



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH OBRÁBĚNÍ HŘÍDELE JEDNOSTUPŇOVÉ PŘEVODOVKY

DESIGN OF A SHAFT OF SINGLE STAGE GEARBOX MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Fiala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Matúš Varhaník

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Dominik Fiala**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Matúš Varhaník**
Akademický rok: 2020/21

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

Návrh obrábění hřídele jednostupňové převodovky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Standardní obráběcí metody jsou využity na technologický projekt zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

- Konstruktivně–funkční charakteristika jednostupňové převodovky
- Rozbor hřídelové součásti
- 3D model a výkres součásti
- Zpracování TPV dokumentace
- Zhodnocení návrhu

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem obrábění hřídele jednostupňové převodovky. Zahrnuje výpočet rozměrů, stanovení konstrukce a návrh výroby hřídele, pomocí technologie obrábění. Práce se skládá z pěti částí. První část se věnuje konstrukčně-funkční charakteristice jednostupňové převodovky. Druhá část se zabývá rozborem hřídelové součásti. Třetí část obsahuje 3D model a výkres součásti. Čtvrtá část zahrnuje zpracování TPV dokumentace a poslední částí je zhodnocení návrhu.

Klíčová slova

převodovka, hřídel, obrábění, technologická dokumentace, soustružení

ABSTRACT

This bachelor thesis deals about design of machining single-stage gearbox shaft. The thesis consists of five main parts. The first part focuses on constructional-functioning characteristic of single-stage gearbox shaft. The second part focuses on shaft component analysis. The third part focuses on 3D model and component drawing. The fourth part focuses on preparation of TPV documentation and the last part is the evaluation of the design.

Key words

gearbox, shaft, machining, technological documentation, turning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIALA, Dominik. *Návrh obrábění hřídele jednostupňové převodovky*. Brno 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 61 s. 7 příloh. Vedoucí práce Matuš Varhaník.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh obrábění hřídele jednostupňové převodovky** vypracoval/la samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17.05.2021

.....
Datum

.....
Dominik Fiala

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Matúši Varhaníkovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 JEDNOSTUPŇOVÉ PŘEVODOVKY	10
1.1 Typy jednostupňových převodovek.....	10
1.2 Hlavní části převodovky	11
1.2.1 Skříň.....	12
1.2.2 Hřídel	13
1.2.3 Ozubené soukolí	13
1.2.4 Víko	14
2 ROZBOR HŘÍDELOVÉ SOUČÁSTI.....	15
2.1 Výpočet nejmenšího průměru vstupní a výstupní hřídele	15
2.2 Návrh a výpočet ozubeného soukolí	16
2.3 Kontrolní výpočet namáhání hřídele.....	17
2.3.1 Výpočet reakcí v ložiskách z rovnic rovnováhy	19
2.3.2 Výpočet napětí v nebezpečných průřezech [6]	20
2.4 Rozbor funkčních částí hřídele, konstrukčních prvků a součástí.....	23
3 TECHNICKÁ DOKUMENTACE	26
4 ZPRACOVÁNÍ TPV DOKUMENTACE	27
4.1 Popis výrobních podmínek	27
4.2 Technologičnost konstrukce	27
4.3 Volba polotovaru a jeho rozměry	28
4.4 Výpočet spotřeby materiálu	28
4.5 Volba strojů.....	31
4.5.1 Pásová pila Bernardo EBS 128 CL (400 V)	31
4.5.2 Univerzální hrotový soustruh s CNC řízením MASTURN 550i.....	32
4.5.3 Frézka FNG 40 CNCA	33
4.5.4 Hrotová univerzální bruska BUB E CNC.....	34
4.6 Volba nástrojů.....	35
4.6.1 Pilový pás.....	35
4.6.2 Středící vrták.....	35
4.6.3 Vnější hrubovací nůž	36

4.6.4 Vnější dokončovací nůž.....	38
4.6.5 Vnější závitový nůž	39
4.6.6 Vnější zapichovací nůž	42
4.6.7 Stopková drážkovací fréza.....	44
4.6.8 Brousící kotouč	45
4.7 Technologický postup.....	45
4.8 Výrobní návodky	45
4.9 Ekonomické propočty	47
5 ZHODNOCENÍ NÁVRHU	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Hřídel je jedna z nejrozšířenější strojních součástí, s využitím v širokém spektru oblastí strojírenské výroby. Nejčastěji je využita v převodových mechanismech, motorech (spalovacích, elektromotorech,...), či spojkách. Hřídele se dělí na nosné a hybné. Mezi nosné spadají například hřídelové čepy. Tento typ hřídele nepřenáší kroutící moment. Oproti tomu hybné hřídele, jak už název napovídá, konají otočný pohyb a kroutící moment přenášejí. Jedná se například o klikové, vačkové hřídele, nebo pastorky ozubených soukolí. Polotovarem pro jejich výrobu, jsou převážně tyče kruhových průřezů, válcované za tepla. Materiál se volí podle způsobu zatížení, odolnosti vůči únavě materiálu, nebo dle požadavků na chemicko-tepelné zpracování. V praxi se může jednat například o konstrukční nelegované, nízko a středně legované oceli.

Cílem této práce je navrhnout postup obrábění hřídele jednostupňové převodovky. První část práce pojednává o principu a konstrukci tohoto druhu převodovky. Druhá část se již věnuje konkrétně hřídelové součásti, počínaje návrhem a výpočtem rozměrů a parametrů součástí. Následuje grafické zobrazení a výpočet namáhání v nebezpečných průřezech. Ve třetí části je zpracován 3D model hřídele a následně i výrobní výkres v softwaru Autodesk Inventor Professional 2021. Čtvrtá a zároveň obsahově nejrozsáhlejší část, obsahuje TPV dokumentaci, která se skládá z návrhu a výpočtu polotovaru, volby strojů, a nástrojů, určených ke zhotovení výrobku. Následuje výrobní postup, operační návody a ekonomické propočty. Práce je zakončena celkovým zhodnocením návrhu.

1 JEDNOSTUPŇOVÉ PŘEVODOVKY

Převodovka je mechanické zařízení, sloužící pro přenos kroutícího momentu a zároveň snižuje, nebo zvyšuje otáčky, které jsou přiváděny z motoru na vstupní hřídel. Pokud jsou otáčky snižovány a kroutící moment zvyšován, jedná se o tzv. reduktory. Oproti tomu multiplikátory jsou určeny ke zvyšování otáček a snížení kroutícího momentu na výstupním hřídeli. Ty jsou také v praxi nejčastěji používané. Rozdíl mezi vstupními a výstupními otáčkami určuje převodový poměr i . Ten je v případě průmyslových převodovek konstantní. Jeho hodnota je u jednostupňových převodovek $1 \leq i \leq 8$ [1].

Základní technické parametry:

Tab. 1 Základní technické parametry

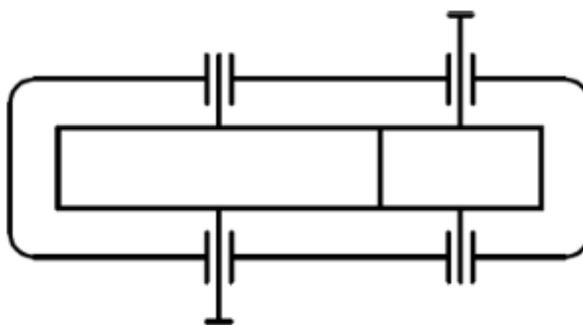
Vstupní výkon	P_1	[kW]
Výstupní výkon	P_2	[kW]
Vstupní otáčky	n_1	$[\text{min}^{-1}]$
Výstupní otáčky	n_2	$[\text{min}^{-1}]$
Převodový poměr	i	-
Osová vzdálenost	a	[mm]
Účinnost	μ	-
Životnost	L_H	[hod]

1.1 Typy jednostupňových převodovek

Podle druhu ozubeného soukolí, lze jednostupňové převodovky rozdělit, na převodovky:

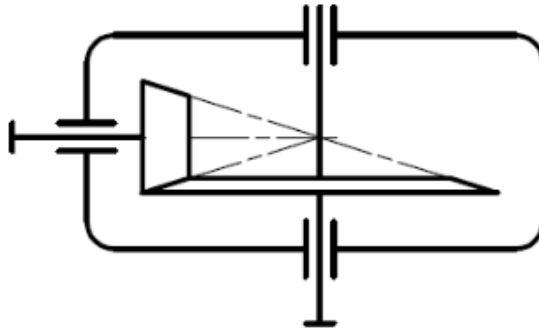
- s čelním soukolím,
- s kuželovým soukolím,
- se šnekovým soukolím.

Čelní soukolí je použito v případě, že je požadováno rovnoběžné uspořádání hřídelí. Může se jednat o nesouosé (Obr.1), nebo koaxiální (souosé), kde je navíc součástí soukolí i předlohová hřídel. Čelní soukolí je konstrukčně nejjednodušší. Převodový poměr je zde $i = 1 - 8$ [1].



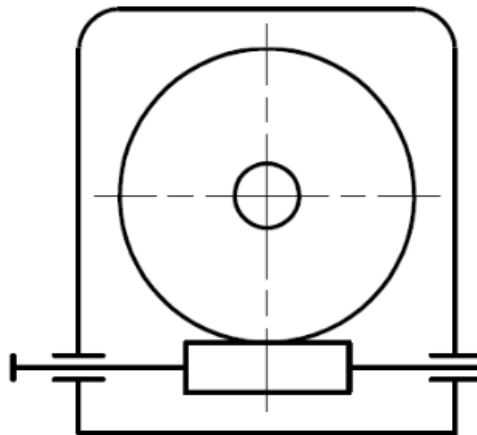
Obr. 1 Schéma jednostupňové převodovky s čelním soukolím [2].

Kuželové soukolí v jednostupňové převodovce je použito tehdy, když má být vstupní hřídel kolmá na výstupní. Tato koncepce je z hlediska konstrukce složitější, oproti přímému soukolí. Převodový poměr je zde $i = 1 - 4$ [1].



Obr. 2 Schéma jednostupňové převodovky s kuželovým soukolím [2].

U šnekového soukolí jsou hřídele vůči sobě uspořádány mimoběžně. Nevýhodou je zde nízká účinnost. Proto má tento typ převodovky malé využití. Naopak výhodou je zde tichý a plynulý chod, samosvornost a velký převodový poměr $i = 5 - 100$ [3].



Obr. 3 Schéma jednostupňové převodovky se šnekovým soukolím [2].

1.2 Hlavní části převodovky

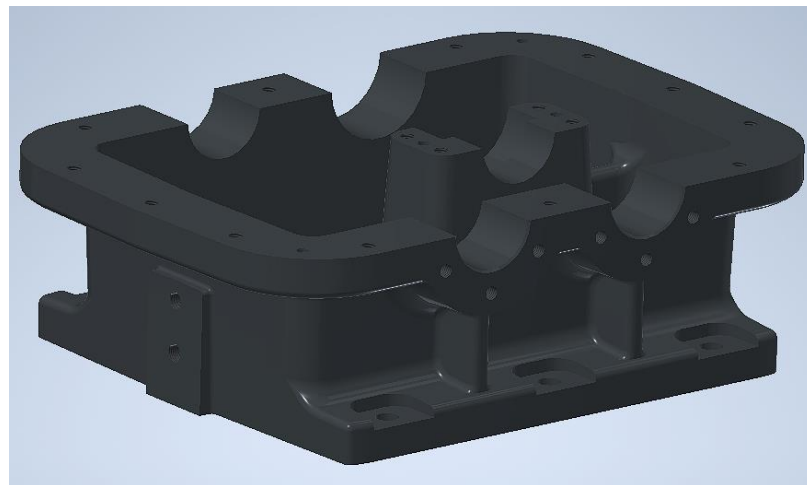
Jednostupňová převodovka je složena z ozubeného soukolí, na vstupním a výstupním hřídeli. Vše je uloženo v dělené a utěsněné skříni. Skříně mohou být odlité, nebo svařované. Na horní části skříně jsou umístěna závěsná oka a nalévací otvor pro olej. Spodní část slouží, jako olejová vana, doplněná olejoznakem a vypouštěcím otvorem.

1.2.1 Skříň

Konstrukce by měla být uzpůsobena pro snadnou montáž a demontáž. Dále, pokud je to nutné, by skříň měla mít prvky pro uchycení a uložení do zařízení, kde bude plnit svou funkci (např.: patky ve spodní části skříně pro uchycení převodovky šrouby k rámu stroje) [4].



Obr. 4 Horní část skříně



Obr. 5 Spodní část skříně

Nedělená skříň

Hlavní výhodou nedělené skříně, je snadná výroba. V dělicí rovině nevznikají problémy s netěsností, nebo případným únikem převodového oleje. Montáž je realizována tak, že ozubená kola jsou vložena přes horní část, kde je také umístěno víko a hřídele se vkládají ze stran skříně, skrze otvory pro ložiska [3].

Dělená skříň

Tato varianta se používá nejčastěji, jelikož umožňuje snadnější montáž převodovky. U výroby se nejprve opracuje dělicí rovina obou částí skříně. Je potřeba zajistit přesnou vzájemnou polohu spodní a vrchní části. Toho se dosáhne vyvrtáním a vystružením dvou

otvorů pro kolíky. Dále se po obvodu vyvrtají díry pro šrouby, obě části se spojí a obrobí se válcové otvory pro uložení ložisek. Při montáži se pro utěsnění skříně aplikuje na dělicí rovinu těsnící tmel, který se při utažení šroubů po obvodu vytlačí do stran a vyplní tak drobné nerovnosti dosedací plochy. Pro dosažení potřebné tuhosti skříně jsou zde realizována žebra. Skříň tak nemusí mít příliš tlusté stěny. Dle sériovosti se volí technologie výroby skříně. Pro kusovou výrobu se skříně svařují a pro sériovou odlévají [3].

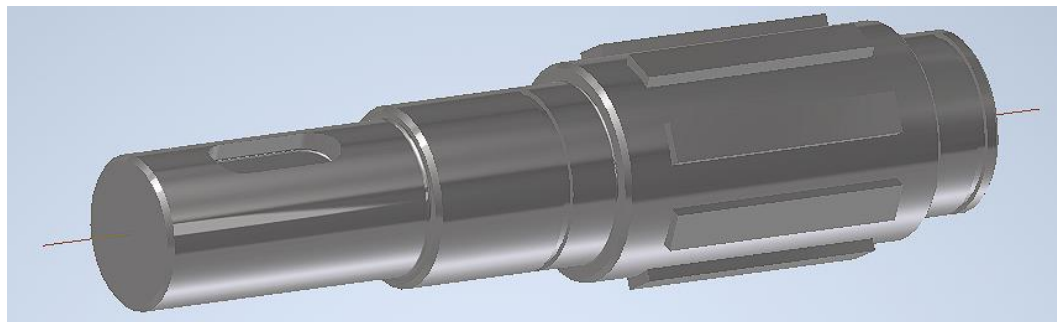
1.2.2 Hřídel

Převodový mechanismus zahrnuje vstupní a výstupní hřídel. U koaxiálních převodovek obsahuje i hřídel předlohovou. Dle požadavků a podle druhu stroje, ve kterém bude převodovka pracovat se volí jednotlivá uspořádání hřídelů.

Uspořádání hřídelů lze rozdělit do následujících kategorií:

- uspořádání nad sebou,
- uspořádání vedle sebe,
- koaxiální uspořádání (sousedé).

Je-li požadavek, aby byly hřídele rovnoběžné, volí se uspořádání nad sebou, nebo vedle sebe. Uspořádání sousedé (koaxiální) se realizuje tehdy, pokud je například převodovka připojená přes spojku k elektromotoru. Vstupní a výstupní hřídel tak musí být v jedné ose. U těchto uspořádání se navrhují převody s čelním soukolím. V případě, že se požaduje různoběžnost os vstupního a výstupního hřídele, použije se kuželové soukolí [3].



Obr. 6 Hřídel

1.2.3 Ozubené soukolí

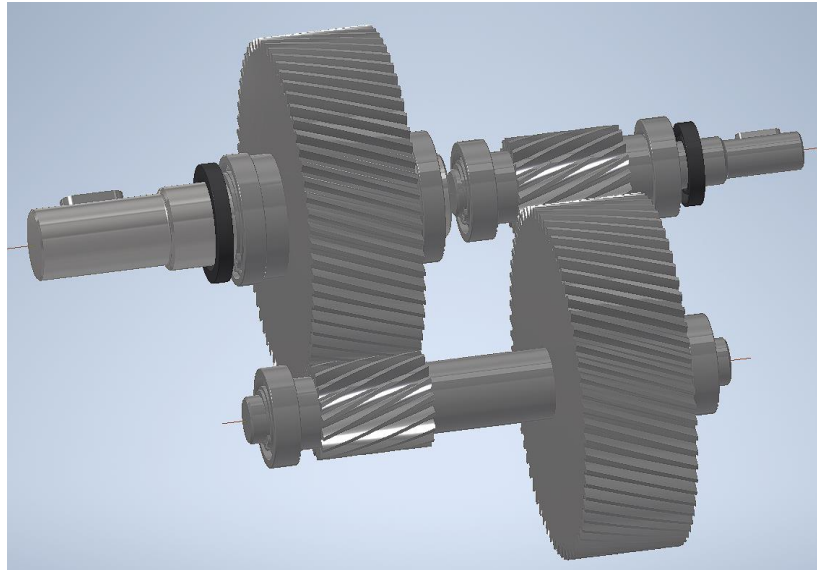
Ozubené soukolí tvoří malé ozubené kolo (pastorek) a velké ozubené kolo. Podle vzájemné polohy os spoluzabíhajících kol může být ozubení čelní, nebo kuželové. Provedení ozubeného kola může být s přímými, šikmými, či šípovitými zuby.

Ozubené kolo je samostatně uloženo na největším průměru hřídele a pro přenos kroutícího momentu na hřídel zajištěno perem.

Pastorek se vyrábí vcelku s hřídelí, nebo může být nasunut na hřídel, pokud je vzdálenost drážky pro pero od patní kružnice pastorku dostatečně velká z hlediska pevnosti.

Aby byl záběr obou spoluzabíhajících kol zajištěn po celé jeho šířce, má pastorek větší šířku ozubení, než spoluzabíhající kolo a to asi o hodnotu jednoho modulu. Tím se zvětší i ohybová pevnost zubů u pastorku [3].

Dle technologie výroby se ozubená kola zhotovují odléváním, zápusťkovým kovááním, nebo svařováním. Nejčastěji voleným materiálem pro výrobu je tvářená ocel. Požadavkem u technologie výroby ozubení je povrchová pevnost a ohybová tvrdost. Těchno vlastností se docílí zvolením vhodného materiálu a následně tepelného zpracování [3].



Obr. 7 Ozubené soukolí

1.2.4 Víko

Válcové otvory pro ložiska jsou úplně, nebo částečně zakryty pomocí víka skříně. Víko má tvar příruby a je přišroubováno několika šrouby k boku skříně. Slouží, jako těsnící prvek, proti úniku oleje. U otvorů, kterými prochází válcový konec hřídele ven ze skříně, se utěsnění realizuje hřídelovým těsnícím kroužkem, jehož vnější průměr, je nalisován do víka.



