



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PŘEVODOVÉHO SOUKOLÍ

PRODUCTION OF GEARBOX COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Thomas Jakubec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Thomas Jakubec**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2019/20

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:

Výroba převodového soukolí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zvolené soukolí z návrhu jednostupňové převodovky je vyráběno pro vývojové účely jako funkční vzorek.

Cíle bakalářské práce:

- Konstrukce jednostupňové převodovky v CAD/CAM softwarech
- Rozbor řešeného soukolí
- Použití technologické procesy včetně vstupních a výstupních dat
- Výroba funkčního vzorku
- Zhodnocení dosažených výsledků

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.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

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.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva Šmehlíková. Speciální technologie tváření, 2. část. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 163 s. ISBN 987-80-214-4406-5.

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 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou převodového soukolí jednostupňové převodovky, tedy výrobou pastorku, hnaného hřídele a ozubeného kola pro kusovou výrobu. Nejdříve je řešena konstrukce převodovky, volba polotovaru a materiálu pro vyráběné součásti. Následuje výpočetní rozbor ozubení, volba strojů, nástrojů a měřidel. Dále je vypracován výrobní postup s pracovními návodkami pro jednotlivé operace a z nich provedené ekonomické zhodnocení. Na závěr je uvedena výroba součásti.

Klíčová slova

ozubené kolo, hřídel, technologický postup, obrábění, převodovka

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the production of a gear pair for the single speed gearbox. The projected piece production contains the making of the pinion gear; driven shaft and gear wheel. Initially the desired material and the gearbox and gears design are projected. Secondly the calculation of gearing is mathematically proven and the appropriate machining modality including measuring devices is selected. Thirdly the manufacturing procedures of each gearbox parts are optimized and the manufacturing manual is written. Finally the realization of the function unit production is documented

Keywords

gear wheel, shaft, technological process, machining, gearbox

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JAKUBEC, Thomas. *Výroba převodového soukolí* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124941>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 59 s. 26 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba převodového soukolí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.6.2020

Datum

Thomas Jakubec

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné rady a připomínky, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce a za jeho věčný optimismus.

Také bych rád poděkoval Lukáši Lengálovi, který byl ochoten a pomohl mi při výrobě součástí.

V neposlední řadě děkuji také své rodině, mým přátelům a přítelkyni za podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale i během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 JEDNOSTUPŇOVÁ PŘEVODOVKA A JEJÍ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Konstrukce jednostupňové převodovky.....	9
1.2 Rozbor vyráběných součástí	12
1.3 Volba materiálu.....	14
1.4 Volba polotovaru	16
2 ROZBOR ŘEŠENÉHO SOUKOLÍ.....	19
2.1 Výpočet minimálního průměru pastorku a hnaného hřídele.....	19
2.2 Výpočet hlavních parametrů ozubení	20
2.3 Měření ozubení – rozměr přes zuby	24
2.4 Úprava hodnot pro výrobu pastorku	26
3 NÁVRH TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ	28
3.1 Volba strojů.....	28
3.2 Volba nástrojů.....	33
3.3 Volba měřicích přístrojů a přípravků.....	38
3.4 Procesní kapalina	41
4 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY	42
5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	44
6 VÝROBA PASTORKU	46
6.1 Řezání polotovaru	46
6.2 Soustružení.....	46
6.3 Frézování ozubení.....	46
6.4 Frézování drážky.....	48
7 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	49
7.1 Praktická výroba pastorku	49
7.2 Výsledné rozměry vyráběného vzorku	49
8 DISKUZE	50
8.1 Kusová výroba	50
8.2 Velkosériová výroba	51
ZÁVĚR	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

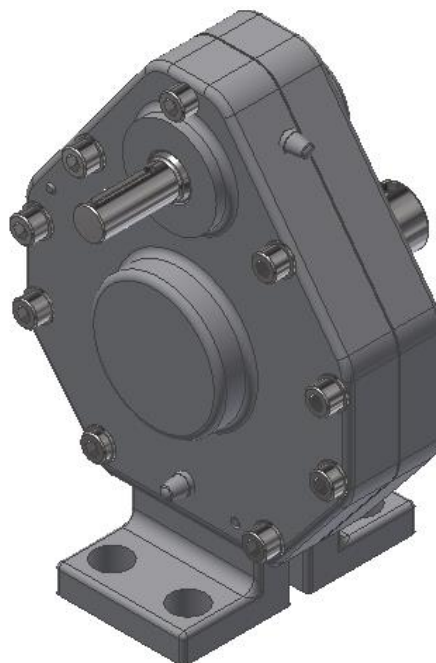
Tématem bakalářské práce je výroba převodového soukolí jednostupňové převodovky. Převodovky se využívají u strojů, kde vstupní otáčky nejsou vyhovující a je nutné je regulovat pomocí ozubených kol, řetězových kol a řemenových převodů buď s měnitelným, nebo konstantním převodovým poměrem.

Cílem bakalářské práce je výroba zvolených součástí převodovky, tedy pastorku, hnaného hřídele a ozubeného kola pro kusovou výrobu.

První část se zabývá konstrukcí čelní jednostupňové převodovky s přímým ozubením, rozбором vyráběných součástí, volbou polotovaru a materiálu daných součástí. Ve druhé části je uveden výpočetní rozbor hlavních parametrů čelního ozubení. Další část se zabývá volbou strojů, nástrojů a měřidel, které jsou potřebné pro zhotovení vyráběných součástí. Dále jsou uvedeny technologické výrobní postupy součástí a k nim přiřazeny jednotlivé návodky, u kterých je uveden strojní čas potřebný na výrobu součástí, který pak vstupuje do ekonomického zhodnocení. Poslední část se zabývá praktickou výrobou pastorku ve firmě Elakov Production s.r.o.

1 JEDNOSTUPŇOVÁ PŘEVODOVKA A JEJÍ SOUČÁSTI

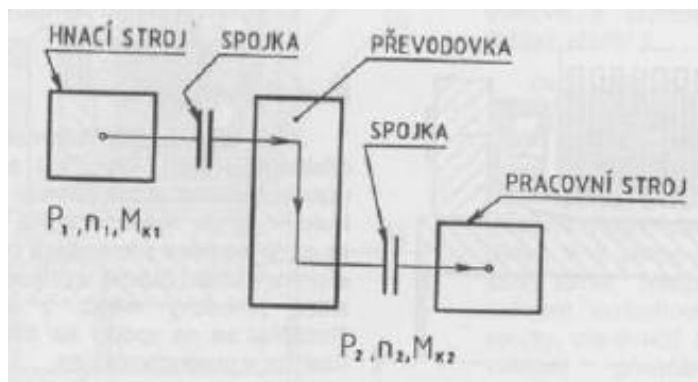
Zde je proveden konstrukční návrh jednostupňové převodovky (obr. 1.1), rozbor vyráběných součástí, volba materiálů a polotovarů. Pro vymodelování součástí jednostupňové převodovky byl použit program Autodesk Inventor Professional 2019.



Obr. 1.1 Vzhled jednostupňové převodové skříně.

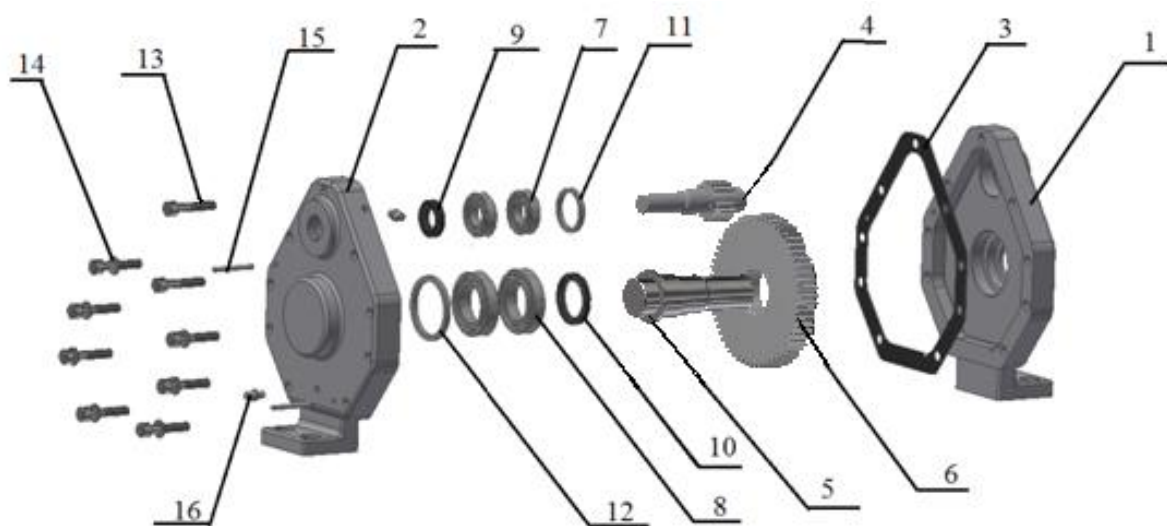
1.1 Konstrukce jednostupňové převodovky

Je to kompaktní strojní zařízení, které umožňuje převod mezi hnacím a hnaným strojem, tedy reguluje velikost vstupních a výstupních otáček v určitém poměru. Jedná se o čelní převodové soukolí s přímým ozubením. Jednostupňová převodovka se nazývá proto, že umožňuje pouze jeden konstantní převodový poměr. Hnacím strojem je třífázový elektromotor s výkonem 2 200 W a se vstupními otáčkami 730 min^{-1} . Hnaným strojem je pak pásový dopravník, který je poháněn hnaným bubnem, jehož výstupní otáčky jsou určeny na hodnotu 180 min^{-1} , jedná se tedy o převod dopomala. Přenos krouticích momentů z elektromotoru na pastorek a z hnaného hřídele na hnaný buben je realizován pomocí těsných per a hřídelových spojek. Zjednodušené schéma soustavy je uvedeno na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Schéma převodu z elektromotoru na dopravník [1].

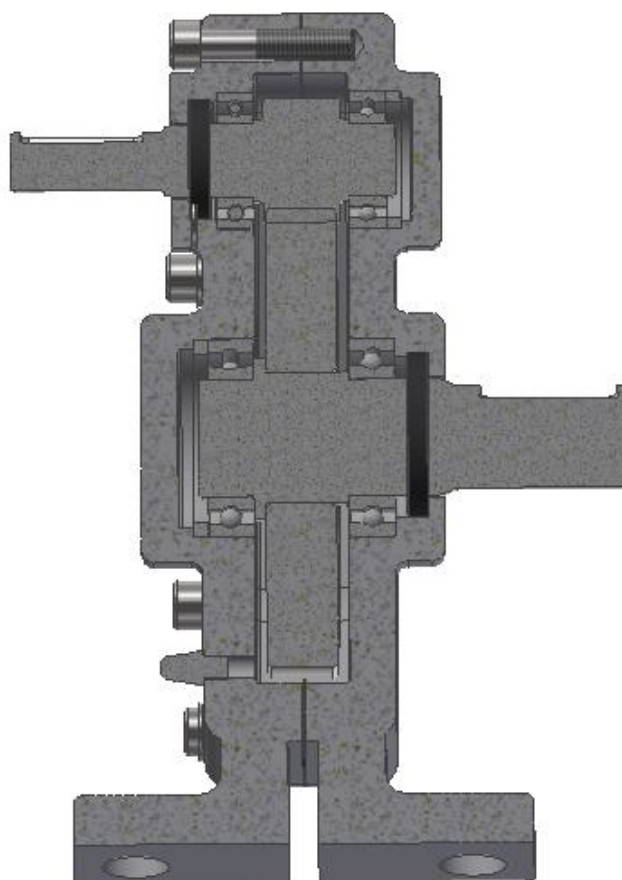
Převodovka neboli převodová skříň je složená z celkem šestnácti různých součástí (obr. 1.3). Pozice, materiál a počet kusů jsou uvedeny v tab. 1.1. Skládá se ze dvou vík (pozice 1 a 2), které mají průchozí díru pro průchod válcového konce hřídele a neprůchozí díry na uložení ložisek (7 a 8), hřídelových těsnicích kroužků (9 a 10) i kompenzačních členů (11 a 12). Mezi ložisky je uložen pastorek (4), který přes ozubení zabírá s ozubeným kolem (6), které je nalisováno na hnaný hřídel (5). Ozubení pastorku zabírá s ozubením ozubeného kola, které přenáší krouticí moment na hřídel přes nalisovaný průměr. Kuličková ložiska zmenšují tření a umožňují tak otáčení hřídele, který je uložen mezi dvěma ložisky. Ve skříni (tj. mezi dvěma víky), se nachází určité množství převodového oleje, které slouží ke snížení tření mezi zabírajícím ozubením, k mazání valivých ložisek a odvádí přebytečné teplo součástí. Aby se olej nedostal mimo převodovku dírami vík a aby se nedostaly nečistoty dovnitř převodovky, jsou do vík uložena gufera, která slouží k utěsnění prostoru mezi víkem a hřídelí. Kdyby se k sobě přišroubovala pouze dvě víka, hrozilo by vytečení mazací kapaliny, proto se mezi ně vkládá těsnění (3), které zabraňuje oleji vytéct ven. Po určité době, kterou stanovuje výrobce, je třeba převodový olej vyměnit. K tomu slouží těsnicí zátka (16), která se odšroubuje a olej vyteče z převodovky ven. Nový olej se pak napustí horní dírou pomocí hadičky. Pro zajištění vzájemné polohy při montáži převodovky jsou určeny dva válcové kolíky (15), které slouží k snadnějšímu rozebrání a následnému smontování součástí ve stejné poloze. Sešroubování vík je realizováno pomocí devíti šroubů s vnitřním šestihranem (14), které vytváří rozebíratelné spojení daného zařízení. Kompenzační kroužky (11 a 12) se upravují až při montáži podle skutečných rozměrů ostatních dílů a slouží k vymezení axiální vůle. Rozměry převodové skříně jsou 150 x 280 x 210 mm (délka x výška x šířka). Převodovka je patkové provedení, díry v patkách jsou určeny pro šroub o průměru 16 mm. Pro lepší představu uložených součástí je řez jednostupňovou převodovkou zobrazen na obr. 1.4.



Obr. 1.3 Rozložený pohled jednostupňové převodovky.

Tab. 1.1 Popis jednotlivých pozic jednostupňové převodovky [2].

Pozice	Název součásti	Materiál / označení	Počet kusů
1	Víko pravé	42 2420	1
2	Víko levé	42 2420	1
3	Těsnění	Pryž	1
4	Pastorek	12 061	1
5	Hnaný hřídel	11 500	1
6	Ozubené kolo	12 010	1
7	Ložisko malé	ČSN 02 4630 - 6005	2
8	Ložisko velké	ČSN 02 4630 - 6008	2
9	Gufero malé	ČSN-02-9401.0-G-25x40x7-NBR	1
10	Gufero velké	ČSN-02-9401.0-G-40x55x7-NBR	1
11	Kompenzační kroužek malý	11 500	1
12	Kompenzační kroužek velký	11 500	1
13	Šroub s vnitřním šestihranem	ISO-4762-M10x50	8
14	Podložka	ISO-7089-10-140-HV1	9
15	Válcový kolík	ISO 2338-6m6x50-St	2
16	Těsnicí zátka	M8x1	2



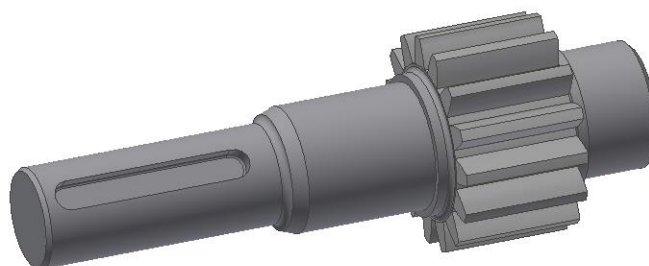
Obr. 1.4 Řez jednostupňovou převodovkou.

1.2 Rozbor vyráběných součástí

Pastorek

Rotační plochy jsou obráběny na CNC soustruhu MASTURN 550i, ozubení je frézováno na obráběcím centru MCV 750 modulovou kotoučovou frézou tzv. dělicí metodou. Vyfrézuje se jedna zubová mezera, poté se obrobek pootočí o požadovaný úhel pomocí dělicího přístroje a vyfrézuje se další zubová mezera. Drážka pro pero je frézována také na obráběcím centru. Funkční plochy se dokončují na hrotové univerzální brusce BUA 20. Broušení boků ozubení tvarovým brousicím kotoučem ve tvaru zubové mezery se provádí na brusce na ozubení Oerlikon OPAL 800 dělicím způsobem, je to tedy stejný princip jako při frézování, ale místo modulové frézy je zde použit tvarový brousicí kotouč.

Pastorek je v podstatě hnaný hřídel, který má na svém obvodu vyfrézováno ozubení, jenž slouží k přenosu krouticího momentu a otáčivého pohybu. Pastorek je tvořen několika válcovými plochami, z nichž je většina funkční, tudíž musí být tolerované. Válcové plochy o $\varnothing 25k6$ s hodnotou Ra 0,8 se brousí a slouží pro nalisování kuličkových ložisek ČSN 02 4630 - 6005. Průměr 25h9, který je broušen na hodnotu Ra 0,8, je určen pro usednutí hřídelového těsnicího kroužku (gufera) ČSN-02-9401.0-G-25x40x7-NBR. Zkosení 3 na 20° je navrženo pro hladké nasazení gufera na pastorek. Největší průměr součásti 42,5h9 s Ra 1,6 je hlavová kružnice ozubení. Drážka pro pero 6P9 ve válcovém konci hřídele slouží pro vsazení těsného pera. Zápichy G2,5x0,3 a D1,4x0,2 jsou realizovány kvůli lepšímu obroušení funkčních ploch. Při kalení dochází k mírné deformaci povrchu, proto se musí ozubení po tepelném zpracování přebrousit. Ozubení se povrchově kalí na HRC 50 a poté jsou broušeny boky ozubení na Ra 1,6. Kvůli této kombinaci má ozubení větší otěruodolnost a více odolává únavovému lomu. Součást je zobrazena na obr. 1.4 a výkres je v příloze 1.



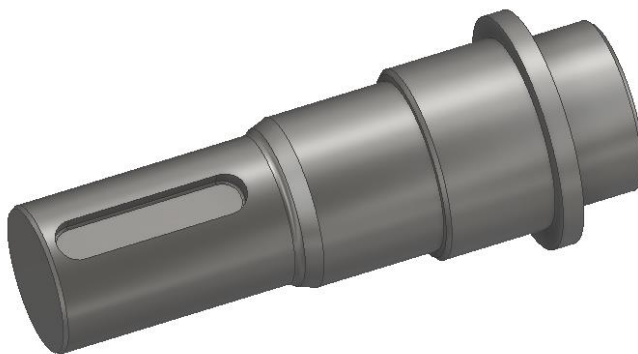
Obr. 1.5 3D model pastorku.

Hnaný hřídel

Stejně jako u pastorku jsou rotační plochy obráběny na CNC soustruhu MASTURN 550i, drážka pro pero je frézována na obráběcím centru MCV 750 a funkční plochy jsou broušeny na požadovanou Ra na hrotové brusce BUA 20.

Má stejnou funkci jako pastorek, ale kvůli převodovému poměru přenáší jiné výstupní otáčky a tím pádem i jiný krouticí moment. Stejně jako u pastorku, i hnaný hřídel má tolerované funkční plochy. Válcové plochy $\varnothing 40k6$ jsou stejně jako v předchozím případě broušeny na hodnotu Ra 0,8 a slouží pro nalisování ložisek ČSN 02 4630 - 6008. Průměr 40h9 je určen pro těsnicí kroužek ČSN-02-9401.0-G-40x55x7-NBR a je přebroušen na požadovanou hodnotu Ra 0,8. Největší průměr, který se obrábí, je 45s6 s hodnotou Ra 0,8, který slouží pro nalisování ozubeného kola. Pero těsně se pak naklepne do drážky 10P9. Největší průměr součásti je 50, který ale není funkční plochou, tudíž může zůstat

neobroben. Tento průměr je však velice důležitý, protože se o něj opře ozubené kolo a zajistí se tak jeho poloha. Jako v předchozím případě jsou zde zápichy G2,5x0,3 a D2,2x0,3 kvůli dokončovací operaci broušení. Hnaný hřídel je zobrazen na obr. 1.5 a výkres součásti je přiložen v příloze 2.

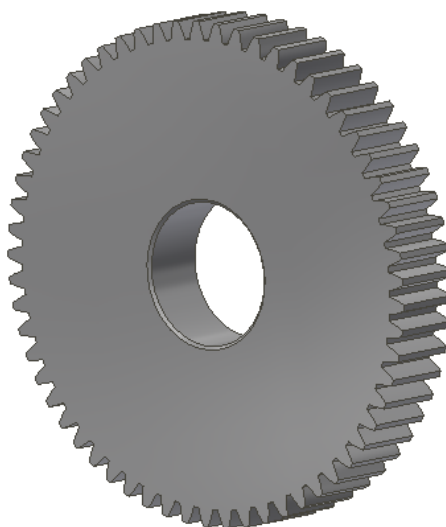


Obr. 1.6 3D model hnaného hřídele.

