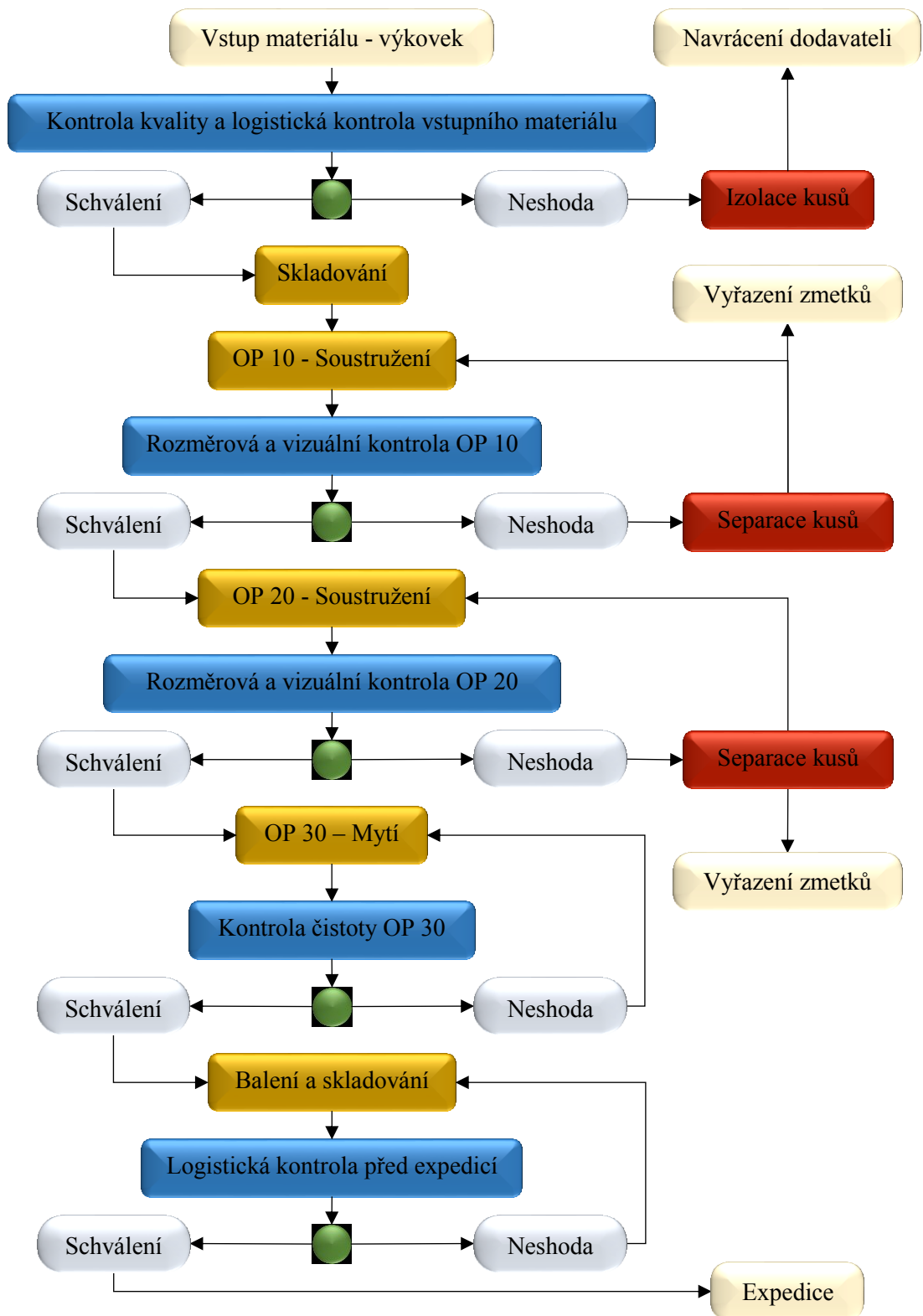
Obrázek 3.4 – řez revolverovou hlavou  
s pohonem Direct Drive <sup>1</sup>

Obrázek 3.5 – řez strojem  
CTX beta 800 linear <sup>1</sup>

Programování je zajištěno systémem CELOS<sup>®</sup> s řízením Siemens se Shop Turn 3G. Intelligence systému programování CNC stroje je kompletním know-how společnosti DMG MORI. Programovat lze standardně pomocí klávesnice, avšak programovat a spravovat zařízení je také možno přes dotykovou obrazovku. Ovládání probíhá podobně jako na chytrém telefonu, kde je uživateli k dispozici několik aplikací, přes které probíhá ovládání nebo organizace stroje. Systém například umožňuje 3D vizualizaci procesu obrábění v reálném čase. Další předností systému je jedinečné propojení všech strojů a počítačů, díky čemuž systém CELOS<sup>®</sup> vytváří jedinečnou platformu pro kompletně digitalizovanou výrobu a snižuje tak přípravné časy výroby až o 30%. Systém CELOS<sup>®</sup> nabízí například jednotnou správu, dokumentaci a vizualizaci dat zakázek, procesů a strojů. Technologie Shop Turn 3G umožňuje širší spektrum technologických operací než u běžného soustružení. Jedná se zejména o zapichování, tvarové frézování nebo soustružení kontur. Technologii Shop Turn 3G lze ocenit především u náročných technologických cyklů, například při soustružení nerotačních součástí, používání speciálních nástrojů, odměřování během procesu a obrábění tvarově složitých polygonů. <sup>3, 5, 6, 7, 10</sup>

### 3.2 Návrh celkového výrobního procesu <sup>10</sup>

V této podkapitole je řešen celkový pohled na výrobní proces součásti ENAB a to od vstupu výkovku do samotného výrobního procesu až po expedici hotové součásti.



Obrázek 3.6 – schéma celkového výrobního procesu



Obrázek 3.7 – legenda schématu

### 3.3 Návrh výrobního postupu obrábění součásti

V kapitole jsou probrány a graficky znázorněny klíčové úseky technologických operací. Pro grafické znázornění byly zhotoveny snímky simulace obrábění z ovládacího panelu CTX beta 800 linear. Zelené křivky reprezentují pracovní posuvy nástrojů a červené charakterizují příjezdy a odjezdy stroje provedené rychloposuvem.

Ačkoliv stroj disponuje možností použití protivřetene, pro velký počet operací a nástrojů nutných k zhotovení součásti, nebylo možno použít protivřeteno. Součást je tedy nutno obrobit po určitých výrobních dávkách jednotlivě z každé strany.

#### 3.3.1 OP 10 – Obrábění první strany

Při obrábění první strany je proveden největší počet operací, kde v první fázi je součást převážně hrubována. Dokončován je pouze podpich a průměr pod vložkou. Program je následně automaticky pozastaven a vložka je ručně naražena.

Obrázek 3.8 – 2D a 3D pohled po ukončení první fáze

Po naražení vložky je program spuštěn a je tak započata druhá fáze, při které je součást z první strany kompletně doobrobena, kromě šikmých děr o  $\varnothing$  5 mm.

Obrázek 3.9 – 2D a 3D pohled po dokončení operace OP 10

### 3.3.2 OP 20 – Obrábění druhé strany

Po dokončení první strany je nutno na stroji vyměnit čelisti univerzální za speciální, určené pro obrobený průměr a nastavit v řídicím systému stroje druhou část CNC programu.

Při obrábění druhé strany je již součást hrubována a dokončována, aniž by byl chod stroje přerušen.

Obrázek 3.10 – 2D a 3D pohled po dokončení OP 20

Výrobní postup pro zhotovení součásti z obou stran (obrázek 3.4) obsahuje vcelku 27 technologických segmentů, které jsou rozděleny na dílčí operace. Rozpis jednotlivých obráběných segmentů, včetně jejich individuálních operací, je k dispozici k nahlédnutí v tabulkách 5.3 – 5.5 v kapitole 5 Technicko-ekonomické zhodnocení.

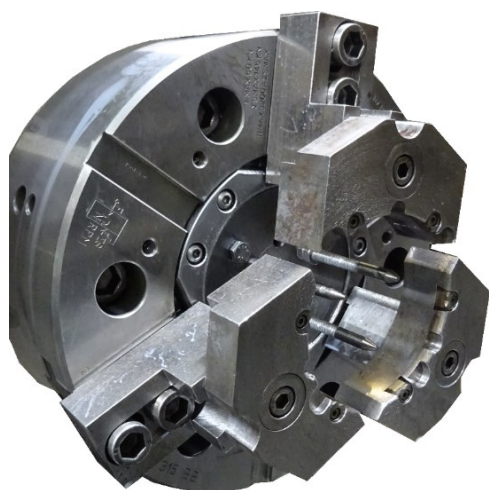
Obrázek 3.11 – vymodelovaný 3D pohled na hotový výrobek z obou stran

### 3.4 Volba obráběcích a doplňkových nástrojů a přípravků

Volba proběhla v závislosti na tvaru a materiálu výkovku dle ČSN EN 10027-1 s primárním ohledem na obsah C % s tepelnou úpravou žiháním.<sup>12</sup> Dále o výběru nástrojů rozhodly tvarové a rozměrové parametry součásti a druh operace, při které byla zohledněna i eventuální hloubka třísky, aby nebyla překročena maximální délka aktivního ostří  $l_a$ .