Obr. 8 Víko

2 ROZBOR HŘÍDELOVÉ SOUČÁSTI

Před zpracováním technické dokumentace, je třeba navrhnout a spočítat rozměry hřídelové součásti. Tyto rozměry vychází z hlavních parametrů jednostupňové převodovky. Jelikož se tato práce zabývá čistě hřídelovou součástí, byly tyto parametry zvoleny podle online katalogu [5].

Tab. 2 Vstupní parametry jednostupňové převodovky [5].

Vstupní parametry	značka	hodnota	jednotka
Vstupní výkon	P_1	4000	W
Vstupní otáčky	n_1	24	s^{-1}
Převodový poměr	i	4	-
Osová vzdálenost	a	132	mm
účinnost	μ	0,945	-

2.1 Výpočet nejmenšího průměru vstupní a výstupní hřídele

Základním rozměrem součásti, je nejmenší průměr hřídele, na který je pomocí pera připojen elektromotor. Tento rozměr se získá ze vztahu pro výpočet kroutícího momentu.

Odvození průměru z kroutícího momentu [6].

$$\tau_{dk} = \frac{M_{ki}}{W_k} = \frac{\frac{P_1}{\omega}}{\frac{\pi \cdot d_1'^3}{16}} \Rightarrow d_1'^3 = \frac{16 \cdot M_{ki}}{\tau_{dk} \cdot \pi} \Rightarrow d_1' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \frac{4000}{2 \cdot \pi \cdot 24}}{4 \cdot 10^7 \cdot \pi}} \quad (2.1)$$

$$= 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$$

Průměr vstupní hřídele je oslaben o hloubku drážky na pero [7], proto:

$$d_1 = t + d_1' = 3,5 + 15 = 18,5 \Rightarrow \text{voleno } 20 \text{ mm} \quad (2.2)$$

Z převodového poměru jsou odvozeny parametry pro výstupní hřídel.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{24}{4} = 6 \text{ s}^{-1} \quad (2.3)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \mu = 4000 \cdot 0,945 = 3780 \text{ W} \quad (2.4)$$

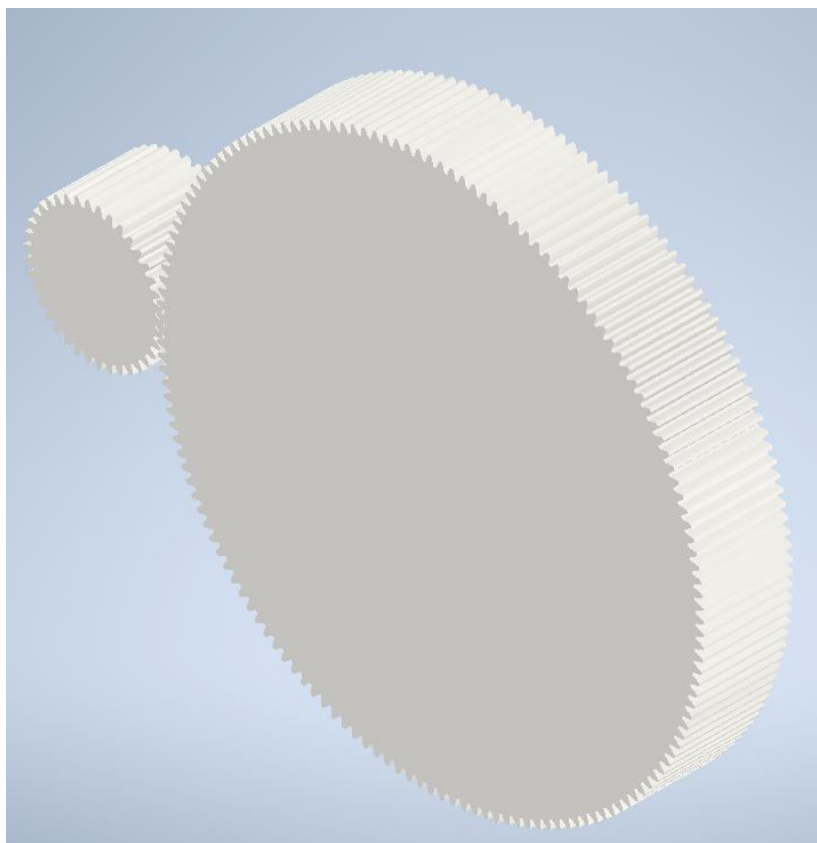
Stejný postup je aplikován u výpočtu průměru výstupní hřídele.

$$d'_2 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3780}{2 \cdot \pi \cdot 6}} = 0,023 \text{ m} = 23 \text{ mm} \quad (2.5)$$

$$d_2 = t + d'_2 = 4,1 + 23 = 27,1 \Rightarrow \text{voleno } 30 \text{ mm} \quad (2.6)$$

2.2 Návrh a výpočet ozubeného soukolí

Pro zjednodušení návrhu a výpočtu, bylo ozubené soukolí, na základě vstupních parametrů (viz Tab.2.1), vygenerováno v programu Autodesk Inventor Professional 2021. Jedná se o čelní soukolí s přímými zuby. Materiál obou kol byl zvolen ocel 14 220.



Obr. 9 Čelní ozubené soukolí

Tab. 3 Základní parametry ozubení

		Kolo 1	Kolo 2
Počet zubů	z	38	154
Průměr roztečné kružnice	d	52,250 mm	211,750 mm
Průměr hlavové kružnice	d_a	55,000 mm	214,500 mm
Průměr patní kružnice	d_f	48,813 mm	208,313 mm
Průměr základní kružnice	d_b	49,099 mm	198,980 mm
Šířka ozubení	b	35,000 mm	35,000 mm
Převodový poměr	i	4	
Modul	m	1,375 mm	
Úhel sklonu	β	0°	
Úhel profilu	α	20°	
Rozteč zubů	p	4,320 mm	
Roztečná vzdálenost os	a	132,000 mm	
Radiální síla	F_r	369,554 N	
Obvodová síla	F_t	1015,343 N	
Axiální síla	F_a	0,000 N	
Normální síla	F_n	1080,505 N	
Obvodová rychlost	v	3,940 m/s	

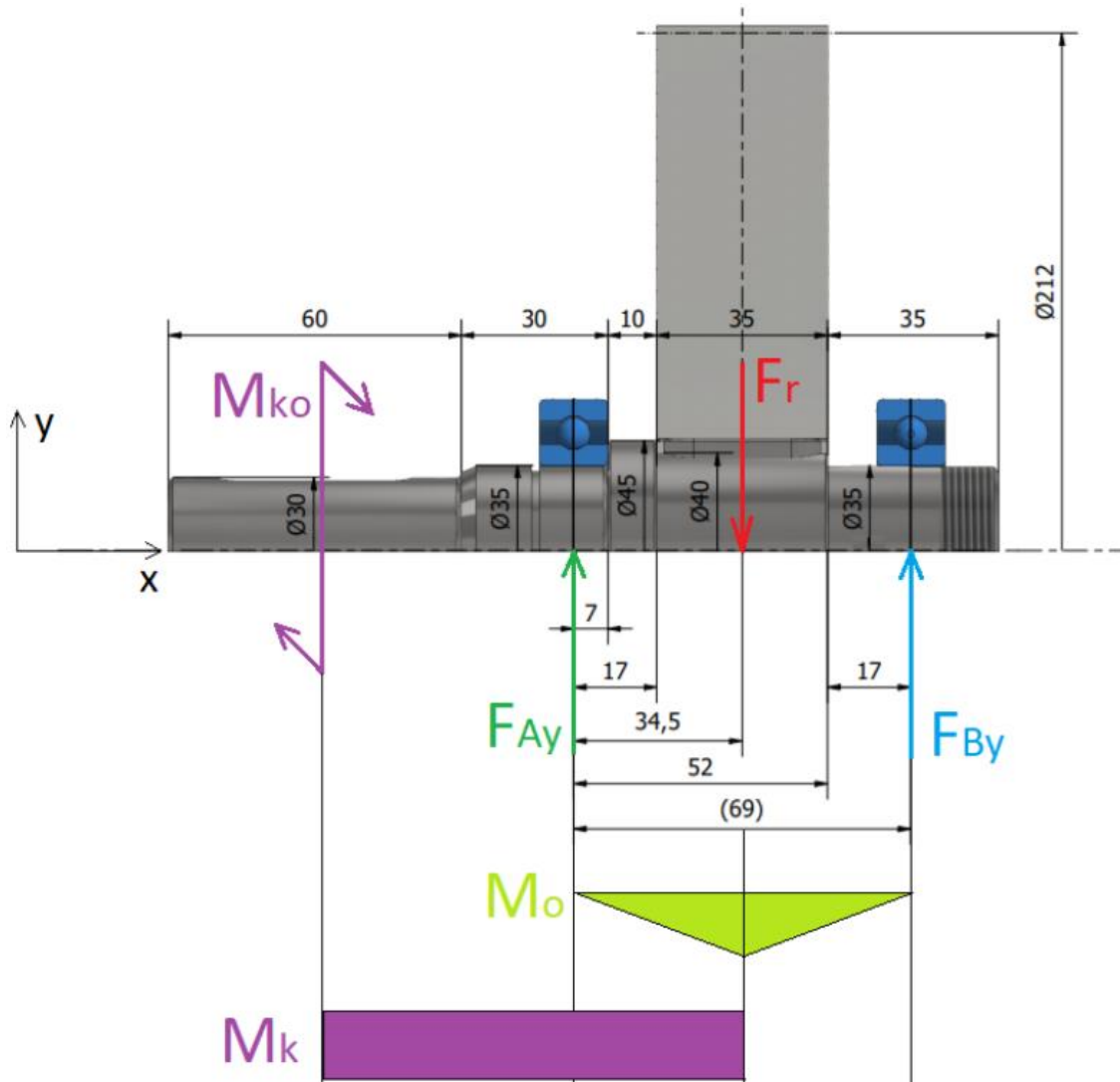
2.3 Kontrolní výpočet namáhání hřídele

Hřídelová součást je zatížena převážně na ohyb a krut. Z ozubeného soukolí je na hřídel přenášena trojice sil. Jedná se o radiální sílu F_r , působící kolmo na osu součásti, dále obvodovou sílu F_t , která je tečná na roztečnou kružnici a sílu normálovou F_n , která působí ve směru přímky záběru a je naklopena vůči obvodové síle o úhel profilu α . Na hřídel také působí výstupní kroutící moment M_{ko} .

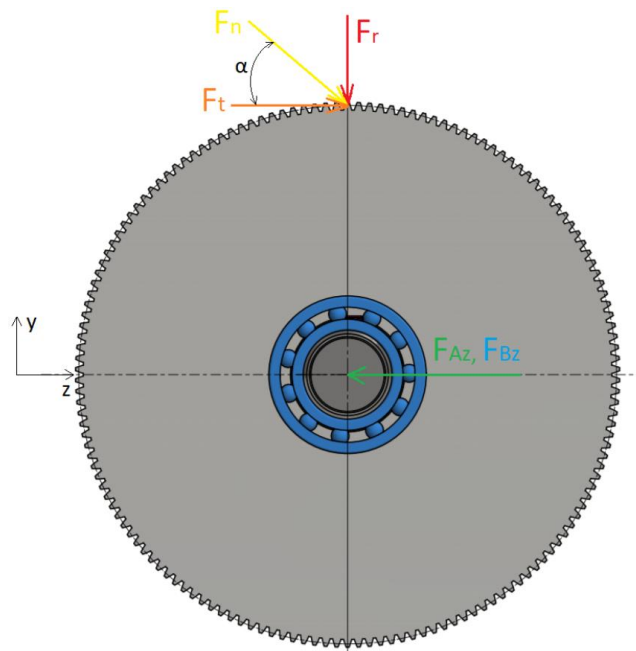
U kontrolního výpočtu namáhání hřídele, se nejprve pomocí silových a momentových rovnic rovnováhy, určí reakce v ložiskách. V tomto případě, kdy se jedná o hřídel převodovky s čelním soukolím a přímými zuby, zachytávají ložiska síly v ose y a ose z . Jelikož má ozubené soukolí přímé zuby, axiální síla je zde nulová.

Dalším krokem je výpočet a grafické znázornění výsledných vnitřních účinků. Z tohoto grafického znázornění lze vyčíst, že největší ohybový moment, je lokalizován, v místě působení radiální síly, tedy v místě, kde je uloženo ozubené kolo. Kroutící moment je konstantní a zatěžuje součást od výstupního konce hřídele, do místa s největším ohybovým momentem.

Následně je třeba zjistit velikosti napětí v ohybu a krutu v nebezpečných místech. Jsou to místa, kde působí největší napětí, jako např.: přechody na větší průměr, zaoblení, zápichy, či drážky na hřídeli. Může se však jednat i o místo, kde se žádný konstrukční vrub nevyskytuje. V průřezích s vrubem, se vynásobením nominálního napětí vrubovým součinitelem α , určí extrémní hodnota napětí. U míst, kde je hřídel namáhána zároveň na ohyb i krut, se určí redukované napětí.



Obr. 10 Zatížení působící na hřídel v rovině xy



Obr. 11 Zatížení působící na hřídel v rovině yz

2.3.1 Výpočet reakcí v ložiskách z rovnic rovnováhy

$$\sum F_x : 0 = 0 \quad (2.7)$$

$$\sum F_y : F_r = F_{Ay} + F_{By} = 0 \quad (2.8)$$

$$\sum F_z : F_t = F_{Az} + F_{Bz} = 0 \quad (2.9)$$

$$\sum M_x : M_{ko} \cong F_t \cdot \frac{D}{2} = 0 \quad (2.10)$$

$$\sum M_{Az} : F_r \cdot 0,0345 = F_{By} \cdot 0,069 = 0 \quad (2.11)$$

$$\sum M_{Ay} : F_t \cdot 0,0345 = F_{Bz} \cdot 0,069 = 0 \quad (2.12)$$

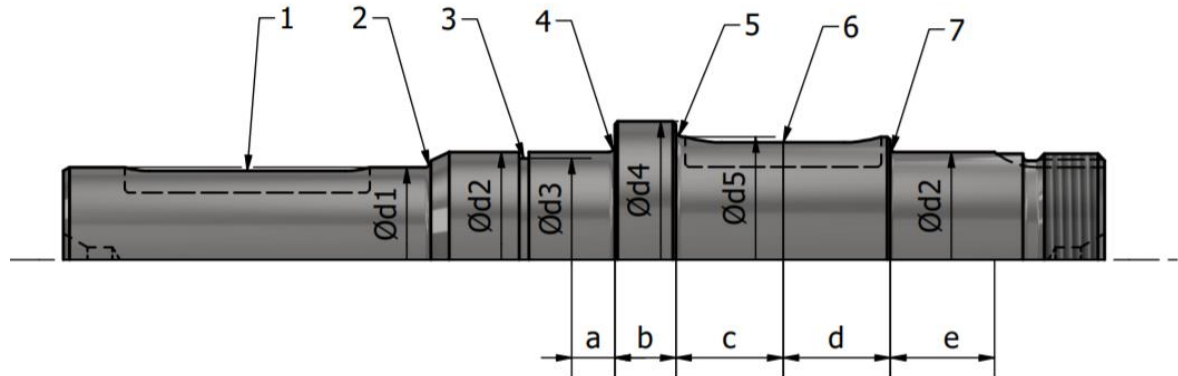
$$F_{By} = \frac{F_r \cdot 0,0345}{0,069} = \frac{369,6 \cdot 0,0345}{0,069} = 184,8 \text{ N} \quad (2.13)$$

$$F_{Ay} = F_r - F_{By} = 369,6 - 184,8 = 184,8 \text{ N} \quad (2.14)$$

$$F_{Bz} = \frac{F_t \cdot 0,0345}{0,069} = \frac{1015,3 \cdot 0,0345}{0,069} = 507,65 \text{ N} \quad (2.15)$$

$$F_{Az} = F_t - F_{Bz} = 1015,3 - 507,65 = 507,65 \text{ N} \quad (2.16)$$

2.3.2 Výpočet napětí v nebezpečných průřezech [6]



Obr. 12 Kontrolovaná místa na výstupním hřídeli

- 1) Místo 1 – namáhání krutem

$$M_{k1} = M_{ko} \quad (2.17)$$

$$\tau_1 = \frac{M_{k1}}{W_{k1}} = \frac{M_{ko}}{(0,2 \cdot d_1^3) - \left(\frac{bt \cdot (d_1 - t)^2}{2d_1}\right)} \quad (2.18)$$

$$\tau_1 = \frac{100,3}{(0,2 \cdot 0,03^3) - \left(\frac{0,008 \cdot 0,0041 \cdot (0,03 - 0,0041)^2}{2 \cdot 0,03}\right)} = 19,927 \text{ MPa} \quad (2.18)$$

$$\tau_{1ex} = \alpha_{k1} \cdot \tau_1 = 1,5 \cdot 19,927 = 29,891 \text{ MPa} \quad (2.19)$$

- 2) Místo 2 – namáhání krutem

$$M_{k2} = M_{ko} \quad (2.20)$$

$$\tau_2 = \frac{M_{k2}}{W_{k2}} = \frac{M_{ko}}{0,2 \cdot d_1^3} = \frac{100,3}{0,2 \cdot 0,03^3} = 18,574 \text{ MPa} \quad (2.21)$$

$$\tau_{2ex} = \alpha_{k2} \cdot \tau_2 = 1,8 \cdot 18,574 = 33,432 \text{ MPa} \quad (2.22)$$

3) Místo 3 – namáhání krutem

$$M_{k3} = M_{ko} \quad (2.23)$$

$$\tau_3 = \frac{M_{k3}}{W_{k3}} = \frac{M_{ko}}{0,2 \cdot d_3^3} = \frac{100,3}{0,2 \cdot 0,033^3} = 13,955 \text{ MPa} \quad (2.24)$$

$$\tau_{3ex} = \alpha_{k3} \cdot \tau_3 = 1,4 \cdot 13,955 = 19,537 \text{ MPa} \quad (2.25)$$

4) Místo 4 – namáhání krutem a ohybem

$$I : x_I \in [0; a] \quad (2.26)$$

$$M_{o4} = F_{Ay} \cdot x_I \quad (2.27)$$

$$M_{k4} = M_{ko} \quad (2.28)$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{o4}}{W_{o4}} = \frac{F_{Ay} \cdot x_I}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{184,8 \cdot 0,007}{0,1 \cdot 0,035^3} = 0,302 \text{ MPa} \quad (2.29)$$

$$\sigma_{4ex} = \alpha_{o4} \cdot \sigma_4 = 2,25 \cdot 0,302 = 0,680 \text{ MPa} \quad (2.30)$$

$$\tau_4 = \frac{M_{k4}}{W_{k4}} = \frac{M_{ko}}{0,2 \cdot d_2^3} = \frac{100,3}{0,2 \cdot 0,035^3} = 11,697 \text{ MPa} \quad (2.31)$$

$$\tau_{4ex} = \alpha_{k4} \cdot \tau_4 = 1,85 \cdot 11,697 = 22,139 \text{ MPa} \quad (2.32)$$

$$\sigma_{4red} = \sqrt{\sigma_{4ex}^2 + 3 \cdot \tau_{4ex}^2} = \sqrt{0,680^2 + (3 \cdot 22,139^2)} = 38,352 \text{ MPa} \quad (2.33)$$