Ozubené kolo

Soustružení hlavové kružnice je prováděno na CNC soustruhu MASTURN 550i, totéž i vrtání a dokončení průchozí díry. Stejně jako u pastorku, frézování ozubení se realizuje na obráběcím centru MCV 750 a broušení boků ozubení probíhá na brusce na ozubení Oerlikon OPAL 800. Díra je broušena na brusce na díry BDA 40.

Největší průměr součásti je 157,5h9 s hodnotou Ra 3,2, což je hlavová kružnice ozubení. Díra o $\varnothing 45H7$, která slouží pro nalisování ozubeného kola na hnaný hřídel, je dokončena broušením na požadovanou Ra 0,8. Boky ozubení jsou broušeny dělicím způsobem na Ra 1,6. Kvůli malému obsahu uhlíku v oceli se ozubení cementuje do hloubky 0,8 mm. Tohle chemicko-tepelné zpracování zajistí oceli možnost povrchového kalení, ozubení se kalí na HRC 48. Vytváří se tvrdá povrchová vrstva s houževnatým jádrem a tím se zvyšuje odolnost ozubení proti opotřebení. Ozubené kolo je zobrazeno na obr. 1.6 a výkres součásti je v příloze 3.



Obr. 1.7 3D model ozubeného kola.

1.3 Volba materiálu

Pastorek

Je vyráběn z ušlechtilé uhlíkové oceli 12 061 (podle ČSN 42 0002). Další možné značení oceli je C60E (podle značky ČSN EN 10 027-1) a 1.1221 (dle čísla ČSN EN 10 027-2). Dosahuje třídy obrobitelnosti u soustružení a frézování hodnoty 12b, u broušení je to pak hodnota 8b, což značí, že při soustružení součásti s nástroji ze slinutých karbidů (SK) lze využít doporučené řezné podmínky. U broušení a frézování se třída obrobitelnosti promítne při volbě řezných podmínek. Ocel je uklidněná, obtížně svařitelná a je u ní zaručeno kompletní chemické složení, které je uvedeno v tab. 1.1. Ocel je vhodná k povrchovému kalení a zušlechťování, dle tabulky tepelného zpracování (tab. 1.2). Tato ocel je vhodná na ozubená kola a pastorky, hřídele, včetně, čepy, páky, šrouby a matice. Její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.3 [2,3,4].

Tab. 1.1 Chemické složení oceli 12 061 [5].

Chemické složení (rozbor tavby) v hmotnostních %							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,55-0,65	0,50-0,80	0,15-0,40	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30

Tab. 1.2 Tepelné zpracování oceli 12 061 [6].

Tepelné zpracování	Teploty
Kování	1100 až 800 °C
Normalizační žihání	810 až 840 °C
Žihání na měkko	680 až 720 °C
Kalení do vody	790 až 830 °C
Kalení do oleje	800 až 840 °C
Popouštění	530 až 670 °C

Tab. 1.3 Mechanické vlastnosti oceli 12 061 [4,5].

Mechanické vlastnosti		
R _m	Re min.	Tvrdość
800 - 950 MPa	500 MPa	max. 265 HB

Hnaná hřídel

Vyráběná z materiálu 11 500, jehož označení odpovídá normě ČSN 42 0002. Podle normy ČSN EN 10 027-1 je materiál uváděn jako E295 a norma ČSN EN 10 027-2 označuje tuto ocel číslem 1.0050. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku (max. 0,38 %C), tudíž nemá předepsané kompletní chemické složení. Třída obrobitelnosti pro soustružení je 13b, pro frézování 15b a pro broušení dosahuje hodnoty 10b, což značí dobrou obrobitelnost materiálu a lze tedy použít doporučené řezné podmínky a běžné nástroje. Ocel je vhodná k povrchovému kalení a popouštění. Její tepelné zpracování je popsáno v tab. 1.4. Je vhodná na součásti, u kterých se nevyžaduje svařitelnost a jsou namáhané staticky i dynamicky jako hřídele, čepy, strojní součásti soustružené, kolíky, víka, příruby, šrouby a matice. Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedeny v tab. 1.5 [2,3,4].

Tab. 1.4 Tepelné zpracování oceli 11 500 [7].

Tepelné zpracování	Teploty
Kování	1100 až 800 °C
Normalizační žíhání	860 až 890 °C
Žíhání na měkko	680 až 720 °C
Kalení do vody	850 až 880 °C
Kalení do oleje	860 až 890 °C
Popouštění	560 až 670 °C

Tab. 1.5 Mechanické vlastnosti oceli 11 500 [8].

Mechanické vlastnosti		
R _m	Re min.	Tvrдость
470 - 610 MPa	245 MPa	max. 268 HB

Ozubené kolo

Je vyráběno z materiálu 12 010, jehož označení odpovídá normě ČSN 42 0002. Podle normy ČSN EN 10 027-1 je materiál uváděn jako C10E a v normě ČSN EN 10 027-2 je označován číslem 1.1121. Jedná se o ušlechtilou ocel určenou k cementování s menší pevností v jádře po kalení a je u ní zaručeno kompletní chemické složení, které je uvedeno v tab. 1.6. Její třída obrobitelnosti pro soustružení dosahuje hodnoty 16b, pro frézování 15b a pro broušení 9b, což udává, že ocel je velmi dobře obrobitelná. Používá se na méně namáhané součásti, jako ozubená kola, vodící tyče, zasouvací vidlice, čepy, kladky a řetězová kola. Další možnosti tepelného zpracování ušlechtilé oceli jsou popsány v tab. 1.7 a její mechanické vlastnosti v tab. 1.8 [2,3,4].

Tab. 1.6 Mechanické vlastnosti oceli 12 010 [9].

Chemické složení (rozbor tavby) v hmotnostních %							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,07-0,13	0,35-0,65	0,15-0,40	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30

Tab. 1.7 Tepelné zpracování oceli 12 010 [6].

Tepelné zpracování	Teploty
Kování	1150 až 750 °C
Normalizační žíhání	870 až 920 °C
Žíhání na měkko	680 až 720 °C
Cementování	850 až 880 °C
Kalení do vody	870 až 920 °C
Popouštění	150 až 180 °C

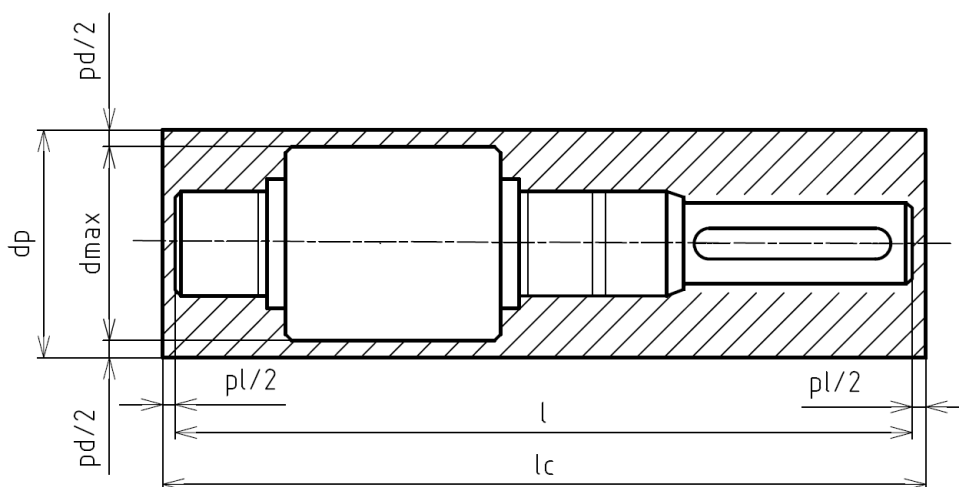
Tab. 1.8 Mechanické vlastnosti oceli 12 010 [8].

Mechanické vlastnosti		
R _m	Re min.	Tvrдость
450 - 710 MPa	295 MPa	max. 236 HB

1.4 Volba polotovaru

Polotovar je materiál, který je dále opracováván pomocí jednotlivých technologických operací na konečný tvar. Aby bylo možné u součásti dosáhnout požadované R_a , musí mít polotovar přídavek na obrábění. Tento přídavek je z pravidla jak na průměru, tak na délce. Z následujících vztahů (1.1–1.3) jsou určeny rozměry polotovarů pro každou vyráběnou součást (obr. 1.8–1.10). Pro všechny tři součásti se použije jako polotovar kruhová tyč válcovaná za tepla dle normy ČSN 42 5551, která se uřízne na pásové pile na polotovary o příslušném rozměru, jež se dále obrábí na požadované rozměry podle jednotlivých výkresů. Výpočetní vztahy jsou převzaty ze zdroje [10].

Pastorek



Obr. 1.8 Rozměry polotovaru pastorku.

Přídavek na průměr polotovaru p_d se stanoví ze vztahu (1.1)

$$p_d = 0,05 \cdot d_{max} + 2 \quad (1.1)$$

kde: p_d [mm] přídavek na průměr polotovaru,
 d_{max} [mm] maximální průměr součásti.

$$p_d = 0,05 \cdot d_{max} + 2 = 0,05 \cdot 42,5 + 2 = 4,125 \text{ mm}$$

Průměr polotovaru d_p se stanoví ze vztahu (1.2):

$$d_p = d_{max} + p_d \quad (1.2)$$

kde: d_p [mm] průměr polotovaru,
 d_{max} [mm] maximální průměr součásti.

$$d_p = d_{max} + p_d = 42,5 + 4,125 = 46,625 \text{ mm}$$

Celková délka polotovaru l_c se určí ze vztahu (1.3):

$$l_c = l + p_l \quad (1.3)$$

kde: l_c [mm] celková délka polotovaru,

l [mm] největší délka součásti,

p_l [mm] přídavek na délku.

$$l_c = l + p_l = 125 + 4 = 129 \text{ mm}$$

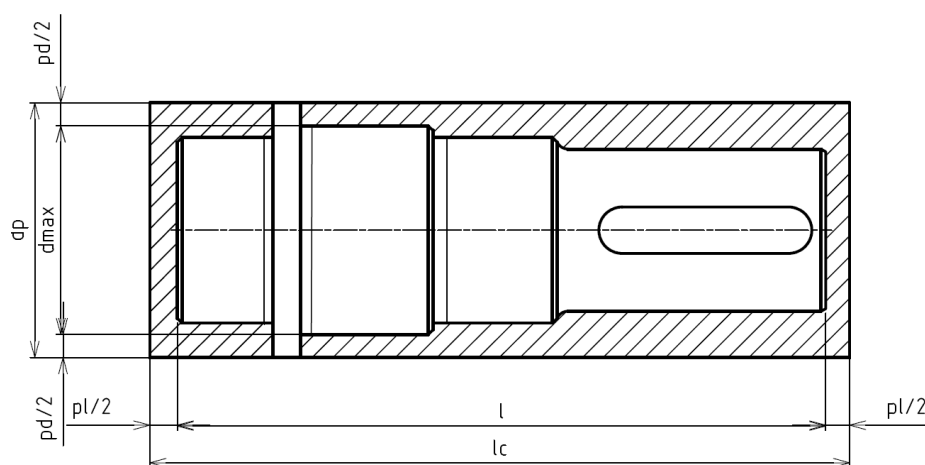
- Přídavek na délku součásti, který se stanovuje z rozsahu $2 \div 4 \text{ mm}$, je volen 4 mm .

Mezní úchytky kruhové tyče pro daný průměr jsou $\pm 0,8 \text{ mm}$.

$$46,625 + 0,8 = 47,425 \text{ mm}$$

- Podle norem se volí rozměry polotovaru $\text{Ø}48 - 129 \text{ ČSN } 42 \text{ 5551}$.

Hnaný hřídel



Obr. 1.9 Rozměry polotovaru hnaného hřídele.

Přídavek na průměr polotovaru p_d se stanoví ze vztahu (1.1)

$$p_d = 0,05 \cdot d_{max} + 2 = 0,05 \cdot 45 + 2 = 4,25 \text{ mm}$$

Průměr polotovaru d_p se stanoví ze vztahu (1.2):

$$d_p = d_{max} + p_d = 45 + 4,25 = 49,25 \text{ mm}$$

Celková délka polotovaru l_c se určí ze vztahu (1.3):

$$l_c = l + p_l = 140 + 4 = 144 \text{ mm}$$

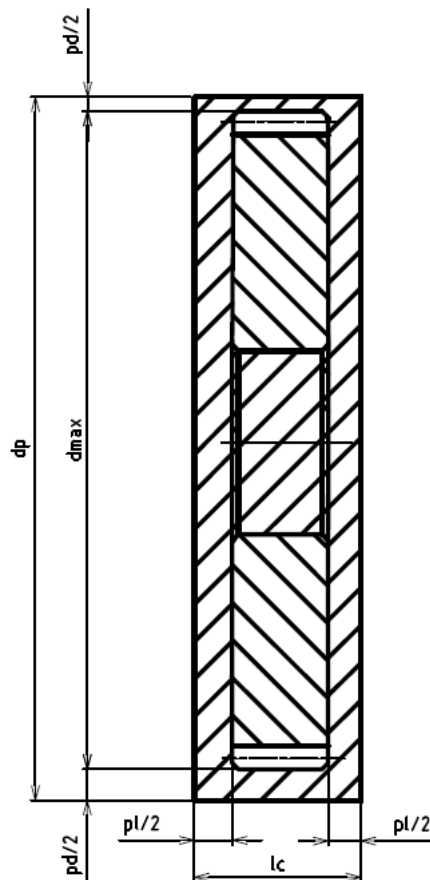
- Přídavek na délku součásti, který se stanovuje z rozsahu $2 \div 4 \text{ mm}$, je volen 4 mm .

Mezní úchytky kruhové tyče pro daný průměr jsou $\pm 0,8 \text{ mm}$.

$$49,25 + 0,8 = 50,05 \text{ mm}$$

- Jako d_{max} se bere největší průměr, který se obrábí. Největší průměr hnaného hřídele je 50 mm , který ale obráběn není. Vypočítaný průměr polotovaru přesahuje tuto hodnotu o $0,05 \text{ mm}$, protože tato číselná hodnota zanedbatelná, volí se dle norem výsledný rozměr polotovaru $\text{Ø}50 - 144 \text{ ČSN } 42 \text{ 5551}$.

Ozubené kolo



Obr. 1.10 Polotovar ozubeného kola.

Přídavek na průměr polotovaru p_d se stanoví ze vztahu (1.1)

$$p_d = 0,05 \cdot d_{max} + 2 = 0,05 \cdot 157,5 + 2 = 9,875 \text{ mm}$$

Průměr polotovaru d_p se stanoví ze vztahu (1.2):

$$d_p = d_{max} + p_d = 157,5 + 9,875 = 167,375 \text{ mm}$$

Celková délka polotovaru l_c se určí ze vztahu (1.3):

$$l_c = l + p_l = 23 + 4 = 27 \text{ mm}$$

- Přídavek na délku součásti, který se stanovuje z rozsahu $2 \div 4 \text{ mm}$, je volen 4 mm .

Mezní úchylky kruhové tyče pro daný průměr jsou $\pm 2,5 \text{ mm}$.

$$167,375 + 2,5 = 169,875 \text{ mm}$$

- Podle norem se volí rozměry polotovaru $\text{Ø}170 - 27 \text{ ČSN } 42 \text{ 5551}$.

2 ROZBOR ŘEŠENÉHO SOUKOLÍ

Jsou zde vypočítány základní parametry převodového soukolí s přímým ozubením. Všechny výsledné hodnoty vychází ze zvolených vstupních hodnot, které jsou uvedeny v tab. 2.1. Výpočetní vztahy jsou převzaty z následujících zdrojů [11–13].

Tab. 2.1 Vstupní parametry [8, 14]

Výkon	$P = 2\,200\text{ W}$
Vstupní otáčky	$n_1 = 730\text{ min}^{-1}$
Výstupní otáčky	$n_2 = 180\text{ min}^{-1}$
Modul	$m = 2,5\text{ mm}$
Úhel záběru	$\alpha = 20^\circ$
Dovolené napětí v krutu (mat. 12 061)	$\tau_{D1} = 40\text{ MPa}$
Dovolené napětí v krutu (mat. 11 500)	$\tau_{D2} = 25\text{ MPa}$
Součinitel poměrné šířky kola	$\psi = 10$

2.1 Výpočet minimálního průměru pastorku a hnaného hřídele

U výpočtů se používá index 1 pro pastorek a index 2 pro hnaný hřídel.

Výpočet krouticího momentu M_k se určí podle vztahu (2.1)

$$M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (2.1)$$

kde: P [W] výkon elektromotoru,
 n [min^{-1}] frekvence otáček,
 M_k [$N \cdot m$] krouticí moment.

$$M_{k1} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60}} = \frac{2\,200}{2 \cdot \pi \cdot \frac{730}{60}} = 28,78\text{ N} \cdot m$$

$$M_{k2} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_2}{60}} = \frac{2\,200}{2 \cdot \pi \cdot \frac{180}{60}} = 116,71\text{ N} \cdot m$$

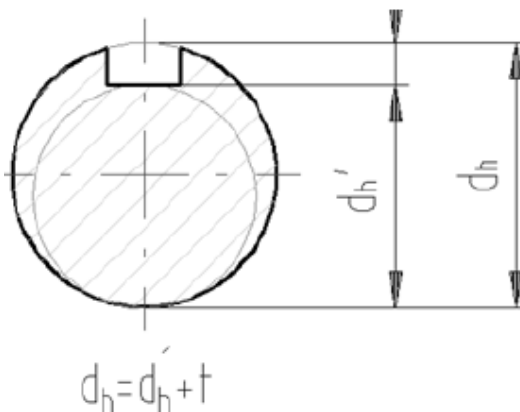
Minimální předběžný průměr d_h' a skutečný minimální průměr d_h se stanoví ze vztahu (2.2) a (2.3):

$$d_h' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (2.2)$$

$$d_h = d_h' + t_d \quad (2.3)$$

kde: d_h' [mm] předběžný průměr hřídele zeslabeného drážkou,
 t_d [mm] hloubka drážky pro pero,

d_h [m] průměr spojkového konce hřídele,
 M_k [N · m] krouticí moment,
 τ_D [Pa] dovolené namáhání v krutu.



Obr. 2.1 Válcový konec hřídele zeslabený drážkou pro pero [13].

Minimální předběžný průměr pastorku d_{h1}'

$$d_{h1}' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k1}}{\pi \cdot \tau_{D1}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 28,78}{\pi \cdot 40 \cdot 10^6}} = 0,01541 \text{ m} = 15,41 \text{ mm}$$

Skutečný minimální průměr pastorku d_{h1}

$$d_{h1} = d_{h1}' + t_{d1} = 15,41 + 2,9 = 18,31 \text{ mm}$$

- Podle ČSN 02 2507 se volí hloubku drážky $t_{d1} = 2,9 \text{ mm}$
- Podle ČSN 01 4990 se volí minimální průměr pastorku $d_{h1} = 20 \text{ mm}$

Předběžný průměr hnaného hřídele d_{h2}'

$$d_{h2}' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot \tau_{D2}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 116,71}{\pi \cdot 25 \cdot 10^6}} = 0,02875 \text{ m} = 28,75 \text{ mm}$$

Skutečný minimální průměr hnaného hřídele d_{h2}'

$$d_{h2} = d_{h2}' + t_{d2} = 28,75 + 4,1 = 32,86 \text{ mm}$$

- Podle ČSN 02 2507 se volí hloubku drážky $t_{d2} = 4,1 \text{ mm}$
- Podle ČSN 01 4990 se volí min. průměr hnaného hřídele $d_{h2} = 35 \text{ mm}$

2.2 Výpočet hlavních parametrů ozubení

U výpočtů se používá index 1 pro pastorek a index 2 pro ozubené kolo.