#### Upínací čelisti

Jelikož při obrábění není použito protivřetenno z důvodu velkého počtu nástrojů nutných k obrobení součásti, je nutno výkovky v první fázi upínat do univerzálních čelistí (obrázek 3.12). V univerzálních čelistech je poloha výkovku zajištěna šroubovými dorazy a vyvinutým tlakem čelistí  $p = 15$  bar. Pro dokončení z druhé strany je nutno vyměnit univerzální čelisti za speciálně vyrobené. Ty slouží k upnutí součásti za obrobený povrch (obrázek 3.13), kde je již poloha zajištěna samotnými čelistmi a daným tlakem  $p = 9$  bar.



Obrázek 3.12 – univerzální čelisti pro neobrobený povrch



Obrázek 3.13 – speciální čelisti pro obrobený povrch

#### Lisovací čep

Speciálně vyrobený čep (obrázek 3.14) slouží k ručnímu naražení vložky (obrázek 3.15). Naražení vložky probíhá během automatického pozastavení programu při OP 10.35.

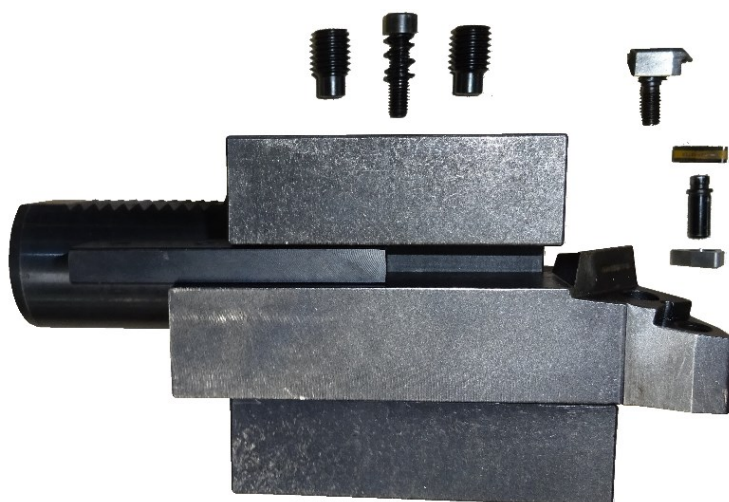
Obrázek 3.14 – lisovací čep ENAB

Obrázek 3.15 – model vložky ENAB

### Soustružnický nůž hrubovací (T12-I)

Nůž je využit k hrubování čel a průměrů. Nožový držák MWLNL 2525 M08 519102 s destičkou ISCAR WNMG 080408-M3P jakosti IC 8150 je upnut v držáku BISON C2-40x25 1133-40L.

Označení v revolverové hlavě: T12 Použití u operace: OP 10.05, 20.05



Parametry destičky<sup>30</sup>



WNMG 080408-M3P  
IC 8150

$v_c$	=	240 – 380
$f$	=	0,15 – 0,50
$a_p$	=	0,50 – 4,00

Obrázek 3.16 – sestava hrubovacího nože – T12-I

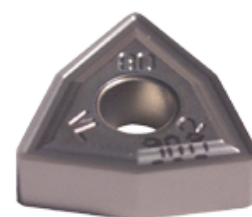
### Soustružnický nůž dokončovací (T11-I)

Nůž je použit k dokončování vnějších průměrů a čel. Nožový držák ISCAR MWLNL 2525 M-06W s destičkou ISCAR WNMG 3-2-VL jakosti IC908 je upnut v držáku BISON C2-40x25 1133-40L.

Označení v revolverové hlavě: T11 Použití u operace: OP 10.40, 20.15



Parametry destičky<sup>30</sup>



WNMG 3-2-VL  
IC908

$v_c$	=	296 – 492
$f$	=	0,027 – 0,098
$a_p$	=	0,20 – 1,18

Obrázek 3.17 – sestava dokončovacího nože – T11-I



### Soustružnický nůž pro podpich a odlehčení (T10-I)

Nůž je užit k vytvoření podpichu DIN a odlehčení na  $\emptyset$ . Nožový držák ISCAR SVXCL 2525M-16 s destičkou ISCAR VCMT 160404-SM jakosti IC8250 je upnut v držáku BISON C1-40x25 1133-40P.

Označení v revolverové hlavě: T10 Použití u operace: OP 10.10, 20.25



Obrázek 3.18 – sestava nože pro podpich a odlehčení – T10-I

### Soustružnický zapichovací nůž (T1-I)

Nůž je využit k tvorbě zápichu na  $\emptyset$ . Nožový držák ISCAR GHDL 25-3 s destičkou ISCAR GIP 2,39-0,15 jakosti IC 808 je upnut v držáku DIN 69880 C2-40\*25.

Označení v revolverové hlavě: T1 Použití u operace: OP 10.45

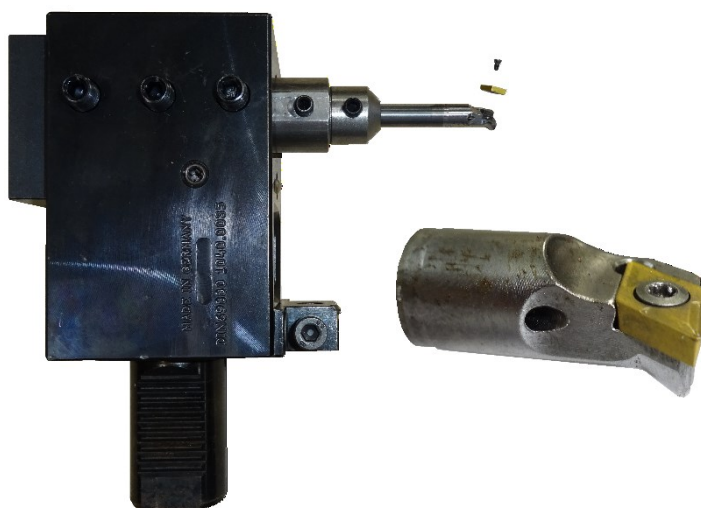


Obrázek 3.19 – sestava zapichovacího nože – T1-I

### Soustružnický nůž vnitřní (T4-I)

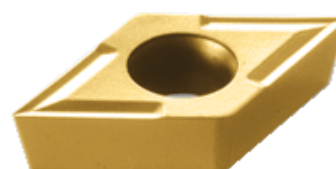
Nůž je použit k předdokončování a k dokončování vnitřních průměrů. Nožový držák ISCAR E10M SDUCL-07 s destičkou ISCAR DCMT 2-1 jakosti IC 520N je upnut ve speciálně vyrobeném prodloužení a v držáku DIN 69880 1040.0035.

Označení v revolverové hlavě: T4 Použití u operace: OP 10.30, 10.50, 20.20



Obrázek 3.20 – sestava vnitřního nože – T4-I  
s detailem nože

Parametry destičky<sup>30</sup>



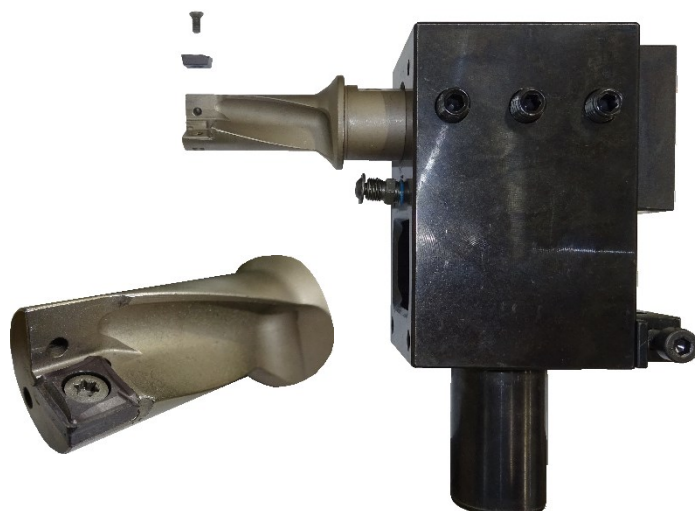
DCMT 2-1  
IC520N

$v_c$	=	722 – 1247
$f$	=	0,031 – 0,087
$a_p$	=	0,20 – 0,79

### Osový vrták D25 (T3-I)

Osový vrták D25 hrubuje  $\varnothing$  a k němu přilehlé zkosení  $^\circ$ . Nožový držák ISCAR DR-MF-25R-2.25D-32A-13 s destičkou ISCAR XCMT 130408-MF jakosti IC 908 je upnut v držáku DIN 69880 1040.0035.