5) Místo 5 – namáhání krutem a ohybem

$$II : x_{II} \in [0; b] \quad (2.31)$$

$$M_{o5} = F_{Ay} \cdot (a + b) \quad (2.32)$$

$$M_{k5} = M_{ko} \quad (2.33)$$

$$\sigma_5 = \frac{M_{o5}}{W_{o5}} = \frac{F_{Ay} \cdot (a + b)}{0,1 \cdot d_5^3} = \frac{184,8 \cdot 0,017}{0,1 \cdot 0,04^3} = 0,491 \text{ MPa} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{5ex} = \alpha_{05} \cdot \sigma_5 = 2,3 \cdot 0,491 = 1,129 \text{ MPa} \quad (2.35)$$

$$\tau_5 = \frac{M_{k5}}{W_{k5}} = \frac{M_{ko}}{0,2 \cdot d_5^3} = \frac{100,3}{0,2 \cdot 0,04^3} = 7,836 \text{ MPa} \quad (2.36)$$

$$\tau_{5ex} = \alpha_{k5} \cdot \tau_5 = 1,45 \cdot 7,836 = 11,348 \text{ MPa} \quad (2.37)$$

$$\sigma_{5red} = \sqrt{\sigma_{5ex}^2 + 3 \cdot \tau_{5ex}^2} = \sqrt{1,129^2 + (3 \cdot 11,348^2)} = 19,688 \text{ MPa} \quad (2.38)$$

6) Místo 6 – namáhání krutem a ohybem

$$\text{III} : x_{III} \in [0; c] \quad (2.39)$$

$$M_{o6} = F_{Ay} \cdot (a + b + x_{III}) \quad (2.40)$$

$$M_{k6} = M_{ko} \quad (2.41)$$

$$\sigma_6 = \frac{M_{o6}}{W_{o6}} = \frac{F_{Ay} \cdot (a + b + x_{III})}{(0,1 \cdot d_5^3) - \left(\frac{bt \cdot (d_5 - t)^2}{2d_5} \right)} \quad (2.42)$$

$$\sigma_6 = \frac{184,8 \cdot 0,0345}{(0,1 \cdot 0,04^3) - \left(\frac{0,012 \cdot 0,0049 \cdot (0,04 - 0,0049)^2}{2 \cdot 0,04} \right)} = 1,160 \text{ MPa} \quad (2.42)$$

$$\sigma_{6ex} = \alpha_{o6} \cdot \sigma_6 = 1,7 \cdot 1,160 = 1,972 \text{ MPa} \quad (2.43)$$

$$\tau_6 = \frac{M_{k6}}{W_{k6}} = \frac{M_{ko}}{(0,2 \cdot d_5^3) - \left(\frac{bt \cdot (d_5 - t)^2}{2d_5} \right)} \quad (2.44)$$

$$\tau_6 = \frac{100,3}{(0,2 \cdot 0,04^3) - \left(\frac{0,012 \cdot 0,0049 \cdot (0,04 - 0,0049)^2}{2 \cdot 0,04} \right)} = 8,432 \text{ MPa} \quad (2.44)$$

$$\tau_{6ex} = \alpha_{k6} \cdot \tau_6 = 1,7 \cdot 8,432 = 14,334 \text{ MPa} \quad (2.45)$$

$$\sigma_{6red} = \sqrt{\sigma_{6ex}^2 + 3 \cdot \tau_{6ex}^2} = \sqrt{1,972^2 + (3 \cdot 14,334^2)} = 24,905 \text{ MPa} \quad (2.46)$$

7) Místo 7 – namáhání ohybem

$$IV : x_{IV} \in [0; e] \quad (2.47)$$

$$M_{07} = F_{By} \cdot x_{IV} \quad (2.48)$$

$$M_{k7} = 0 \quad (2.49)$$

$$\sigma_7 = \frac{M_{07}}{W_{07}} = \frac{F_{By} \cdot x_{IV}}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{184,8 \cdot 0,017}{0,1 \cdot 0,035^3} = 0,733 \text{ MPa} \quad (2.50)$$

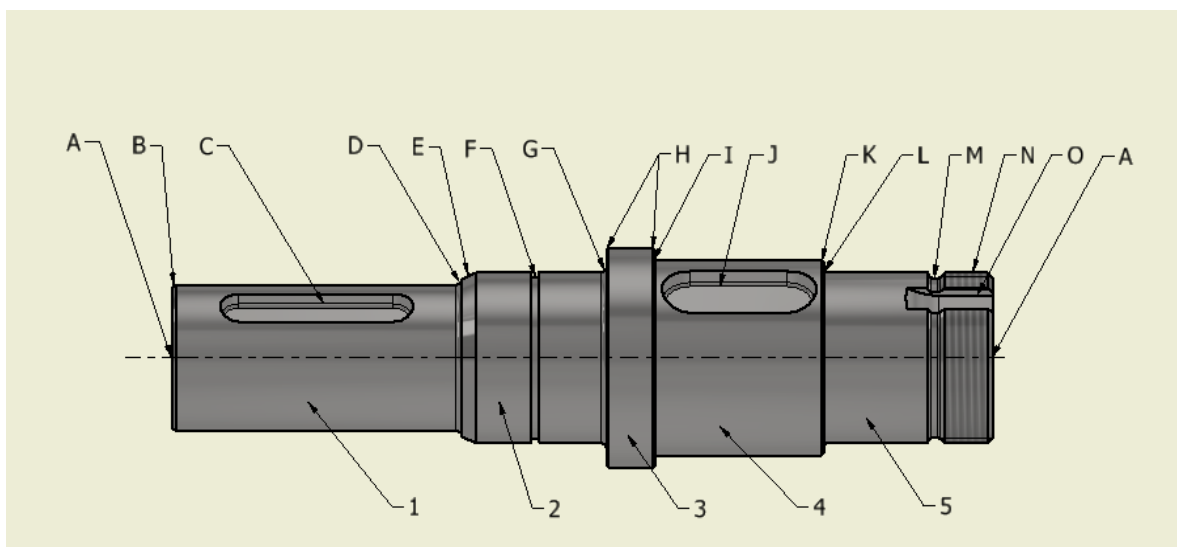
$$\sigma_{7ex} = \alpha_{07} \cdot \sigma_7 = 2,15 \cdot 0,733 = 1,576 \text{ MPa} \quad (2.51)$$

Součást je nejvíce namáhána v místě 4. Jedná se o přechod (s poloměrem zaoblení R1) mezi průměrem, na který je nalisováno ložisko a čelní opěrnou plochou pro ložisko. Působí zde redukované napětí $\sigma_{4red} = 38,352 \text{ MPa}$. Dovolené hodnoty napětí pro materiál 11 500 jsou [7]:

- $\sigma_{Do} = 80 \text{ MPa}$,
- $\tau_{DK} = 50 \text{ MPa}$.

Maximální vypočtená hodnota redukovaného napětí, nepřekročila dovolené hodnoty smykového, ani ohybového napětí.

2.4 Rozbor funkčních částí hřídele, konstrukčních prvků a součástí



Obr. 13 Popis funkčních částí hřídele a konstrukčních prvků

Tab. 4 Části a konstrukční prvky hřídele

1	Válcová část hřídele $\varnothing 30 \times 60$ mm
2	Válcová část hřídele $\varnothing 35 \times 30$ mm
3	Válcová část hřídele $\varnothing 45 \times 10$ mm
4	Válcová část hřídele $\varnothing 40 \times 35$ mm
5	Válcová část hřídele $\varnothing 35 \times 35$ mm
A	Středící důlek typu A dle ISO 6411
B	Sražení hrany $1 \times 30^\circ$
C	Drážka pro pero pro $\varnothing 30$ mm dle ČSN 02 2507
D	Zaoblení hrany R1
E	Sražení hrany $3 \times 25^\circ$
F	Drážka pro pojistný kroužek pro $\varnothing 35$ mm dle ČSN 02 2930
G	Zaoblení hrany R1
H	Sražení hrany $0,5 \times 45^\circ$
I	Zaoblení hrany R1
J	Drážka pro pero pro $\varnothing 40$ mm dle ČSN 02 2507
K	Sražení hrany $0,5 \times 45^\circ$
L	Zaoblení hrany R1
M	Drážka vnějšího metrického závitu o šířce 4 mm a hloubce 1,15 mm dle ČSN ISO 4755
N	Metrický závit M35x1,5 mm
O	Drážka pro pojistnou podložku s přímým ozubem délky 18 mm a hloubky 2,5 mm

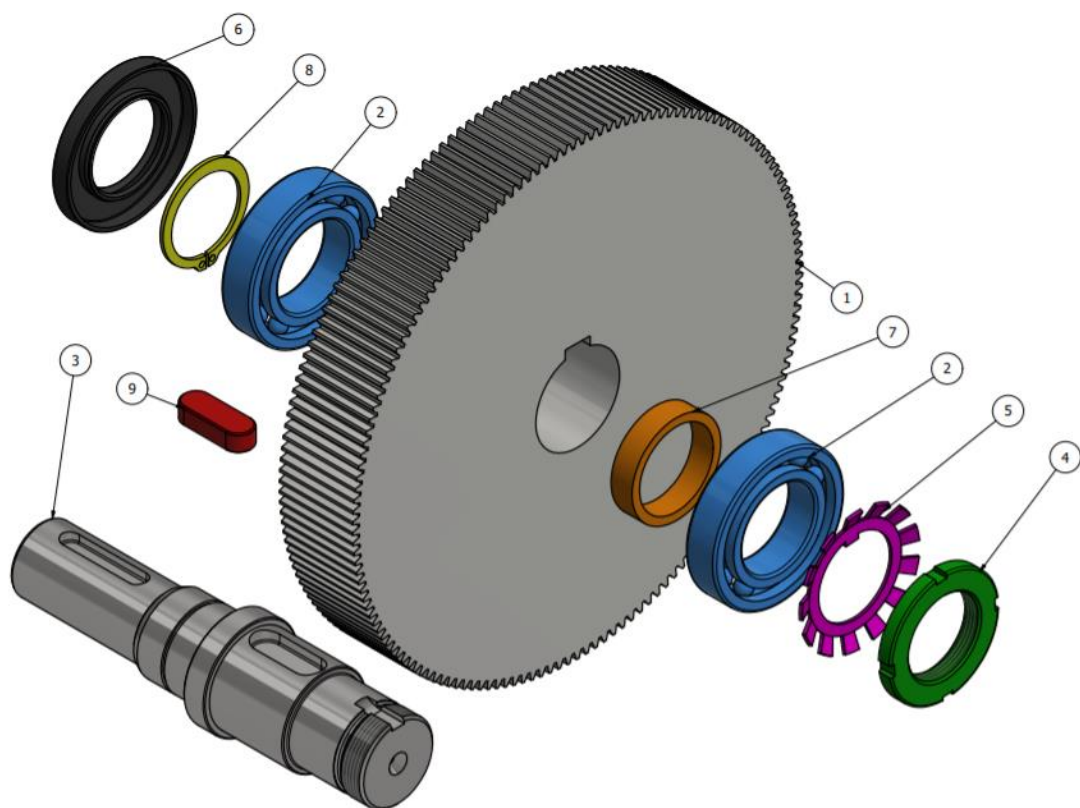
Válcová část hřídele, o průměru 35 mm a délce 60 mm, slouží k přenosu výstupního kroutícího momentu a připojení ke stroji. Na čelní ploše je navrtán středící důlek, pro upnutí hřídele mezi hroty. Hrana čelní plochy je sražena o hodnotu $1 \times 30^\circ$. K přenesení kroutícího momentu, je vyfrézována drážka pro pero se zaobleným dnem. Druhý konec válcové části má zaoblenou hranu o poloměr 1 mm.

Další válcová část hřídele, o průměru 35 mm a délce 30 mm, je rozdělena na dva úseky, s rozlišnou rozměrovou tolerancí. První úsek s tolerancí h8, je určen k uložení hřídelového těsnícího kroužku, který je na vnějším průměru nalisován na víko převodovky. Slouží, jako těsnící prvek proti možnému úniku oleje z převodové skříně. Pro snadnou montáž těsnícího kroužku, je čelní plocha sražena o hodnotu $3 \times 25^\circ$. Na druhý úsek s tolerancí k6 je nalisováno jednořadá kuličkové ložisko. To je proti axiálnímu posuvu zajištěno pojistným hřídelovým kroužkem. Pojistný kroužek je umístěn v normalizované drážce. Opěrná plocha pro ložisko má zaoblenou hranu o poloměr 1 mm.

Největší válcová plocha má průměr 45 mm a délku 10 mm. Tato část hřídele má funkční pouze čelní plochy, z nichž jedna je opěrná plocha pro ložisko a o druhou je opřeno ozubené kolo. Obě čela jsou sražena o hodnotu $0,5 \times 45^\circ$.

Ozubené kolo je nasazeno na válcovou část hřídele o průměru 40 mm a délce 35 mm. Pro uložení pera a zajištění přenosu kroutícího momentu je zde vyfrézována drážka. Čelo na druhém konci válcové části je zkoseno o hodnotu $0,5 \times 45^\circ$.

Pátá válcová část hřídele, o průměru 35 mm a totožné délce 35 mm, je určena k nalisování druhého jednořadého kuličkového ložiska. Ložisko je zde na jednom konci zajištěno, proti axiálnímu posuvu, pomocí pojistné matice se čtyřmi drážkami (dříve KM matice). Matice je našroubována na závit M 35 x 1,5 mm, jenž je ukončen drážkou. Ta slouží k bezpečnému vyjetí nože, při soustružení závitu. Povolení matice zamezuje pojistná podložka s přímým ozubem (dříve MB podložka). K nasunutí podložky je skrz závit vyfrézována drážka pro pojistnou matici. Na čelní plochu, jejíž hrana je zkosená o hodnotu $1 \times 45^\circ$, je navrtán druhý středící důlek. Jedná se o středící důlek typu A.



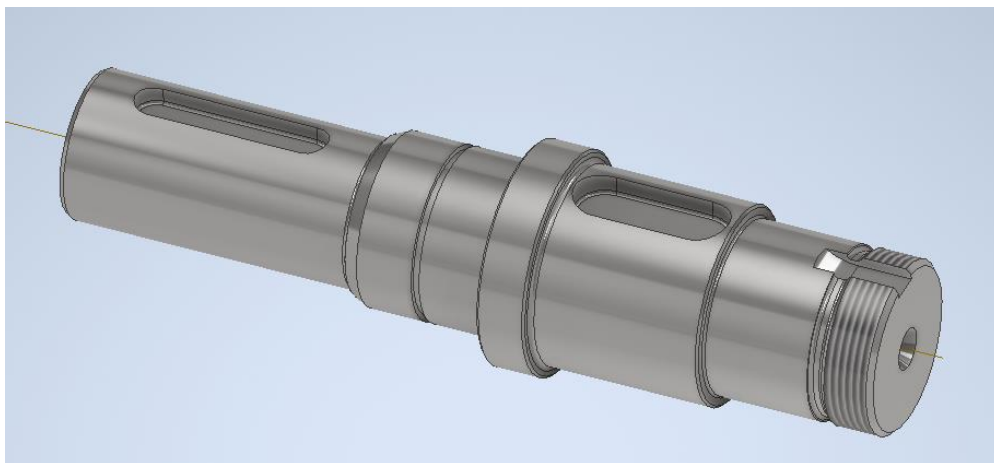
9	Pero těsné 12 x 8 x 32	ČSN 02 2562	-	1
8	Pojistný hřídelový kroužek 35 x 1,5	ČSN 02 2930	-	1
7	Distanční kroužek 42,4 x 3,6 - 5	ČSN 42 5715	11 353	1
6	Hřídelový těsnící kroužek GP 35 x 62 x 7 - NBR	ČSN 02 9401	-	1
5	Pojistná podložka s přímým ozubem - 35	ISO 2982-2	-	1
4	Pojistná matice se čtyřmi drážkami - M 35 x 1,5	ISO 2982-2	-	1
3	Výstupní hřídel	ČSN 42 5551	11 500	1
2	Kuličkové ložisko jednořadé 6007	ČSN 02 4630	-	2
1	Čelní ozubené kolo	-	14 220	1
POLOŽKA	NÁZEV	NORMA	MATERIÁL	KS

Obr. 14 Popis součástí na výstupním hřídeli

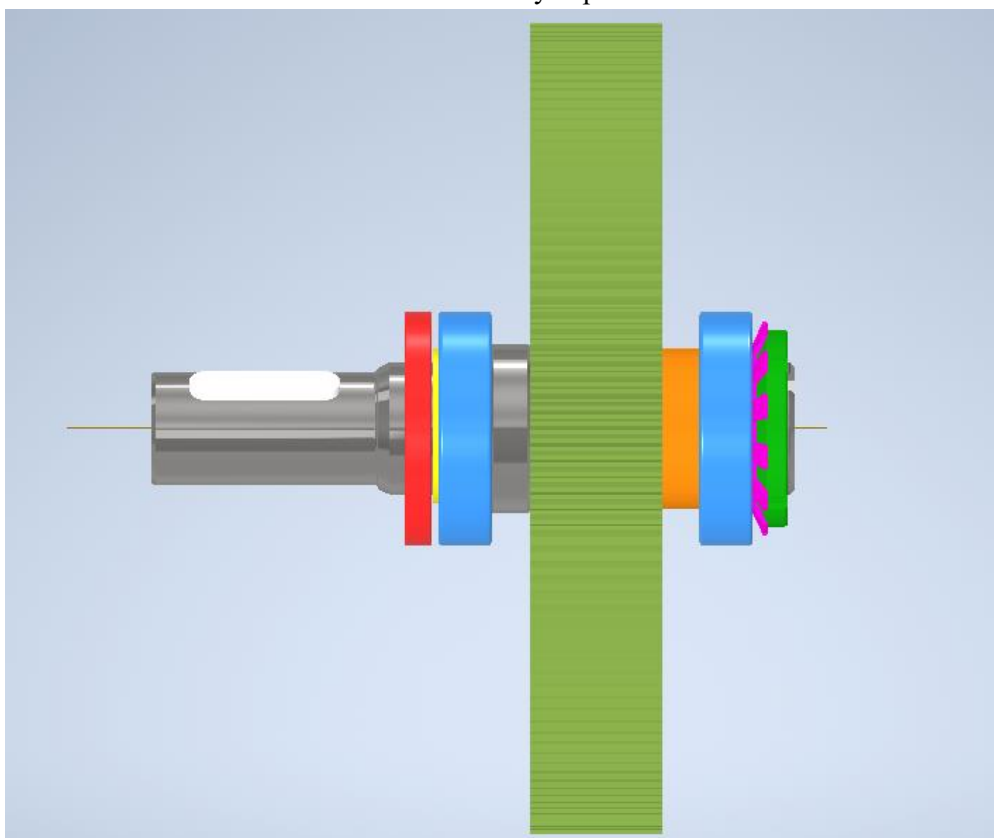
3 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

Na základě výpočtů rozměrů a celkového rozvržení hřídele, byl zhotoven 3D model a výrobní výkres součásti v programu Autodesk Inventor Professional 2021.