Převodový poměr soukolí i se určí ze vztahu (2.4):

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.4)$$

kde: i $[-]$ převodový poměr,
 n_1 $[min^{-1}]$ vstupní otáčky,
 n_2 $[min^{-1}]$ výstupní otáčky.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{730}{180} = 4,055$$

Teoretický mezní počet zubů z_t , při němž již dojde k podřezání zubů kola, se stanoví ze vztahu (2.5):

$$z_t = \frac{2}{(\sin(\alpha))^2} \quad (2.5)$$

kde: z_t $[-]$ teoretický mezní počet zubů pastorku,
 α $[^\circ]$ úhel záběru.

$$z_t = \frac{2}{(\sin(\alpha))^2} = \frac{2}{(\sin(20))^2} = 17,1$$

V praxi je však možné určité malé podřezání paty zubu připustit. Praktický mezní počet zubů z_p se pak určí ze vztahu (2.6):

$$z_p = \frac{5}{6} \cdot z_t \quad (2.6)$$

kde: z_t $[-]$ teoretický mezní počet zubů pastorku,
 z_p $[-]$ praktický mezní počet zubů pastorku.

$$z_p = \frac{5}{6} \cdot z_t = \frac{5}{6} \cdot 17,1 = 14,25$$

- Při tomto počtu zubů by mělo dojít k mírnému podřezání paty zubu a tím pádem k přípustnému podřezání. Proto se volí počet zubů pastorku $z_1 = 15$.

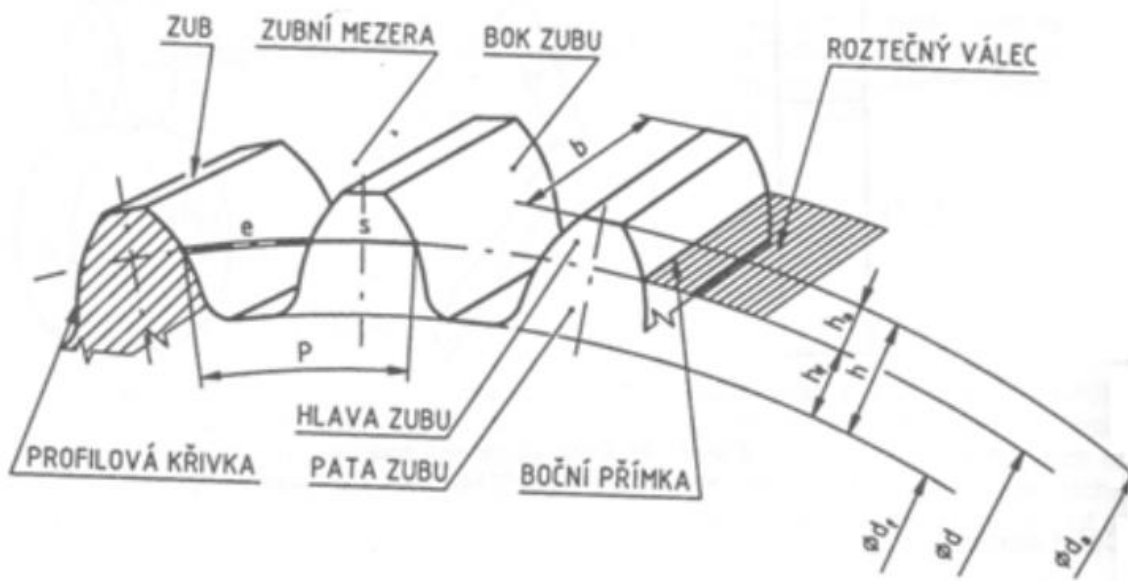
Počet zubů ozubeného kola z_2 lze stanovit ze vztahu (2.7):

$$z_2 = z_1 \cdot i \quad (2.7)$$

kde: i $[-]$ převodový poměr,
 z_1 $[-]$ počet zubů pastorku,
 z_2 $[-]$ počet zubů ozubeného kola.

$$z_2 = z_1 \cdot i = 15 \cdot 4,055 = 60,825$$

- Počet zubů byl zaokrouhlen na nejbližší hodnotu tedy $z_2 = 61$ zubů



Obr. 2.2 Rozměry čelního ozubení s přímými zuby [1].

Rozteč zuby p se určí ze vztahu (2.8):

$$p = \pi \cdot m \quad (2.8)$$

kde: p [mm] rozteč zuby,
 m [mm] modul ozubení.

$$p = \pi \cdot m = \pi \cdot 2,5 = 7,854 \text{ mm}$$

Základní rozteč p_b se určí ze vztahu (2.9):

$$p_b = p \cdot \cos(\alpha) \quad (2.9)$$

kde: p_b [mm] základní rozteč,
 p [mm] rozteč zuby,
 α [°] úhel záběru.

$$p_b = p \cdot \cos(\alpha) = 7,854 \cdot \cos(20) = 7,380 \text{ mm}$$

Šířka zubové mezery t a tloušťka zuby s se určí ze vztahu (2.10):

$$t = s = 0,5 \cdot \pi \cdot m \quad (2.10)$$

kde: t [mm] šířka zubové mezery,
 s [mm] tloušťka zuby,
 m [mm] modul ozubení.

$$s = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot \pi \cdot 2,5 = 3,927 \text{ mm}$$

Výška hlavy zubu h_a se určí ze vztahu (2.11):

$$h_a = m \quad (2.11)$$

kde: h_a [mm] výška hlavy zubu,
 m [mm] modul ozubení.

$$h_a = m = 2,5 \text{ mm}$$

Výšku paty zubu h_f lze stanovit ze vztahu (2.12):

$$h_f = m + 0,25m \quad (2.12)$$

kde: m [mm] modul ozubení,
 h_f [mm] výšku paty zubu.

$$h_f = m + 0,25m = 2,5 + 0,625 = 3,125 \text{ mm}$$

Výška zubu h lze určit na základě vztahu (2.13):

$$h = h_a + h_f \quad (2.13)$$

kde: h [mm] výška zubu,
 h_a [mm] výška hlavy zubu,
 h_f [mm] výška paty zubu.

$$h = h_a + h_f = 2,5 + 3,125 = 5,625 \text{ mm}$$

Průměr roztečné kružnice d se určí ze vztahu (2.14):

$$d = m \cdot z \quad (2.14)$$

kde: d [mm] průměr roztečné kružnice,
 z [-] počet zubů,
 m [mm] modul ozubení.

$$d_1 = m \cdot z_1 = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 2,5 \cdot 61 = 152,5 \text{ mm}$$

Průměr hlavové kružnice d_a lze stanovit podle vztahu (2.15):

$$d_a = d + 2h_a \quad (2.15)$$

kde: d_a [mm] průměr hlavové kružnice,
 d [mm] průměr roztečné kružnice,
 h_a [mm] výška hlavy zubu.

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = 37,5 + 5 = 42,5 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a = 152,5 + 5 = 157,5 \text{ mm}$$

Průměr patní kružnice d_f se stanoví ze vztahu (2.16):

$$d_f = d - 2h_f \quad (2.16)$$

kde: d_f [mm] průměr patní kružnice,
 d [mm] průměr roztečné kružnice,
 h_f [mm] výšku paty zubu.

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = 37,5 - 6,25 = 31,25 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f = 152,5 - 6,25 = 146,25 \text{ mm}$$

Průměr základní kružnice d_b lze určit na základě vztahu (2.17):

$$d_b = d \cdot \cos(\alpha) \quad (2.17)$$

kde: d_b [mm] průměr základní kružnice,
 d [mm] průměr roztečné kružnice,
 α [°] úhel záběru.

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha) = 37,5 \cdot \cos(20^\circ) = 35,238 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos(\alpha) = 152,5 \cdot \cos(20^\circ) = 143,303 \text{ mm}$$

Osovou vzdálenost hřídelů a se stanoví ze vztahu (2.18):

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.18)$$

kde: a [mm] osová vzdálenost hřídelů,
 d_1 [mm] průměr roztečné kružnice pastorku,
 d_2 [mm] průměr roztečné kružnice ozubeného kola.

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{37,5 + 152,5}{2} = 95 \text{ mm}$$

Šířka ozubeného kola b se stanoví ze vztahu (2.19):

$$b = m \cdot \psi \quad (2.19)$$

kde: b [mm] šířka ozubeného kola
 m [mm] modul
 ψ [-] součinitel poměrné šířky ozubení

$$b_1 = m \cdot \psi = 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ mm}$$

- Šířka pastorku vyšla $b_1 = 25 \text{ mm}$. Šířka ozubeného kola se volí o něco menší a to $b_2 = 23 \text{ mm}$.

2.3 Měření ozubení – rozměr přes zuby

Při výrobě je třeba změřit tloušťku zubů, která vychází z metody měření přes zuby, při které se měří třmenovým talířovým mikrometrem a naměřená hodnota se porovnává

s vypočtenou jmenovitou hodnotou dle vztahu 2.21. Kvůli vzniku boční vůle musí být naměřená hodnota menší než jmenovitá. Ozubení pastorku se obrobí kotoučovou frézou na patní kružnici o průměru 31,15 mm, u ozubeného kola na 146,15 mm a tím vznikne požadovaná boční vůle soukolí. Po povrchovém kalení se každý bok ozubení přebrousí dělicím způsobem o 0,015 mm a na Ra 1,6.

Počet zubů, přes které je nutné měřit, se stanoví ze vztahu (2.20):

$$z' = \alpha \cdot \frac{z}{180} + 0,5 \quad (2.20)$$

kde: z' [-] počet zubů, přes které se měří,
 z [-] počet zubů,
 α [°] úhel záběru kola.

$$z'_1 = \alpha \cdot \frac{z_1}{180} + 0,5 = 20 \cdot \frac{15}{180} + 0,5 = 2,166$$

$$z'_2 = \alpha \cdot \frac{z_2}{180} + 0,5 = 20 \cdot \frac{61}{180} + 0,5 = 7,277$$

- Počet zubů, přes které se měří u pastorku, se zaokrouhlí směrem dolů na hodnotu $z'_1 = 2$.
- Počet zubů, přes které se měří u ozubeného kola, se zaokrouhlí nahoru na celkový počet $z'_2 = 8$ zubů.

Jmenovitá hodnota rozměru přes zuby je dána vztahem (2.21):

$$M_j = m \cdot \left[\pi \cdot \cos(\alpha) \cdot z' - 0,5 + z \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\operatorname{tg}(\alpha) - \pi \cdot \frac{\alpha}{180} \right) \right] \quad (2.21)$$

kde: M_j [mm] jmenovitá hodnota rozměru přes zuby,
 m [mm] modul,
 z' [-] počet zubů, přes které se měří,
 z [-] počet zubů,
 α [°] úhel záběru kola.

$$\begin{aligned} M_{j1} &= m \cdot \left[\pi \cdot \cos(\alpha) \cdot z'_1 - 0,5 + z_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\operatorname{tg}(\alpha) - \pi \cdot \frac{\alpha}{180} \right) \right] \\ &= 2,5 \cdot \left[\pi \cdot \cos(20) \cdot 2 - 0,5 + 15 \cdot \cos(20) \cdot \left(\operatorname{tg}(20) - \pi \cdot \frac{20}{180} \right) \right] \\ &= 14,036 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{j2} &= m \cdot \left[\pi \cdot \cos(\alpha) \cdot z'_2 - 0,5 + z_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\operatorname{tg}(\alpha) - \pi \cdot \frac{\alpha}{180} \right) \right] \\ &= 2,5 \cdot \left[\pi \cdot \cos(20) \cdot 8 - 0,5 + 61 \cdot \cos(20) \cdot \left(\operatorname{tg}(20) - \pi \cdot \frac{20}{180} \right) \right] \\ &= 59,928 \text{ mm} \end{aligned}$$

2.4 Úprava hodnot pro výrobu pastorku

Ve firmě, kde proběhla výroba pastorku, byla pro výrobu ozubení ve skladě nástrojů dostupná pouze modulová fréza s modulem $m = 0,75 \text{ mm}$ a $m = 1,5 \text{ mm}$. Byla zvolena fréza s modulem $m = 1,5 \text{ mm}$ a bylo nutné přepočítat podle zvoleného modulu jednotlivé rozměry ozubení. Počet zubů byl zvolen $z_1 = 19$.

Převodový poměr soukolí i se určí ze vztahu (2.4):

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{730}{180} = 4,055$$

Počet zubů ozubeného kola z_2 lze stanovit ze vztahu (2.7):

$$z_2 = z_1 \cdot i = 19 \cdot 4,055 = 77,045 \Rightarrow 77 \text{ zubů}$$

Rozteč zubu p se určí ze vztahu (2.8):

$$p = \pi \cdot m = \pi \cdot 1,5 = 4,71 \text{ mm}$$

Základní rozteč p_b se určí ze vztahu (2.9):

$$p_b = p \cdot \cos(\alpha) = 4,71 \cdot \cos(20) = 4,425 \text{ mm}$$

Šířka zubové mezery s se určí ze vztahu (2.10):

$$s = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot \pi \cdot 1,5 = 2,356 \text{ mm}$$

Výška hlavy zubu h_a se určí ze vztahu (2.11):

$$h_a = m = 1,5 \text{ mm}$$

Výšku paty zubu h_f lze stanovit ze vztahu (2.12):

$$h_f = m + 0,25m = 1,5 + 0,375 = 1,875 \text{ mm}$$

Výška zubu h lze určit na základě vztahu (2.13):

$$h = h_a + h_f = 1,5 + 1,875 = 3,375 \text{ mm}$$

Průměr roztečné kružnice d se určí ze vztahu (2.14):

$$d_1 = m \cdot z_1 = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 1,5 \cdot 77 = 115,5 \text{ mm}$$

Průměr hlavové kružnice d_a lze stanovit podle vztahu (2.15):

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = 28,5 + 3 = 31,5 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2h_a = 115,5 + 3 = 118,5 \text{ mm}$$

Průměr patní kružnice d_f se stanoví ze vztahu (2.16):

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = 28,5 - 3,75 = 24,75 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2h_f = 115,5 - 3,75 = 111,75 \text{ mm}$$

Průměr základní kružnice d_b lze určit na základě vztahu (2.17):

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha) = 28,5 \cdot \cos(20^\circ) = 26,781 \text{ mm}$$
$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos(\alpha) = 115,5 \cdot \cos(20^\circ) = 108,534 \text{ mm}$$

Osovou vzdálenost hřidelů a se stanoví ze vztahu (2.18):

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{28,5 + 115,5}{2} = 72 \text{ mm}$$

Počet zubů, přes které je nutné měřit, se stanoví ze vztahu (2.20):

$$z'_1 = \alpha \cdot \frac{z_1}{180} + 0,5 = 20 \cdot \frac{19}{180} + 0,5 = 2,611$$

- Je třeba měřit přes 3 zuby.

Jmenovitá hodnota rozměru přes zuby je dána vztahem (2.21):

$$M_{j1} = m \cdot \left[\pi \cdot \cos(\alpha) \cdot z'_1 - 0,5 + z_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\operatorname{tg}(\alpha) - \pi \cdot \frac{\alpha}{180} \right) \right]$$
$$= 1,5 \cdot \left[\pi \cdot \cos(20) \cdot 3 - 0,5 + 19 \cdot \cos(20) \cdot \left(\operatorname{tg}(20) - \pi \cdot \frac{20}{180} \right) \right]$$
$$= 12,934 \text{ mm}$$

3 NÁVRH TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

Pro výrobu daných součástí je zapotřebí přiřadit k jednotlivým technologickým operacím příslušné stroje, nástroje a přípravky, jejichž volba a parametry jsou v následující kapitole popsány. Třídící čísla jednotlivých strojů jsou uvedena v technologických postupech.

3.1 Volba strojů

Pásová pila ARG 260 H

Z kruhových tyčí válcovaných za tepla se pro zhotovení součástí musí uříznout polotovary o daných rozměrech. K tomu poslouží univerzální pásová pila ARG 260 H (obr. 3.1) vyráběná firmou PILOUS spol. s.r.o., která se uplatňuje jak v sériové výrobě, tak i kusové výrobě. Používá se pro řezání různých průřezů např. kruhových, čtvercových, obdélníkových, I profilů atd. Umožňuje řezat materiály do průměru 260 mm a nastavení úhlu řezu v rozsahu 90° – 60° při stálé poloze upnutého materiálu. Automatické zvedání ramene pily po skončení řezu je zajištěno jednoduchým hydraulickým agregátem, který při velkosériové výrobě značně usnadňuje práci obsluze stroje. Samotný řezací proces je doprovázen procesní kapalinou, která odvádí teplo z místa řezu a prodlužuje tak životnost pilového pásu. Posuv řezu je vykonáván vlastní vahou ramene s možností jemné regulace škrticím ventilem olejového tlumiče. Technické údaje pásové pily jsou popsány v tab. 3.1 [15].



Obr. 3.1 Pásová pila ARG 260 H [15].

Tab. 3.1 Technické parametry pásové pily [15].

Hlavní motor	400 V, 50 Hz, 0,9 / 1,4 kW
Motor čerpadla	400 V, 50 Hz, 0,05 kW
Motor hydraulického agregátu	400 V, 50 Hz, 0,18 kW
Rychlost pásu	$35\text{--}70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Pracovní výška svěráku	910 mm
Olej v hydraulickém systému	cca 6 l (ISO 6 743/4-HM, DIN 51 524 část 2-HLP)
Nádrž procesní kapaliny	cca 15 l
Rozměry stroje	(1 410 x 1 960 x 1 850) mm
Hmotnost stroje	340 kg

Soustruh MASTURN 550i CNC

Pro výrobu rotačních součástí se používá stroj zvaný soustruh. Jedná se o počítačově řízený soustruh MASTURN 550i CNC (obr. 3.2) vyroben firmou KOVOSVIT MAS Machine Tools, a. s., který se využívá především v sériové výrobě, ale i při kusové výrobě u složitějších součástí, které by šly stěží vyrobít na klasickém univerzálním soustruhu. Oproti běžnému univerzálnímu stroji je CNC soustruh přesnější a má již předdefinovanou dráhu nástrojů. U klasického soustruhu se musí najíždět ručně, tudíž je CNC stroj mnohem produktivnější. Lze u něj také nastavit konstantní řezná rychlost, jež se projeví kratším strojním časem u obrábění čelních ploch. Další výhodou CNC soustruhu je, že všechny vyrobené součásti jsou rozměrově relativně stejné, což se u klasických soustruhů vždy podařit nemusí a případné doladění rozměrů je tak zdlouhavé. Geometrické údaje o tvaru součásti a řezné podmínky jsou klávesnicí zapisovány do řídicího systému a následně automaticky zpracovány, takže lze ještě před samotnou výrobou graficky odsimulovat obrábění dané součásti. Obrábění lze provádět ručním řízením, nebo pomocí automatických cyklů s podporou CNC systému, které programátorům usnadňují práci. CNC soustruh je vybaven univerzálním tříčelistovým pneumatickým sklíčidlem, vanou na třísky, dopravníkem třísek, revolverovou hlavou pro 8 nástrojů a řídicím systémem HEIDENHAIN MANUAL plus 620. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.2 [16].



Obr. 3.2 Soustruh MASTURN 550i CNC [16].

Tab. 3.2 Technické parametry soustruhu MASTURN 550i CNC [16].

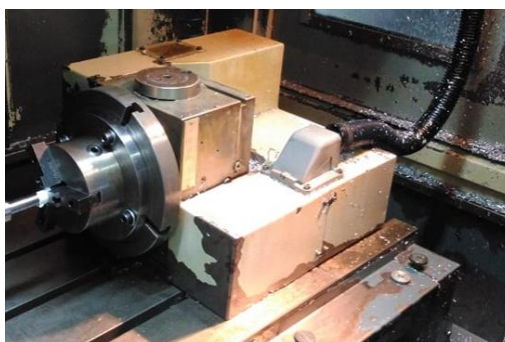
Kužel dutiny v pinole - MORSE	5
Oběžný průměr nad ložem	550 mm
Maximální průměr soustružení	332 mm
Vzdálenost hrotů	1 600 mm
Průchozí díra vřetene	82 mm
Rozměry stroje: délka x šířka x výška	(2 538 × 1 920 × 1 755) mm
Otáčky vřetena	0–3 000 min ⁻¹
Typ upnutí nástroje	revolverová hlava pro 8 nástrojů
Výkon motoru	17 kW
Maximální hmotnost obrobku	1 000 kg
Váha stroje v základní výbavě	3 400 kg

Vertikální obráběcí centrum MCV 750

Výroba ozubení a drážky pro pero se uskuteční na vertikálním obráběcím centru MCV 750 (obr 3.3), jež je vybaveno automatickým dělicím přístrojem (obr. 3.4), který umožňuje automatické otočení obrobku o zvolený úhel. Stroj je vyroben firmou KOVOSVIT MAS Machine Tools, a. s. Pracuje ve třech základních osách a to v ose X - pracovní stůl, v ose Y - příčný suport (stůl) a v ose Z – vřeteník (nástroj). Rychloposuv a pracovní posuv je možné použít ve všech osách. Je vybaven zásobníkem až pro 20 nástrojů, výměníkem nástrojů a automatickým dělicím přístrojem, který je jeho čtvrtou řízenou osou a umožňuje tak výrobu již zmíněného ozubení, popřípadě frézování mnohoúhelníků. Technické parametry obráběcího centra jsou uvedeny v tab. 3.3 [17].



Obr. 3.3 Vertikální obráběcí centrum MCV 750. [17].



Obr. 3.4 Automatický dělicí přístroj.