Označení v revolverové hlavě: T3 Použití u operace: OP 10.20



Obrázek 3.21 – sestava osového vrtáku D25 – T3-I  
s detailem nože

Parametry destičky<sup>30</sup>



XCMT 130408-MF  
IC 908

$v_c$	=	90 – 160
$f$	=	0,03 – 0,15
$a_p$	=	0,6 – 4,3

### Osový vrták D15 (T5-I)

Osový vrták D15 dovrtává dno  $\emptyset$  a hrubuje vnitřní  $\emptyset$ . Nožový držák ISCAR DR-MF-16R-2.25D-20A-08 s destičkou XCMT 080304-MF jakosti IC 908 je upnut v držáku EWS 17.4040 CTX přes vložku BISON 1247-40-20.

Označení v revolverové hlavě: T5 Použití u operace: OP 10.25, 20.10



Parametry destičky<sup>30</sup>



XCMT 080304-MF  
IC 908

$v_c$	=	90 – 160
$f$	=	0,05 – 0,24
$a_p$	=	0,3 – 3,5

Obrázek 3.22 – sestava osového vrtáku D15 – T5-I  
s detailem vrtáku

### Korunkový vrták D16,1 (T8-I)

Vrták je využit k předvrtání  $\emptyset$ . Tělo vrtáku ISCAR DCN 160-048-20A-30 s vrtnou korunkou ISCAR ICP 0634 jakosti IC 908 je upnut v držáku EWS 17.4040 CTX přes vložku BISON 1247-40-20.

Označení v revolverové hlavě: T8 Použití u operace: OP 10.15



Parametry korunky<sup>30</sup>



ICP 0634  
IC 908

$v_c$	=	260 – 430
$f$	=	0,12 – 0,20

Obrázek 3.23 – sestava korunkového vrtáku D16,1 – T8-I  
s detailem vrtáku

### Vrták D5 – L82 (T2-II)

Karbidový vrták s vnitřním přívodem řezného média GUEHRING 2479 5,0 K/P RT 100 U délky 82 mm, s užitím pro vrтанé hloubky ideálně 5 x D je použit k předvrtání šikmých děr  $\varnothing 5$ . Vrták je upnut v držáku 63.4025 CTXIK pomocí kleštiny pro  $\varnothing 5 - 6$ .

Označení v revolverové hlavě: T2 Použití u operace: OP 20.40



Parametry vrtáku<sup>33</sup>

$$v_c = 60 - 145$$

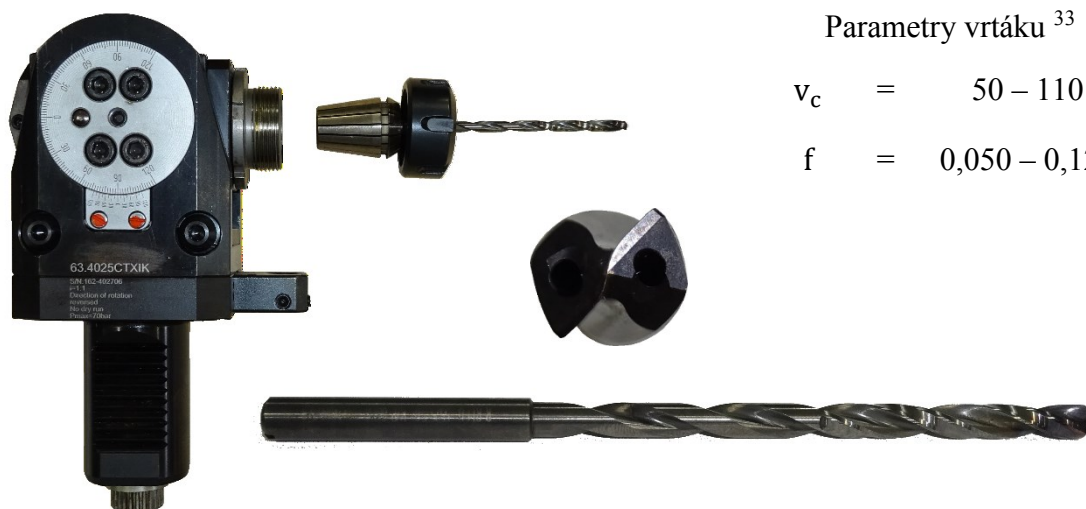
$$f = 0,063 - 0,160$$

Obrázek 3.24 – sestava vrtáku D5 – L82 – T2-II s detailem vrtáku

### Vrták D5 – L116 (T9-II)

Karbidový vrták s vnitřním přívodem řezného média GUEHRING 5525 5,0 K/P RT 100 U délky 116 mm, s užitím pro vrтанé hloubky větší jak 12 x D je použit k dovrstvení šikmých děr  $\varnothing 5$ . Vrták je upnut v držáku 63.4025 CTXIK pomocí kleštiny pro  $\varnothing 5 - 6$ .

Označení v revolverové hlavě: T9 Použití u operace: OP 20.45



Parametry vrtáku<sup>33</sup>

$$v_c = 50 - 110$$

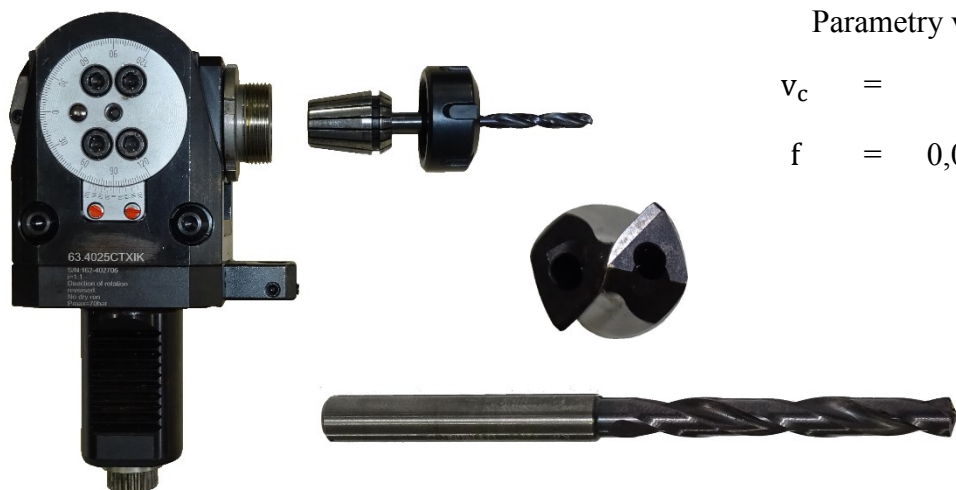
$$f = 0,050 - 0,125$$

Obrázek 3.25 – sestava vrtáku D5 – L116 – T9-II s detailem vrtáku

### Vrták D6 – L90 (T2-I)

Karbidový vrták s vnitřním přívodem řezného média GUEHRING 4044 6,0 K/P RT 100 U délky 90 mm, s užitím pro vrtané hloubky ideálně 7 x D je použit k vrtání šikmých děr  $\varnothing 6$ . Vrták je upnut v držáku 63.4025 CTXIK pomocí kleštiny pro  $\varnothing 5 - 6$ .

Označení v revolverové hlavě: T2 Použití u operace: OP 10.70



Parametry vrtáku<sup>33</sup>

$$v_c = 60 - 145$$

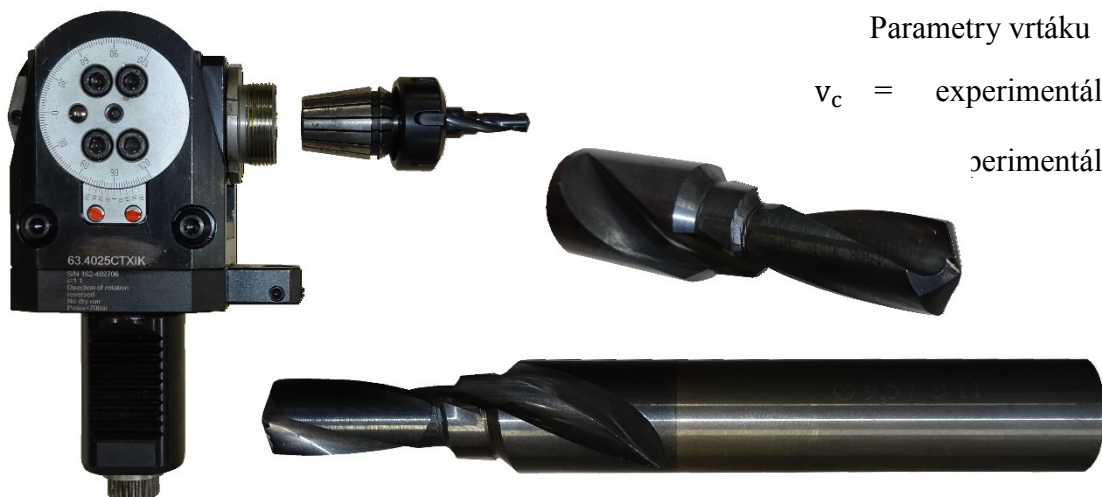
$$f = 0,050 - 0,125$$

Obrázek 3.26 – sestava vrtáku D6 – L90 – T2-I s detailem vrtáku

### Vrták D9,5 – D11 (T6-I)

Tento speciálně broušený vrták firmou Kalenast, s.r.o. je použit k vrtání děr pro závity. Vrták je upnut v držáku 63.4025 CTXIK pomocí kleštiny pro  $\varnothing 13 - 14$ .