3D model výstupní hřídele



Obr. 15 3D model výstupní hřídele



Obr. 16 3D model výstupní hřídele včetně hřídelových součástí a ozubeného kola

Výkres výstupní hřídele je umístěn v příloze 1.

4 ZPRACOVÁNÍ TPV DOKUMENTACE

Technická příprava výroby (TPV), je výrobní proces, do kterého je v této práci zahrnuto:

- popsání výrobních podmínek,
- posouzení technologičnosti konstrukce součásti,
- volba polotovaru,
- výpočet spotřeby materiálu,
- volbu strojů,
- volbu nástrojů,
- zpracování technologického postupu,
- zpracování operačních návodek,
- ekonomické zhodnocení.

4.1 Popis výrobních podmínek

Součást má být vyrobena technologií třískového obrábění. Jedná se o kusovou výrobu, o celkovém množství třiceti kusů. Materiál hřídelové součásti je ocel 11 500.

4.2 Technologičnost konstrukce

Technologicky vhodná konstrukce, by měla kromě funkčních požadavků, splňovat také výrobní požadavky, požadavky z hlediska demontáže, údržby, recyklovatelnosti a ekologie. Mezi požadavky na výrobu se řadí například malé výrobní náklady, nízká hmotnost, malá pracnost, vhodná volba materiálů, sériovost, či montáž [8].

Součást neobsahuje žádná tvarově složitá místa. Jedná se o rotační součást s pěti válcovými segmenty, doplněnou o konstrukční normalizované prvky. Pouze drážka pro pojistnou podložku s přímým ozubem má nenormalizované rozměry. Nejedná se ale o konstrukčně složitý prvek. Z hlediska rozměrových a geometrických tolerancí jsou zde nejpřesnější plochy pro nalisování ložisek. V obou případech se jedná o $\varnothing 35k6$ s drsností povrchu Ra 0,8 a tolerancí válcovitosti o hodnotě 0,005 mm.

Další aspekty technologičnosti, jako výrobní náklady, sériovost, hmotnost a pracnost jsou obsaženy v následujících kapitolách práce. Celkové posouzení vhodnosti součásti z hlediska technologičnosti je možné, až po zpracování celého návrhu výroby.

4.3 Volba polotovaru a jeho rozměry

Volba polotovaru byla provedena v návaznosti na materiál a rozměry součásti. Jako výchozí polotovar, byla zvolena ocelová tyč kruhového průřezu válcovaná za tepla, dle normy ČSN 42 5551. Materiálem je ocel 11 500 [7].

Přídavek na délku byl zvolen 3 mm. Největší průměr součásti není funkčním rozměrem, není tedy nutno, určovat přídavek na průměr. Celkový rozměr polotovaru je tedy $\varnothing 45-173$ mm.

S ohledem na sériovost výroby, bude polotovar dělen na pásové pile.

4.4 Výpočet spotřeby materiálu

Objem polotovaru

$$V_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,173 = 2,751 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4.1)$$

V_p ... objem polotovaru [m^3]

d_p ... průměr polotovaru [m]

l_p ... délka polotovaru [m]

Výpočet hmotnosti polotovaru

$$Q_p = V_p \cdot \rho = 2,751 \cdot 10^{-4} \cdot 7850 = 2,160 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Q_p ... hmotnost polotovaru [kg]

ρ ... hustota materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hmotnost hotové součásti

$$Q_s = 1,262 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Q_s ... hmotnost hotové součásti [kg]

Výpočet proveden v programu Autodesk Inventor Professional 2021.

Výpočet počtu přířezů z jedné tyče

$$n_p = \frac{L}{l_p + s} = \frac{6000}{173 + 0,65} = 34,552 \cong 34 \text{ ks} \quad (4.4)$$

n_p ... počet přířezů z jedné tyče [ks]

L ... celková délka tyče [mm]

s ... šířka řezu, při dělení pásovou pilou [mm]

Nevyužitá délka tyče

$$l_k = L - n_p \cdot (l_p + s) = 6000 - 34 \cdot (173 + 0,65) = 95,9 \text{ mm} \quad (4.5)$$

l_k ... délka nevyužitého konce tyče [mm]

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče

$$Q_k = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_k \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,0959 \cdot 7850 = 1,197 \text{ kg} \quad (4.6)$$

Q_k ... ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče [kg]

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče, připadající na jeden díl

$$q_k = \frac{Q_k}{n_p} = \frac{1,197}{34} = 0,035 \text{ kg} \quad (4.7)$$

q_k ... ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jeden díl [kg]

Výpočet ztrát vzniklých obráběním

$$q_o = Q_p - Q_s = 2,160 - 1,262 = 0,898 \text{ kg} \quad (4.8)$$

q_o ... ztráta materiálu vzniklá obráběním [kg]

Ztráta materiálu při dělení, připadající na jeden díl

$$q_u = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot s \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,00065 \cdot 7850 = 8,115 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad (4.9)$$

q_u ... ztráta materiálu při dělení, pro jeden díl [kg]

Celkové ztráty

$$Z_m = q_k + q_0 + q_u = 0,035 + 0,898 + 8,115 \cdot 10^{-3} = 0,941 \text{ kg} \quad (4.10)$$

Z_m ... celkové ztráty materiálu [kg]

Norma spotřeby materiálu

$$N_m = Q_s + Z_m = 1,262 + 0,94 = 2,203 \text{ kg} \quad (4.11)$$

N_m ... Norma spotřeby materiálu [kg]

Stupeň využití materiálu

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{1,262}{2,203} = 0,573 \quad (4.12)$$

k_m ... stupeň využití materiálu [kg]

Celkový počet tyčí pro sérii

$$t_{celk} = \frac{N}{n_p} = \frac{30}{34} = 0,882 \cong 1 \text{ ks} \quad (4.13)$$

t_{celk} ... celkový počet tyčí pro sérii [ks]

N ... velikost série [ks]

Pro výrobu celé série, bude stačit jedna tyč o délce 6 m.

4.5 Volba strojů

Pro výrobu zadané součásti, bude potřeba vykonat operace:

- řezání (dělení materiálu),
- navrtávání,
- soustružení (čelní, podélné, zapichování, soustružení závitu),
- frézování,
- broušení.

4.5.1 Pásová pila Bernardo EBS 128 CL (400 V)

Výchozím polotovarem pro výrobu hřídele, je kruhová tyč válcovaná za tepla o délce 6 m. Ve výrobní sérii je 30 kusů, které se budou postupně odřezávat z tyče, za pomoci pásové pily na jednotlivé díly o délce 172 mm.

Pásová pila na kov řady Bernardo EBS s dvojitým pokosem a oboustranným natáčením ramene pro řezání úhlu v rozmezí $(-60^\circ$ až $+45^\circ)$, je vybavena automatickým koncovým vypínačem, který po ukončení řezu zastavuje pilový pás. Dále je zařízení vybaveno pojízdným podstavcem, chladicím systémem a rychloupínacím svěrákem včetně dorazu. Regulaci rychlosti klesání do řezu zajišťuje hydraulický válec [9].



Obr. 17 Pásová pila na kov Bernardo EBS 128 CL (400 V) [9].

Tab. 5 Technické parametry pásové pily [9].

Výkon motoru	550 W
Řezná rychlost	23 / 35 / 55 m · min ⁻¹
Napájecí napětí	400 V
Pracovní výška	740 mm
Rozměr pásu	1638 x 13 x 0,65 mm
Rozměry stroje	1000 x 550 x 1100 mm
Hmotnost	85 kg

4.5.2 Univerzální hrotový soustruh s CNC řízením MASTURN 550i

Hrotový soustruh s CNC řízením bude využit k čelnímu i podélnému soustružení válcových ploch. Zapichováním se obrobí konstrukční drážky na hřídeli a závitovým nožem bude zhotoven závit.

MASTURN 550i je stroj, vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu. Vyznačuje se vysokou přesností, výkonností a jednoduchou obsluhou. Na rozdíl od konvenčních univerzálních soustruhů, lze zde nastavit konstantní řeznou rychlost, což má pozitivní vliv na kvalitu opracovaného povrchu. Obrábění může být prováděno ručním řízením, nebo v automatovém cyklu s podporou CNC systému. Program je možno vytvářet DIN programováním, nebo konturovým programováním. [10]



Obr. 18 Univerzální hrotový soustruh s CNC řízením MASTURN 550i [10].

Tab. 6 Technické parametry hrotového soustruhu [10].

Maximální Ø soustružení	500 mm
Maximální délka soustružení	900 / 1 600 mm
Maximální hmotnost obrobku	1000 kg
Oběžný průměr nad ložem	550 mm
Oběžný průměr nad příčným suportem	350 mm
Vzdálenost hrotů	900 (1 600) mm
Výkon motoru	17 000 W
Automatická převodovka	2 stupně
Rozsah otáček vřetena	0 - 3 000 min ⁻¹
Rozměry stroje (délka × šířka × výška)	2 538 / 3 238 × 1 920 × 1 755 mm
Hmotnost stroje	3 200 / 3 400 kg
Řídicí systém	HEIDENHAIN MANUAL plus 620 / SIEMENS SINUMERIK 828D

4.5.3 Frézka FNG 40 CNCA

Drážky pro těsné pero a pro pojistnou podložku s přímým ozubem, budou zhotoveny frézováním na stroji FNG 40 CNCA.

Jedná se o nástrojářskou frézku, určenou pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitovací operace, na obrocích do celkové hmotnosti 350 kg, ve všech oblastech strojní výroby. Mezi předností stroje patří pneu-hydraulické upínání, plynule stavitelné otáčky, vysoká tuhost, přesnost a spolehlivost. [11]



Obr. 19 Frézka FNG 40 CNCA [11].

Tab. 7 Technické parametry konzolové frézky [11].

Rozměr pracovní plochy	800 x 400 mm
Pracovní zdvih X, Y, Z	600, 400, 400 mm
Vřeteno	ISO 40
Otáčky vřetene	50 ÷ 4000 min ⁻¹
Výkon motoru vřetene	5000 W
Hmotnost	2750 kg

4.5.4 Hrotová univerzální bruska BUB E CNC

Válcové plochy pro uložení ložisek a hřídelového těsnícího kroužku, požadují nejvyšší rozměrovou přesnost a jakost povrchu na celé součásti. Proto budou tyto plochy broušeny na univerzální hrotové brusce BUB E CNC.

Jedná se o numericky řízený broušící stroj se třemi řízenými osami. V ose X je prováděn přísuv vřeteníku, v ose Z délkový posuv stolu a v ose C otáčky pracovního vřeteníku. Je určen zejména pro řízené broušení vnějších válcových a kuželových ploch obrobků podélným, nebo zapichovacím způsobem. Je zde také možnost tvarového broušení a broušení různých přechodů. Bruska dovoluje obrábět dílce až do hmotnosti 500 kg. [12]



Obr. 20 Hrotová univerzální bruska BUB E CNC [12].

Tab. 8 Technické parametry hrotové brusky [12].

Oběžný průměr	320 / 400 / 500 mm
Vzdálenost hrotů	1000 / 1500 / 2000 mm
Max. hmotnost obrobku	500 kg
Rozsah natáčení B osy	+45° / -15° (ruční)
Max. počet nástrojů	1 + 1
Obvodová rychlost broušícího kotouče	25 ÷ 45 (10 ÷ 50 volitelně) m · s ⁻¹
Broušící kotouč (průměr x šířka x díra)	Ø 500 x 80 x Ø 203 mm
Výkon elektromotoru broušícího vřeteníku	11 kW
Dosahované přesnosti	2 ÷ 4 µm

4.6 Volba nástrojů

Po zvolení strojů, je třeba ke každému vybrat optimální a kompatibilní nástroje.

Tab. 9 Seznam nástrojů [9], [13], [15], [16].

Operace	Název nástroje	Označení nástroje	Výrobce	Číslo nástroje
Dělení	Pilový pás	BER471010	Bernardo	N1
Navrtávání	Středící vrták	A2004.0X10.0	Dormer Pramet	N2
Soustružení	Vnější hrubovací nůž	PCLNR 2525 M 12	Dormer Pramet	N3
	Hrubovací VBD	CNMG 120412E-FM	Dormer Pramet	-
	Vnější dokončovací nůž	SVJBR 1616 H 11	Dormer Pramet	N4
	Dokončovací VBD	VBMT 110302E-FM	Dormer Pramet	-
	Vnější závitový nůž	SER 2020 K 16	Dormer Pramet	N5
	Závitová VBD	TN 16ER150M	Dormer Pramet	-
	Vnější zapichovací nůž	GFKR 2020 K 02	Dormer Pramet	N6
	Zapichovací VBD	LCMF 022002-F1	Dormer Pramet	-
Frézování	Stopková drážkovací fréza	C3066.0	Dormer Pramet	N7
Broušení	Brousící kotouč plochý	T1 250x32x32 96A4006V40	TYROLIT	N8

4.6.1 Pilový pás

Nástroj od výrobce Bernardo je určen k dělení (řezání) polotovaru na pásové pile. Pás je vyroben z rychlořezné oceli (HSS) a jeho rozměry jsou 1638 x 13 x 0,65 mm [9].



Pilové pásy HSS

Obr. 21 Pilový pás [9].

4.6.2 Středící vrták

Středící vrták slouží k navrtání středících důlků typu A, pro následné upnutí hřídele mezi hroty. Tento typ upnutí obrobku zajistí přesnější výrobu a menší obvodové házení. Aplikuje se při operaci soustružení a broušení.

Středící vrták A200 od výrobce Dormer Pramet, je vyroben z rychlořezné oceli (HSS), dle normy DIN 333A. Úhel špičky nástroje je 118° a úhel záhlubníku je 60° [13].



Obr. 22 Středící vrták [13].

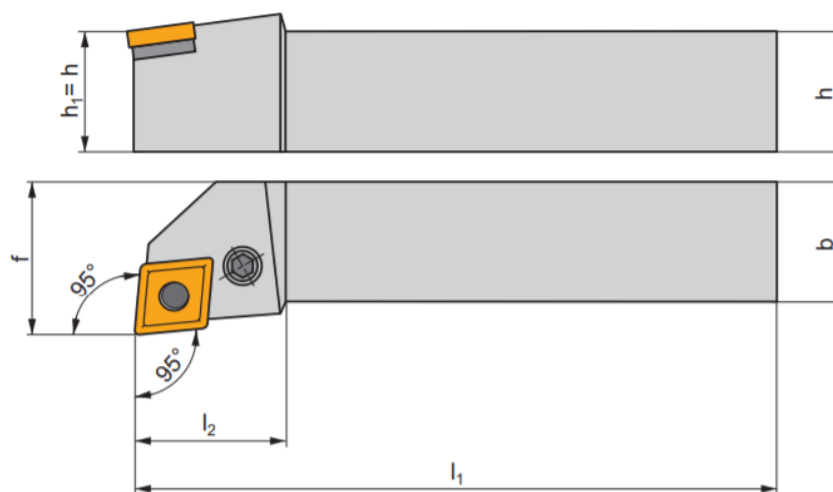
Tab. 10 Parametry středícího vrtáku [13].

$\varnothing d_1$	4 mm
$\varnothing d_2$	10 mm
l_1	55 mm
l_2	5,9 – 5,0 mm
Označení	A2004.0X10.0
Materiál	HSS

4.6.3 Vnější hrubovací nůž

Hrubování je operace, kde se soustružnickým nožem odebírá větší množství materiálu, za co nejmenší čas, nehledě na jakost obráběné plochy. Úběr materiálu probíhá za vyšší posuvové rychlosti a větší hloubce řezu.

Pro tuto operaci byl vybrán externí soustružnický nůž od firmy Dormer Pramet s označením PCLNR 2525 M 12. Je vhodný jak pro hrubovací, tak i pro dokončovací soustružení za stabilních i zhoršených záběrových podmínek. Umožňuje podélné i čelní soustružení s osazením, soustružení kuželových ploch a srážení hran [13].

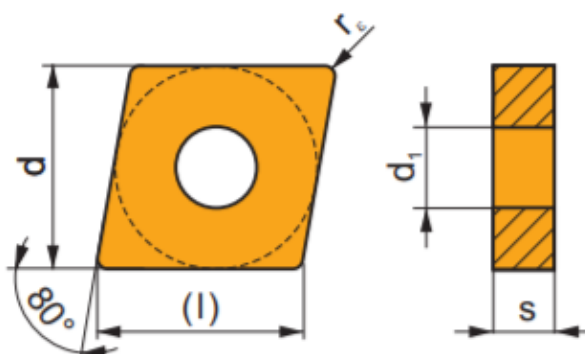


Obr. 23 Vnější hrubovací nůž [13].

Tab. 11 Parametry vnějšího hrubovacího nože [13].

Označení ISO	PCLNR 2525 M 12
$h = h_1$	25 mm
b	25 mm
f	32 mm
l_1	150 mm
l_2	36 mm
λ_s	-6°
γ_o	-6°
Hmotnost	0,68 kg
Strana	R (pravý)

Pro zvolený hrubovací nůž byla přidělena vyměnitelná břitová destička tvaru C, jež má označení CNMG 120412E-FM. Materiálem břitové destičky je T9325 s MTCVD povlakem. VBD je vhodná pro soustružení konstrukčních i nástrojových ocelí, korozivzdorných ocelí i litin [13].



Obr. 24 Hrubovací VBD [13].

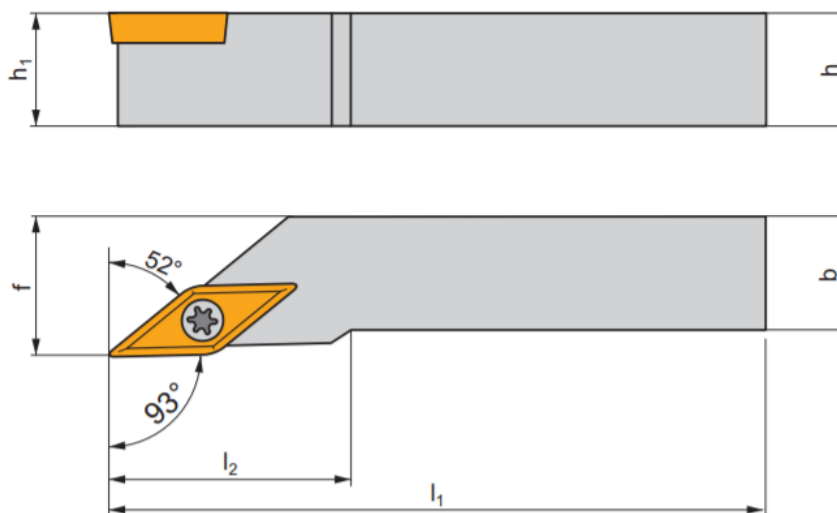
Tab. 12 Parametry hrubovací VBD [13].