Tab. 3.3 Technické parametry vertikálního obráběcího centra MCV 750 [17].

Řídicí systém	HEIDENHAIN iTNC 426
Upínací plocha stolu	1 000 x 500 mm
Osa X pojezdu	750 mm
Osa Y pojezdu	500 mm
Osa Z	500 mm
Rychlost vřetena	8 000 min ⁻¹
Kužel vřetena	ISO 40
Celkový příkon stroje	25 kW
Rozměry stroje: délka x šířka x výška	(2 590 x 2 320 x 2 560) mm
Hmotnost stroje	4 000 kg
Max. hmotnost obrobku	400 kg
Max. hmotnost nástroje	6 kg

CNC bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800

Po vyfrézování ozubení na vertikálním obráběcím centru je třeba obrousit boky ozubení na požadovanou Ra na počítačem řízené brusce OPAL 800, která je vyrobena firmou OC Oerlikon (obr 3.5). Bruska je konstruovaná na broušení ozubení odvalovacím i dělicím způsobem. Brousí se dělicím způsobem tvarovým broušicím kotoučem s profilem ve tvaru zubové mezery, kdy kotouč vykonává rotační pohyb a podélný pracovní posuv, obrobek je upnut mezi otočným hrotem a univerzálním sklíčidlem. Po každém přebroušení zubové mezery se obrobek otočí o požadovaný úhel a nastává broušení další zubové mezery, tento proces se opakuje až do přebroušení všech boků ozubení. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.4 [18].



Obr. 3.5 Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800 [18].

Tab. 3.4 Technické parametry brusky na ozubení Oerlikon OPAL 800 [18].

Velikost modulu	1–16 mm
Maximální průměr kotouče	300 mm
Maximální velikost obrobku	630 mm
Max. hmotnost obrobku	1 500 kg
Otáčky	1 000–5 000 min ⁻¹
Maximální úhel natočení kotouče	± 45°
Rozměry stroje: délka x šířka x výška	(8 300 x 6 000 x 3 750) mm
Hmotnost stroje	16 650 kg

Hrotová bruska univerzální BUA 20

Broušení funkčních průměrů pro ložiska, gufera a průměru pro nalisování ozubeného kola je prováděno na univerzální hrotové brusce BUA 20 (obr. 3.6), která je vyrobena firmou TOS Hostivař. Stroj slouží k broušení rotačních ploch, kdy je obrobek upnut mezi hroty ve sklíčidle pracovního vřeteníku a koníku. Vřeteník a koník je usazen na pohyblivém stole, který vykonává přímočarý vratný pohyb. Broušicí kotouč obstarává přísun do řezu a za stálého otáčení obrobku a nástroje se odebrá malé množství materiálu při stálém přísunu procesní kapaliny. Technické parametry hrotové brusky BUA 20 jsou uvedeny v tab. 3.5 [19].



Obr. 3.6 Hrotová bruska univerzální BUA 20 [19].

Tab. 3.5 Technické parametry hrotové brusky univerzální BUA 20 [19].

Vzdálenost hrotů	450 mm
Rozměry max. broušícího kotouče (průměr x šířka)	350 x 32 mm
Kužel ve vřetenu	MK4
Průměr sklíčidla	160 mm
Rozsah otáček vřetena	50–650 min ⁻¹
Příčný pohyb broušícího vřeteníku	200 mm
Dosažitelná kuželovitost	1:3
Rychlost stolu, plynule měnitelná	0,05–4,5 m · min ⁻¹
Elektromotor broušícího vřeteníku	2,7 kW
Hmotnost stroje	1 700 kg
Půdorysné rozměry stroje	(1 530 x 2 830) mm

Bruska na díry BDA 40

Tento stroj je použit na dokončení díry ozubeného kola, která slouží pro nalisování na hnaný hřídel. Výrobce brusky na díry BDA 40 (obr. 3.7) jsou České závody motocyklové n.p. Strakonice. Je určena pro broušení vnitřních rotačních ploch, kdy se obrobek upíná do pracovního vřeteníku. Broušící kotouč se upíná do broušícího vřeteníku, který se posouvá po loži a vykonává podélný i příčný pohyb. Pracovní a broušící vřeteník má odlišné otáčky. Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.6 [20].

Tab. 3.6 Technické parametry brusky na díry BDA 40 [20].

Největší oběžný průměr	400 mm
Max. průměr broušené díry	150 mm
Min. průměr broušené díry	35 mm
Elektromotor pracovního vřeteníku	1,1 kW
Elektromotor broušícího vřeteníku	6,5 kW
Hmotnost stroje	3 680 kg
Půdorysné rozměry stroje	(2 260 x 2 270) mm



Obr. 3.7 Bruska na díry BDA 40 [20].

3.2 Volba nástrojů

K jednotlivým strojům je třeba zvolit příslušné nástroje, které odpovídají požadavku na zhotovení daných součástí. Pro soustružení jsou voleny nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) ze SK které mají vyšší řezné rychlosti a tím i vyšší výkonnost než nástroje z rychlořezné oceli (RO). Celkový seznam nástrojů pro výrobu daných součástí je uveden v tab. 3.7. Zhodnocení volby nástrojů je uvedeno v tab. 3.8–3.17.

Tab. 3.7 Seznam nástrojů. [21–32].


Název nástroje	Označení nástroje	Výrobce
Pilový pás	Maxtech 420	PILOUS spol. s.r.o.
Vnější soustružnický nůž	DCLNR 2525M12	Sandvik Coromant, s.r.o.
Hrubovací VBD	CNMG 120412-PR	
Vnější soustružnický nůž	DVJNR 2020K16	Sandvik Coromant, s.r.o.
Dokončovací VBD	VNMG 160408-PF	
Vnitřní soustružnický nůž	S25T PCLNR12	Sandvik Coromant, s.r.o.
Hrubovací VBD	CNMG 120412-PR	
Vnitřní soustružnický nůž	S20S PCLNR09	Sandvik Coromant, s.r.o.
Dokončovací VBD	CNMG 090308-PF	
Středící vrták	A2 ČSN 221110	STIMZET
Vrták	10 ČSN 221140	STIMZET
	25 ČSN 221140	
Hrubovací fréza	05E3S50-15A05 SUMA	Pramet Tools s.r.o
Dokončovací fréza	04E6R50-11A06 KIVA	Pramet Tools s.r.o
Kotoučová modulová fréza	ČSN 22 2510 m2.5x20° č2	ZV - Nástroje a.s.
	ČSN 22 2510 m2.5x20° č7	
Broušící kotouč	T1 250x25x76 99BA46L8V40	Tyrolit CEE K.s.
	T5 32x32x10-20x16 99BA46K9V40	
	m2,5-15z-20°-99BA46K9V	
	m2,5-61z-20°-99BA46K9V	

1) Nástroje pro pásovou pilu ARG 260 H

Pilový pás

Používá se jako nástroj u pásové pily pro řezání polotovaru o určité délce. Je vyroben z materiálu HSS M42 1.3247 pro hladký a čistý řez. Parametry pilového pásu jsou uvedeny v tab. 3.8 [21]

Tab. 3.8 Technické parametry pilového pásu [21].

Pilový pás Maxtech 420	Parametry pilového pásu	
	Rozměr pásu	(2 880 x 27 x 0,9) mm
	Typ ozubení	Konstantní

2) Nástroje pro Soustruh MASTURN 550i CNC

Vnější hrubovací soustružnický nůž

Hrubovací operace se provádí za účelem co největšího úběru materiálu při co nejmenším čase a přitom se nehledí na Ra. Proto se navrhne mohutnější nástroj, který je stabilnější při větším úběru třísky a vyšších posuvových rychlostech. Tvar VBD byl volen C, jenž je vhodný k hrubování jak válcových ploch, tak i čelních ploch. Pro obrábění daného materiálu jsou zvoleny VBD ze SK pro obrábění nízkolegované oceli, tedy skupiny, která se značí modrou barvou a písmenem P. Označení, vzhled a výrobcem doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.9 [22].

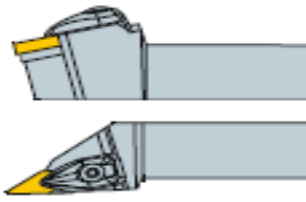

Tab. 3.9 Technické parametry vnějšího hrubovacího nože [22,23].

Upínač nástroje	Břítová destička	Doporučené řezné podmínky
DCLNR 2525M12	CNMG 120412-PR	$a_p = 4 (1 - 7) \text{ mm}$ $f = 0,4 (0,25 - 0,7) \text{ mm}$ $v_c = 190 (230 - 150) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
		

Vnější dokončovací soustružnický nůž

Po hrubovací operaci následuje operace dokončovací, která má přesně opačný charakter. Cílem dokončovací operace je dosažení co nejlepší Ra při malém úběru třísky materiálu. Toho lze dosáhnout zmenšením poloměru špičky VBD, zmenšením hloubky řezu, zmenšením posuvu a zvětšením řezné rychlosti. Proto je volen kosodélníkový tvar VBD s úhlem špičky 35°, který se používá pro dokončování různých tvarových ploch s malým úběrem třísky. Slouží také pro zhotovení zápichů. Příslušný upínač nástroje pro VBD a doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.10 [22].

Tab. 3.10 Technické parametry vnějšího dokončovacího nože [22,23].

Upínač nástroje	Břítová destička	Doporučené řezné podmínky
DVJNR 2020K16	VNMG 160408-PF	
		$a_p = 0,4 (0,3 - 1,5) \text{ mm}$ $f = 0,2 (0,1 - 0,35) \text{ mm}$ $v_c = 260 (330 - 205) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Vnitřní hrubovací soustružnický nůž

Vnitřní soustružení se uplatňuje při výrobě ozubeného kola. Předvrtanou díru je třeba osoustružit na konečný rozměr, k tomu poslouží vnitřní hrubovací a dokončovací nástroj. Pro vnitřní hrubování se volí stejná VBD tvaru C jako u vnějšího hrubování. Doporučené řezné podmínky se také nemění a jsou zapsány v tab. 3.11. Liší se pouze upínač nástroje, který je uzpůsoben pro vnitřní soustružení. [22]

Tab. 3.11 Technické parametry vnitřního hrubovacího nože [22,23].

Upínač nástroje	Břítová destička	Doporučené řezné podmínky
S25T PCLNR12	CNMG 120412-PR	
		$a_p = 4 (1 - 7) \text{ mm}$ $f = 0,4 (0,25 - 0,7) \text{ mm}$ $v_c = 190 (230 - 150) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Vnitřní dokončovací soustružnický nůž

Soustruženou díru je potřeba obrobit na požadovaný rozměr a příslušnou Ra dle výkresu. Volí se VBD tvaru C s poloměrem špičky 0,8 mm, který v kombinaci s doporučenými řeznými podmínkami zajistí požadovanou Ra. Upínač nástroje je celistvá ocelová tyč o průměru 20 mm bez vnitřního přívodu procesní kapaliny. Další parametry jsou uvedeny v tab. 3.12 [22].

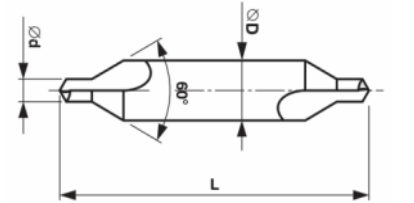
Tab. 3.12 Technické parametry vnitřního dokončovacího nože [22,23].

Upínač nástroje	Břítová destička	Doporučené řezné podmínky
S20S PCLNR09	CNMG 090308-PF	
		$a_p = 0,4 (0,3 - 1,5) \text{ mm}$ $f = 0,15 (0,1 - 0,3) \text{ mm}$ $v_c = 260 (305 - 130) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Středicí vrták

Pro přesnější výrobu pastorku a hnaného hřídele je nesmírně důležité vyvrtat středící důlky, bez kterých by obvodové házení obráběného materiálu bylo příliš velké a výsledná součást značně nepřesná. Středící důlky se uplatňují při soustružení, výrobě ozubení a při broušení hřídele a pastorku mezi hroty. Pro všechny součásti se používá středící vrták typu A, jehož rozměry jsou uvedeny v tab. 3.13 [24].


Tab. 3.13 Technické parametry středicího vrtáku [24].

Středicí vrták	Rozměry vrtáku
A2 ČSN 221110	
	$\varnothing d = 2 \text{ mm}$ $\varnothing D = 5 \text{ mm}$ $L = 40 \text{ mm}$

Vrták

Pro vrtání a vyvrtání díry v ozubeném kole se použije vrták s kuželovou stopkou z HSS o velikosti $\varnothing 10 \text{ mm}$ a $\varnothing 25 \text{ mm}$ ČSN 22 1140, vhodný pro vrtání do nelegované i legované oceli. Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.14 [25]

Tab. 3.14 Technické parametry vrtáků [25].


Doporučené řezné podmínky: VRTÁK 10 ČSN 22 1140	Doporučené řezné podmínky: VRTÁK 25 ČSN 22 1140	Vrták pro vrtání a vyvrtávání
$n = 920 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 29 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = 0,13 \text{ mm}$	$n = 300 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 24 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f = 0,34 \text{ mm}$	

3) Nástroje pro vertikální obráběcí centrum MCV 750

Hrubovací fréza

Tento nástroj je použit pro vytvoření drážky pro pero na pastorku s přídavkem na dokončení. Nástrojem je univerzální monolitní fréza pro frézování oceli, která má tři břity a umožňuje hloubku zavrtávání $a_p = 2,5 \text{ mm}$. Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.15 [26].


Tab. 3.15 Technické parametry hrubovací frézy [26].

Značení frézy	Doporučené řezné podmínky
05E3S50-15A05 SUMA	
	$n = 5\,096 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $v_f = 459 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Dokončovací fréza

Dokončovací nástroj je určen pro dokončení vyhrubované drážky a zhotovení kvalitnějšího povrchu než u hrubovací operace. Po obvodu má více řezných břitů (6) než hrubovací fréza, které společně s doporučenými řeznými podmínkami (tab. 3.16) zaručí vysokou rozměrovou přesnost a požadovanou Ra. Velikost úběru maximální třísky (a_e) je $0,2 \text{ mm}$ a hloubka zavrtání (a_p) 6 mm . [26].


Tab. 3.16 Technické parametry dokončovací frézy [26].

Značení frézy	Doporučené řezné podmínky
04E6R50-11A06 KIVA	$n = 6\,369 \text{ min}^{-1}$ $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $v_f = 955 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
	

Kotoučová modulová fréza

Pro výrobu ozubení se použije kotoučová modulová fréza ČSN 22 2510 m2.5x20° o průměru 63 mm, jejíž parametry jsou uvedeny v tab. 3.17. Je vyrobená z rychlořezné oceli s dvanácti zuby po obvodu, které mají tvar zubové mezery. Pro výrobu pastorku se použije fréza s pořadovým číslem 2, která je konstruovaná na 14–16 vyrobených zubů. Pro ozubené kolo se potom jedná o modulovou frézu s číslem 7, která je uzpůsobená na výrobu ozubení v rozmezí 55–134 zubů [27, 28].

Tab. 3.17 Technické parametry kotoučové modulové frézy [27, 28, 29].

Fréza pro výrobu pastorku	Fréza pro výrobu kola	Doporučené řezné podmínky
ČSN 22 2510 m2.5x20° č2	ČSN 22 2510 m2.5x20° č7	$s_z = 0,04 - 0,08 \text{ mm}$ Hrubování $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ Dokončování $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
		

4) Nástroje pro brusky

Broušící kotouč (pro hrotovou brusku)

Pro broušení vnějších válcových ploch na hrotové brusce se použije plochý broušící kotouč z bílého korundu T1 250x25x76 99BA46L8V40 (obr. 3.8) s max. obvodovou rychlostí $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, který se používá na broušení oceli do tvrdosti 55 HRC (560 HB) [30].



Obr. 3.8 Broušící kotouč T1 250x25x76 99BA46L8V40 [30].

Broušící kotouč (pro brusku na díry)

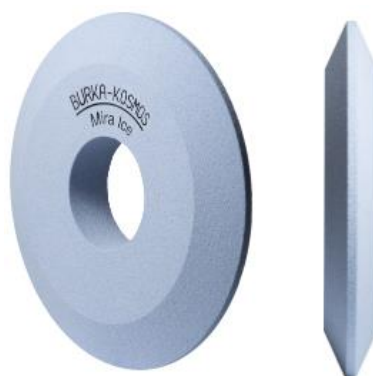
Pro broušení díry ozubeného kola je volen hrcovitý broušící kotouč z bílého korundu T5 32x32x10-20x16 99BA46K9V40 (obr. 3.9) s maximální obvodovou rychlostí $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, který je určen pro broušení oceli do tvrdosti 55 HRC (560 HB) [31].



Obr. 3.9 Broušící kotouč T5 32x32x10-20x16 99BA46K9V40 [31].

Broušící kotouč (na ozubení)

Po tepelném zpracování se brousí boky ozubení dělicím způsobem, nástrojem je tvarový broušící kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery (obr. 3.10). Kotouč je vyráběn na zakázku firmou TYROLIT. Pro broušení boku ozubení pastorku se použije kotouč m2,5-15z-20°-99BA46K9V a pro ozubené kolo broušící kotouč m2,5-61z-20°-99BA46K9V o průměru 150 mm [32].




Obr. 3.10 Broušící kotouč na ozubená kola [32].

3.3 Volba měřicích přístrojů a přípravků

Posuvné měřítko

Posuvné měřítko je nezbytnou součástí strojírenské výroby, kdy po jednotlivých technologických operacích je třeba měřit vyráběnou součást, jestli odpovídá předepsaným rozměrům dle výkresu. Protože největší měřený rozměr je 157,5 mm, volí se měřidlo s rozsahem měření 0–200 mm. Slouží pro měření vnějších, vnitřních rozměrů a pro měření hloubky součástí. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 3.18 [33].



Tab. 3.18 Parametry posuvného měřítka [33].

Digitální posuvné měřítko	Parametry posuvného měřidla	
ABSOLUTE AOS DIGIMATIC 0–200 mm (500-182-30)	Číslicový krok	0,01 mm
	Přesnost	± 0,02 mm
	Funkce	Absolutní a relativní měření

Třmenový mikrometr

Třmenový talířový mikrometr na ozubená kola (ČSN 25 1472) se používá na měření ozubení tzv. metodou měření přes zuby. Jedná se o kontrolní rozměr měřený přes dva a více zubů. Lze měřit přímo na obráběcím stroji při výrobě ozubení, tudíž ze změřeného rozměru lze snadno určit posunutí nástroje ke správnému dokončení obrobení. Použije se také na měření funkčních průměrů určené pro ložiska a gufero odpovídajících rozměrů. Rozsah mikrometrů na ozubená kola je 0–25 mm (KCZ 7 051) a 50–75 mm (KCZ 7 053), jsou vyrobeny firmou KMITEX. Třmenový mikrometr s tenkými doteky s rozsahem měření 25–50 mm, vyroben firmou Schut, je použit na měření funkčních průměrů hnaného hřídele. Parametry všech mikrometrů jsou uvedeny v tab. 3.19 [34, 35, 36].


Tab. 3.19 Parametry třmenových mikrometrů [34, 35, 36].

Třmenový talířový mikrometr na ozubená kola (KCZ 7 051), (KCZ 7 053)	Třmenový mikrometr 25–50 mm s tenkými doteky (S_MM_TR_tenky_25–50)	Parametry mikrometrů	
		Přesnost měření	0,004 mm
		Průměr měřících doteků	2 mm
		Průměr tvrdokovových talířů	20 mm

Dutinový mikrometr

Mikrometr, vyroben firmou INSIZE, s rozsahem 25–50 mm je použit pro změření vnitřního průměru u ozubeného kola, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 3.20 [37].


Tab. 3.20 Parametry dutinového mikrometru [37].

Dutinový mikrometr: INSIZE 25–50 mm (3220-50)	Parametry mikrometru	
	Přesnost měření	0,008 mm
	Velikost kroku	0,01 mm
	Měřicí hroty	Karbidové

Otočný hrot

Je zvolen pro pomocné upnutí při soustružení, frézování a broušení. Velikost upínacího Morse kužele je MK4, pro upnutí do koníku u soustruhu je potřeba redukční pouzdro metrické 50 x MK4. Parametry otočného hrotu jsou uvedeny v tab. 3.21 [38].


Tab. 3.21 Parametry otočného hrotu [38].

Otočný hrot MK4 ČSN 243324	Parametry otočného hrotu	
	Max. hmotnost obrobku	1 300 kg
	Max. obvodová házivost	0,005 mm
	Vrcholový úhel	60°
	Otáčky	4 000 min ⁻¹

Drsnoměr

Pro měření Ra obrobek ploch se použije digitální drsnoměr, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 3.22 [39].

Tab. 3.22 Parametry digitálního drsnoměru [39].