Označení v revolverové hlavě: T6 Použití u operace: OP 10.60, 20.30



Parametry vrtáku

$$v_c = \text{experimentálně}$$

$$f = \text{experimentálně}$$

Obrázek 3.27 – sestava vrtáku D9,5 – D11– T6-I s detailem vrtáku



## Závítník tvářecí (T7-I)

Tvářecí závítník GUEHRING 1275 M10x1 6HX HSS-E DIN 2174 s povlakem TiN je využit k výrobě závitů a je upnut v držáku 63.4025 CTXIK pomocí kleštiny pro  $\varnothing$  10.

Označení v revolverové hlavě: T7 Použití u operace: OP 10.65, 20.35



Obrázek 3.28 – sestava tvářecího závítníku – T7-I s detailem závítníku

## Válečkovací nástroj (T9-I)

Válečkovací nástroj BAUDLIES® Rollier Technologie AG  $\varnothing$  No 1526897 s vnitřním přívodem média je určen k dokončení  $\varnothing$  . Válečkovací nástroj je upnut v držáku DIN 69880 1040.0035 přes vložku BISON 1246-32-25 a je unášen rotací obrobku.

Označení v revolverové hlavě: T9 Použití u operace: OP 10.55



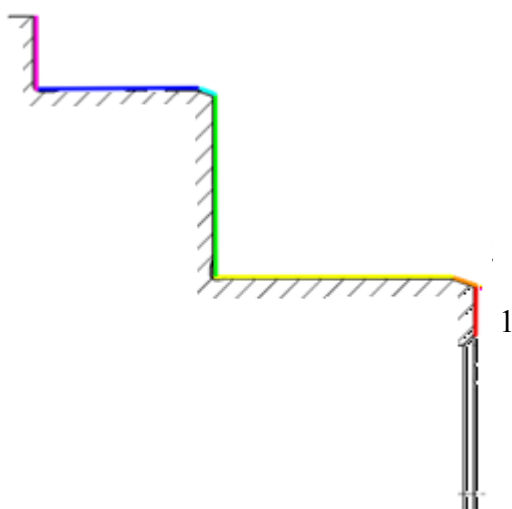
Obrázek 3.29 – sestava válečkovacího nástroje – T9-I s detailem válečkovacího nástroje



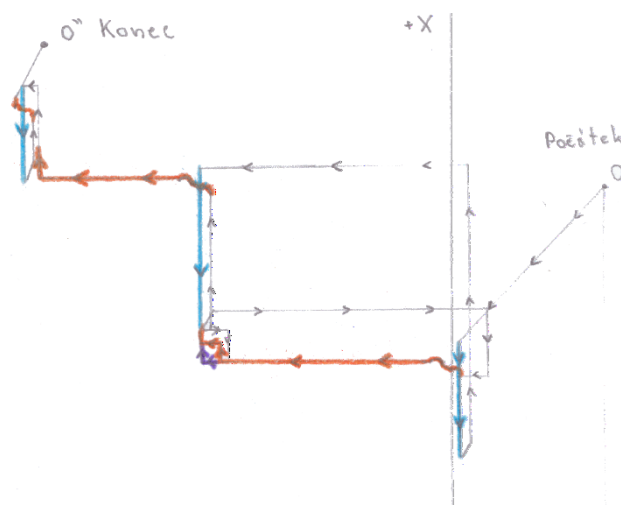
### 3.5 Volba řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40

Při volbě řezných podmínek bylo nejprve pohlíženo na teoretické znalosti a na doporučení výrobců k jednotlivým nástrojům, avšak pro konečné hodnoty byly teoretické řezné podmínky upravovány z provozních důvodů. Například kvůli vyložení nástrojů, vzniku chvění při obrábění či nepříznivé jakosti obrobeneé plochy.

U OP 10.5 a OP.40 je však noži T12-I a T11-I obráběno více ploch (obrázek 3.30) a bylo tedy nutno stanovit teoretické řezné podmínky pro jednotlivé plochy. Na obrázku 3.31 je znázorněna trajektorie nože během OP 10. Při OP 40 je však užit jiný postup.



Obrázek 3.30 – obráběné plochy u OP 10.5 a OP10.40



Obrázek 3.31 – postup obrábění ploch u OP 10.5

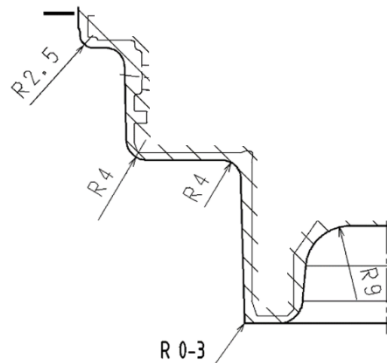
Teoretické řezné podmínky byly voleny na základě rozměrů součásti a jejich rozměrových a geometrických tolerancí (viz tabulka 3.1). Při volbě podmínek bylo zároveň přihlédnuto k doporučení, aby nebyla při záběru překročena maximální délka aktivního ostří.

Tabulka 3.1 – rozměrové a geometrické tolerance ploch u OP 10.5

Požadavek	Plocha																						
	1	2	3	4	5	6	7																
$R_z$	10	-	10		-		-																
$P_t$	-	10	-	-		-	-																
Geometrické	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td><math>\nabla</math></td><td>0.03</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td><math>\square</math></td><td>0.03</td><td></td><td></td></tr> </table>	$\nabla$	0.03	A	B	$\square$	0.03			-	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td><math>\nabla</math></td><td>0.05</td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td><math>\nabla</math></td><td>0.05</td><td></td><td></td></tr> </table>	$\nabla$	0.05	A	B	$\nabla$	0.05				-		
$\nabla$	0.03	A	B																				
$\square$	0.03																						
$\nabla$	0.05	A	B																				
$\nabla$	0.05																						

### 3.5.1 Volba teoretických řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40

Pro volbu podmínek byla nejprve stanovena hloubka záběru. Hodnota  $a_p$  byla stanovena z přídávku na obrábění 1,5 mm, z vnějších úkosů 1,5° a z hodnot zaoblení  $R$  (viz obrázek 3.32). Hodnota  $a_p$  pro hrubování byla korigována tak, aby hodnota  $a_p$  pro obrábění na čisto byla 0,4 mm. Pro hrubování nabývají hodnoty  $a_p \geq 1,1$  mm díky zkosením či zaoblením. Při hrubování je přídavek odebrán na jeden přejezd nástroje, avšak u zaoblení na  $\emptyset$  je materiál odebrán na dvakrát (viz obrázek 3.31). Při takto zvolených parametrech vyhovují obě VBD při záběru na velikost maximální aktivní délky ostří  $l_a$ .<sup>34</sup>



Obrázek 3.32 – detail výkresu výkovku pro OP 10.5<sup>10</sup>

Posuv nástroje pro hrubování byl volen na základě doporučených hodnot posuvů (viz tabulka 3.2) vzhledem k poloměru špičky VBD. Pro obrábění na čisto byl posuv volen s ohledem na požadovanou jakost obrobenej plochy (viz vztah 3.1). Pro posuv byla též zohledněna podmínka součinnosti  $r_\epsilon$  a  $f$ , kde pro hrubování  $f \approx 1/2 r_\epsilon$  a pro obrábění na čisto  $f_{\max} = 1/3 r_\epsilon$ .<sup>34</sup>

Tabulka 3.2 – doporučené hodnoty posuvů pro nejběžnější poloměry špiček VBD<sup>34</sup>

$r_\epsilon$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
$f$	0,12 – 0,25	0,25 – 0,5	0,36 – 0,7	0,5 – 1,0	0,7 – 1,6

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 \rightarrow f = \sqrt{\frac{R_t \cdot 8 \cdot r_\epsilon}{1000}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 8 \cdot 0,31}{1000}} = 0,15 \text{ mm} \quad (3.1)^{34}$$

kde  $R_t$  je maximální teoretická výška nerovností obráběného povrchu a ve vzorci je

hodnota přibližně určena jako  $R_t \approx R_z$

$r_\epsilon$  pro VBD ISCAR WNMG 080408 – M3P jakosti IC 8150 je 0,8 mm<sup>30</sup>

$r_\epsilon$  pro VBD ISCAR WNMG 3-2-VL jakosti IC908 je 0,31 mm<sup>30</sup>

Řezná rychlost byla volena dle doporučení výrobce k jednotlivým břitovým destičkám a to s ohledem na obráběný materiál. Řezná rychlost je řízena pomocí funkce G96 s parametrem S udávajícím její velikost.