Označení ISO	CNMG 120412E-FM
l	12,9 mm
d	12,7 mm
d_1	5,16 mm
s	4,76 mm
r_e	1,2 mm
f	0,15 – 0,45 mm
a_p	1,2 – 4 mm

4.6.4 Vnější dokončovací nůž

Dokončovací soustružení, nebo také soustružení na čisto, je operace, která následuje po hrubování. Účelem je dosažení konečného tvaru a rozměru o vysoké jakosti povrchu a vysoké přesnosti. K dosažení těchto parametrů, je nutné vhodné zvolení rezných podmínek. Na rozdíl od operace hrubování, jsou zde voleny nižší posuvové rychlosti, nižší hloubka řezu a vyšší rezná rychlost.

Pro obrobení na čisto, byl zvolen vnější soustružnický nůž s označením SVJBR 1616 H 11 od výrobce Dormer Pramet. Je určen pro podélné, kopírovací (vícesměrné) obrábění vnějších ploch, déle je vhodný pro obrábění kuželových ploch a úkosování. Nástroj vyžaduje stabilní záběrové podmínky [13].

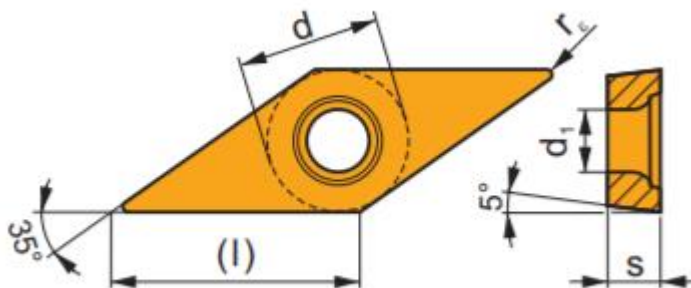


Obr. 25 Dokončovací vnější nůž [13].

Tab. 13 Parametry vnějšího dokončovacího nože [13].

Označení ISO	SVJBR 1616 H 11
$h = h_1$	16 mm
b	16 mm
f	20 mm
l_1	100 mm
l_2	20 mm
λ_s	0°
γ_o	0°
κ	93°
Hmotnost	0,20 kg
Strana	R (pravý)

Vliv na kvalitu výsledného povrchu, má také volba vhodné břitové destičky. Pro tento nástroj byla zvolena VBD s označením VBMT 110302E-FM. Jedná se o břitovou destičku tvaru V s rektifikačním břitem, úhlem špičky 35° a poloměrem špičky 0,2 mm [13].



Obr. 26 Dokončovací VBD [13].

Tab. 14 Parametry dokončovací VBD [13].

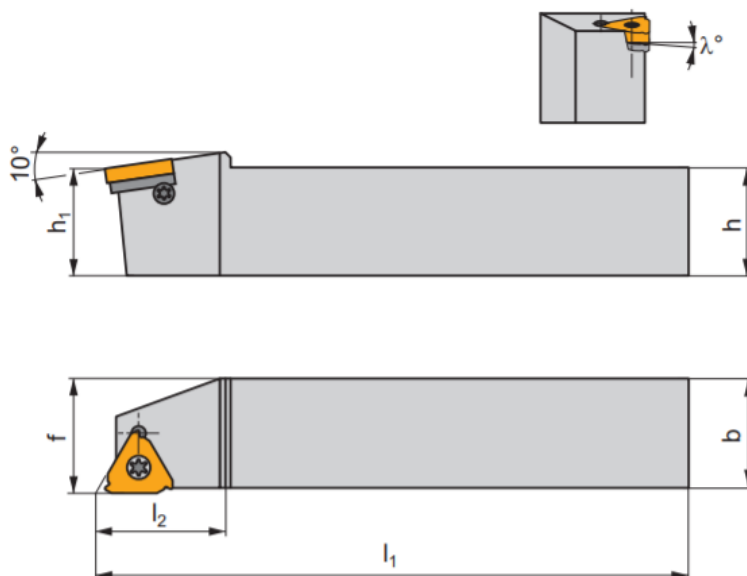
Označení ISO	VBMT 110302E-FM
l	11,1 mm
d	6,35 mm
d_1	2,8 mm
s	3,18 mm
r_e	0,2 mm
f	0,07 – 0,1 mm
a_p	0,2 – 2 mm

4.6.5 Vnější závitový nůž

Metrický závit, pro pojistnou matici se čtyřmi drážkami, bude zhotoven externím závitovým nožem.

Řezání závitu na soustruhu je proces třískového obrábění materiálu soustružnickým nožem, jehož břitová destička má profil shodný s tvarem závitové mezery. U soustružení závitů je nutno správně zvolit geometrii břitové destičky, tomu odpovídající držák a úhlovou podložku. Dále je třeba zvolit optimální řeznou rychlost, počet průchodů a hloubku přísuvu na průchod [14].

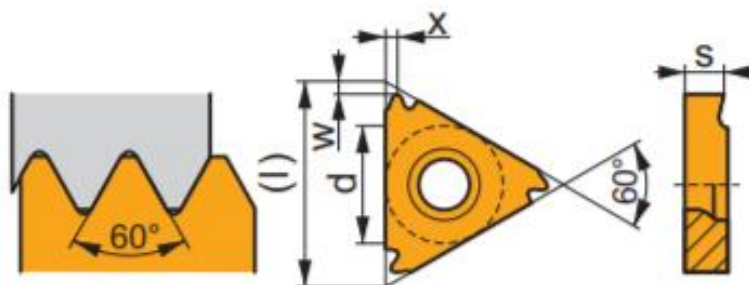
Prvním krokem u volby nástroje je výběr břitové destičky. Jedná se o VBD tvaru T, s označením TN 16ER150M, od výrobce Dormer Pramet. Dle parametrů zvolené VBD, byl následně vybrán odpovídající nůž SER 2020 K 16 [13].



Obr. 27 Vnější závitový nůž [13].

Tab. 15 Parametry vnějšího závitového nože [13].

Označení ISO	SER 2020 K 16
$h = h_1$	20 mm
b	20 mm
f	20 mm
l_1	125 mm
l_2	22,5 mm
λ	1,5°
Hmotnost	0,5 kg
Strana	R (pravý)



Obr. 28 Závitová VBD [13].

Tab. 16 Parametry závitové VBD [13].

Označení ISO	TN 16ER150M
l	16,5 mm
d	9,525 mm
s	3,47 mm
x	0,8 mm
w	0,8 mm
Strana	R (pravý)

Aby při řezání závitu nedocházelo k nerovnoměrnému otěru bočních břitů destičky a ke zkreslení průřezu závitu, musí úhel naklonění břitové destičky odpovídat úhlu stoupání šroubovice. Úhel naklonění držáků závitových nožů (naklonění VBD) bývá zpravidla $\lambda = 1,5^\circ$. K dosažení přibližně stejného sklonu VBD, jako je úhel stoupání šroubovice, se použije vhodná redukční podložka [13].

Výpočet úhlu stoupání šroubovice:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{p}{d_s \cdot \pi} \Rightarrow \omega = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{1,5}{33,9 \cdot \pi} \right) = 0,807^\circ \quad (4.14)$$

ω ... úhel stoupání šroubovice [°]

p ... stoupání závitu [mm]

d_s ... střední průměr závitu [mm]

Tab. 17 Volba podložky [13].

Úhel nastavení / Uhol nastavenia λ	Pozitivní / Pozitívne					Negativní / Negatívne		pro zápichové VBD pre zápichové VRD TN16... ZZ
	4,5°	3,5°	2,5°	1,5°	0,5°	-0,5°	-1,5°	
Závitový nůž / Závitový nôž	Označení podložky / Označenie podložky							
SER16; SIL16	PE16+4,5	PE16+3,5	PE16+2,5	PE16+1,5	PE16+0,5	PE16-0,5	PE16-1,5	PE16ZZ
SEL16; SIR16	PI16+4,5	PI16+3,5	PI16+2,5	PI16+1,5	PI16+0,5	PI16-0,5	PI16-1,5	PI16ZZ
SER22; SIL22	PE22+4,5	PE22+3,5	PE22+2,5	PE22+1,5	PE22+0,5	PE22-0,5	PE22-1,5	-
SEL22; SIR22	PI22+4,5	PI22+3,5	PI22+2,5	PI22+1,5	PI22+0,5	PI22-0,5	PI22-1,5	-
SER-S22; SIL-S22	PE22S+4,5	PE22S+3,5	PE22S+2,5	PE22S+1,5	PE22S+0,5	PE22S-0,5	PE22S-1,5	-
SEL-S22; SIR-S22	PI22S+4,5	PI22S+3,5	PI22S+2,5	PI22S+1,5	PI22S+0,5	PI22S-0,5	PI22S-1,5	-

Vypočtená hodnota úhlu stoupání šroubovice je $\omega = 0,807^\circ$. Držák je nakloněný o hodnotu $\lambda = 1,5^\circ$. Z Tab. 17, byla vybrána podložka PE16-0,5 s úhlem nastavení $-0,5^\circ$. Při aplikaci podložky pod břitovou destičku se výsledný úhel sklonu zredukuje na hodnotu $\lambda = 1^\circ$. Odchyłka od požadované vypočtené hodnoty je $0,193^\circ$, což je zanedbatelné [13].

Tab. 18 Tabulka dělení třísky [13].

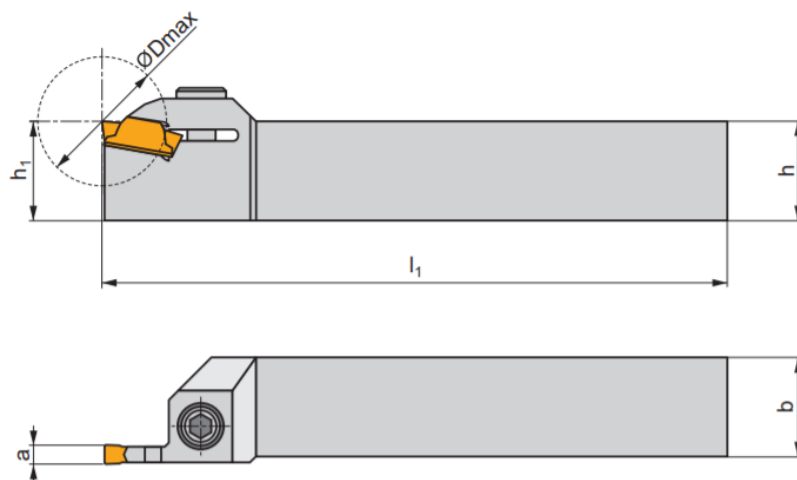
počet záběrů počet záberov	SNIŽOVAT ŘEZNOU RYCHLOST ÚMĚRNĚ S ROSTOUCÍM STOUPÁNÍM ZNIŽOVAŤ REZNÚ RÝCHLOSŤ ÚMERNE S RASTÚCIM STÚPANIM														
	stoupání [mm] / stúpanie [mm]														
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.75	1.5	1.25	1.0	0.75	0.50
1	0,46	0,43	0,41	0,37	0,34	0,34	0,28	0,27	0,24	0,22	0,22	0,21	0,18	0,16	0,11
2	0,43	0,40	0,39	0,34	0,32	0,31	0,26	0,24	0,22	0,20	0,20	0,17	0,16	0,14	0,09
3	0,35	0,32	0,32	0,28	0,25	0,25	0,21	0,20	0,18	0,17	0,17	0,14	0,12	0,11	0,07
4	0,30	0,28	0,27	0,24	0,22	0,21	0,18	0,17	0,16	0,14	0,14	0,11	0,11	0,07	0,06
5	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,12	0,10	0,08		
6	0,26	0,24	0,24	0,22	0,18	0,18	0,15	0,15	0,12	0,10	0,08	0,08			
7	0,24	0,21	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10					
8	0,23	0,20	0,20	0,18	0,15	0,15	0,13	0,11	0,08	0,08					
9	0,22	0,19	0,19	0,17	0,14	0,14	0,12	0,11							
10	0,19	0,18	0,18	0,16	0,13	0,12	0,11	0,08							
11	0,18	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10								
12	0,16	0,15	0,15	0,13	0,12	0,08	0,08								
13	0,15	0,14	0,12	0,12	0,11										
14	0,13	0,13	0,10	0,10	0,08										
15	0,13	0,12													
16	0,10	0,10													
hloubka profilu hĺbka profilu	3,83	3,52	3,19	2,87	2,53	2,23	1,92	1,60	1,25	1,13	0,93	0,81	0,65	0,48	0,33

Závít na součásti má stoupání $p = 1,5$ mm. Při výrobě je třeba celkovou hloubku profilu řezat na 6 záběrů, dle Tab.18.

4.6.6 Vnější zapichovací nůž

K obrobení drážky pro pojistný hřídelový kroužek a drážky vnějšího metrického závitu, bude použit vnější zapichovací nůž.

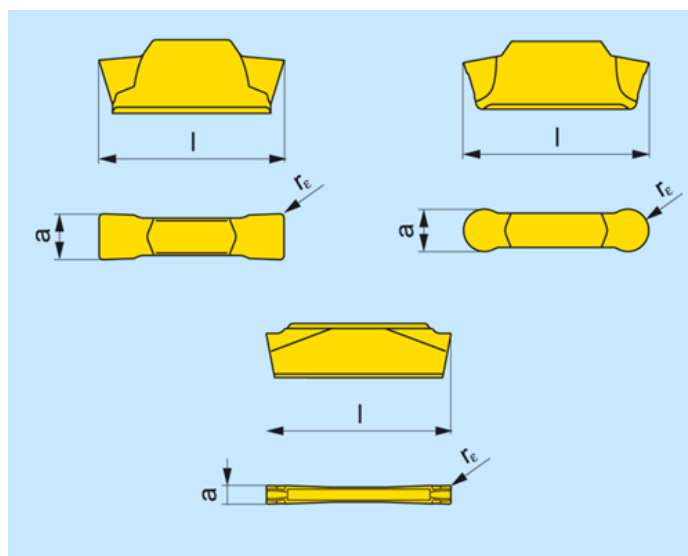
Externí zapichovací nůž GFKR 2020 K 02 je vhodný pro radiální upichování, zapichování i vícesměrné kopírování. Dovoluje maximální průměr zápichu 32 mm [13]. K držáku byla přiřazena kompatibilní břitová destička s označením LCMF 022002-F1. VBD o šířce 2 mm a délce 19,5 mm je vyrobeno z řezného materiálu T8330 [15].



Obr. 29 Vnější zapichovací nůž [13].

Tab. 19 Parametry vnějšího zapichovacího nože [13].

Označení ISO	GFKR 2020 K 02
$h = h_1$	20 mm
b	20 mm
l_1	125 mm
a	2 mm
D_{max}	32 mm
Hmotnost	0,4 kg
Strana	R (pravý)



Obr. 30 Zapichovací VBD [15].

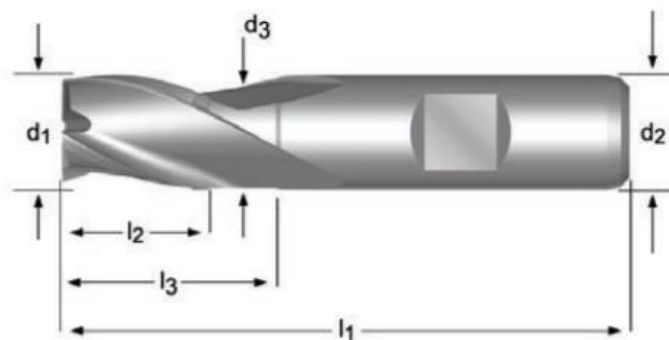
Tab. 20 Parametry zapichovací VBD [15].

Označení ISO	LCMF 022002-F1
a	2 mm
l	19,5 mm
r_{ϵ}	0,2 mm
f	0,03 – 0,18 mm
a_p	0,5 – 1,5 mm

4.6.7 Stopková drážkovací fréza

Drážky pro těsné pero a pojistnou podložku s přímým ozubem, budou obrobeny drážkovací stopkovou frézou o průměru 6 mm.

Monolitní stopková fréza se třemi břity od výrobce Dormer Pramet, nese označení C3066.0. Nástroj je z rychlořezné oceli HSS-E PM, vyrobené pomocí práškové metalurgie. Fréza je určena především pro zavrtávání, nebo drážkování s tolerancí P9 [13].



Obr. 31 Stopková drážkovací fréza [13].

Tab. 21 Parametry stopkové drážkovací frézy [13].

Označení	C3066.0
d_1	6 mm
d_2	6 mm
d_3	-
l_1	52 mm
l_2	8 mm
l_3	-
z	3
Materiál	HSS-E PM

4.6.8 Brousící kotouč

Dokončovací operace vnějších válcových ploch pro uložení ložisek a hřídelového těsnícího kroužku, bude realizováno na hrotové brusce, pomocí brousícího plochého kotouče.

Kotouč T1 250x32x32 96A40O6V40 od výrobce TYROLIT, je určen pro broušení ocelí třídy 11, do tvrdosti 55 HRC. Materiál nástroje je hnědý umělý korund s keramickým pojivem [16].



Obr. 32 Brousící kotouč [16].

Tab. 22 Parametry brousícího kotouče [16].

Označení	T1 250x32x32 96A40O6V40
Průměr brousícího kotouče	250 mm
Šíře kotouče	32 mm
Průměr otvoru	32 mm

4.7 Technologický postup

Technologický postup (jinak výrobní postup), je dokument, obsahující chronologicky řazený sled jednotlivých pracovních činností výroby součásti. Podkladem pro jeho zpracování, je výrobní výkres. V technologickém postupu se dále uvádí údaje o polotovaru, výrobní prostředky (stroje, nástroje, přípravky, měřidla), technologické podmínky a rozměry jednotlivých operací.

Technologický postup výroby hřídele je uveden v příloze 2.

4.8 Výrobní návodky

Operace potřebné k výrobě hřídele, jsou popsány ve výrobním postupu. Seznam nástrojů, včetně označení je uveden v Tab. 9. Na základě těchto podkladů, byly zpracovány výrobní návodky pro jednotlivé operace. Ve výrobních návodkách jsou podrobně rozpočítané řezné podmínky a strojní časy. Ke každé návodce je přiřazen obrázek, na kterém je znázorněn prováděný úkon. Vypočítané časy budou použity pro ekonomické propočty.

Výrobní návodka č. 1 je uvedena v příloze 3.

Výrobní návodka č. 2 je uvedena v příloze 4.

Výrobní návodka č. 3 je uvedena v příloze 5.

Výrobní návodka č. 4 je uvedena v příloze 6.

Výrobní návodka č. 5 je uvedena v příloze 7.