Drsnoměr INSIZE ISR-C002	Parametry digitálního drsnoměru	
	Rozsah měření	160 μm
	Rozlišení	0,001 μm
	Výstup dat	Pomocí USB

Upínací trn (pro obráběcí centrum)

Po osoustružení díry ozubeného kola je potřeba upnout součást za vnitřní průměr, aby bylo možné vyfrézovat ozubení. Kvůli velkým řezným silám, které doprovází frézovací proces, není možné použít trn samosvorný. Proto se musí použít upínací trn zajištěný podložkou a maticí, trn je vyroben jako jednoúčelový (obr. 3.11, příloha 5).



Obr. 3.11 Upínací trn s maticí.

Upínací trn (na brusku)

Po vyfrézování a kalení ozubení ozubeného kola je potřeba upnout součást za vnitřní průměr, aby bylo možné obrousit boky ozubení. Je použit normalizovaný samosvorný upínací kuželový trn $\text{Ø } 45$ ČSN 24 3350 (obr. 3.12) [40].



Obr. 3.12 Samosvorný upínací kuželový trn [40].

Unášecí srdce

Při broušení na hrotové brusce je obrobek upnut mezi dvěma hroty. Pro otáčení obrobku je zvolen unášec (obr. 3.13) $\text{Ø } 20$ mm (pro pastorek) a $\text{Ø } 32\text{--}40$ mm (pro hnaný hřídel), který umožňuje přišroubování k unášecí desce. Rotace pracovního vřetene se pak přenáší přes unášecí srdce na obrobek. [41, 42].



Obr. 3.13 Unášecí srdce Ø 32–40 mm [41].

3.4 Procesní kapalina

Pokud se má zachovat kvalita obrobené plochy a vyšší životnost nástroje, nezbytnou součástí všech řezných procesů je procesní (řezná) kapalina, která odebírá přebytečné teplo z místa řezu, odplavuje třísky a zmenšuje tření mezi nástrojem a obráběným materiálem. Volí se univerzální procesní kapalina MANNOL EMULSION (obr. 3.14), která se používá pro operace jako řezání, vrtání, soustružení, frézování a broušení. Výrobce udává koncentraci s vodou v rozsahu (3–7) %, ale pro optimální podmínky se olej mísí s vodou v poměru 1:20 a vytváří tak stabilní mléčnou emulzi. Zvolená procesní kapalina se účastní všech technologických operací, které jsou uvedeny v technologických postupech výroby [43].



Obr. 3.14 Ukázka procesní kapaliny při obrábění materiálu [43].

4 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY

Technologický postup výroby (TPV) je proces postupně jdoucích technologických operací, kterými prochází obrobek od výchozího polotovaru až po konečný výrobek. Přiřazuje k jednotlivým operacím zvolené stroje, nástroje, přípravky a měřidla, které jsou nezbytné pro zhotovení součásti dle výkresu. TPV se navrhuje tak, aby náklady na výrobu součásti byly co nejmenší, produktivita co největší a zároveň byly splněny předepsané rozměrové a geometrické tolerance dle výkresu součásti. Hmotnost součástí TPV je určena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2019. Číselné hodnoty jsou uvedeny v milimetrech. TPV součástí je uveden v přílohách 6-8.

Výrobní návodky

Pomocí výrobních návodků (příloha 9–25) se pro každou operaci určí strojní časy potřebné na výrobu jednotlivých součástí dle technologického postupu. Zobrazení jednotlivých operací je pouze schematické, tudíž poměr velikosti odebírané třísky nemusí odpovídat realitě. Jsou u nich sepsané vhodné řezné podmínky a určen strojní čas, který slouží k ekonomickému zhodnocení výroby. Při soustružení na CNC stroji se používá konstantní řezná rychlost, tudíž se otáčky stroje mění podle velikosti soustruženého průměru. Ze vztahů (4.1–4.3) se stanoví otáčky stroje a jednotkové strojní časy pro jednotlivé technologické operace. V návodkách se počítá s náběhem a případným přeběhem o velikosti 1–2 mm. Výpočetní vztahy jsou převzaty ze zdroje [44].

Otáčky stroje n se stanoví ze vztahu (4.1):

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (4.1)$$

kde: n $[min^{-1}]$ frekvence otáček,
 v_c $[m \cdot min^{-1}]$ řezná rychlost,
 D $[mm]$ obráběný průměr.

Jednotkový strojní čas t_{AS} při soustružení válcových ploch, frézování drážky, broušení a vrtání se stanoví ze vztahu (4.2):

$$t_{AS} = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{l + l_n + l_p}{f \cdot n} \quad (4.2)$$

kde: t_{AS} $[min]$ jednotkový strojní čas,
 n $[min^{-1}]$ frekvence otáček,
 f $[mm]$ posuv,
 L $[mm]$ celková délka,
 l $[mm]$ obráběná délka,
 l_n $[mm]$ délka náběhu,
 l_p $[mm]$ délka přeběhu.

Jednotkový strojní čas t_{AS} při obrábění čelních ploch s konstantní řeznou rychlostí se určí ze vztahu (4.3):

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot [(D_2 + 2 \cdot l_n)^2 - (D_1 - 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 1\,000 \cdot f \cdot v_c} \quad (4.3)$$

kde:	t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas,
	D_1	[mm]	menší obráběný průměr,
	D_2	[mm]	větší obráběný průměr,
	f	[mm]	posuv,
	v_c	[m · min ⁻¹]	řezná rychlost,
	l_n	[mm]	délka náběhu,
	l_p	[mm]	délka přeběhu.

Ukázkový výpočet pro výrobní návodku 1.1 a operaci 03 – zarovnávání:

Výpočet otáček při konstantní řezné rychlosti (4.1):

$$n_{min} = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1\,000 \cdot 190}{\pi \cdot 48} \cong 1\,260 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 190}{\pi \cdot \lim_{x \rightarrow 0} x} = \infty \text{ min}^{-1}$$

- Při konstantní řezné rychlosti se otáčky stroje mění v závislosti na obráběném průměru. Zarovnání čela je prováděno z největšího průměru polotovaru na nulovou hodnotu průměru. Nulou ale dělit nelze, a proto pokud se bude hodnota průměru limitně blížit nule, dle výpočtu vyjdou nekonečně velké otáčky. To v praxi není možné, proto se volí max. otáčky dle možností stroje $n_{max} = 3000 \text{ min}^{-1}$.

Výpočet strojního času při konstantní řezné rychlosti (4.3):

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot [(D_2 + 2 \cdot l_n)^2 - (D_1 - 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 1\,000 \cdot f \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot [(48 + 2 \cdot 1)^2 - (0 - 2 \cdot 1)^2]}{4 \cdot 1\,000 \cdot 0,3 \cdot 190} = 0,035 \text{ min}$$

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Zabývá se teoretickým zhodnocením výroby o celkovém počtu 30 kusů. Při ekonomickém zhodnocení se musí vycházet z časů, které jsou potřebné k celkovému vyrobení součásti. Strojní čas, který je sepsán ve výrobních návodkách, je počítán ze vztahu (4.2 a 4.3) a určuje pouze dobu, kdy je obrobek v kontaktu s nástrojem počítaje s náběhem a případným přeběhem. K tomuto času je potřebné přičíst dobu potřebou na výměnu nástroje při zapnutí vřetení a případné nájezdy nástroje mezi jednotlivými operacemi, tyto časy jsou zohledněny v tab. 5.2. K strojnímu času je nutné přičíst čas vedlejší, bez kterého se bohužel výroba součásti neobejde. Do vedlejšího času se řadí čas na upínání nástrojů a jejich seřízení, seřízení stroje, upínání obrobků a jejich následné měření, a pokud se jedná o CNC stroj, tak i nastavení nulových bodů. U CNC strojů je výhodou, že strojní čas je vyhodnocen sepsaným CNC programem. V praxi je někdy těžké odhadnout celkový čas, zvláště ten vedlejší, protože mohou nastat nežádoucí komplikace, jako je porucha stroje či špatný časový odhad upínacích a seřizovacích operací. Cílem není přesné stanovení celkových časů, ale co nejvíce se tomuto času přiblížit.

Jednotkový vedlejší čas je určen dle výrobních postupů a návodů s přihlédnutím na upínání obrobků a seřízení strojů a nástrojů, které je zprůměrováno mezi vyráběné součásti. Pokud by se vedlejší časy nerozdělily mezi jednotlivé součásti, cena pastorku by byla zkreslující vůči ozubenému kolu a hnanému hřídeli, protože veškerá cena za seřízení stroje a nástrojů by byla započítána u první součásti. Vedlejší a strojní časy pro jednotlivé stroje jsou uvedeny v tab. 5.2. Hodinové sazby jednotlivých strojů, které byly konzultovány s pracovníkem firmy, jsou uvedeny v tab. 5.1 a je zde zahrnut provoz stroje, mzda, cena nástrojů a polotovaru. Vztahy jsou převzaty ze zdroje [45].

Tab. 5.1 Hodinová sazba na jednotlivých strojích za hodinu práce.

Pracovní stroj	Hodinová sazba [Kč]
Pásová pila ARG 260 H	750
Soustruh MASTURN 550i CNC	1 250
Vertikální obráběcí centrum MCV 750	1 570
Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800	1 420
Hrotová bruska univerzální BUA 20	1 020
Bruska na díry BDA 40	980

Tab. 5.2 Výsledné časy pro jednotlivé operace vztažené na jeden kus.

Pracoviště	Pastorek		Hnaný hřídel		Ozubené kolo	
	Vedlejší čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]	Strojní čas [min]
Pásová pila ARG 260 H	0,137	1,389	0,137	1,444	0,137	4,833
Soustruh MASTURN 550i CNC	1,083	1,907	1,083	1,612	0,833	3,612
Vertikální obráběcí centrum MCV 750	1,167	13,172	0,917	0,723	0,917	38,003
Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800	0,667	2,017	x	x	1,333	8,655
Hrotová bruska univerzální BUA 20	1,611	0,759	2,111	1,430	x	x
Bruska na díry BDA 40	x	x	x	x	0,583	0,207

U výpočtů se uvažuje s indexy 1 pro pastorek, 2 pro hnaný hřídel a 3 pro ozubené kolo.

Cena na výrobu jedné součásti N_k se stanoví ze vztahu (5.1):

$$N_k = \sum (t_{AV} + t_{AS}) \cdot \frac{A}{60} \quad (5.1)$$

kde: N_k [Kč] cena jednoho kusu,
 t_{AS} [min] jednotkový strojní čas,
 t_{AV} [min] jednotkový vedlejší čas,
 A [Kč] cena za hodinu práce na daném stroji.

$$N_{k1} = (0,137 + 1,389) \cdot \frac{750}{60} + (1,083 + 1,907) \cdot \frac{1\,250}{60} + (1,167 + 13,172) \cdot \frac{1\,570}{60} \\ + (0,667 + 2,017) \cdot \frac{1\,420}{60} + (1,611 + 0,759) \cdot \frac{1\,020}{60} = 560,38 \text{ Kč}$$

$$N_{k2} = (0,137 + 1,444) \cdot \frac{750}{60} + (1,083 + 1,612) \cdot \frac{1\,250}{60} + (0,917 + 0,723) \cdot \frac{1\,570}{60} \\ + (2,111 + 1,430) \cdot \frac{1\,020}{60} = 179,02 \text{ Kč}$$

$$N_{k3} = (0,137 + 4,833) \cdot \frac{750}{60} + (0,833 + 3,612) \cdot \frac{1\,250}{60} + (0,917 + 38,003) \cdot \frac{1\,570}{60} \\ + (1,333 + 8,655) \cdot \frac{1\,420}{60} + (0,583 + 0,207) \cdot \frac{980}{60} = 1422,42 \text{ Kč}$$

Cena na výrobu celkové série N_s se určí ze vztahu (5.2):

$$N_s = N_k \cdot X \quad (5.2)$$

kde: N_s [Kč] cena celé série,
 N_k [Kč] cena jednoho kusu,
 X [-] počet kusů v sérii.

$$N_{s1} = N_{k1} \cdot X = 560,38 \cdot 30 = 16\,812 \text{ Kč}$$

$$N_{s2} = N_{k2} \cdot X = 179,02 \cdot 30 = 5\,371 \text{ Kč}$$

$$N_{s3} = N_{k3} \cdot X = 1\,422,42 \cdot 30 = 42\,672 \text{ Kč}$$

6 VÝROBA PASTORKU

Zde je popsána výroba pastorku po jednotlivých krocích, přesně jak probíhala ve firmě Elakov Production s.r.o.

6.1 Řezání polotovaru

Po odměření požadované délky byl z kruhové tyče na pásové pile ARG 260 H uříznut polotovar. Změřil se posuvným měřítkem, zda odpovídá požadovaným rozměrům a byl přemístěn k dalšímu stroji.

6.2 Soustružení

Jako první byly do revolverové hlavy upevněny zvolené nástroje (kapitola 3.2), které byly nezbytné pro zhotovení součásti. Na CNC soustruhu MASTURN 550i byl v řídicím systému HEIDENHAIN vytvořen program dle výkresu (příloha 4). Po vytvoření programu byly provedeny korekce nástrojů a byly určeny nulové body obrobku v ose X a Z. Před samotným soustružením proběhla simulace zapsaného programu, kde byly ověřeny dráhy nástrojů a jejich případná kolize s obrobkem či strojem. Po simulaci byl program spuštěn a po celou dobu soustružení byla do místa řezu dopravována procesní kapalina. Po skončení programu byla součást ofouknuta stlačeným vzduchem od kovových třísek. Rozměry součásti byly zkontrolovány posuvným měřítkem a mikrometrem, zda odpovídají předepsaným tolerancím na výkrese. Osoustružená součást je zobrazena na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Součást po osoustružení válcových ploch.

6.3 Frézování ozubení

Frézování součásti bylo realizováno na vertikálním obráběcím centru MCV 750, které bylo vybaveno automatickým dělicím přístrojem. Před samotným frézováním muselo proběhnout seřízení stroje. Součást byla upnuta za nejmenší průměr do dělicího přístroje a chráněna papírem, aby Ra nebyla příliš poškozena. Byla měřena sousost univerzálního sklíčidla tak, že z jedné strany byl upnut obrobek do univerzálního sklíčidla a z druhé strany za otočný hrot. Součástí pak bylo otáčeno a pomocí úchylkoměru byly zjišťovány odchylky, které byly jemným poklepáním na čelisti korigovány (obr. 6.2). Bylo nutné také seřídit sousost univerzálního sklíčidla s koníkem. Postupovalo se tak, že se úchylkoměrem přejíždělo po největším průměru součásti zleva doprava a naopak, aby se zjistily případné odchylky, které se odstranily podložním koníkem papírem (při velkých odchylkách je možno použít i tenký plíšek).



Obr. 6.2 Seřizování stroje MCV 750.

Na měřicím přístroji smartCheck Zoller se provedly korekce nástrojů. Dále bylo nutné stanovit nulové body obrobku v jednotlivých osách, které se určily pomocí 3D dotykové sondy. Program sepsaný v řídicím systému HEIDENHAIN byl předem odsimulován a poté spuštěn. Vzhledem k tomu, že modul 1,25 mm je poměrně malý, frézovalo se ozubení pouze jednou bez dokončovacích operací. Byla vyhrubována vždy jedna zubová mezera, poté dělicí přístroj se otočil o příslušný úhel ($18,947^\circ$) a následovalo frézování další zubové mezery, až po vyfrézování všech patnácti zubů. Frézování zubové mezery pastorku je zobrazeno na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Frézování zubové mezery na vertikálním obráběcím centru.

6.4 Frézování drážky

Po skončení operace se součást přeupla opět mezi otočný hrot a univerzální sklíčidlo a byla vyhrubována drážka pro pero s přídatkem na její dokončení. Poté byla drážka obrobena dokončovací frézou a byly změřeny konečné rozměry součásti, zda odpovídají předepsaným hodnotám. Zhotovená drážka pro pero je zachycena na obr. 6.4.



Obr. 6.4 Vyfrézování drážky pro pero.

Zhotovená součást, tedy pastorek, je zobrazena na obr. 6.5.



Obr. 6.5 Kompletně obrobena součást – pastorek.

7 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

7.1 Praktická výroba pastorku

Zhotovení součásti proběhlo ve firmě Elakov Production s.r.o., která se zaměřuje na výrobu součástí třískovým obráběním. Pro řezání polotovaru byla zvolena pásová pila ARG 260 H, obrobení válcových ploch obstaral CNC soustruh MASTURN 550i a nakonec se na obráběcím centru MCV 750 vyfrézovalo ozubení a drážka pro pero. Z finančních důvodů a kvůli lepší obrobiteľnosti byla pro výrobu pastorku zvolena automatová ocel 11 105. Jak už bylo zmíněno v kapitole 2, bylo nutné zmenšit jednotlivé průměry pastorku a přepočítat základní parametry ozubení, které vycházely z modulu ozubení o velikosti 1,5 mm. Až na malé rozdíly byla součást vyráběna dle výrobního postupu (příloha 6), lišily se pouze danými rozměry (příloha 4). Nebylo prováděno broušení funkčních ploch určené pro ložiska a gufero, ani broušení boků ozubení, tudíž se funkční plochy obráběly načisto bez přídavku na broušení. Hrotová bruska se ve firmě nacházela, ale v době, kdy probíhala výroba součásti, byla bohužel mimo provoz kvůli opravě, takže broušení rotačních ploch nebylo možné. Brousící kotouč určený pro broušení ozubení je nutné vyrobít na zakázku a to je poměrně drahá záležitost, proto tahle operace byla také vynechána. Neuskutečnilo se ani tepelné zpracování, protože kvůli nízkému obsahu uhlíku v materiálu nebylo možné ozubení pastorku zakalit. Zhotovení hřídele a ozubeného kola bylo pouze teoretické, tudíž byl sepsán pouze technologický postup (příloha 7 a 8) a příslušné návodky (příloha 9–25).

7.2 Výsledné rozměry vyráběného vzorku

Při výrobě vzorku bylo zjištěno, že ne všechny rozměry odpovídají požadovaným tolerancím a Ra dle výkresu. Většina rozměrů je větší, než požadovaný rozměr, tudíž by se tyto rozměry ještě daly opravit, ale hlavová kružnice byla „utopená“ a tím pádem se tento rozměr nedá opravit na požadovanou toleranci. V běžném provozu je třeba se těmto dodatečným opravám vyvarovat, protože doba strávená na daném stroji, potřebná pro opravu součásti, se prodlužuje a tím pádem i finanční nároky na výrobu rostou. Hodnoty Ra 0,8 lze dosáhnout i soustružením, ale pouze v případě, že soustava je dostatečně tuhá a jsou k tomu zapotřebí i dražší nástroje, proto Ra v tomto případě nebyla splněna. Kdyby byla možnost brousit součást, určitě by byla Ra 0,8 dosažena. Rozměry, které nevyhovují předepsané toleranci, mohou být způsobeny opotřebením nástroje, sepsáním špatných korekcí, nebo malou tuhostí soustavy. Jednotlivé rozměry pastorku a příslušné tolerance včetně Ra jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tab. 7.1 Výsledné rozměry a Ra vyráběného pastorku.

Rozměr [mm]	Horní úchylka [μm]	Horní úchylka [μm]	Ra [μm]	Vyhovuje Tolerance / Ra
16js6	+5,5	-5,5	1,6	NE / ANO
17h9	0	-45	0,8	NE / NE
2x16,2h11	0	-110	3,2	ANO / ANO
2x17k6	+12	+1	0,8	ANO / NE
31,5h9	0	-62	3,2	NE / ANO
5P9	-12	-42	3,2	NE / ANO
2x1H13	+140	0	3,2	ANO / ANO
Nefunkční rozměry	+200, +300	-200, -300	Ra 3,2	ANO / ANO

8 DISKUZE

V bakalářské práci byly uvedeny kroky, které popisují návrh součástí od volby materiálu, až po samotnou výrobu. Jak už bylo uvedeno v kapitole 7, ne vždy je možné vyrobit součást přesně podle představ. Tím je myšlena nefunkční hrotová bruska a bruska na ozubení, kterou firma vůbec nevlastní. Pro naši ukázkovou výrobu to příliš nevadí, ale při běžné výrobě se funkční plochy musí obrobit na požadovaný rozměr a Ra. Když firma nevlastní stroj, který je potřebný pro dokončení výroby, a jeho koupě by se kvůli vysoké pořizovací ceně nevyplatila, využívá se v praxi tzv. kooperace. Tzn., že když se firma nezabývá danou problematikou, např. nevlastní určitý stroj, jiné firmy, které se problematikou zabývají, vykonají tuto práci za určitý finanční obnos. Takle forma spolupráce prospívá řadě firem, protože místo toho, aby kupovaly drahé vybavení, pošlou dokončit obrobek do jiné firmy, která se daným typem výroby zabývá. Stroje jako pásová pila, CNC soustruh, hrotová bruska a obráběcí centrum byly zvoleny dle vybavení firmy. Brusky, které firma nevlastní, byly zvolené pouze pro teoretickou výrobu s ohledem na technické požadavky. Stejně tak se postupovalo u volby nástrojů a měřidel.