Při použití funkce G96 bylo však nutno zkontrolovat rozsah otáček vřetene při použití zvolené  $v_c$  pro nejmenší a největší obráběný průměr, vyjádřením otáček  $n$  ze vztahu 3.2 a to s ohledem na maximální otáčky hlavního vřetene a otáčky pohonu nástrojů.

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \rightarrow n_{max/min} = \frac{v_c \cdot 1000}{D_{min/max} \cdot \pi} = \text{min}^{-1} \quad (3.2^{34})$$

### 3.5.2 Volba skutečných řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40

Pro určení skutečných řezných podmínek byly výchozí teoretické řezné podmínky, které byly následně upravovány z provozních důvodů a jsou zaznamenány společně se skutečnými řeznými podmínkami v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 – teoretické a skutečné řezné podmínky pro OP 10.5 a OP10.40

		Parametry	Operace	
			Hrubování - OP 10.5	Dokončování - OP 10.40
Teoretické řezné podmínky	Odvozené podmínky	$a_p$	$\geq 1,1$	0,4
		$f$	0,45	0,12
		$v_c$	-	-
	Podmínky výrobce	$a_p$	0,50 – 4,00	0,20 – 1,18
		$f$	0,15 – 0,50	0,027 – 0,098
		$v_c$	240 – 380	296 – 492
	Zvolené teoretické podmínky	$a_p$	$\geq 1,1$	0,4
		$f$	0,45	0,09
		$v_c$	310	390
		$n$	789 – 2819	993 – 3546
	Skutečné řezné podmínky	$a_p$	$\geq 1,1$	0,4
		$f$	0,25	0,09
$v_c$		250	330	
$n$		636 – 2273	840 – 3001	

### 3.6 Volba řezných podmínek pro celou součást

Řezné podmínky pro všechny operace byly voleny obdobně jako v podkapitole 3.5 Volba řezných podmínek pro OP 10.5 a OP 10.40. Volba podmínek pro vnitřní soustružení byla shodná s podkapitolou 3.5, avšak s větší pozorností na vyložení nástrojů. Pro vrtání byly podmínky voleny na základě odlišného řešení.

Tabulka 3.4 – skutečné řezné podmínky pro obrábění součásti ENAB

		Parametry			
		$a_p$	$f$	$v_c$	$n$
Operace	OP 10.5	$\geq 1,1$	0,25	250	636 – 2273
	OP 10.10	0,63 – 2,30	0,05 – 0,10	240	736 – 1404
	OP 10.15	8,05	0,12	100	1997
	OP 10.20	0,42 – 1,95	0,15	120	938 – 2372
	OP 10.25	0,20 – 1,85	0,05 – 0,2	130	2089 – 2586
	OP 10.30	0,146	0,04	90	1508
	OP 10.40	0,4	0,09	330	840 – 3001
	OP 10.45	0,05 – 2,39	0,08	150	463 – 487
	OP 10.50	0,1 – 0,2	0,04 – 0,09	170	1424 – 3340
	OP 10.55	0,02	0,15	73	1420
	OP 10.60	0,75 – 4,75	0,06	90 – 104	3000
	OP 10.65	0,25	1	7,8	250
	OP 10.70	3	0,05	66	3500
	OP 20.05	$\geq 1,1$	0,25	250	636 – 3617
	OP 20.10	1,4	0,2	130	1702 – 1898
	OP 20.15	0,4	0,09	300	763 – 4340
	OP 20.20	0,1	0,05	170	2164 – 2760
	OP 20.25	0,3	0,05	240	2182
	OP 20.30	0,75 – 4,75	0,06	90 – 104	3000
	OP 20.35	0,25	1	7,8	250
OP 20.40	2,5	0,01	63	4013	
OP 20.45	2,5	0,015	63	4013	

### 3.7 Tvorba CNC programu

Program pro výrobu součásti byl zhotoven na ovládacím panelu stroje. Součást je obráběna na dvě upnutí, proto bylo nutné CNC program rozdělit na dvě části. Program byl vytvářen ručně pomocí psaní v ISO kódu nebo pomocí doplňkových funkcí systému CELOS<sup>®</sup> jako například soustružení po kontuře či vrtání.

Při programování bylo nejprve nutno definovat obrobek včetně počátečních podmínek jako vyložení obrobku nebo body výměny nástrojů. Obrobek byl definován jako surový, neobrobený válec. Problém s přebytkem materiálu v simulaci byl odstraněn nastavením větších rozměrů VBD u první operace OP 10.05. Takto definovaná destička při simulaci odebere všechny materiál předdefinovaného válce.



Obrázek 3.33 – úvodní obrazovka programování na ovládacím panelu stroje

Při programování činily největší potíže dráhy vrtáků pro vyosené díry  $\varnothing 5$  a  $6$  mm. Jelikož dráhy nebyly zadány pomocí polárních souřadnic, ale pomocí souřadnic kartézských, musely být nejprve zjištěny body náležící osám děr pomocí kreslicího softwaru. Náhled programu pro díry  $\varnothing 5$  mm je k dispozici v podkapitole 3.6.1 Náhled CNC programu.

#### 3.7.1 Náhled CNC programu

Náhled CNC programu je zaměřen na operaci OP 20.40. V tabulce 3.5 je zobrazena část programu bez poznámek a automaticky generovaných doplňků softwaru. V náhledu jsou též graficky znázorněny jednotlivé posuvy s legendou (viz obrázek 3.34).

Tabulka 3.5 – náhled programu pro OP 20.40<sup>10</sup>

F_TS("VRTÁK D5.0-L82")				N160 G1	x66.096		z-35.674	f0.03
l701				N165 G1	x65.300		z-35.716	f0.015
m1=4				N170 G1	x53.366		z-36.343	
s1=4000				N175 G1	x54.162		z-36.301	f0.05
m4=4				N180 G1	x41.432		z-36.970	f0.015
c4=344.75				N185 G1	x42.227		z-36.929	f0.05
m154				N190 G1	x29.497		z-37.598	f0.015
N005 G0	x125	z5		N195 G1	x89.964		z-34.420	f0.05
N010 G0		z-32.616		N200 G1	x30.293		z-37.556	f0.03
N015 G0	x118.328			N205 G1	x29.497		z-37.598	f0.015
N020 G1	x108.562	z-33.706	f0.1	N210 G1	x18.359		z-38.182	
N025 G1	x103.562			N215 G1	x11.628		z-38.538	f0.005
N035 G1	x89.169	z-34.462	f0.015	N220 G1	x103.562		z-33.706	f0.05
N040 G1	x103.562	z-33.706	f0.05	N225 G1	x108.562			f0.1
N045 G1	x108.562		f0.1	N230 G0	x125			
N050 G0	x125			N235 G0		z50		
N055 G0		z50		l701				
l701				m1=4				
m1=4				s1=2000				
s1=4000				m4=4				
m4=4				c4=164.9				
c4=164.9				m154				
m154				N240 G0		z-33.129		
N060 G0		z-33.129		N245 G0	x108.562			
N065 G0	x108.562			N250 G0	x118.328			
N070 G1	x108.562	z-33.706	f0.1	N255 G1	x108.562	z-33.706		f0.1
N075 G1	x103.562			N260 G1	x103.562			
N080 G1	x89.169	z-34.462	f0.015	N265 G1	x89.964	z-34.420		f0.03
N085 G1	x103.562	z-33.706	f0.05	N270 G1	x89.169	z-34.462		f0.015
N090 G1	x108.562		f0.1	N275 G1	x77.235	z-35.089		
N095 G0	x125			N280 G1	x78.030	z-35.047		f0.05
N100 G0		z100		N285 G1	x65.300	z-35.716		f0.015
F_TS("VRTÁK D5.0-L116 ")				N290 G1	x89.964	z-34.420		f0.05
l701				N295 G1	x66.096	z-35.674		f0.03
m1=4				N300 G1	x65.300	z-35.716		f0.015
s1=2000				N305 G1	x53.366	z-36.343		
m4=4				N310 G1	x54.162	z-36.301		f0.05
c4=344.75				N315 G1	x41.432	z-36.970		f0.015
m154				N320 G1	x42.227	z-36.929		f0.05
N105 G0	x125	z5		N325 G1	x29.497	z-37.598		f0.015
N110 G0		z-32.616		N330 G1	x89.964	z-34.420		f0.05
N115 G0	x118.328			N335 G1	x30.293	z-37.556		f0.03
N120 G1	x108.562	z-33.706	f0.1	N340 G1	x29.497	z-37.598		f0.015
N125 G1	x103.562			N345 G1	x18.359	z-38.182		
N130 G1	x89.964	z-34.420	f0.03	N350 G1	x11.628	z-38.538		f0.005
N135 G1	x89.169	z-34.462	f0.015	N355 G1	x103.562	z-33.706		f0.05
N140 G1	x77.235	z-35.089		N360 G1	x108.562			f0.1
N145 G1	x78.030	z-35.047	f0.05	N365 G0	x125			
N150 G1	x65.300	z-35.716	f0.015	N370 G0		z100		
N155 G1	x89.964	z-34.420	f0.05	F_TS("MWLN")				
				F_END(0,1,0)				