Vztah pro výpočet otáček vřetena stroje:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (4.15)$$

n ... otáčky vřetena stroje [min^{-1}]

D ... obráběný průměr [mm]

v_c ... řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Vztah pro výpočet jednotkového strojního času:

$$t_{AS} = \left(\frac{L}{n \cdot f} \right) \cdot i = \left(\frac{l + l_n + l_p}{n \cdot f} \right) \cdot i \quad (4.16)$$

t_{AS} ... jednotkový strojní čas [min]

L ... celková délka dráhy nástroje [mm]

l ... obráběná délka [mm]

l_n ... délka náběhu [mm]

l_p ... délka přeběhu [mm]

n ... otáčky vřetena stroje [min^{-1}]

f ... posuv nástroje [mm]

i ... počet přejezdů [-]

Vztah pro výpočet jednotkového vedlejšího času:

$$t_{AV} = \frac{L}{n \cdot f_r} \quad (4.17)$$

t_{AV} ... jednotkový vedlejší čas [min]

L ... celková délka dráhy nástroje [mm]

f_r ... rychloposuv [mm]

Vztah pro výpočet řezné rychlosti při broušení:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad (4.18)$$

d_s ... průměr brousícího kotouče [mm]

n_s ... otáčky brousícího kotouče [min^{-1}]

v_c ... řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Vztah pro výpočet obvodové rychlosti obrobku při broušení:

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \quad (4.19)$$

d_w ... průměr obrobku [mm]

n_w ... otáčky obrobku [min^{-1}]

v_w ... obvodová rychlost obrobku [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

4.9 Ekonomické propočty

Celkový čas pro výrobu dané součásti se skládá z jednotkového strojního času, jednotkového vedlejšího času a času na výměnu a seřízení stroje. Strojní a vedlejší čas byl vypočten při sestavování výrobních návodů. Časy na výměnu a seřízení v ekonomickém propočtu nebudou zohledněny. Je totiž obtížné tyto časy přesně stanovit. Jednalo by se zde pouze o určitý odhad. Proto je cílem tohoto propočtu, co nejvíce se přiblížit přesné hodnotě, nikoliv ji přesně stanovit.

Tab. 23 Výrobní časy na jednotlivých strojích

Stroj	t_{as} [min]	t_{av} [min]
Pásová pila EBS 128 CL	1,251	0,056
Hrotový soustruh MASTURN 550i	1,770	0,655
Frézka FNG 40 CNCA	1,022	0,162
Hrotová bruska BUB E CNC	0,447	0,036
Σ	4,490	0,909

Celkový výrobní čas zadané série

$$t_{CELK} = \sum t_{AS} + t_{AV} = 4,490 + 0,909 = 5,399 \text{ min} \quad (4.20)$$

t_{CELK} ... celkový výrobní čas pro jednu součást [min]

$$t_{SER} = \frac{N * t_{CELK}}{60} = \frac{30 * 5,399}{60} = 2,700 \text{ hod} \quad (4.21)$$

t_{SER} ... celkový výrobní čas zadané série [hod]

Celkový výkon všech strojů

Celkový výkon všech použitých strojů $P_c = 33,55$ kW.

Tab. 24 Výkon jednotlivých strojů [9], [10], [11], [12].

Stroj	Výkon [kW]
Pásová pila EBS 128 CL	0,550
Hrotový soustruh MASTURN 550i	17,000
Frézka FNG 40 CNCA	5,000
Hrotová bruska BUB E CNC	11,000
Σ	33,550

Spotřeba elektrické energie

Pro výpočet spotřeby elektrické energie, je potřeba znát příkon všech zařízení. Jelikož se ale nepodařilo dohledat příkony všech strojů, byly použity hodnoty výkonů. Spotřeba elektrické energie je tak zkrslena o účinnost daných strojů.

$$E = P_C \cdot t_{SER} = 33,550 \cdot 2,700 = 90,585 \text{ kWh} \quad (4.22)$$

E ... spotřeba elektrické energie [kWh]

$$C_{EL} = E \cdot 5,81 = 90,585 \cdot 5,81 = 526,299 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

C_{EL} ... cena el. energie za spotřebu všech strojů [Kč]

Průměrná cena elektrické energie za rok 2021 je 5,81 Kč/kWh [17].

Počet nástrojů

$$VBD_x = \frac{t_H \cdot N}{T \cdot n_O} \quad (4.24)$$

VBD_x ... potřebný počet destiček [ks]

t_H ... Čas destičky v řezu [min]

N ... Počet vyráběných součástí [ks]

T ... Trvanlivost jednoho břítu [min]

n_O ... Počet břitů destičky [-]

Počet destiček CNMG 120412E-FM pro hrubovací operace:

$$VBD_1 = \frac{0,584 \cdot 30}{15 \cdot 2} = 0,584 \Rightarrow 1 \text{ ks} \quad (4.25)$$

Počet destiček VBMT 110302E-FM pro dokončovací operace:

$$VBD_2 = \frac{0,940 \cdot 30}{15 \cdot 2} = 0,940 \Rightarrow 1 \text{ ks} \quad (4.26)$$

Počet destiček TN 16ER150M pro závitovací operace:

$$VBD_3 = \frac{0,051 \cdot 30}{15 \cdot 3} = 0,034 \Rightarrow 1 \text{ ks} \quad (4.27)$$

Počet destiček LCMF 022002-F1 pro zapichovací operace:

$$VBD_4 = \frac{0,054 \cdot 30}{15 \cdot 2} = 0,054 \Rightarrow 1 \text{ ks} \quad (4.28)$$

K výrobě celé série postačí jedna destička pro každý soustružnický nůž.

Celková cena výrobních operací

Celková cena výroby zahrnuje náklady na elektrickou energii, náklady na práci (mzda dělníka) a cenu nástrojů (VBD).

$$C_p = t_{SER} \cdot H_p = 2,700 \cdot 185 = 499,5 \text{ Kč} \quad (4.29)$$

C_p ... náklady na práci [Kč]

H_p ... hodinová mzda dělníka [Kč]

Hodinová mzda dělníka byla určena, dle průměrné hodinové mzdy, pro pozici Operátora CNC výroby [18].

Třetím faktorem, pro určení celkových nákladů na výrobu, jsou ceny vyměnitelných břitových destiček soustružnických nožů. Ceny jednotlivých destiček včetně DPD, jsou uvedeny Tab. 25.

Tab. 25 Cena břitových destiček [19].

Destička	Potřebený počet kusů	Cena s DPH [Kč]
CNMG 120412E-FM	1	244,95
VBMT 110302E-FM	1	322,20
TN 16ER150M	1	472,08
LCMF 022002-F1	1	537,91
Celková cena		1577,14

$$C_{SER} = C_p + C_N + C_{EL} = 499,5 + 1577,14 + 526,299 = 2602,939 \text{ Kč} \quad (4.30)$$

C_{SER} ... Celková cena výrobních operací pro celou sérii [Kč]

C_N ... náklady na nástroje [Kč]

Pro porovnání, byla spočtena zvlášť cena, za výrobu jednoho kusu dané série C_{KUS1} a také cena, za výrobu pouze jednoho kusu, bez ohledu na sérii C_{KUS2} .

$$C_{KUS1} = \frac{C_{SER}}{N} = \frac{2602,939}{30} = 86,765 \text{ Kč} \quad (4.31)$$

C_{KUS1} ... Celková cena výrobních operací pro jeden kus v sérii [Kč]

$$\begin{aligned} C_{KUS2} &= C_p + C_N + C_{EL} = (t_{CELK} \cdot H_p) + C_N + (P_C \cdot t_{CELK} \cdot 5,81) \\ &= \left(\frac{5,399}{60} \cdot 185\right) + 1577,14 + \left(33,550 \cdot \frac{5,399}{60} \cdot 5,81\right) = 1611,327 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.32)$$

C_{KUS2} ... Celková cena výrobních operací při výrobě jen jednoho kusu [Kč]

Výsledná cena, pro výrobu celé série třiceti kusů, je 2519,355 Kč. Jeden kus v sérii tedy cenově vychází na 83,979 Kč. Náklady na výrobu jedné součásti činí 1608,541 Kč.

5 ZHODNOCENÍ NÁVRHU

Cílem práce bylo navrhnout výrobu hřídelové součásti pomocí technologického procesu obrábění. Samotnému návrhu výroby však předchází i správný konstrukční návrh doplněný o kontrolní výpočty namáhání dané součásti. Práce se tedy zabývá nejen technologií výroby, ale částečně i konstrukční problematikou, která právě s již zmiňovanou technologií úzce souvisí.

Počátečním krokem, byl výpočet nejmenšího průměru hřídele (vstupní i výstupní), ze vstupních parametrů jednostupňové převodovky. Poté proběhl návrh všech rozměrů a konstrukčních prvků výstupní hřídele. Pro zjištění velikosti všech sil, které působí na hřídel a zároveň generují namáhání na ohyb a krut, bylo pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2021, vygenerováno ozubené soukolí včetně všech jeho parametrů. Na základě těchto hodnot byl proveden kontrolní výpočet namáhání hřídele. Dále byl proveden rozbor funkčních částí hřídele, konstrukčních prvků a součástí (ložiska, pojistné podložky, těsná pera,...). Poslední konstrukční částí práce bylo vytvoření 3D modelu a výrobního výkresu v SW Autodesk Inventor Professional 2021.

Výkresová dokumentace byla podkladem pro zpracování technické přípravy výroby (TPV). Zde byl určen materiál hřídele. Následně byly vypočteny rozměry polotovaru a byla zvolena velikost výrobní série. Pro všechny výrobní operace, bylo dále třeba zvolit vhodné stroje a jejich nástroje. Dále byl zpracován technologický postup, včetně operačních návodek. Na základě těchto dokumentů byly poté provedeny ekonomické propočty.

ZÁVĚR

V konstrukčním návrhu, byla provedena kontrola namáhání na ohyb a krut, v nebezpečných průřezích součásti. Nejvyšší vypočtená hodnota redukováného napětí $\sigma_{4red} = 38,352$ MPa, nepřesahuje dovolené hodnoty ohybového $\sigma_{D0} = 80$ MPa, ani smykového napětí $\tau_{DK} = 50$ MPa [7].

V Technologickém návrhu (technologické přípravě výroby), byla zvolena velikost výrobní série. Jedná se o kusovou výrobu, o celkovém množství, třiceti vyráběných kusů. Pro výrobek byl navržen materiál, z konstrukční nelegované oceli 11 500. Další částí TPV, byla volba a propočet polotovaru, jejímž výstupem, byl stupeň využití materiálu $k_m = 0,573$. Z vypracovaného technologického postupu a operačních návodů, byly získány výrobní časy. Celkový výrobní čas pro zhotovení jedné součásti $t_{CELK} = 5,399$ min a celkový výrobní čas zadané série $t_{SER} = 2,700$ hod. Do celkového výrobního času, nebyl zohledněn čas, na výměnu obrobku a seřízení nástroje, protože tento faktor nelze přesně stanovit. V praxi totiž pracovník, který obsluhuje daný stroj, provede tuto činnost pokaždé za jiný čas. Jednalo by se zde pouze o určitý odhad.

Na základě spotřeby elektrické energie, počtu potřebných vyměnitelných břitových destiček, pro soustružnické nástroje a výrobních časů, byla zjištěna celková cena výrobních operací. Náklady na výrobu celé série činí 2602,939 Kč. Jedna součást dané série tedy stojí 86,765 Kč. Pokud by byl stejný výrobní postup navržen, pro zhotovení pouze jednoho kusu, cena dané součásti by činila 1611,327 Kč. Je tedy mnohem výhodnější, aplikovat tento výrobní postup, pro větší počet kusů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KRÍŽ, Rudolf. *Strojírenská konstrukce I: učebnice pro 3. ročník středních průmyslových škol strojnických, studijní obor Strojnická konstrukce*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1986.
2. SVOBODOVÁ, Magdalena. *Převody a mechanizmy: Průmyslové převodovky*. Sokolska [online]. Brno: Magdalena Svobodová, 2013 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-06.pdf
3. Šneková převodovka. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0nekov%C3%A1_p%C5%99evodovka
4. KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů: ročníkový projekt I : konstrukční návrh převodovky*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2420-6.
5. PSP Pohony a.s. [online]. *Katalog TS 031 319. 2021*. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: http://www.pohony.cz/files/pohony/_products/2/128-ts_031_319.pdf
6. HÖSCHL, Cyril. *Pružnost a pevnost ve strojnictví: učebnice pro vysoké školy*. Praha: SNTL, 1971. Řada teoretické literatury.
7. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
8. *Technologičnost konstrukce se zaměřením na obrábění. Strojnické tabulky online* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r.o. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.strojnicketabulkyonline.cz/obrabeni/technologicnost-konstrukce-se-zamerenim-na-obrabeni/>
9. BERNARDO [online]. *PÁSOVÉ A KOTOUCOVÉ PILY*. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/pdf-files/b/e/bernardo-pily.pdf>
10. KOVOSVIT MAS [online]. *MASTURN 550i - CZ*. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1542352101_cs_masturn_line_cz-web.pdf
11. TOS Olomouc, s.r.o. [online]. *FNG 40 CNC A*. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng40-cnc-a.pdf>
12. STROJIMPORT a.s. [online]. *CATALOGUE OF MACHINERY AND EQUIPMENT*. 2019. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: https://www.strojimport.cz/wp-content/uploads/2020/01/ENG_2019.pdf

13. Dormer Pramet, s.r.o. [online]. *Katalog pro školy – vybraný sortiment*. 2017. [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z: <https://www.prametheus.cz/admin/files/ModuleText/26/catalogue-prametheus-2017-complete-screen-j.pdf>
14. Soustružení závitů – technická část. *CRS tools* [online]. Vsetín [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://crstools.cz/soustruzeni-zavitu-2/technicka-cast/>
15. Dormer Pramet, s.r.o. [online]. *ECatalog Dormer Pramet s.r.o.* [vid. 20. 05. 2021]. Dostupné z <http://ecat.pramet.com/insertsGrid.aspx>
16. Kotouč T1 250x32x32 96A40O6V40 421585 TYROLIT. *Techcentrum* [online]. Česká Třebová [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t1-250x32x32-96a40o6v40-421585-tyrolit>
17. BŘEZINOVÁ, Jana. *Cena elektřiny za kWh 2021: Domácnost platí 5,81 Kč v D02d* [online]. 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-v-roce-2021>
18. Průměrný plat pro pozici operátor CNC. *Jaký je průměrný plat? • Průměrné platy.cz* [online]. 20. 5. 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://prumerneplaty.cz/pozice/operator-cnc>
19. VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY. *FALTI* [online]. Horní Suchá [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.falti.cz/vymenitelne-britove-desticky>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CNC	Computer Numerical Control
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
HRC	Hardness Rockwell C
HSS	High Speed Steel
ISO	International Organization for Standardization
MTCVD	Medium temperature chemical vapor deposition
PVD	Physical Vapour Deposition
SK	Slinutý karbid
SW	Software
TPV	Technická příprava výroby
VBD	Vyměnitelná Břitová Destička

Symbol	Jednotka	Popis
a	[mm]	Osová vzdálenost
a	[mm]	Šířka destičky
ap	[mm]	Šířka záběru ostří
b	[mm]	Šířka ozubení
b	[mm]	Šířka drážky pro pero
b	[mm]	Šířka držáku
CEL	[Kč]	Cena el. energie za spotřebu všech strojů
CKUS1	[Kč]	Celková cena výrobních operací pro jeden kus v sérii
CKUS2	[Kč]	Celková cena výrobních operací při výrobě jen jednoho kusu
C _n	[Kč]	Náklady na nástroje
C _p	[Kč]	Náklady na práci
CSER	[Kč]	Celková cena výrobních operací pro celou sérii
d	[mm]	Průměr roztečné kružnice
D	[mm]	Obráběný průměr

d' ₁	[mm]	Průměr vstupní hřídele oslabený o hloubku drážky pro pero
d' ₂	[mm]	Průměr výstupní hřídele oslabený o hloubku drážky pro pero
d₁	[mm]	Průměr vstupní hřídele
d₂	[mm]	Průměr výstupní hřídele
d_a	[mm]	Průměr hlavové kružnice
d_b	[mm]	Průměr základní kružnice
d_f	[mm]	Průměr patní kružnice
D_{max}	[mm]	Maximální průměr pro čelní zápich
d_p	[m]	Průměr polotovaru
d_s	[mm]	Střední průměr závitu
d_s	[mm]	Průměr brousícího kotouče [mm]
d_w	[mm]	Průměr obrobku
E	[kWh]	Spotřeba elektrické energie
f	[mm]	Šířka hlavy nože
f	[mm]	Posuv na otáčku
F_a	[N]	Axiální síla
F_{Ay}	[N]	Reakční síla v ložisku A působící v ose x
F_{Az}	[N]	Reakční síla v ložisku A působící v ose z
F_{By}	[N]	Reakční síla v ložisku B působící v ose y
F_{Bz}	[N]	Reakční síla v ložisku B působící v ose z
F_n	[N]	Normální síla
F_r	[mm]	Radiální síla
F_r	[mm]	Rychloposuv na otáčku
F_t	[N]	Obvodová síla
F_x	[N]	Síla působící v ose x
F_y	[N]	Síla působící v ose y
F_z	[N]	Síla působící v ose z
h=h₁	[mm]	Výška držáku
H_p	[Kč]	Hodinová mzda dělníka
i	-	Převodový poměr

I	-	První interval
i	-	Počet přejezdů
km	[kg]	Stupeň využití materiálu
L	[mm]	Celková délka tyče
l	[mm]	Délka řezné hrany VBD
L	[mm]	Délka dráhy nástroje
L	[mm]	Obráběná délka
l₁	[mm]	Celková délka držáku
l₂	[mm]	Délka hlavy nože
LH	[hod]	Životnost
lk	[mm]	Délka nevyužitého konce tyče
L_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[m]	Délka polotovaru
L_p	[mm]	Délka přeběhu
m	[mm]	Modul
M_{Ay}	[N.m]	Moment v ose y k bodu A
M_{Az}	[N.m]	Moment v ose z k bodu A
M_{k1}	[N.m]	Kroutící moment v místě 1
M_{ki}	[N.m]	Vstupní kroutící moment
M_{ko}	[N.m]	Výstupní kroutící moment
M_{o5}	[N.m]	Ohybový moment v místě 4
M_x	[N.m]	Moment v ose x
N	[ks]	Velikost série
n	[m · min ⁻¹]	Otáčky vřetena stroje
n₁	[min ⁻¹]	Vstupní otáčky
N1	-	Číslo nástroje 1
n₂	[min ⁻¹]	Výstupní otáčky
N_m	[kg]	Norma spotřeby materiálu
n_o	-	Počet břitů destičky