8.1 Kusová výroba

Výroba součástí v této bakalářské práci se řešila pro kusovou výrobu. Výroba pastorku, ozubeného kola a hnaného hřídele již byla v téhle bakalářské práci uvedena. Nejdelší výrobní časy se vyskytly u frézování ozubení, kdy se frézovalo dělicím způsobem pomocí kotoučové modulové frézy. Takle metoda není příliš produktivní, proto se používá výhradně pro kusovou výrobu.

Je třeba navrhnout výrobu vík převodovky. Pro tvarově složité součásti, jako jsou víka převodových skříní, není příliš ekonomické celou součást obrábět. Kdyby se měla součást obrábět z polotovaru široké oceli válcované za tepla (mat 11 503) o rozměrech (210 x 35 x 250) mm, bylo by procento využití materiálu příliš malé (cca. 46 %). Dále by bylo nutné ještě navařit patky pro přikotvení převodovky, navaření dvou válcových polotovarů a jejich následné obrobení. Tento postup by byl sice možný, ale z finančního hlediska určitě nevhodný. Proto se tvarově složité součásti nejčastěji odlévají, pro kusovou výrobu je vhodné ruční odlévání do netralných pískových forem. Odléváním získá polotovar blízko podobu konečné součásti s přídatky na obrábění funkčních ploch. Použitím vhodných jader se po odlévání vytvoří potřebné průchozí i neprůchozí díry, kvůli kterým se zmenší potřebný objem materiálu. Poté by se vyfrézovaly pouze funkční plochy na požadovaný rozměr a Ra, odpad v podobě třísek by tak byl minimální.

Pro soustružení byly použity VBD ze SK, které se v současné době hojně používají a vytlačují tak z výroby RO, které mají nižší řezné rychlosti a kratší životnost. Při kusové výrobě je volba našich VBD dostačující, ale u případné velkosériové výroby by se dalo uvažovat o VBD s vyššími řeznými rychlostmi. Čím větší je řezná rychlost, tím větší jsou otáčky vřetene a tím kratší je strojní čas, který se určí dle vztahů (4.2 a 4.3). Ve velkosériové výrobě je každý čas ušetřený na obrábění jednoho kusu nesmírně cenný, protože se násobí počtem celé série a v konečném součtu je to značný rozdíl. Nicméně, VBD s vyššími řeznými rychlostmi jsou rozhodně dražší, proto při zkrácení strojního času nemusí být ve finále vhodnou volbou finanční úspory.

8.2 Velkosériová výroba

Pokud by byl požadavek na velkosériovou výrobu, bylo by vhodné trochu pozměnit technologické operace a samotný technologický postup výroby. Pokud by se v sériové výrobě uplatnily technologické postupy pro kusovou výrobu, nebylo by to příliš ekonomické vzhledem k využitému materiálu a strojním časům, které jsou největší při frézování ozubení dělicím způsobem. Soustružení, frézování drážky, broušení válcových ploch a díry by mohlo zůstat stejné, případně lehce pozměnit, nicméně frézování dělicím způsobem by v sériové výrobě bylo zbytečně zdlouhavé. Vhodnější a produktivnější metodou by bylo frézování ozubení odvalovacím způsobem. Stejně tak by se dalo uvažovat i o změně broušení ozubení, kdy místo dělicího způsobu by se použilo odvalovací broušení šnekovým kotoučem.

U pastorku je procento využití materiálu poměrně nízké (pouhých 32 %), většina materiálu tak odejde ve formě třísek. Bylo by vhodnější vyrobit zvlášť hnací hřídel a pastorek (malé ozubené kolo), které by se na hřídel buď nalisovalo, nebo uložilo přes těsné pero a zajistilo pojistným kroužkem na hřídeli. Výrazně by se tak snížilo procento odpadu ve formě třísek. Bylo by také možné volit jako polotovary výkovek, kdy by polotovar měl tvar hotové součásti s přídávky na obrábění, výrazně by se tak snížil objem potřebného materiálu. Výkovek by se při velkosériové výrobě vyplatit mohly, ale musela by proběhnout patřičná ekonomická kalkulace. Využití materiálu u hnaného hřídele je okolo 60 %, což je u obrábění celkem běžné číslo. Jak už bylo zmíněno u pastorku, i tady by se dal použít jako polotovar výkovek. U ozubeného kola je využití materiálu největší (67 %), ale určitě by se ve velkosériové výrobě více uplatnil odlitek nebo výkovek, ze stejného důvodu jako u pastorku. Ozubené kolo by mohlo být odlehčené dírami a vybráním, tím by se snížila hmotnost a celkový objem potřebného materiálu. Trvalé formy na odlitky jsou příliš drahé, nelze je tedy použít pro kusovou výrobu, protože náklady na zhotovení součásti by byly vyšší, než zisk z prodeje vyrobených součástí. Stejně tak to platí i pro výrobu zápustek. Pro velkosériovou výrobu je odlévání do trvalých forem běžnou záležitostí, tudíž by se využití této technologie pravděpodobně vyplatilo.

Pro výrobu vík by byl nejvhodnější odlitek stejně jako u kusové výroby. Rozdíl by byl v tom, že by se jednalo o odlévání do trvalých kovových forem, tím by se značně zkrátila doba na odlití polotovaru, protože po ztuhnutí odlitku se součást vyklopí z formy a může se odlévat součást další. U netrvalých pískových forem se po odlití a ztuhnutí součásti forma zhroutí a je třeba formovací proces od začátku opakovat. Tento proces je sice zdlouhavý, nicméně není tak finančně náročný, z toho důvodu se využívá v kusové výrobě, nebo v sériové výrobě pro odlévání velkých součástí. Ve velkosériové výrobě by tento proces nebyl vhodný. Odlitek by měl tvar výsledné součásti s přídávky na obrábění funkčních ploch, takže frézování by nebylo tak zdlouhavé a procento odpadu by bylo minimální. Jak už bylo řečeno, volbu vhodné technologie je třeba řádně promyslet a ekonomicky propočítat, až poté lze jednoznačně určit nejvhodnější variantu. U kusové výroby byla zvolena technologie obrábění pro převodové soukolí a odlévání do netrvalých pískových forem pro výrobu vík jako jediná vhodná varianta.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo cílem vyrobit převodové soukolí jednostupňové převodovky, šlo tedy o výrobu pastorku, hnaného hřídele a ozubeného kola. Práce se zabývá výrobou součástí o celkovém počtu 30 kusů, z toho vyplývají i zvolené technologie a příslušné nástroje typické právě pro kusovou výrobu. Původně se zamýšlelo vyrobit všechny tři součásti, nicméně se okolnosti v průběhu semestru nečekaně zkomplikovaly v souvislosti s celosvětovou pandemií, tudíž po konzultaci s vedoucím práce byl pro zbylé dvě součásti (ozubené kolo a hnaný hřídel) sepsán pouze technologický postup bez praktické výroby. U všech tří součástí je proveden konstrukční rozbor, slovní popis postupu výroby, volba materiálu a polotovaru. U ozubeného kola a pastorku je uveden číselný rozbor ozubeného převodu. Pro zhotovení bylo nutné navrhnout příslušné stroje a nástroje tak, aby součásti odpovídaly předepsaným tolerancím a hodnotám Ra dle výkresové dokumentace. K technologickému postupu výroby byly sepsány výrobní návody pro jednotlivé operace, ze kterých se určil strojní čas. Ze strojního a vedlejšího času se provedlo ekonomické zhodnocení součástí. Ze strojních časů vyplývá, že soustružení a broušení není poměrně časově náročné a výrobní cena pouze na těchto strojích by nebyla nijak vysoká. Nejdelší strojní čas je u frézování dělicím způsobem, díky tomu je cena na výrobu součásti vysoká a z toho důvodu se dělicí způsob používá pouze v kusové výrobě. Výhoda dělicího způsobu spočívá v použití běžných univerzálních frézek s dělicím přístrojem a levnějším nástrojem než u odvalovacího způsobu, nebo u obrázení. Mezi nevýhody patří menší přesnost výroby a nižší produktivita.

Praktická výroba pastorku probíhala ve strojírenské firmě Elakov Production s.r.o., ve které byly omezené podmínky pro plnohodnotnou výrobu ozubení. Výrobní stroje byly voleny s ohledem na vybavení firmy s výjimkou brusky na díry a na ozubení, tyto brusky byly zvoleny pouze pro teoretickou výrobu. Vzhledem k tomu, že se firma nezabývá výrobou ozubení, nevlastní tedy brusku na ozubení ani velkou škálu kotoučových modulových fréz. Z toho důvodu se výroba musela obejít bez broušení boků ozubení a bylo nutné přepočítat rozměry pastorku dle frézy s modulem 1,5 mm. Vyrobený vzorek bohužel neodpovídal všem předepsaným tolerancím na výkrese. Pravděpodobně je to způsobeno špatnou korekcí nástrojů, opotřebením nástrojů, nebo nedostatečnou tuhostí soustavy.

Po ekonomickém zhodnocení bylo dosaženo těchto poznatků:

- Výrobní cena pastorku je 560,38 Kč, celková cena série vychází na 16 812 Kč.
- Cena hnaného hřídele je určena na 179,02 Kč a cena 30 kusů vychází na 5 371 Kč.
- Výroba ozubeného kola vychází na 1 422,42 Kč a výrobní cena celé série je 42 672 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
2. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
3. (02) Soustružení I. *VUT FSI, ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/zadani/02_soustruzeni_1.pdf
4. HOZA, Jiří. Obrobitelnost materiálů. *VUT FSI, ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE* [online]. 1994 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf
5. ČSN 12061 – ocel k zušlechťování. *Czferrosteel.cz* [online]. [cit. 2020-04-5]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12061.pdf>
6. Ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 12, jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo.cz* [online]. 2010 [cit. 2020-03-8]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/uslechtile-uhlikove-konstrukcni-oceli-tridy-12-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
7. Neušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 11, jejich složení a tepelné zpracování. *Tumlikovo.cz* [online]. © 2010 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/neuslechtile-uhlikovekonstrukcni-oceli-tridy-11-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
8. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
9. ČSN 12010 – ocel k cementování. *Czferrosteel.cz* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12010.pdf>
10. RAYNOCH, Jindřich. Návrh velikosti normalizovaného polotovaru. *Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace* [online]. 2012 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/N%C3%A1vrh%20velikosti%20normalizovan%C3%A9ho%20polotovaru-UT.pdf>
11. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
12. PROCHÁZKA, Karel. Měření ozubených kol – měření přes zuby. *Střední škola průmyslová a umělecká, Opava* [online]. 2011 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z:

https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/KOM_IV/VY_52_INOVACE_J-06-09.pdf

13. T1_vypocty1.pdf ZADÁNÍ PRÁCE. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: https://moodle-archiv.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/465632/mod_resource/content/6/T1_vypocty1.pdf
14. Elektromotor 2.2kW 1AL132S-8, 730ot.min-1. *VYBO Electric* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-2-2kw-al132s-8/>
15. ARG 260 H. *PILOUS* [online]. © 2016 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/hydraulicko-gravitacni/arg-260-h>
16. MASTURN 550i. *KOVOSVIT MAS* [online]. © 2016 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/masturn-550i-p34.html#technicaldata>
17. OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCV 750. *SOVEX* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.sovex.cz/component/mtree/obrabeci-centra/vertikalni/obrabeci-centrum-mcv-750>
18. Oerlikon OPAL 800 bruska na ozubení. *@(Bazoš.cz* [online]. © 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://stroje.bazos.cz/inzerat/119846276/oerlikon-opal-800-bruska-na-ozubeni.php>
19. Bruska hrotová univerzální. *STROJE SVOBODA s.r.o.* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Bruska/Hrotov%C3%A1&key=&id=3293&ids=3337&o=1>
20. Bruska na otvory. *STROJE SVOBODA s.r.o.* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Bruska/Na%20otvory&key=&id=12668&ids=12688&o=1>
21. BI-METAL M 42. *PILOUS* [online]. © 2016 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/bi-metal-m-42>
22. SANDVIK COROMANT. *CoroKey: soustružení: frézování: vrtání*. Praha: Sandvik Coromant, 2010. 216 s.
23. Turning tools. *Sandvik Coromant* [online]. © 2020 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://tibp.blob.core.windows.net/coromant/028dd530-13b8-4ba5-8704-fbaaaade9e38.pdf?sv=2014-02-14&sr=b&sig=rFAKrear9%2BUvCMKZW%2BdudW9UbpuNYbsxyiIHG13G%2FIO%3D&st=2020-04-10T20%3A38%3A15Z&se=2020-04-10T21%3A43%3A15Z&sp=r&rsct=application%2Fpdf&rscd=inline%3B%20file%3Dc-2900-26.pdf>

24. ČSN 221110 - DIN 333A. *Stimzet* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/csn221110_cz.html
25. ČSN 221140 - DIN 345 RN. *Stimzet* [online]. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/csn221140_cz.html
26. MONOLITNÍ FRÉZY SOLID AND MILLS. *ILKAmetal* [online]. 2012 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://www.ilkametal.cz/sortiment/pramet/katalogy/monolitni_frezy.pdf
27. ČSN 22 2510 m2.5x20° č2. *MT nástroje* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.i-frezy.cz/CSN22-2510-modulova-freza-m2-5x20-c2-d990.htm>
28. ČSN22 2510 modulová fréza m2.5x20° č7. *MT nástroje* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.i-frezy.cz/CSN22-2510-modulova-freza-m2-5x20-c7-d995.htm>
29. Doporučené řezné podmínky pro frézy HSS. *Tumlikovo.cz* [online]. © 2010 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/doporucene-rezne-podminky-pro-frezy-hss/>
30. Kotouč T1 250x25x76 99BA46L8V40 420522 TYROLIT. *TECHCENTRUM* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t1-250x25x76-99ba46l8v40-420522-tyrolit>
31. Kotouč T5 32x32x10-20x16 99BA80K9V40 415439 TYROLIT. *TECHCENTRUM* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t5-32x32x10-20x16-99ba80k9v40-415439-tyrolit?q=99ba%2080k9>
32. MIRA ICE. *TYROLIT* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.tyrolit.cz/oblasti/obrabeni-kovu-precizni-brouseni/druhy-pouziti/brouseni-ozubenych-kol/profilove-brouseni.html>
33. DIGITÁLNÍ POSUVNÉ MĚŘÍTKO 200MM , MITUTOYO ABS , 500-182-30. *KOVONÁSTROJE* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Meridla-Mitutoyo/Posuvna-meridla/Digitalni/Digitalni-posuvne-meritko-200mm-Mitutoyo-ABS-500-182-30.html>
34. TŘMENOVÝ MIKROMETR 25-50MM S TENKÝMI DOTEKY , SCHUT. *KOVONÁSTROJE* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Meridla/Mikrometry-a-prislusenstvi/Mikrometry-specialni/S-tenkymi-doteky/Trmenovy-mikrometr-25-50mm-s-tenkymi-doteky-Schut.html>
35. TŘMENOVÝ MIKROMETR 0-25MM NA OZUBENÁ KOLA , TALÍŘKOVÝ MIKROMETR , KMITEX [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Meridla/Mikrometry-a-prislusenstvi/Mikrometry-specialni/Na-ozubena-kola/Trmenovy-mikrometr-0-25mm-na>

ozubena-kola-talirkovy-mikrometr-KMITEX.html

36. TŘMENOVÝ MIKROMETR 50-75MM NA OZUBENÁ KOLA , TALÍŘKOVÝ MIKROMETR , KMITEX. *KOVONÁSTROJE* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Meridla/Mikrometry-a-prislusenstvi/Mikrometry-specialni/Na-ozubena-kola/Trmenovy-mikrometr-50-75mm-na-ozubena-kola-talirkovy-mikrometr-KMITEX.html?listtype=search&searchparam=KCZ%207053>
37. Dvoudotekový (dutinový) mikrometr INSIZE 25-50 mm. *MB Calibr* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://eshop.mbcaltibr.cz/mikrometry-dutinove/dvoudotekovy--dutinovy--mikrometr-insize-25-50-mm/>
38. OTOČNÝ HROT MK4 ČSN 243324 , ŠKODA MORSE 4 , 1300KG. *KOVONÁSTROJE* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Upinaci-nastroje/Upinaci-hroty/Otocne/Klasicke/Otocny-hrot-MK4-CSN-243324-Skoda-Morse-4-1300kg.html>
39. Drsnoměr INSIZE ISR-C002. *INSIZE* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: https://www.insz.eu/drsnomery/drsnomer-insize-isr-c002/?gclid=EAIaIQobChMI0u6DxqaE6AIVQ-N3Ch3gEgj9EAKYAIAABEGKJY_D_BwE
40. Soustružnický trn pevný prům 45. <https://www.nastrojenaradi.cz/> [online]. © 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/soustruznicky-trn-pevny-prum-45>
41. Unašeč pro brusky prům 32-40. *Nastrojenaradi.cz* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/unasec-pro-brusky-prum-32-40-2>
42. Unašeč pro brusky prům 20. *Nastrojenaradi.cz* [online]. © 2020 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/unasec-pro-brusky-prum-20-3>
43. MANNOL EMULSION. *ÚDRŽBA.cz* [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.udrzba.cz/chladici-emulze-rezne-oleje-odlucovace-oleje-smesovace-oleje/mineralni-chladici-emulze/mannol-emulsion-20-litru-1781.html>
44. HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I VÝPOČTOVÁ CVIČENÍ. *VUT FSI, ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE* [online]. 2003 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_vypoctova_cv.pdf
45. NOVÁK, Lukáš. Ekonomické porovnání výroby strojní součásti na obráběcích strojích ve firmě Frentech Aerospace s.r.o. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s., 5 příloh. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
CNC	Computer Numerical Control (Číslicově řízený stroj)
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma s převzatou evropskou normou
MK	Morse kužel
HB	Tvrдость podle Brinella
HRC	Tvrдость podle Rockwella
HSS	High speed steel (rychlořezná ocel)
SK	Slinutý karbid
TPV	Technologický postup výroby

Symbol	Jednotka	Popis
A	Kč	Cena za hodinu práce na daném stroji
D	mm	Obráběný průměr
D ₁	mm	Menší obráběný průměr
D ₂	mm	Větší obráběný průměr
L	mm	Celková délka
M _j	mm	Jmenovitá hodnota rozměru přes zuby
M _k	N · m	Krouticí moment
N _k	Kč	Cena jednoho kusu
N _s	Kč	Cena celé série
P	W	Výkon
Ra	μm	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Re min.	MPa	Min. mez kluzu
Rm	MPa	Mez pevnosti v tahu
X	-	Počet kusů v sérii
a	mm	Osová vzdálenost hřídelů
a _p	mm	Šířka záběru ostří
b	mm	Tloušťka ozubeného kola
d	mm	Maximální průměr obrobku
d _p	mm	Průměr polotovaru
d	mm	Průměr roztečné kružnice
d _a	mm	Průměr hlavové kružnice
d _b	mm	Průměr základní kružnice
d _f	mm	Průměr patní kružnice
d _h	mm	Skutečný minimální průměr hřídele
d _h '	mm	Předběžný průměr hřídele
d _{max}	mm	Maximální průměr součásti
f	mm	Posuv na otáčku
h	mm	Výška zubu
h _a	mm	Výška hlavy zubu
h _f	mm	Výšku paty zubu
i	-	Převodový poměr soukolí
l	mm	Obráběná délka