G1 – Posuvy nástroje k ploše určené pro následné obrábění

G1 – Pracovní posuvy nástroje

G1 – Odjezdy nástroje od obráběné plochy

Obrázek 3.34 – legenda grafického označení náhledu CNC programu pro OP 20.40



## 4 Diskuse experimentů

Na základě dokumentace poskytnuté zákazníkem byl navržen výrobní postup pro zhotovení součásti. Velký počet operací a nástrojů ovšem neumožnil použít protivřeteno. To se projevilo zejména na zvýšení výrobních časů. Však největším výrobním úskalím bylo dodržení geometrických tolerancí. Tvarové tolerance válcovitosti a rovinnosti, kruhového a celkového házení, kolmosti ploch či kolmosti děr a jejich vzájemné umístění na ploše.

Teoretické řezné podmínky proto byly na základě měření postupně modifikovány pro dosažení stanovených parametrů.

Na základě stanovených způsobů měření a na základě jejich pozitivních výsledků (viz tabulka 4.2) bylo prokázáno, že součást lze vyrobit určeným způsobem s danými řeznými podmínkami dle specifikací pro obrobenou součást zadaných zákazníkem. V tabulce 4.2 je pouze náhled měření některých pozic, jelikož kontrolní plán pro přeměření celé součásti zahrnuje 119 kontrolních pozic, přičemž v počtu pozic není zahrnut počet bodů dotyku, nutných pro změření pozice. Měření rozměrů za účelem ověření vhodně zvolených řezných podmínek bylo převážně prováděno na 3D měřícím stroji Zeiss. Upnutí součásti na měřicí desku stroje bylo realizováno pomocí svěráku (obrázek 4.1).

Forma měření jednotlivých parametrů pro výrobu byla stanovena na základě výrobní přesnosti měřeného rozměru a obsahuje použití více měřidel (viz tabulka 4.1), která jsou střídána v daných časových intervalech.

Tabulka 4.1 – přehled měřených parametrů a způsobů měření u OP 10 během výroby<sup>10</sup>

Parametr	Měřená hodnota	Způsob měření	Parametr	Měřená hodnota	Způsob měření
Ø	Ø	kalibr	Základna C	Rz	drsnoměr
Ø	Ø	3D Zeiss	Ø	Ø	3D Zeiss
		kalibr			mikrometr
		dutinoměr			Rz
Ø	Ø	Rz	Zápich	Ø	3D Zeiss
		3D Zeiss			posuvka na zápichy
		dutinoměr			3D Zeiss
Ø	Ø	Rz	2,5 - 0,1	Ø	johansonovy měrky
		3D Zeiss			3D Zeiss
		dutinoměr			3D Zeiss
Ø	Ø	3D Zeiss	Rozteč děr	Ø	3D Zeiss
		mikrometr			kalibr
		3D Zeiss			posuvka
		mikrometr			
Ø	∠ 0,05	Rz	Díry šroubů	M10x1	závitový kalibr
		drsnoměr			24±0,1
Rovinnosti	∥ 0,03	3D Zeiss	Díry šroubů	Ø 11±0,1	posuvka
Házení	■ 0,03	3D Zeiss		6±0,1	posuvka

Na obrázku 4.1 je zobrazeno měření součásti pro ověření technologického postupu a řezných podmínek. Součást ENAB je upnuta v univerzálním svěráku, který je připevněn k základní desce stroje Zeiss. Z velké části je měření prováděno automaticky na základě programu. Měření vyosených děr z důvodu absence měřícího přípravku je prováděno ručně.

Obrázek 4.1 – upnutí součásti ENAB při měření sondou stroje Zeiss

Měření drsností ploch je prováděno přístrojem Mitutoyo (viz obrázek 4.2). Zbylé rozměry jsou měřeny posuvkou, dutinoměry, kalibry, johansonovými měrkami, mikrometrem, hloubkoměrem atd.

Obrázek 4.2 – měření drsnosti na čele C pomocí přístroje Mitutoyo

Tabulka 4.2 – přehled vybraných měřených parametrů, způsobů měření a výsledků <sup>10</sup>

	Parametr	Jmenovitý rozměr	Tolerance		Způsob měření	Počet měření			
			horní	dolní		1	2	3	
Označení měřených pozic	1	poloha	0,1AB	0,100	0,000	3D	0,037	0,049	0,042
	2	úhel	120°	120,25°	119,75°	3D	120,083°	120,159°	119,990°
	3	∅				3D			
	4	úhel	30°	30,5°	29,5°	3D	29,669°	29,613°	29,640°
	5	úhel	20°	20,5°	19,5°	3D	19,613°	19,937°	19,963°
	6	úhel	15°	15,5°	14,5°	3D	14,902°	14,926°	14,960°
	7	úhel	60°	60,5°	59,5°	3D	59,977°	59,985°	59,937°
	8	∅				3D			
	9	∅				3D			
	10	∅				3D			
	11	∅				3D			
	12	házení	0,03AB	0,030	0,000	3D	0,021	0,014	0,012
	13	rovinnost	0,030	0,030	0,000	3D	0,003	0,011	0,001
	14	házení	0,05AB	0,050	0,000	3D	0,012	0,031	0,036
	15	drsnost	Rz 10	10,000	0,000	drsnoměr	4,256	4,315	3,951
	16	zkosení	0,5x45°	0,700	0,300	kalibr	0,520	0,530	0,520
	17	∅	11,000	11,200	10,800	3D	10,966	10,958	10,970
	18	závit	M10x1	-	-	kalibr	OK	OK	OK
	32	∅				3D			
	33	∅				3D			
	34	∅				3D			
	35	∅				3D			
	80	drsnost	Rz 4	4,000	0,000	drsnoměr	2,314	1,956	2,021
	39	válcovitost	0,050	0,050	0,000	3D	0,008	0,004	0,043
	89	pozice	0,2AB	0,200	0,000	3D	0,185	0,191	0,192
	94	úhel	35°	35,5°	34,5°	3D	35,339°	35,354°	35,288°
102	drsnost	Rz100	100,000	0,000	drsnoměr	12,030	10,215	11,031	
108	drsnost	Pt10	10,000	0,000	drsnoměr	8,011	7,854	7,315	
109	drsnost	Pt25	25,000	0,000	drsnoměr	8,348	8,156	7,941	

## 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Hodnoty pro technické ukazatele byly získány na základě propočtů strojních časů, měřením časů během výrobního procesu či případným dopočtením (viz tabulka 5.3 – 5.5). Ekonomické zhodnocení pak vycházelo z technického zhodnocení se zahrnutím interních finančních údajů.

### 5.1 Technické zhodnocení

Výsledky technického zhodnocení jsou shrnuty v tabulce 5.2 na základě proporcí strojních časů (viz tabulka 5.1) získaných součtem časů operací z tabulek 5.3 – 5.5.

Tabulka 5.1 – proporce strojních časů v procentech

Časy	Proporce [%]		
	OP 10	OP 20	Celkem
Řezný čas	61,79	78,25	71,34
Nečinný čas	38,21	21,75	28,66

Tabulka 5.2 – suma strojních časů

Operace	Časy [min]		
	Řezný	Nečinný	Celkový
OP 10	5,74	3,55	9,29
OP 20	10,04	2,79	12,83
Celkem	15,78	6,34	22,12

Na základě hodnot obsažených v tabulce 5.1 lze vidět, že obrábění činí pouze 71,34% z celkového času nutného pro obrobení součásti. Nečinný čas zahrnuje 28,66% z celkového výrobního času, což je zapříčiněno upínáním a odepínáním obrobku, výměnou nástrojů a jejich pohyby při rychloposuvu a prostoji při operaci narážení vložky.

V tabulce 5.2 jsou zobrazeny strojní časy pro jednotlivé operace a z dosažených výsledků je zřejmé, že časově nejnáročnější operací je OP 20 a to i přes to, že u OP 20 je menší počet strojních operací než u OP 10. U OP 20 totiž trvá vrtání hlubokých šikmých děr 7,18 minut z celkových 12,83 minut. Vrtání šikmých děr  $\varnothing$  5 mm je tedy technologicky i časově nejnáročnější operace při výrobě součásti ENAB.