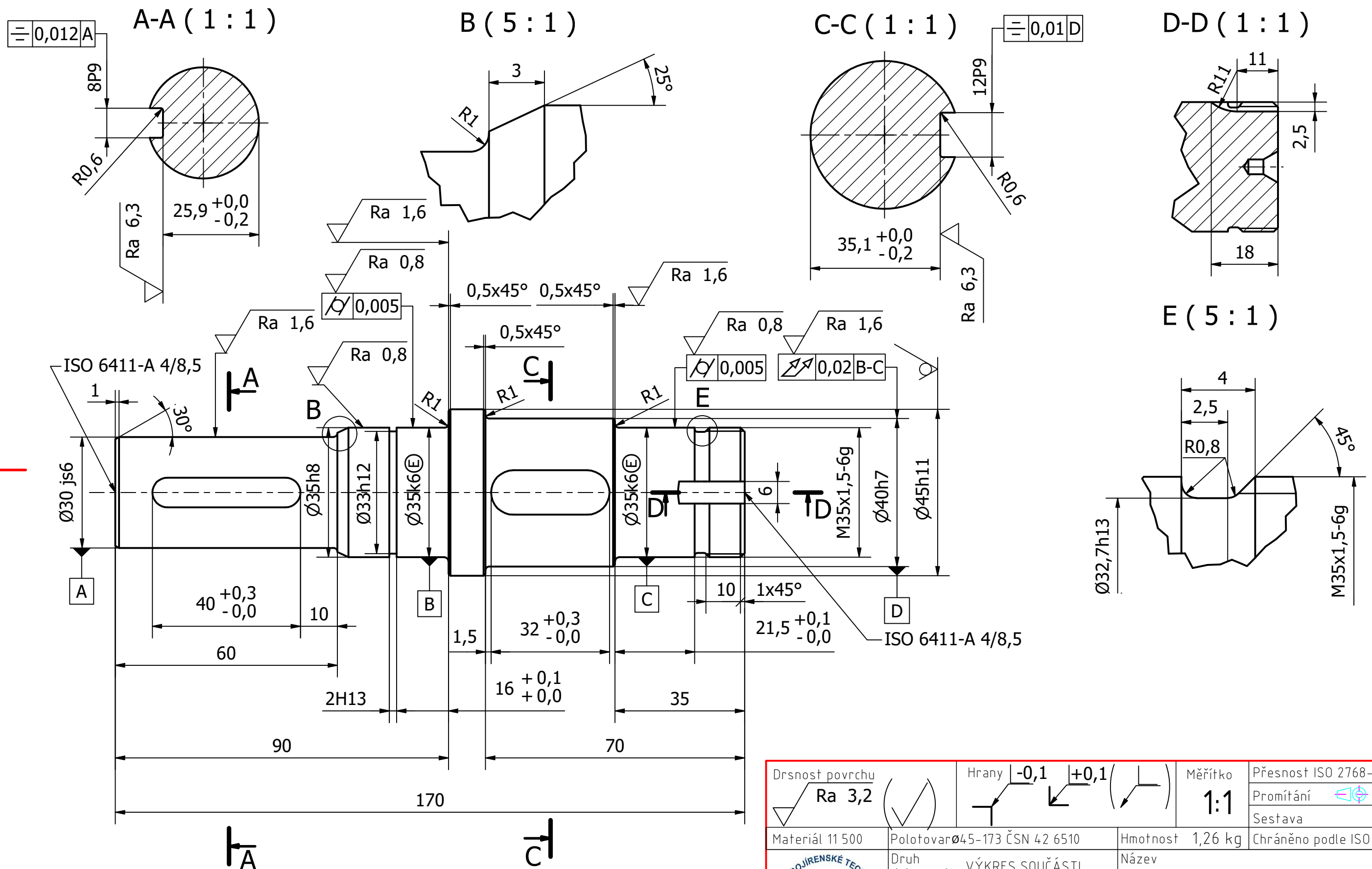
n_p	[ks]	Počet přířezů z jedné tyče
n_s	[min ⁻¹]	Otáčky brousícího kotouče
n_w	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
p	[mm]	Rozteč zubů
p	[mm]	Stoupání závitu
P_1	[kW]	Vstupní výkon
P_2	[kW]	Vstupní výkon
P_c	[kW]	Celkový výkon všech použitých strojů
Q_k	[kg]	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče
q_k	[kg]	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jeden díl
q_o	[kg]	Ztráta materiálu vzniklá obráběním
Q_p	[kg]	Hmotnost polotovaru
Q_s	[kg]	Hmotnost hotové součásti
q_u	[kg]	Ztráta materiálu při dělení, pro jeden díl
R_1	[mm]	Poloměr zaoblení 1 mm
R_a	[μ m]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
R_q	[μ m]	Střední kvadratická hodnota drsnosti
r_ε	[mm]	Rádus špičky destičky
s	[mm]	Šířka řezu, při dělení pásovou pilou
s	[mm]	Tloušťka destičky
t	[mm]	Hloubka drážky na pero
T	[min]	Trvanlivost jednoho břitu
t_{as}	[min]	Jednotkový strojní čas
t_{av}	[min]	Jednotkový vedlejší čas
t_{celk}	[ks]	Celkový počet tyčí pro sérii
t_{CELK}	[min]	Celkový výrobní čas pro jednu součást
t_h	[min]	Čas destičky v řezu
t_{SER}	[min]	Celkový výrobní čas zadané série
v	[m/s]	Obvodová rychlost

VBD_x	[ks]	Potřebný počet destiček
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
V_p	[m ³]	Objem polotovaru
v_w	[m · min ⁻¹]	Obvodová rychlost obrobku
W_k	[mm ³]	Modul průřezu v krutu
W_{k1}	[mm ³]	Modul průřezu v krutu v místě 1
x_l	[mm]	Rozsah prvního intervalu
z	-	Počet zubů
Z_m	[kg]	Celkové ztráty materiálu
α	[°]	Úhel profilu
α_{k1}	-	Součinitel koncentrace napětí pro smykové namáhání v místě 1
α_{o4}	[MPa]	Součinitel koncentrace napětí pro namáhání ohybem v místě 4
β	[°]	Úhel sklonu
γ_o	[°]	Ortogonální úhel čela nástroje
κ	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
λ	[°]	Úhel naklopení břitové destičky
λ_s	[°]	Úhel sklonu břitu nástroje
σ_{4e}	[MPa]	Ohybové napětí v místě 4
σ_{4ex}	[MPa]	Extrémní ohybové napětí v místě 4
σ_{4red}	[MPa]	Redukované napětí v místě 4
τ₁	[MPa]	Smykové napětí v místě 1
τ_{1ex}	[MPa]	Extrémní smykové napětí v místě 1
τ_{DK}	[MPa]	Dovolené smykové napětí
ω	[s ⁻¹]	Úhlová rychlost
ω	[°]	Úhel stoupání šroubovice
ρ	[kg · m ⁻³]	Hustota materiálu
μ	-	Účinnost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres výstupní hřídele
Příloha 2	Technologický postup
Příloha 3	Výrobní návodka č. 1
Příloha 4	Výrobní návodka č. 2
Příloha 5	Výrobní návodka č. 3
Příloha 6	Výrobní návodka č. 4
Příloha 7	Výrobní návodka č. 5

Příloha 1 Výkres výstupní hřídele



Drsnost povrchu $Ra\ 3,2$	Hrany $-0,1$ $+0,1$	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mK
			Promítání
			Sestava
Materiál 11 500	Polotovary 45-173 ČSN 42 6510	Hmotnost 1,26 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Název VÝSTUPNÍ HŘÍDEL	
	Kreslil Dominik Fiala	Číslo dokumentu BP-01-01	
	Schválil		
Datum vydání 16.05.2021			

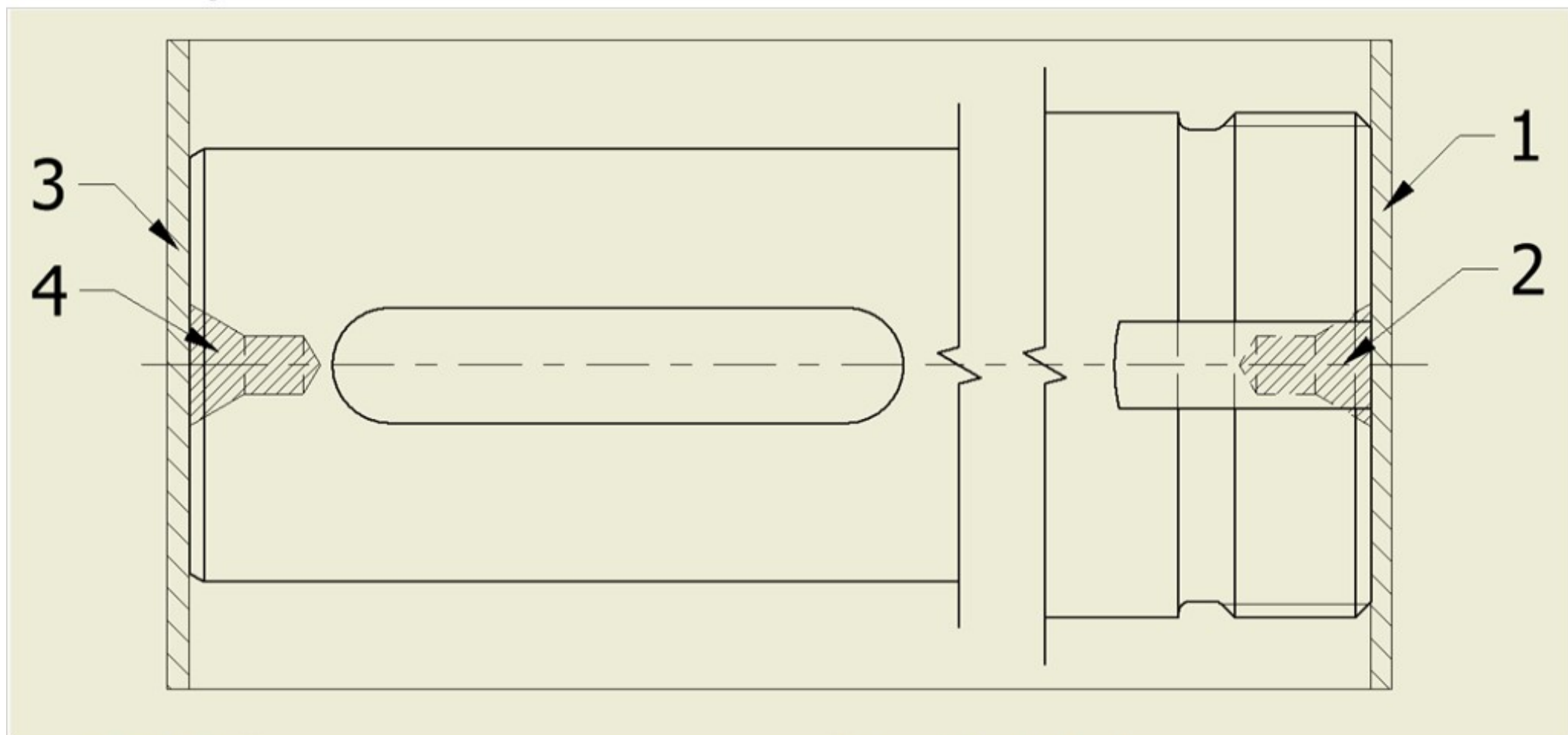
Příloha 2 (1/2) Technologický postup

VUT BRNO FSI ÚST		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Materiál: 11 500	List: 01/00
Datum: 10.05.2021		Vyhotožil: Dominik Fiala		Polotovár: $\varnothing 45-173$ ČSN 426510	
Název součásti: Hřídel					
Číslo op. Pořadové:	Název stroje, třídící číslo	Popis práce v operaci: [mm]			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orientační:					
01/13	Pásová pila Bernardo EBS 128 CL	Řezat kruhovou tyč na délku $173 \pm 0,5$.			Pilový pás BER471010
02/13	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat délku polotovaru $173 \pm 0,5$. Četnost 10%.			Posuvné měřidlo
03/13	Hrotový soustruh MASTURN 550i	Upnout součást do sklíčidla.			-
		Zarovnat čelo na délku $171,5 \pm 0,5$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Navrtat středící důlek ISO 6411 – A 4/8,5.			Středící vrták A2004.0X10.0
		Otočit součást, upnout do sklíčidla.			-
		Zarovnat čelo na délku $170 \pm 0,5$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Navrtat středící důlek ISO 6411 – A 4/8,5.			Středící vrták A2004.0X10.0
04/13	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat délku polotovaru $170 \pm 0,5$. Četnost 10%.			Posuvné měřidlo
05/13	Hrotový soustruh MASTURN 550i	Upnout součást do sklíčidla a přisunout otočný hrot.			-
		Hrubovat $\varnothing 45$ na $\varnothing 41 \pm 0,3$ do délky $69,5 \pm 0,3$.			Vnější hrubovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Hrubovat $\varnothing 41 \pm 0,3$ na $\varnothing 37 \pm 0,3$ do délky $34,5 \pm 0,3$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Dokončit $\varnothing 37 \pm 0,3$ na $\varnothing 35^{+0}_{-0,1}$ do délky $13,5 \pm 0,2$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Dokončit $\varnothing 37 \pm 0,3$ na $\varnothing 35,6^{+0}_{-0,1}$ do délky $21 \pm 0,2$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
		Dokončit čelní plochu o $0,5$ z $\varnothing 37^{+0,1}_{-0}$ na $\varnothing 41 \pm 0,3$ a Ra 1,6.			
		Srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$.			
		Dokončit $\varnothing 41 \pm 0,3$ na $\varnothing 40h7$ a Ra 1,6 do délky $33,5 \pm 0,3$.			
		Soustružit rádius R1.			
		Dokončit čelní plochu o $0,5$ z $\varnothing 41 \pm 0,3$ na $\varnothing 50 \pm 0,3$.			
		Srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$.			
		Soustružit drážku závitu o šířce 4 a $\varnothing 32,7h13$ na délce $13,5^{+0}_{-0,1}$.			Vnější zapichovací nůž GFKR 2020 K 02
		Řezat závit M35x1,5-6g do délky $10 \pm 0,2$.			Vnější závitový nůž SER 2020 K 16
		Srazit hranu $1 \times 45^\circ$			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12
Otočit součást, upnout do sklíčidla a z druhé strany přisunout otočný hrot.			-		
Hrubovat $\varnothing 45$ na $\varnothing 41 \pm 0,3$ do délky $89,5 \pm 0,3$.			Vnější hrubovací nůž PCLNR 2525 M 12		
Hrubovat $\varnothing 41 \pm 0,3$ na $\varnothing 37 \pm 0,3$ do délky $89,5 \pm 0,3$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12		
Hrubovat $\varnothing 37 \pm 0,3$ na $\varnothing 31 \pm 0,3$ do délky $59,5 \pm 0,3$.			Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12		

Příloha 2 (2/2) Technologický postup

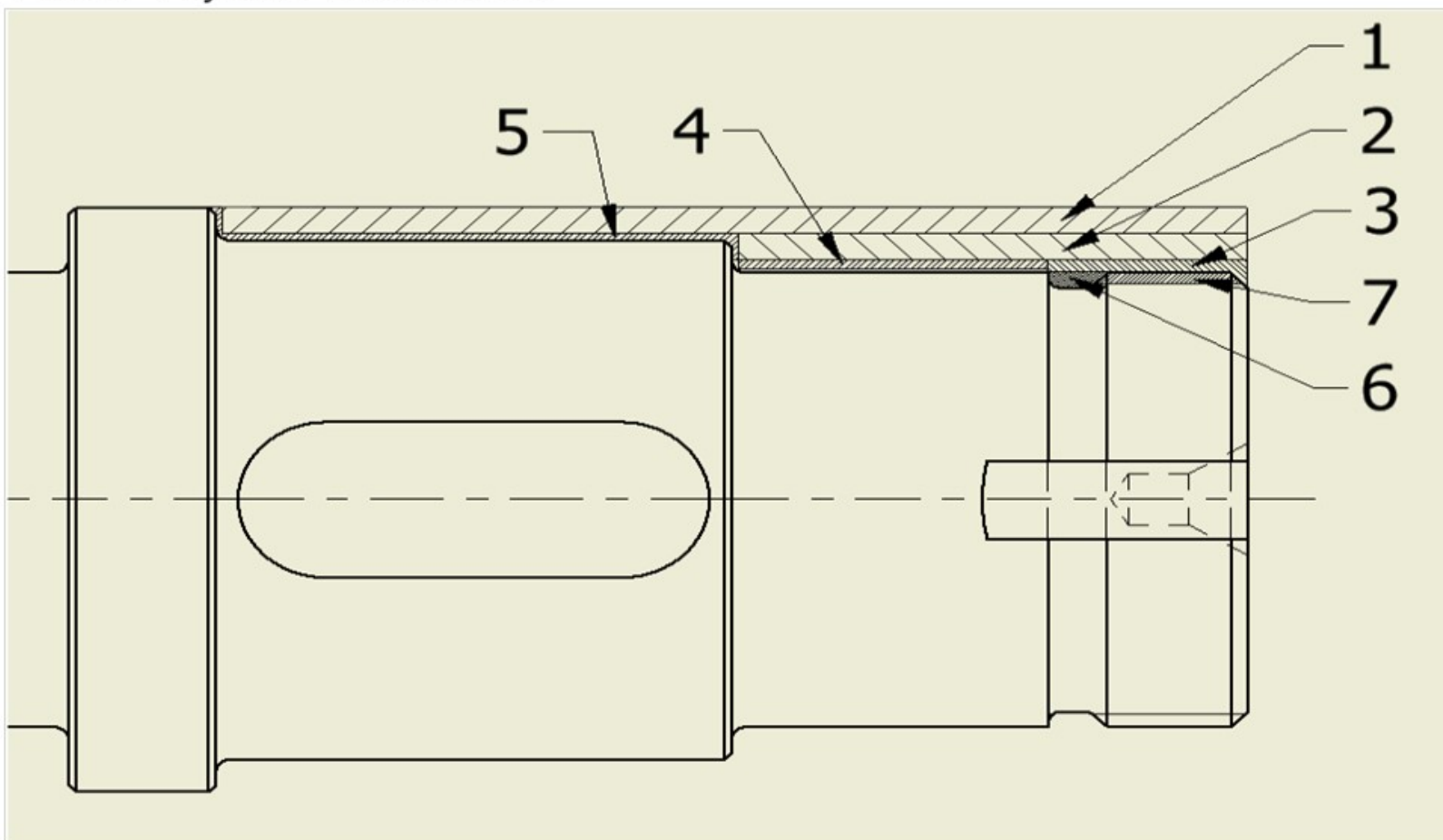
VUT BRNO FSI ÚST		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Materiál: 11 500	List: 02/00
Datum: 10.05.2021		Vyhotožil: Dominik Fiala		Polotovár: ø45-173 ČSN 426510	
Číslo op. Pořadové:		Název stroje, třídící číslo		Popis práce v operaci: [mm]	
Orientační:				Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
05/13	Hrotový soustruh MASTURN 550i	Srazit hranu 1x30°.		Vnější dokončovací nůž PCLNR 2525 M 12	
		Dokončit Ø31±0,3 na Ø30js6 a Ra 1,6 do délky 58±0,3.			
		Soustružit rádius R1.			
		Dokončit Ø37±0,3 na Ø 35,6 ⁺⁰ _{-0,1} do délky 29,5±0,2.			
		Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø 37 ^{+0,1} ₋₀ na Ø50±0,3 a Ra 1,6.			
		Srazit hranu 0,5x45°.			
		Srazit hranu 3x25°.			
06/13	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat Ø30js6 s Ra 1,6 a Ø40h7 s Ra 1,6. Četnost 20%.		Vnější zapichovací nůž GFKR 2020 K 02	
				Posuvné měřidlo Třmenový mikrometr Drsnoměr	
07/13	Frézka FNG 40 CNCA	Upnout do svěráku.		-	
		Frézovat drážku 6x2,5 do délky 11±0,2.		Stopková drážkovací fréza C3066.0	
		Frézovat rádius R11.			
		Hrubovat drážku pro pero o šířce 11±0,2 na délce 31±0,3 do hloubky 4,9 ^{+0,2} ₋₀ .			
		Dokončit drážku pro pero o šířce 12P9 na délce 32 ^{+0,3} ₋₀ .			
		Hrubovat drážku pro pero o šířce 7±0,2 na délce 39±0,3 do hloubky 4,1 ^{+0,2} ₋₀ .			
Dokončit drážku pro pero o šířce 8P9 na délce 40 ^{+0,3} ₋₀ .					
08/13	Kontrolní stanoviště	kontrolovat rozměry šířky drážek 8P9, 12P9 a hloubky 4,1 ^{+0,2} ₋₀ , 4,9 ^{+0,2} ₋₀ . Četnost 20%.		Posuvné měřidlo Třmenový mikrometr Drsnoměr	
09/13	Hrotová bruska BUB E CNC	Upnout součást mezi hroty.		-	
		Brousit Ø 35,6 ⁺⁰ _{-0,1} na Ø35k6 a drsnost Ra 0,8 do délky 20,5±0,2.		Brousny kotouč plochy T1 250x32x32 96A4006V40	
		Brousit Radius R1.			
		Brousit Ø 35,6 ⁺⁰ _{-0,1} na Ø35k6 a drsnost Ra 0,8 do délky 26±0,2.			
Brousit Rádus R1.					
10/13	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat obě válcové plochy Ø35k6 a drsnost Ra 0,8. Četnost 20%.		Posuvné měřidlo Třmenový mikrometr Drsnoměr	
11/13		Odjehlit.		-	
12/13		Odmastit.		-	
13/13		Balit.		připravky, kartony, lepenka	