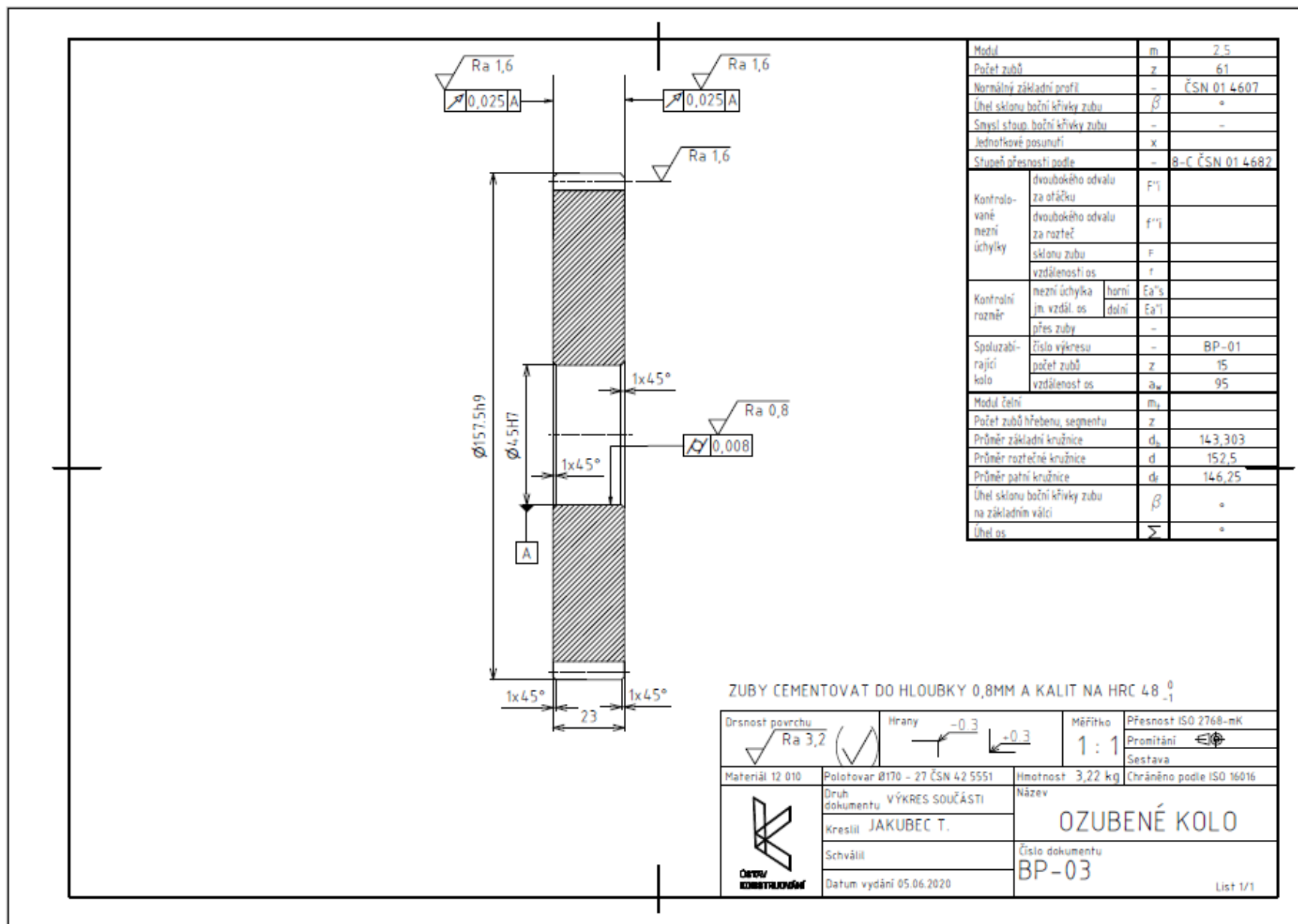
Symbol	Jednotka	Popis
l_c	mm	Celková délka polotovaru
l_n	mm	Délka náběhu
l_p	mm	Délka přeběhu
m	mm	Modul ozubení
n	min^{-1}	Frekvence otáček
p	mm	Rozteč zubu
p_b	mm	Základní rozteč
p_d	mm	Přídavek na průměr polotovaru
p_l	mm	Přídavek na délku
s	mm	Tloušťka zubu
s_z	mm	Posuv na jeden zub
t	mm	Šířka zubové mezery
t_{AS}	min	Jednotkový strojní čas
t_{Av}	min	Jednotkový vedlejší čas
t_d	mm	Hloubka drážky pro pero
v_c	$\text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$	Řezná rychlost
v_f	$\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$	Posuvová rychlost
v_w	$\text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$	Obvodová rychlost obrobku
z	-	Počet zubů
z_p	-	Praktický mezní počet zubů
z_t	-	Teoretický mezní počet zubů
z'	-	Počet zubů, přes které se měří
α	°	Úhel záběru
τ_D	MPa	Dovolené napětí v krutu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres pastorku
Příloha 2	Výkres hnaného hřídele
Příloha 3	Výkres ozubeného kola
Příloha 4	Výkres vyráběného pastorku
Příloha 5	Výkres upínacího trnu
Příloha 6	Technologický postup výroby pastorku
Příloha 7	Technologický postup výroby hnaného hřídele
Příloha 8	Technologický postup výroby ozubeného kola
Příloha 9	Výrobní návodka č. 1.1
Příloha 10	Výrobní návodka č. 1.2
Příloha 11	Výrobní návodka č. 1.3
Příloha 12	Výrobní návodka č. 1.4
Příloha 13	Výrobní návodka č. 1.5
Příloha 14	Výrobní návodka č. 1.6
Příloha 15	Výrobní návodka č. 1.7
Příloha 16	Výrobní návodka č. 2.1
Příloha 17	Výrobní návodka č. 2.2
Příloha 18	Výrobní návodka č. 2.3
Příloha 19	Výrobní návodka č. 2.4
Příloha 20	Výrobní návodka č. 2.5
Příloha 21	Výrobní návodka č. 3.1
Příloha 22	Výrobní návodka č. 3.2
Příloha 23	Výrobní návodka č. 3.3
Příloha 24	Výrobní návodka č. 3.4
Příloha 25	Výrobní návodka č. 3.5
Příloha 26	Koeficient obrobitelnosti VBD ze SK

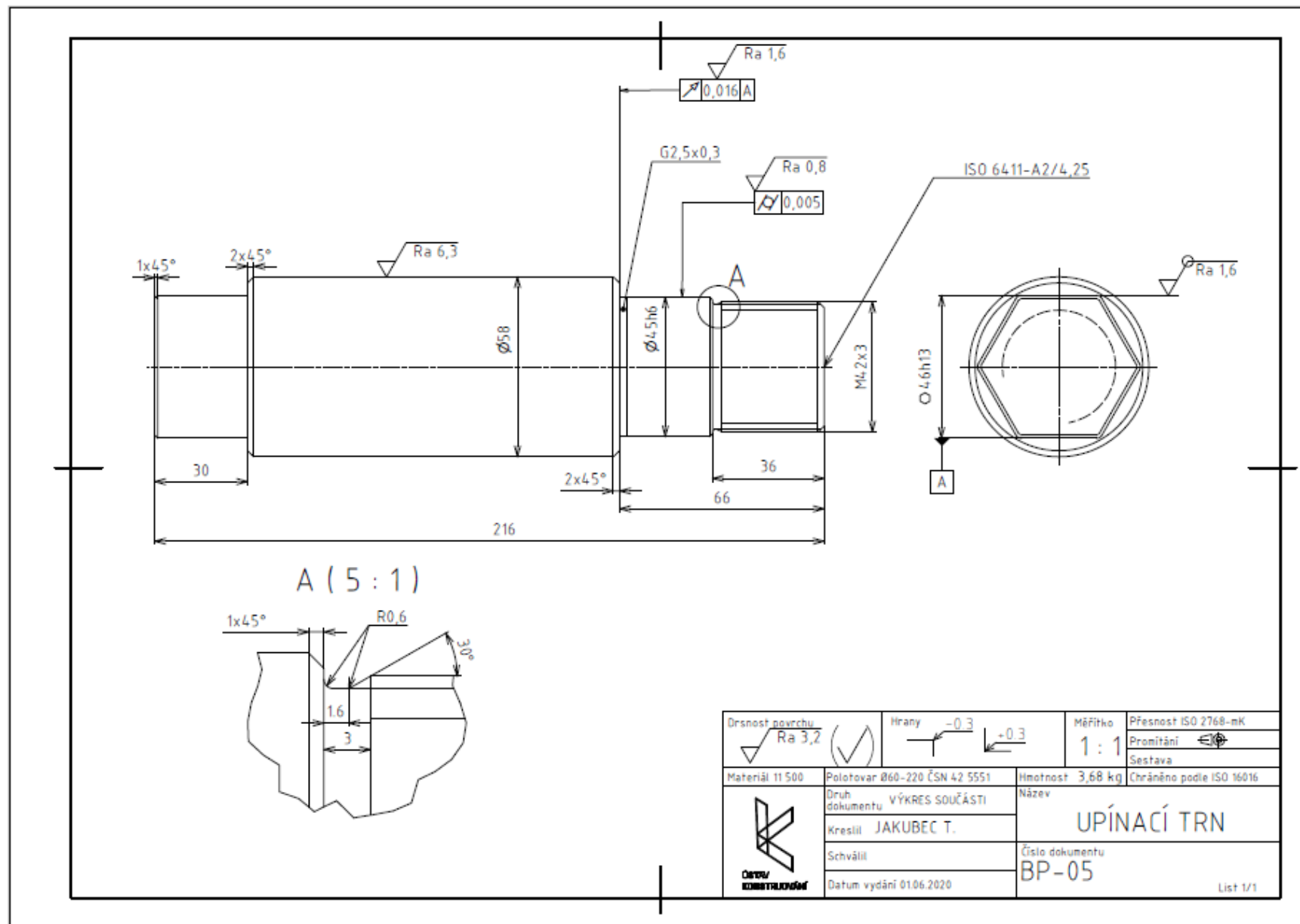
Příloha 3


Výkres ozubeného kola



Příloha 5

Výkres upínacího trnu



Drsnost povrchu $\sqrt{Ra 3,2}$	Hrany -0.3 / +0.3	Měřítko 1 : 1	Přesnost ISO 2768-mK Promítání
Materiál 11 500	Polotovár Ø60-220 ČSN 42 5551	Hmotnost 3,68 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Název UPÍNAČÍ TRN	
	Kreslil JAKUBEC T.	Číslo dokumentu BP-05	
	Schválil Datum vydání 01.06.2020	List 1/1	

Příloha 6 (1/2)

Technologický postup výroby pastorku

Technologický postup			List: 01/02
Součást: Pastorek		Hmotnost součásti: 0,592 kg	Materiál: 12 061
Polotovary: Ø48 - 129 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovaru: 1,846 kg	Výkres: BP - 01
Č. O.	Název stroje, třídicí číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
01	Pásová pila ARG 260 H 05964	Upnout do svěráku, řezat kruhovou tyč na délku 129±0,5.	Pilový pás: Maxtech 420
02	Kontrolní místo	Kontrolovat délku polotovaru 129±0,5. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
03	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout polotovary do univerzálního sklíčidla. Zarovnat čelo na délku 127±0,5. Navrtat středící důlek ISO 6411 – A2/4,25. Otočit, přeupnout. Zarovnat čelo na délku 125±0,5. Navrtat středící důlek ISO 6411 – A2/4,25.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Středící vrták: A2 ČSN 221110
04	Kontrolní místo	Kontrolovat délku 125±0,5. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
05	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout, přisunout otočný hrot. Hrubovat Ø48 na Ø26,3±0,2 v délce 78,5±0,3. Hrubovat Ø48 na Ø30±0,3 v délce 2,5±0,1. Hrubovat Ø26,3±0,2 na Ø21±0,2 v délce 49±0,3. Srazit hranu 1 na 30°. Dokončit Ø21±0,2 na Ø20js6 na délce 50±0,3 a rádius R1,6 a Ra 1,6. Srazit hranu 3 na 20°. Dokončit Ø26,3±0,2 na Ø25,3±0,1 v délce 29±0,2 a Ra 1,6. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø25,3±0,1 na Ø29±0,2 a Ra 1,6. Dokončit Ø30±0,3 na Ø29±0,2 na délce 3±0,1 a rádius R1 a Ra 3,2. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø29±0,2 na Ø48 a Ra 3,2, R1. Soustružit zápich D1,4x0,2 a G2,5x0,3.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
06	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø20js6 a Ra 1,6; Ø25,3±0,1; Ra 1,6 mezi Ø25,3 a Ø29±0,2. Četnost 20%.	Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
			Mikrometr na ozubená kola: (KCZ 7051)
			Posuvné měřítko: 500-182-30
07	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout do univerzálního sklíčidla za Ø25,3±0,1. Z druhé strany přisunout otočný hrot. Hrubovat Ø48 na Ø43,5±0,3 v délce 44±0,3. Hrubovat Ø43,5±0,3 na Ø30±0,3 v délce 17,5±0,2. Hrubovat Ø30±0,3 na Ø26,3±0,2 v délce 14,5±0,2. Srazit hranu 1x45°. Dokončit Ø26,3±0,2 na Ø25,3±0,1 na délce 15±0,2 a Ra 1,6. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø25,3±0,1 na Ø30±0,3 a Ra 1,6. Dokončit Ø30±0,3 na Ø29±0,2 na délce 17±0,2 a R1 a Ra 3,2. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø29±0,2 na Ø43,5±0,3, Ra 3,2, R1 Dokončit Ø43,5±0,3 na Ø42,5h9 na délce 25±0,2 a Ra 3,2. Soustružit zápich G2,5x0,3, srazit hranu 1x45°.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324

Příloha 6 (2/2)

Technologický postup výroby pastorku

Technologický postup			List: 02/02
Součást: Pastorek		Hmotnost součásti: 0,592 kg	Materiál: 12 061
Polotovary: Ø48 - 129 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovaru: 1,846 kg	Výkres: BP - 01
Č. O.	Název stroje, třídicí číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
08	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø42,5h9; Ø25,3±0,1; Ra 1,6 mezi Ø25,3±0,1 a Ø29±0,2. Četnost 20%.	Třenový mikrometr: tenky_25-50
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
			Posuvné měřítko: 500-182-30
09	Obráběcí centrum MAS MCV 750 35235	Upnout do univerzálního sklíčidla (dělicí přístroj) za Ø20js6, chránit. Z druhé strany opřít o otočný hrot. Hrubovat zubovou mezeru na Ø31,15 v délce 25. Pootočít obrobek o 24° a frézovat další zubovou mezeru až po vyfrézování všech zubů.	Kotoučová fréza: ČSN 22 2510 m2.5x20° č2
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
10	Kontrolní místo	Kontrolovat rozměr měřením přes 2 zuby: 14,036.	Mikrometr na ozubená kola: KCZ 7051
11	Obráběcí centrum MAS MCV 750 35235	Upnout do univerzálního sklíčidla (dělicí přístroj) za Ø25,3±0,1, z druhé strany opřít o otočný hrot. Hrubovat drážku pro pero 5 v délce 39±0,3 na hloubku 16,5 _{-0,2} . Dokončit drážku pro pero 6P9 v délce 40 ^{+0,3} ₀ .	Hrubovací fréza: 05E3S50-15A05 SUMA
			Dokončovací fréza: 04E6R50-11A06 KIVA
12	Kontrolní místo	Kontrolovat hloubku drážky 16,5 _{-0,2} , šířku 6P9, délku 40 ^{+0,3} ₀ . Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
13	Kalírna	Povrchově kalit ozubení na HRC 50 ₋₁ .	
14	Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800 35823	Upnout za Ø20js6, chránit. Z druhé strany přisunout otočný hrot. Brousit každý bok ozubení o 0,015 na délce 25 a Ra 1,6. Pootočít o 24° a brousit další zubovou mezeru až po obroušení 15. zubu.	Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
			Tvarový brousicí kotouč m2,5-15z-20°-99BA46K9V
15	Hrotová bruska univerzální BUA 20 05512	Upnout mezi hroty, přišroubovat unášecí srdce na Ø20js6, chránit. Brousit Ø25,3±0,1 na Ø25k6 v délce 15±0,2 a Ra 0,8. Brousit Ø25,3±0,1 na Ø25h9 v délce 11±0,2, a Ra 0,8. Brousit Ø25,3±0,1 na Ø25k6 v délce 13±0,2 a Ra 0,8.	Brousicí kotouč: T1 250x25x76 99BA46L8V40
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
			Unášecí srdce: Ø20 - 25 mm
16	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø25k6, a Ra 0,8; Ø25h9 a Ra 0,8, boky ozubení Ra 1,6. Četnost 30%.	Třenový mikrometr: tenky_25-50
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
			Mikrometr na ozubená kola: KCZ 7051
17		Odjehlřit ostré hrany, odmastit, konzervovat, balit.	

Příloha 7 (1/2)

Technologický postup výroby hnaného hřídele

Technologický postup			List: 01/02
Součást: Hnaný hřídel		Hmotnost součásti: 1,334 kg	Materiál: 11 500
Polotovary: Ø50 – 144 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovary: 2,219 kg	Výkres: BP - 02
Č. O.	Název stroje, třídicí číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
01	Pásová pila ARG 260 H 05964	Řezat kruhovou tyč na délku 144±0,5.	Pilový pás: Maxtech 420
02	Kontrolní místo	Kontrolovat délku polotovary 144±0,5. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
03	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout polotovary do univerzálního sklíčidla. Zarovnat čelo na délku 142±0,5. Navrtat středící důlek ISO 6411 – A2/4,25. Otočit, přeupnout. Zarovnat čelo na délku 140±0,5. Navrtat středící důlek ISO 6411 – A2/4,25.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
			Středící vrták: A2 ČSN 221110
04	Kontrolní místo	Kontrolovat délku polotovary 140±0,5. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
05	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout, přisunout otočný hrot. Hrubovat Ø50 na Ø41,3±0,3 v délce 90,5±0,3. Hrubovat Ø50 na Ø46,3±0,3 v délce 25,5±0,2. Hrubovat Ø41,3±0,3 na Ø36±0,3 v délce 57±0,3. Srazit hranu 1 x 45°. Dokončit Ø36±0,3 na Ø35k6 na délce 58±0,3, R2,5 a Ra 1,6. Srazit hranu 4 na 20°. Dokončit Ø41,3±0,3 na Ø40,3±0,1 v délce 32 a Ra 1,6. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø40,3±0,1 na Ø46,3±0,3 a Ra 1,6. Srazit hranu 1 x 45°. Dokončit Ø46,3±0,3 na Ø45,3±0,1 na délce 26±0,2 a Ra 1,6. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø45,3±0,1 na Ø50 a Ra 1,6. Soustružit zápich D2,2x0,3 a 2x G2,5x0,3.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16:
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
06	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø35k6 a Ra 1,6; Ø40,3±0,1; Ø45,3±0,1. Četnost 20%.	Třenový mikrometr: tenky_25-50
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
			Posuvné měřítko: 500-182-30
07	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout do univerzálního sklíčidla za Ø40,3±0,1. Z druhé strany přisunout otočný hrot. Hrubovat Ø50 na Ø41,3±0,3 v délce 17,5±0,2. Srazit hranu 1x45°. Dokončit Ø41,3±0,3 na Ø40,3±0,1 na délce 18±0,2 a Ra 1,6. Dokončit čelní plochu o 0,5 z Ø40,3±0,1 na Ø50 a Ra 1,6. Soustružit zápich G2,5x0,3.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324

Příloha 7 (2/2)

Technologický postup výroby hnaného hřídele

Technologický postup			List: 02/02
Součást: Hnaný hřídel		Hmotnost součásti: 1,334 kg	Materiál: 11 500
Polotovár: Ø50 – 144 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovaru: 2,219 kg	Výkres: BP - 02
Č. O.	Název stroje, třídicí číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
08	Obráběcí centrum MAS MCV 750 35235	Upnout do univerzálního sklíčidla (dělicí přístroj) za Ø40,3±0,1, z druhé strany přisunout otočný hrot. Hrubovat drážku pro pero 9 v délce 45±0,3 na hloubku 30,3 _{-0,2} ⁰ . Dokončit drážku pro pero 10P9 v délce 46 ₀ ^{+0,3} .	Hrubovací fréza: 05E3S50-15A05 SUMA
			Dokončovací fréza: 04E6R50-11A06 KIVA
09	Kontrolní místo	Kontrolovat hloubku drážky 30,3 _{-0,2} ⁰ , šířku 10P9, délku 46 ₀ ^{+0,3} . Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
10	Hrotová bruska univerzální BUA 20 05512	Upnout mezi hroty, přišroubovat unášec na Ø35k6, chránit. Brousit Ø40,3±0,1 na Ø40k6 v délce 18±0,2 a Ra 0,8. Brousit Ø45,3±0,1 na Ø45s6 v délce 26±0,2 a Ra 0,8. Brousit Ø40,3±0,1 na Ø40h9 v délce 10,8±0,2 a Ra 0,8. Brousit Ø40,3±0,1 na Ø40k6 v délce 16±0,2 a Ra 0,8.	Brousicí kotouč: T1 250x25x76 99BA46L8V40
			Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
			Unášecí srdce: Ø32 - 40 mm
11	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø40k6 a Ra 0,8; Ø40h9 a Ra 0,8; Ø40k6 a Ra 0,8, Ø45s6 a Ra 0,8. Četnost 20%.	Třenový mikrometr: tenky_25-50
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
12		Odjehlít ostré hrany, odmastit, konzervovat, balit.	