### 5.1.1 Ověření docílení výrobní série

Na základě výrobní série 12 000 kusů, jež má být zrealizována během 12 kalendářních měsíců, je v následující podkapitole provedeno kontrolní ověření, zda při takto zvoleném technologickém postupu a řezných podmínkách lze dosáhnout výrobní kapacity.

Pro výpočet je nejprve zjištěn počet vyrobených kusů za jednu směnu (viz vztah 5.1).

$$k_s = \frac{H_s \cdot 60}{V_c} = \frac{7,5 \cdot 60}{22,12} = 20,34 \approx 20 \text{ kusů} \quad (5.1)$$

kde  $k_s$  je počet kusů vyrobených za jednu 8 hodinovou pracovní směnu

$H_s$  je počet čistých pracovních hodin za danou směnu

$V_c$  je výrobní čas jednoho kusu

Dále je propočtena minimální nutná doba pro vyrobení požadovaného počtu kusů v celkové sérii. Minimální potřebná doba nezahrnuje nepříznivé vlivy ovlivňující výrobu.

Výpočet stanovuje minimální výrobní dobu v závislosti na kalendářním měsíci s průměrným počtem 22 pracovních dnů a třisměnným provozem. Nejprve je určen počet kusů vyrobených během jednoho dne (vztah 5.2), poté minimální počet dnů nutných k výrobě série (vztah 5.3) a přepočteno na minimální počet měsíců pro výrobu (vztah 5.4).

$$k_d = 3 \cdot k_s = 3 \cdot 20 = 60 \text{ kusů} \quad (5.2)$$

$$S_{Dmin} = \frac{12\,000}{k_d} = \frac{12\,000}{60} = 200 \text{ dnů} \quad (5.3)$$

$$S_{Mmin} = \frac{S_D}{22} = \frac{200}{22} = 9,09 \approx 9 \text{ měsíců} \quad (5.4)$$

kde  $k_d$  je počet vyrobených kusů za jeden den při třisměnném provozu

$S_{Dmin}$  je minimální počet dnů nutných pro dosažení vyrobených kusů v sérii

$S_{Mmin}$  je minimální počet měsíců nutných pro dosažení vyrobených kusů v sérii

Výpočty bylo ověřeno, že zvolenou technologií výroby lze vyrobit požadovaný počet kusů již během 9 měsíců. Tři měsíční rezerva je vhodná s ohledem na možné nežádoucí potíže vzniklé během výroby. Rezerva je taktéž vhodná z organizačních důvodů jako například využití pracovníků na jiném pracovišti či nový vývoj na stroji pro jiné zakázky.

## 5.2 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je zaměřeno na orientační výpočet nákladů pro výrobu součástí. Finanční ohodnocení zahrnuje cenu výkovku a náklady na provoz stroje, nikoliv však přesnou cenu nástrojů. Přesná cena nástrojů není započítána z důvodu, že výroba součástí se stále nachází ve zkušební fázi výroby. Proto nejsou stanoveny časy opotřebení VBD, vrtáků nebo jiných doplňkových nástrojů a tak i intervaly výměny nástrojů. Cena nástrojů je pouze orientační s ohledem na dlouhodobé zkušenosti firmy.

Cena výkovku byla stanovena na základě cenové nabídky od firmy UNEX a.s., jež výkovky vyrábí. V ceně výkovku je zahrnuta cena samotného výkovku i cena formy.

Provozní náklady stroje byly získány na základě dlouhodobých měření a nezahrnují osobní mzdu obsluhy.

- Cena výkovku –  $C_V =$  Kč
- Hodinová provozní sazba stroje CTX beta 800 linear –  $C_{PSH} =$  Kč
- Hodinová mzda obsluhy –  $C_O =$  Kč
- Cena nástrojů (na jednu vyrobenou součást) –  $C_N =$  % z nákladů [Kč]

Výpočet je proveden pro jednu 8 hodinovou směnu, tedy pro 7,5 hodiny čisté práce. Pro výpočet je nejprve zjištěn počet vyrobených kusů za jednu směnu (viz vztah 5.1).

Pomocí vztahu 5.5 jsou vypočítány výrobní náklady pro jednu součást s ohledem na započítání všech provozních nákladů vzniklých během jedné 8 hodinové pracovní směny.

$$C_k = \left( \frac{7,5 \cdot (C_{PSH} + C_O) + C_V \cdot k_s}{k_s} \right) \cdot C_N \quad (5.5)$$

$$C_k = \left( \frac{7,5 \cdot ( \quad + \quad ) + \quad \cdot 20}{20} \right) \cdot \quad = \quad \text{Kč}$$

kde  $C_k$  jsou minimální výrobní náklady pro jeden kus

Z ekonomického zhodnocení vyplývá, že minimální náklady na výrobu jednoho kusu s ohledem na sazbu stroje, mzdu pracovníka, náklady na pořízení výkovku a náklady na opotřebení nástrojů činí Kč.

Tabulka 5.3 – Tabulka strojních časů část 1/3

Operace	Stanice revolveru	Podoperace	Označení nástroje	Pořadí operací	Vnější průměr		Vnitřní průměr		Střední průměr		Rezná délka		Počet řezů	Rezná rychlost m/min	Otáčky 1/min	Posuv na otáčku mm	Rychlost posuvu mm/min	Časy pro jednotlivé řezy min	Čas řezu cyklu min	Nějný čas cyklu min	Celkový čas cyklu min		
					d1 mm	d2 mm	d <sub>m</sub> mm	l mm	v m/min	n 1/min	f mm	v <sub>f</sub> mm/min										t <sub>j</sub> min	t <sub>re</sub> min
OP 10.00		10.00-005			Upnutí obrobku do univerzálních segmentových čelistí																0,08	0,17	0,25
		10.05-005					46,50		1712	0,25	428,05	0,03	1	250	250	0,25	428,05	0,03					
		10.05-010					80,90		984	0,25	246,04	0,11	1	250	250	0,25	246,04	0,11					
		10.05-015					55,80		1427	0,25	356,71	0,07	1	250	250	0,25	356,71	0,07					
		10.05-020					55,80		1427	0,25	356,71	0,02	1	250	250	0,25	356,71	0,02					
		10.05-025					106,00		751	0,25	187,78	0,13	1	250	250	0,25	187,78	0,13					
		10.05-030					115,50		689	0,25	172,33	0,06	1	250	250	0,25	172,33	0,06					
		10.10-005					55,40		1380	0,05	68,98	0,01	1	240	240	0,05	68,98	0,01					
		10.10-010					54,70		1397	0,05	69,87	0,01	1	240	240	0,05	69,87	0,01					
		10.10-015					103,75		737	0,10	73,67	0,04	1	240	240	0,10	73,67	0,04					
		10.15-005					16,10		1978	0,12	237,37	0,15	1	100	100	0,12	237,37	0,15					
		10.20-005					28,90		1322	0,15	198,36	0,09	3	120	120	0,15	198,36	0,09					
		10.20-010					36,75		1040	0,15	155,99	0,10	1	120	120	0,15	155,99	0,10					
		10.20-015					39,15		976	0,15	146,42	0,11	1	120	120	0,15	146,42	0,11					
		10.20-020					31,95		1196	0,15	179,42	0,06	1	120	120	0,15	179,42	0,06					
		10.25-005					16,00		2588	0,05	129,38	0,03	1	130	130	0,05	129,38	0,03					
		10.25-010					18,70		2214	0,20	442,79	0,03	1	130	130	0,20	442,79	0,03					
		10.25-015					16,50		2509	0,20	501,83	0,03	1	130	130	0,20	501,83	0,03					
		10.30-005					18,99		1509	0,04	60,37	0,18	1	90	90	0,04	60,37	0,18					