Příloha 3 Výrobní návodka č. 1



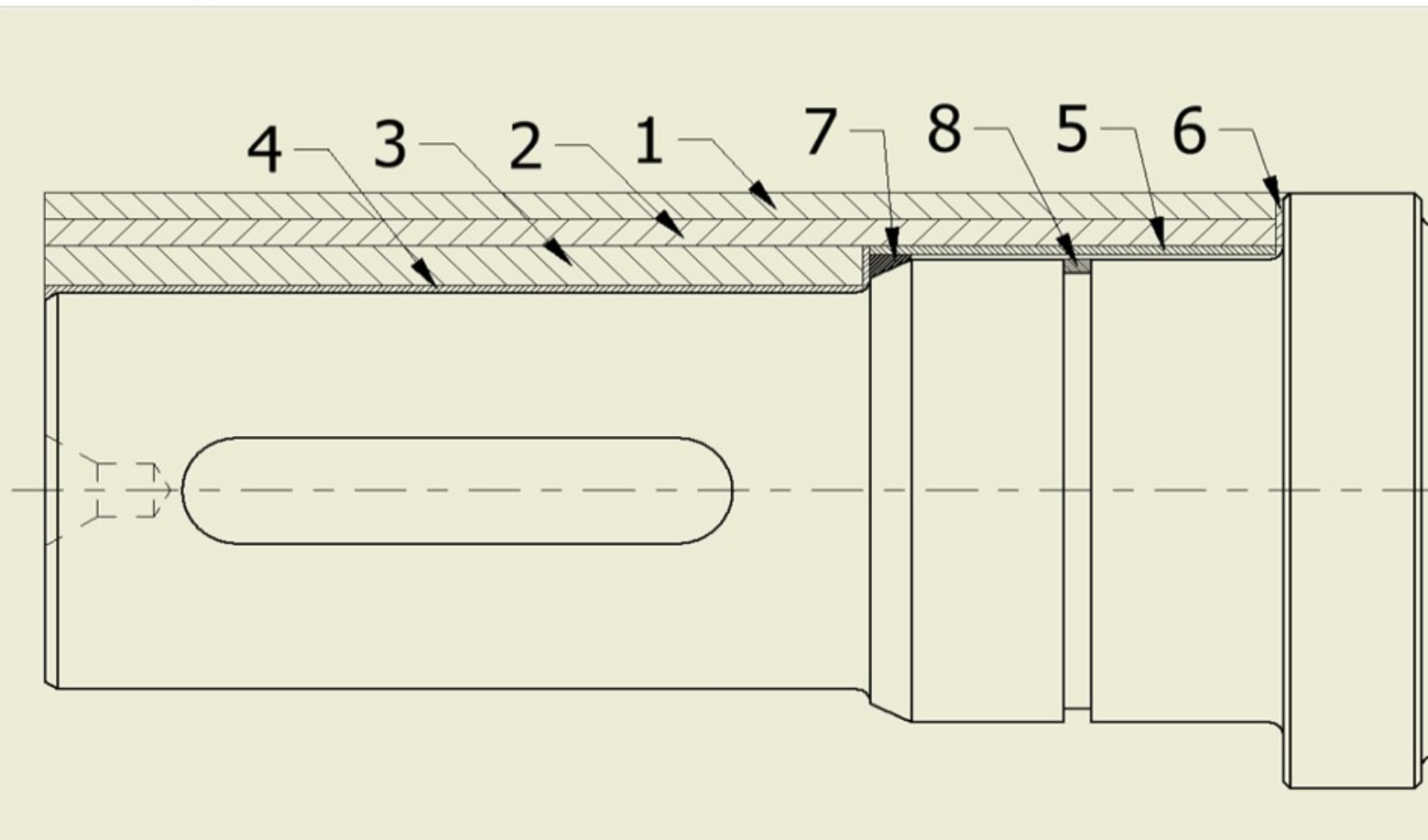
VUT BRNO FSI ÚST		Operační návodka				Vyhotovil: Dominik Fiala Datum: 15.05. 2021					
Název součásti: Hřídel		Odbor: UST				Stroj: Hrotový soustruh MASTURN 550i					
Číslo výkresu: BP-01-01						Polotovár: 11 500 ø45-173			Číslo operace: 01/13		
Pořadí úkonu	Popis práce	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	Počet úběrů	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{as} [min]	t_{av} [min]	Nástroj	
1	Zarovnávání čelní	265	1874	1	0,3	1,5	24,5	0,0436	0,0261	N3	
2	Navrtávání	25	1989	1	0,05	2	7	0,0704	0,0070	N2	
3	Zarovnávání čelní	265	1874	1	0,3	1,5	24,5	0,0436	0,0261	N3	
4	Navrtávání	25	1989	1	0,05	2	7	0,0704	0,0070	N2	

Příloha 4 Výrobní návodka č. 2



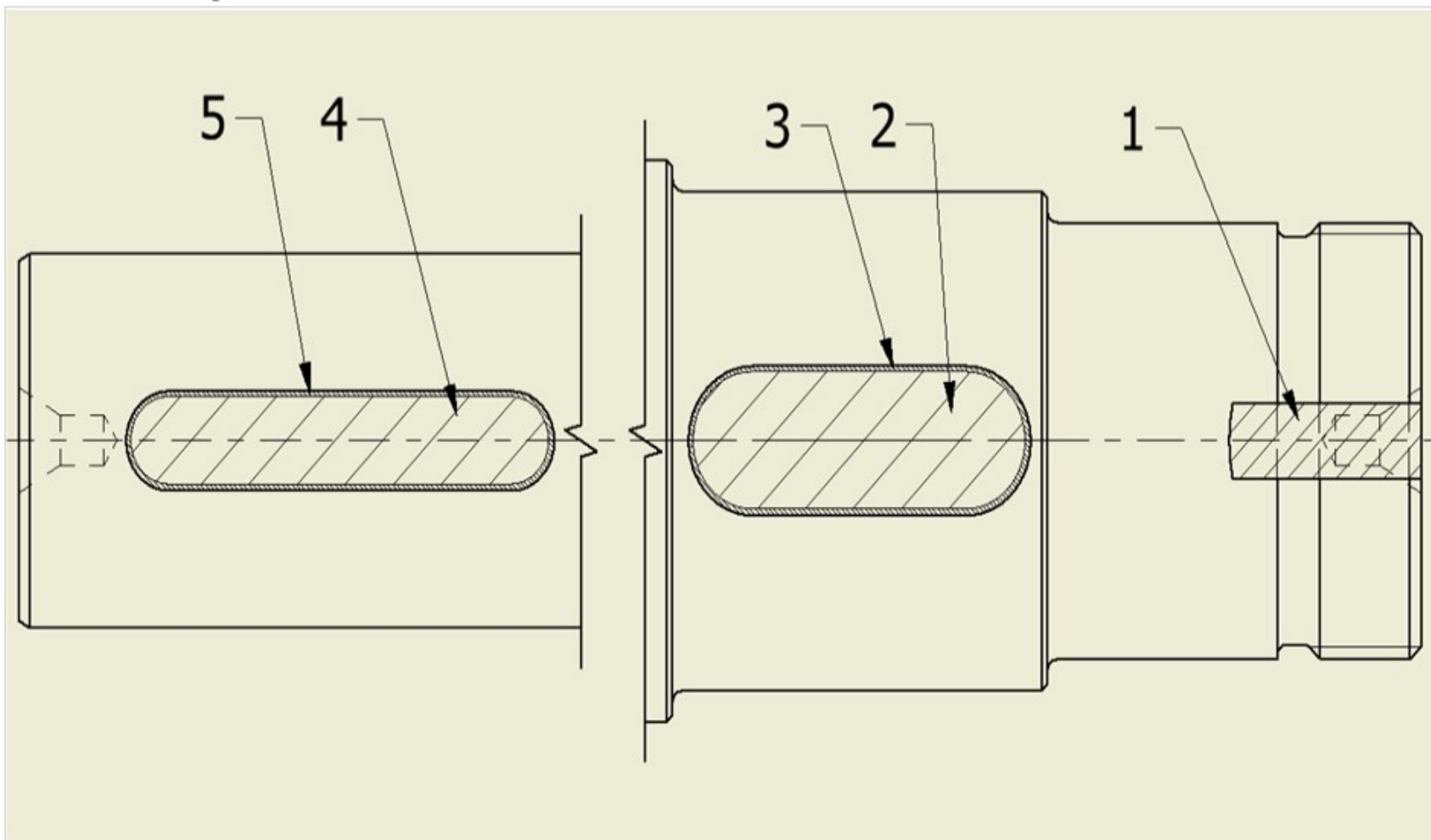
VUT BRNO FSI ÚST		Operační návodka			Vyhotožil: Dominik Fiala Datum: 15.05. 2021					
Název součásti: Hřídel		Odbor: UST			Stroj: Hrotový soustruh MASTURN 550i					
Číslo výkresu: BP-01-01					Polotovár: 11 500 ø45-173			Číslo operace: 05/13		
Pořadí úkonu	Popis práce	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	Počet úběrů	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{as} [min]	t_{av} [min]	Nástroj
1	Hrubování	230	1627	1	0,4	2	71,5	0,1099	0,0879	N3
2	Hrubování	230	1786	1	0,4	2	36,5	0,0511	0,0409	N3
3	Dokončování	280	2409	1	0,1	1	15,5	0,0643	0,0129	N4
4	Dokončování	280	2409	1	0,1	0,7	21	0,0872	0,0174	N4
5	Dokončování	280	2174	1	0,07	0,5	42	0,2760	0,0386	N4
6	Zapichování	150	1364	1	0,15	2	5	0,0244	0,0073	N6
7	Závitování	120	1091	6	1,5	0,155	14	0,0513	0,0257	N5

Příloha 5 Výrobní návodka č. 3



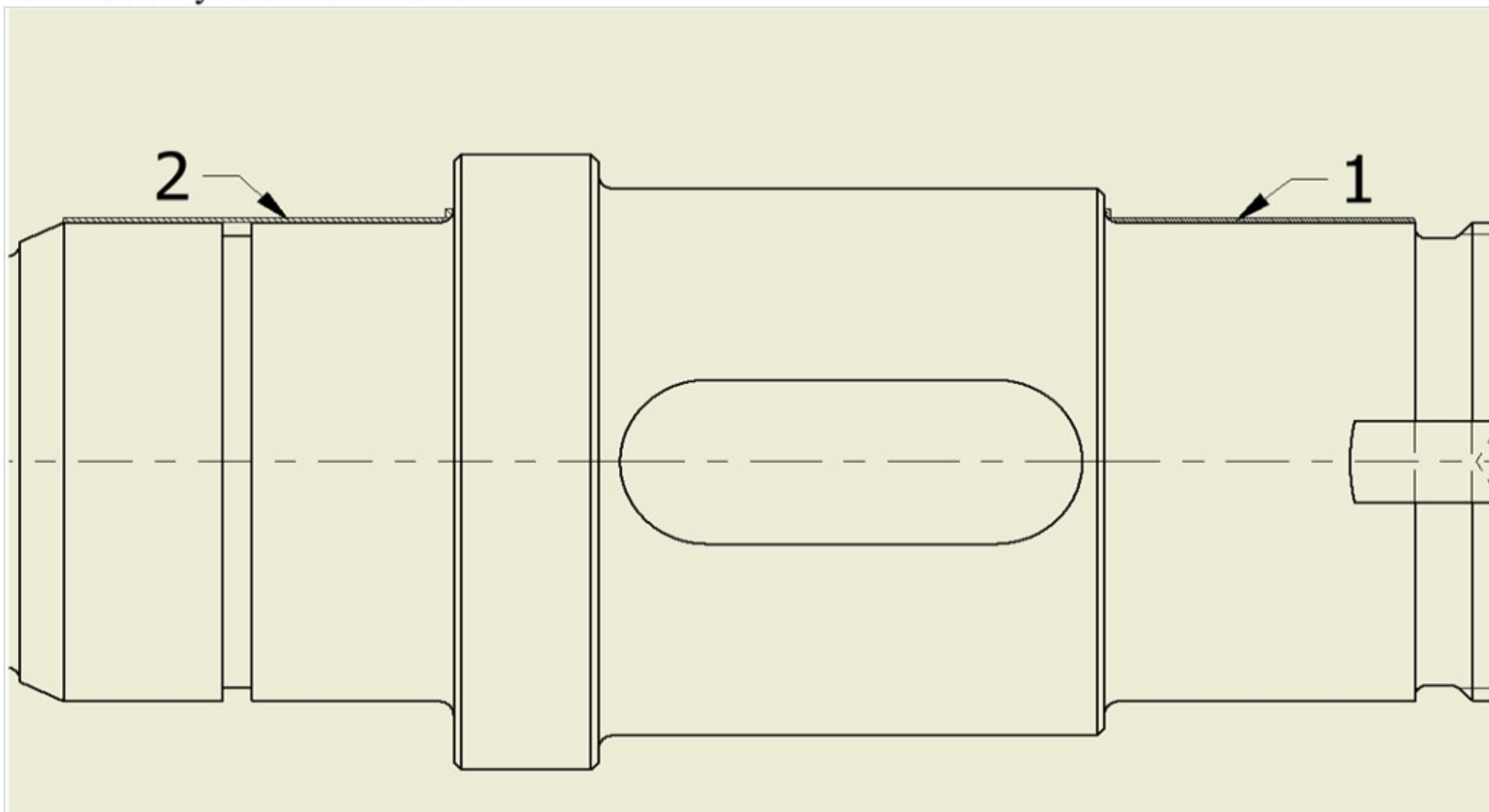
VUT BRNO FSI ÚST		Operační návodka			Vyhotožil: Dominik Fiala Datum: 15.05. 2021					
Název součásti: Hřídel		Odbor: UST			Stroj: Hrotový soustruh MASTURN 550i					
Číslo výkresu: BP-01-01					Polotovár: 11 500 \varnothing 45-173			Číslo operace: 05/13		
Pořadí úkonu	Popis práce	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	Počet úběrů	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{as} [min]	t_{av} [min]	Nástroj
1	Hrubování	230	1627	1	0,4	2	92	0,1414	0,1131	N3
2	Hrubování	230	1786	1	0,4	2	92	0,1288	0,1030	N3
3	Hrubování	230	2362	1	0,4	3	62	0,0656	0,0525	N3
4	Dokončování	280	2875	1	0,07	0,5	65	0,3230	0,0452	N4
5	Dokončování	280	2409	1	0,1	1	29,5	0,1225	0,0245	N4
6	Dokončování	280	1981	1	0,07	0,5	6	0,0433	0,0061	N4
7	Dokončování	280	2504	1	0,1	1,7	6	0,0240	0,0048	N4
8	Zapichování	150	1364	1	0,15	2	6	0,0293	0,0088	N6

Příloha 6 Výrobní návodka č. 4



VUT BRNO FSI ÚST		Operační návodka			Vyhotovil: Dominik Fiala Datum: 15.05. 2021					
Název součásti: Hřídel		Odbor: UST			Stroj: Frézka FNG 40 CNCA					
Číslo výkresu: BP-01-01					Polotovár: 11 500 ø45-173			Číslo operace: 07/13		
Pořadí úkonu	Popis práce	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	Počet úběrů	f [mm]	a_p / a_e [mm]	L [mm]	t_{as} [min]	t_{av} [min]	Nástroj
1	Hrubování	80	4244	1	0,1	2,5 / 6	22	0,0518	0,0104	N7
2	Hrubování	80	4244	2	0,1	2,45 / 6	66	0,3110	0,0311	N7
3	Dokončování	70	3714	1	0,15	4,9 / 0,5	68	0,1221	0,0366	N7
4	Hrubování	80	4244	2	0,1	2,05 / 6	82	0,3864	0,0386	N7
5	Dokončování	70	3714	1	0,15	4,1 / 0,5	84	0,1508	0,0452	N7

Příloha 7 Výrobní návodka č. 5



VUT BRNO FSI ÚST		Operační návodka				Vyhotovil: Dominik Fiala Datum: 15.05. 2021					
Název součásti: Hřídel		Odbor: UST				Stroj: Hrotová bruska BUB E CNC					
Číslo výkresu: BP-01-01						Polotovár: 11 500 ø45-173			Číslo operace: 09/13		
Pořadí úkonu	Popis práce	v_w [m/min]	v_c [m/s]	n [min^{-1}]	počet úběrů $i+i_v$	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{as} [min]	t_{av} [min]	Nástroj
1	Broušení	20	40	165	13	9,6	12x0,0245	24,5	0,2011	0,0160	N8
2	Broušení	20	40	165	13	9,6	12x0,0245	30	0,2462	0,0196	N8