Tabulka 5.4 – Tabulka strojních časů část 2/3

OP 10.35	10.35-005		Narážení vložky															0,08	0,33	0,41
	10.40-005		Dokončování				45,35	8,95	1	330	2317	0,09	208,57	0,05						
	10.40-010		Dokončování				53,86	28,97	1	330	1951	0,09	175,61	0,17						
	10.40-015		Dokončování				80,70	23,33	1	330	1302	0,09	117,21	0,20						
OP 10.40	T11	T11-I	Dokončování				101,29	10,10	1	330	1038	0,09	93,38	0,11				0,73	0,31	1,04
	10.40-020		Předdokončování				102,78	2,12	1	330	1023	0,09	92,03	0,03						
	10.40-030		Dokončování				112,89	10,12	1	330	931	0,09	83,79	0,13						
	10.40-035		Dokončování				102,77	3,30	1	330	1023	0,09	92,04	0,04						
OP 10.45	T1	T1-I	Hrubování				100,50	2,50	1	150	475	0,08	38,03	0,07				0,21	0,08	0,29
	10.45-010		Dokončování				100,50	2,50	2	150	475	0,08	38,03	0,14						
	10.50-005		Dokončování				17,36	1,64	1	170	3119	0,09	280,68	0,01						
	10.50-010		Dokončování				39,39	12,98	1	170	1375	0,09	123,72	0,11						
OP 10.50	T4	T4-I	Dokončování				29,42	13,04	1	170	1841	0,09	165,65	0,08				0,44	0,37	0,81
	10.50-020		Předdokončování				16,20	12,50	1	170	3342	0,09	300,78	0,05						
	10.50-025		Předdokončování				16,40	10,17	1	170	3302	0,04	132,07	0,08						
	10.50-030		Dokončování				16,30	14,44	1	170	3321	0,04	132,86	0,11						
OP 10.55	T9	T9-I	Dokončování				16,40	35,00	1	73	1418	0,15	212,64	0,17				0,17	0,09	0,26
OP 10.60	T6	T6-I	Vrtání				10,25	30,00	6	90	2796	0,06	167,78	1,08				1,08	0,50	1,58
OP 10.65	T7	T7-I	Závitování				10,00	26,00	6	7,8	248	1,00	248,41	0,63				0,63	0,72	1,35
			Vrtání																	
			Vrtání				6,00	45,27	3	66	3503	0,05	175,16	0,78						
OP 10.70	T2	T2-I	Vrtání				6,00	68,36	3	66	3503	0,50	1751,59	0,12				0,98	0,15	1,13
			Vrtání				6,00	23,09	3	66	3503	0,25	875,80	0,08						
OP 10.75			Odepnutí obrobku z univerzálních čelistí															0,08	0,17	0,25
OP 20.00			Ujmutí obrobku do speciálních segmentových čelistí															0,08	0,17	0,25



## Závěr

Účelem bakalářské práce bylo navrhnout novou výrobní technologii pro vybranou součást pro firmu ZLKL, s. r. o., sídlící v Lošticích.

V kooperaci s celou řadou spolupracovníků pod odborným vedením vedoucího bakalářské práce a zároveň vedoucího obrobny, se na základě dlouholetých firemním znalostí, zkušeností a aplikace teoretických znalostí procesů obrábění, podařilo zrealizovat teoretický model obrábění, který byl odsouhlasen pro výrobu na základě stanovených metrologických postupů a pozitivních výsledků těchto měření.

V úvodní části byla představena součást jako taková a popsána problematika obrábění složitých součástí s ohledem na standartní a nekonvenční metody obrábění a CNC stroje, u kterých byly popsány primární stavební uzly a základní principy a metody programování.

V hlavní textové části je popsána volba obráběcího stroje CTX beta 800 linear od společnosti DMG MORI Czech, s.r.o. a návrh vhodného celkového výrobního postupu výroby součásti a nastíněn návrh výrobního postupu pro obráběcí operace. Na základě zvolených technologických operací byly vybrány vhodné nástroje. Pro nástroje byly nejprve stanoveny teoretické řezné podmínky. Tyto podmínky byly na základě měření dále upravovány a to než bylo dosaženo potřebných vlastností obráběných ploch.

V konečné fázi bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení. V technickém zhodnocení byl proveden výpočet strojních časů a provedeno srovnání časů obrábění a nečinných časů vzniklých mimo obrábění. Také byl proveden kontrolní výpočet pro ověření, zda je technologický postup s řeznými podmínkami dostačující pro naplnění výrobní série. V ekonomickém zhodnocení byl proveden přibližný výpočet nákladů na výrobu součásti.

Na základě dosažených výsledků měření bylo prokázáno, že součást lze vyrobit v předepsaných geometrických a rozměrových tolerancích určených zákazníkem a že technologický postup na stroji CTX beta 800 linear s danými řeznými podmínkami je tedy pro výrobu součásti vyhovující.

Závěrem lze říci, že při zvoleném technologickém postupu s řeznými podmínkami lze na jednom stroji vyrobit požadovaný počet kusů při zachování požadované kvality během zadaného období i se značnou časovou rezervou.

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. a panu Ing. Zdenku Tollrianovi za odborné vedení při tvorbě bakalářské práce a za předané zkušenosti.

## Seznam použité literatury

- [1] Katalog: DMG MORI. *CTX universal turning machines, 2-axis universal turning*. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/download-centre> [cit. 2. ledna 2018].
- [2] Katalog: DMG MORI. *JOURNAL Magazín DMG MORI pro zákazníky a zájemce, N° 1 – 2016*. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/download-centre> [cit. 3. ledna 2018]
- [3] Katalog: DMG MORI. *JOURNAL Magazín DMG MORI pro zákazníky a zájemce, č. 1 – 2015*. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/download-centre> [cit. 3. ledna 2018]
- [4] CTX beta 800 linear. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/ctx/ctx-beta-800-linear#Intro> [cit. 3. ledna 2018]
- [5] CTX beta 800 linear 4A. [online] Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/536> [cit. 3. ledna 2018]
- [6] Katalog: DMG MORI. *CELOS High-Performance Operation System*. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/download-centre#Software> [cit. 4. ledna 2018]
- [7] Katalog: DMG MORI. *CELOS® Simplified machine operation, Seamless integration of machine and company*. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/download-centre#Software> [cit. 4. ledna 2018]
- [8] ZLKL, s.r.o., o společnosti. [online] Dostupné z: <http://www.zlkl.cz> [cit. 4. ledna 2018]
- [9] ZLKL, s.r.o., o společnosti – projekt Elbee. [online] Dostupné z: <https://www.elbeemobility.cz/> [cit. 4. ledna 2018]
- [10] Interní dokumenty společnosti ZLKL, s.r.o.
- [11] Materiál EN 10 027-1: C35E. [online] Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12040.pdf> [cit. 5. ledna 2018]
- [12] Materiál EN 10 027-1: C35E. [online] Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technickaprirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-100831/prehled-vlastnosti-oceli-c35> [cit. 5. ledna 2018]
- [13] Značení ocelí. [online] Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli> [cit. 5. ledna 2018]
- [14] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.

- [15] POLÁŠEK, Jaromír. *ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ STROJE – Elektronická učebnice*. [online] Dostupné z: [http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31\\_Cislicove\\_rizene\\_stroje.pdf](http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf) [cit. 6. ledna 2018]
- [16] MAREK, Jiří a Oldřich UČEŇ. *CNC obráběcí stroje*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2329-4.
- [17] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [18] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [19] Nástroje a nástrojové soustavy. [online] Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx> [cit. 9. ledna 2018]
- [20] SADÍLEK, Marek a Jaroslav DUBSKÝ. *Obrábění I – výběr přednášek*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3831-1
- [21] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [22] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [23] BRYCHTA, Josef. *Výrobní stroje obráběcí*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1893-1.
- [24] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [25] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I, II doplňkové vydání*. Ostrava 2010
- [26] JANDEČKA, Karel, Pavel KOŽMÍN a Jiří ČESÁNEK. *Programování NC strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-692-4.
- [27] ADAMEC, Jaromír a Hana SMOLKOVÁ. *Příklady programů pro číslicově řízené obráběcí stroje*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0250-3.
- [28] OPLETAL, František. *Číslicové řízení obráběcích strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-7200-294-5.
- [29] Obecný úvod do problematiky CNC programování. [online] Dostupné z: [http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijnimaterialy/VUKOV\\_TEXT\\_-\\_1.ST.pdf](http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijnimaterialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf) [cit. 5. února 2018]
- [30] Výrobní nástroje ISCAR. *E-CAT Elektronický katalog*. [online] Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx> [cit. 10. dubna 2018]

- [31] Válečkovací nástroje BAUDLIES® SURFACE TECHNOLOGY [online]  
Dostupné z: <http://www.baublies.com/index-de.html> [cit. 16. dubna 2018]
- [32] Výrobní nástroje Guehring – závitníky. *Gühring Threading Tolls*. [online]  
Dostupné z: <https://www.guehring.de/en/products/threading-tools.php>  
[cit. 11. dubna 2018]
- [33] Výrobní nástroje Guehring – vrtáky. *Gühring Bohrwerkzeuge*. [online]  
Dostupné z: <https://www.guehring.de/de/produkte/bohrwerkzeuge.php>  
[cit. 15. dubna 2018]
- [34] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o. 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [35] Složité součásti [online] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/>  
[cit. 8. května 2018]
- [36] Složité součásti [online]  
Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?docGroup=4931&cmd=1&instance=2>  
[cit. 8. května 2018]
- [37] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. ISBN 80-86706-10-9.



## Seznam příloh

### Označení přílohy

A

### Název přílohy

Výrobní výkres součásti ENAB