Příloha 8 (1/2)

Technologický postup výroby ozubeného kola

Technologický postup			List: 01/02
Součást: Ozubené kolo		Hmotnost součásti: 3,220 kg	Materiál: 12 010
Polotovary: Ø170 – 27 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovary: 4,811 kg	Výkres: BP - 03
Č. O.	Název stroje, třídicí číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
01	Pásová pila ARG 260 H 05964	Řezat kruhovou tyč na délku 27±0,5.	Pilový pás: Maxtech 420
02	Kontrolní místo	Kontrolovat délku polotovary 27±0,5. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
03	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout polotovary do univerzálního sklíčidla za Ø170 na délce 12. Zarovnat čelo (hrubovat) na délku 25,4±0,2. Hrubovat Ø170 na Ø158,5±0,2 v délce 13±0,2. Dokončit Ø158,5±0,2 na Ø157,5h9 v délce 13±0,2 a Ra 3,2. Srazit vnější hranu 1x45°. Zarovnat čelo (dokončit) na délku 25±0,2 a Ra 1,6. Navrtat středící důlek do hloubky 3. Vrtat průchozí díru 10 skrz vše (25). Vyvrtat průchozí díru 25 skrz vše. Hrubovat díru Ø25 na Ø43,7±0,3 skrz vše. Dokončit díru Ø43,7±0,3 na Ø44,7±0,1 skrz vše a Ra 1,6. Srazit vnitřní hranu 1x45°.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
			Středící vrták A2 ČSN 221110
			Vnitřní hrub. nůž: S25T PCLNR12
			Vnitřní dokon. nůž: S20S PCLNR09
			Vrták: 10 ČSN 221140
Vrták: 25 ČSN 221140			
04	Kontrolní místo	Kontrolovat délku 25±0,2; Ø157,5h9 a Ra 1,6; Ø44,7±0,1. Četnost 10%.	Posuvné měřítko 500-182-30
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
05	Soustruh MASTURN 550i CNC 34428	Upnout polotovary do univerzálního sklíčidla za Ø170 v délce 12. Zarovnat čelo (hrubovat) na délku 23,4±0,2. Hrubovat Ø170 na Ø158,5±0,2 v délce 13±0,2. Srazit vnější hranu 1x45°. Dokončit Ø158,5±0,2 na Ø157,5h9 v délce 13±0,2 a Ra 3,2. Zarovnat čelo (dokončit) na délku 23±0,2 a Ra 1,6. Srazit vnitřní hranu 1x45°.	Hrubovací nůž: DCLNR 2525M12
			Dokončovací nůž: DVJNR 2020K16
06	Kontrolní místo	Kontrolovat Ø157,5h9 a Ra 1,6, délku 23±0,2. Četnost 10%.	Posuvné měřítko: 500-182-30
			Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
07	Bruska na díry BDA 40 05571	Upnout do univerzálního sklíčidla za Ø157,5h9, chránit. Brousit díru Ø44,7±0,1 na Ø45H7 na délce 21 a Ra 0,8.	Broušící kotouč: T5 32x32x10-20x16 99BA46K9V40

Příloha 8 (2/2)

Technologický postup výroby ozubeného kola

Technologický postup			List: 02/02
Součást: Ozubené kolo		Hmotnost součásti: 3,220 kg	Materiál: 12 010
Polotovár: Ø170 – 27 ČSN 42 5551		Hmotnost polotovaru: 4,811 kg	Výkres: BP - 03
Č. O.	Název stroje, třídící číslo	Popis operace [mm]	Nástroje, přípravky
08	Kontrolní místo	Kontrolovat rozměr Ø45H7 a Ra 0,8. Četnost 20%.	Dutinový mikrometr: 25-50mm Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
09	Obráběcí centrum MAS MCV 750 35235	Upnout za upínací trn s maticí (za díru Ø45H7) do univerzálního sklíčidla (dělicí přístroj). Z druhé strany přirazit otočný hrot. Hrubovat zubovou mezeru na Ø146,15 na délce 23. Pootočít o 5,9° a frézovat další zubovou mezeru až po vyfrézování 61 zubů.	Kotoučová fréza: ČSN 22 2510 m2.5x20° č7 Upínací trn s maticí Otočný hrot: MK4 ČSN 243324
10	Kontrolní místo	Kontrolovat rozměr měřením přes 8 zubů: 59,928. Četnost 30%.	Mikrometr na ozubená kola: (KCZ 7053)
11	Kalírna	Cementovat ozubení do hloubky 0,8±0,1 a povrchově kalit na HRC 48 ₋₁ ⁰ .	
12	Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800 35823	Upnout za upínací trn samosvorný (za díru 45H7) do univerzálního sklíčidla, z druhé strany přisunout otočný hrot. Brousit každý bok ozubení o 0,015 na délce 23 a Ra 1,6. Pootočít o 5,9° a brousit další bok ozubení až po obroušení 61 zubů.	Otočný hrot: MK4 ČSN 243324 Upínací trn: Ø45 ČSN 243350 Tvarový BK m2,5-61z-20°- 99BA46K9V
13	Kontrolní místo	Kontrolovat boky ozubení Ra 1,6. Četnost 20%.	Drsnoměr: INSIZE ISR-C002
14		Odjehlřit ostré hrany, odmastit, konzervovat, balit.	

Příloha 9

Výrobní návodka č. 1.1

Výrobní návodka								
Součást: Pastorek		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428					Číslo operace: 03	
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Zarovnávání	1	190	1 260–3 000	0,30	2	26	0,035	1
Navrtávání	2	13	1140	0,05	1	6	0,105	2
Zarovnávání	3	190	1 260–3 000	0,30	2	26	0,035	1
Navrtávání	4	13	1 140	0,05	1	6	0,105	2
Σ							0,280	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Středicí vrták A2 ČSN 221110								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 2.4.2020			

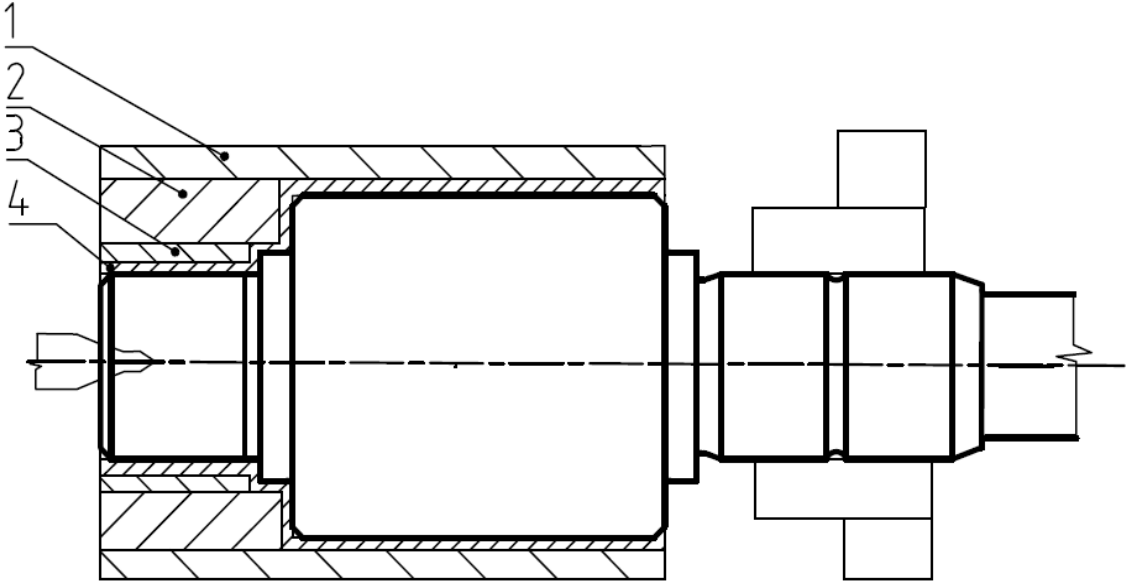
Příloha 10

Výrobní návodka č. 1.2

Výrobní návodka								
Součást: Pastorek		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 05		
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	1 260	0,35	5,40	80	0,182	1
Hrubování	2	190	1 360	0,35	5,45	80	0,168	1
Hrubování	3	190	1 260	0,40	4,50	4	0,008	1
Hrubování	4	190	1 340	0,40	4,50	4	0,007	1
Hrubování	5	190	2 300	0,50	2,70	51	0,044	1
Dokončování	6	260	1 720–3 000	0,20	0,50	96	0,198	2
Σ							0,607	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 2.4.2020			

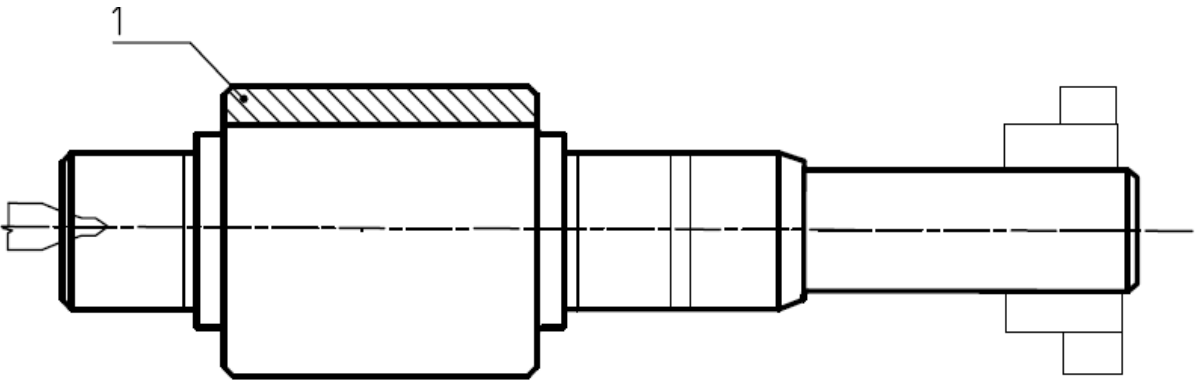
Příloha 11

Výrobní návodka č. 1.3

Výrobní návodka								
Součást: Pastorek		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 07		
								
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	1 260	0,50	2,25	45	0,072	1
Hrubování	2	190	1 390	0,25	6,75	19	0,055	1
Hrubování	3	190	2 020	0,55	1,80	17	0,016	1
Dokončování	4	260	1 720–3 000	0,20	0,50	53	0,110	2
Σ							0,253	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 2.4.2020			

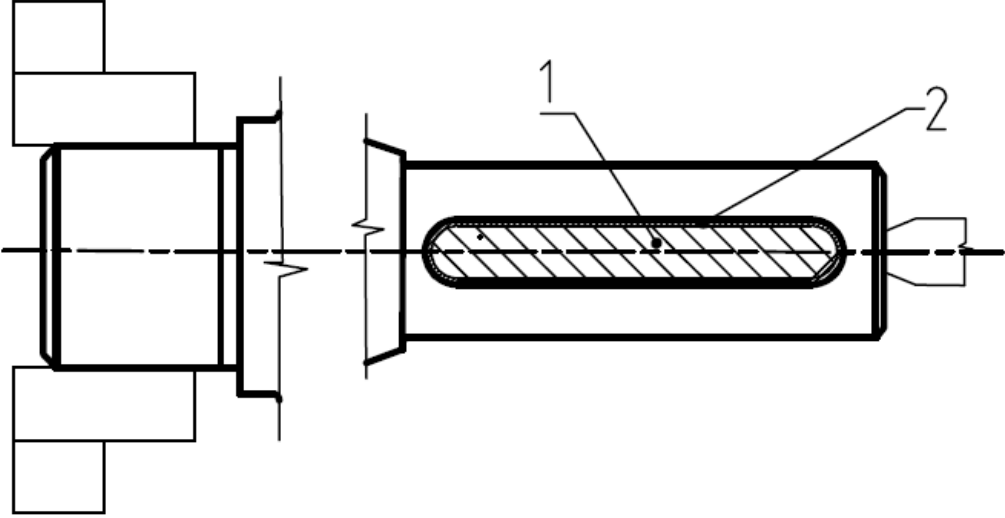
Příloha 12

Výrobní návodka č. 1.4

Výrobní návodka									
Součást: Pastorek		Stroj: Obráběcí centrum MAS MCV 750, 35235					Číslo operace: 09		
									
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj	
Hrubování	1	20	100	0,6	5,675	49	0,816	1	
Σ pro 1 zub							0,816		
Σ pro 15 zubů							12,240		
1 – Kotoučová modulová fréza ČSN 22 2510 m2.5x20° č2									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 23.4.2020				

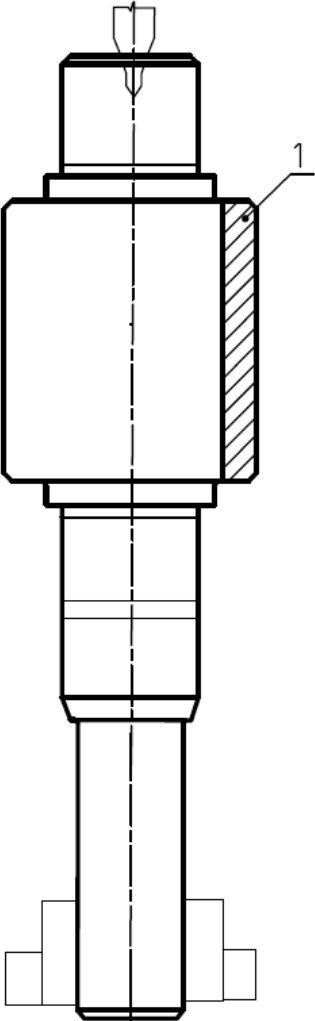
Příloha 13

Výrobní návodka č. 1.5

Výrobní návodka									
Součást: Pastorek		Stroj: Vertikální obráběcí centrum MCV 750				Číslo operace: 11			
									
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	80	5 096	0,09	2x1,75	5,0 a 0,6	2x70	0,305	1
Dokončování	2	80	6 369	0,15	0	0,2	74	0,077	2
Σ								0,382	
1 – Hrubovací fréza 05E3S50-15A05 SUMA 2 – Dokončovací fréza 04E6R50-11A06 KIVA									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 3.4.2020				

Příloha 14

Výrobní návodka č. 1.6

Výrobní návodka									
Součást: Pastorek		Stroj: Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800, 35823					Číslo operace: 14		
									
Operace	i	v_c [m.s ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj	
Dokončování	1	35	4 450	0,25	0,03	59	0,053	1	
Σ pro 1 zub							0,265		
Σ pro 15 zubů							0,796		
1 – Tvarový brousící kotouč m2,5-15z-20°-99BA46K9V									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 5.5.2020				

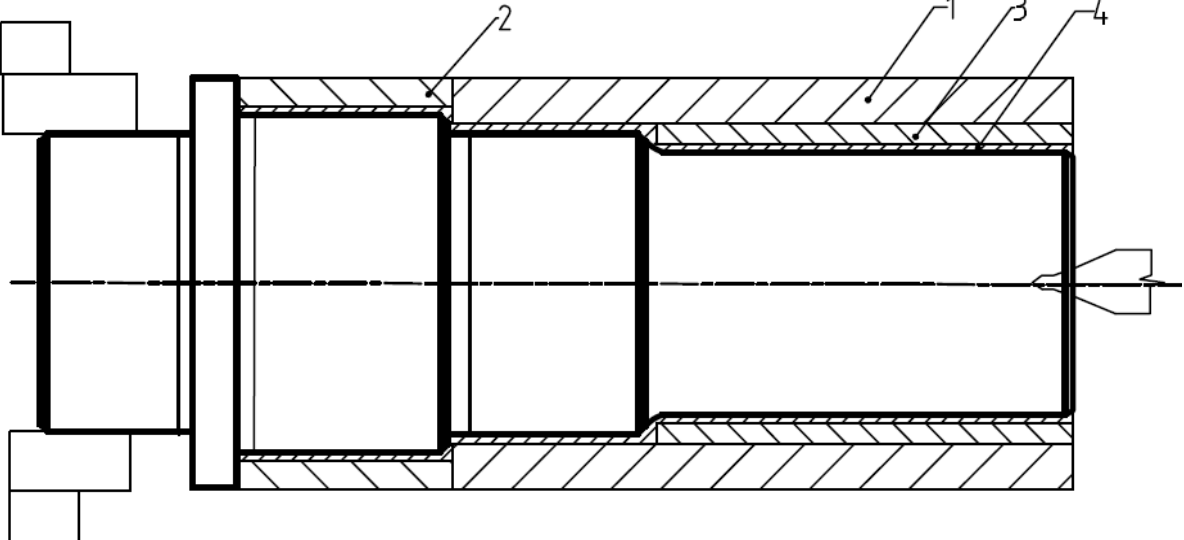
Příloha 16

Výrobní návodka č. 2.1

Výrobní návodka								
Součást: Hnaný hřídel		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 03		
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Zarovnávání	1	190	1 210–3 000	0,30	2	27	0,044	1
Navrtávání	2	15	2 380	0,05	1	6	0,051	2
Zarovnávání	3	190	1 210–3 000	0,30	2	27	0,044	1
Navrtávání	4	15	2 380	0,05	1	6	0,051	2
Σ							0,190	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Středicí vrták A2 ČSN 221110								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 11.4.2020			

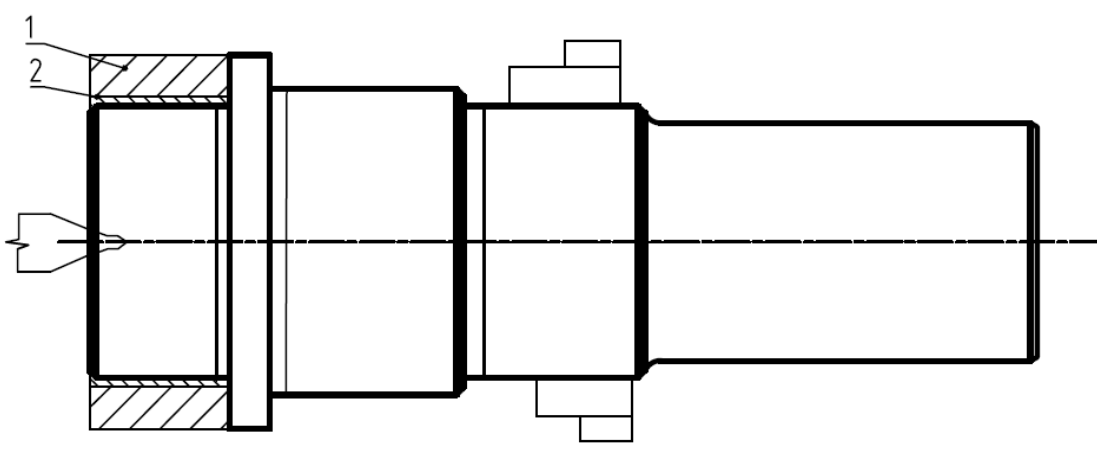
Příloha 17

Výrobní návodka č. 2.2

Výrobní návodka								
Součást: Hnaný hřídel		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 05		
								
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	1 210	0,40	4,3	92	0,190	1
Hrubování	2	190	1 210	0,55	1,8	27	0,041	1
Hrubování	3	190	1 460	0,45	2,7	58	0,088	1
Dokončování	4	260	1 650–2 210	0,20	0,5	126	0,319	2
Σ							0,638	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 11.4.2020			

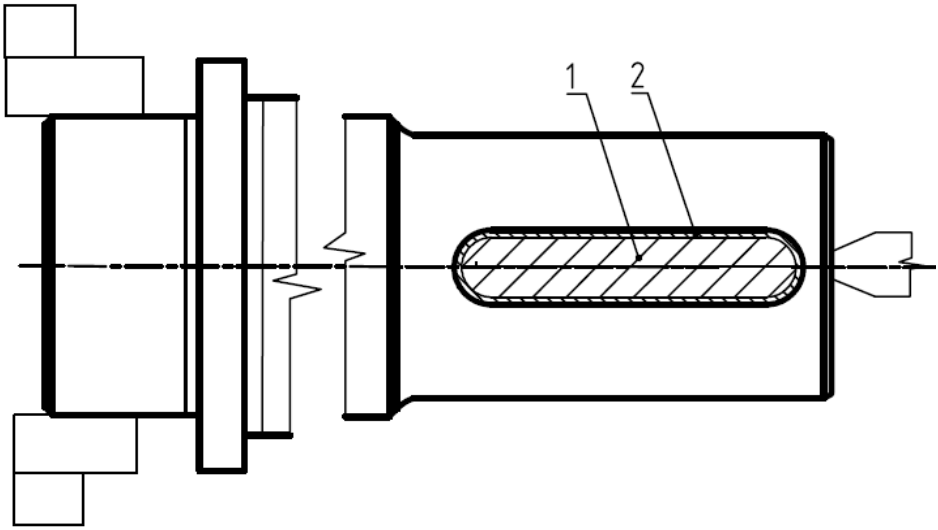
Příloha 18

Výrobní návodka č. 2.3

Výrobní návodka								
Součást: Hnaný hřídel			Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428			Číslo operace: 07		
								
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	1 210	0,4	4,3	19	0,039	1
Dokončování	2	260	1 650–2 070	0,2	0,5	25	0,062	2
Σ							0,101	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 11.4.2020			

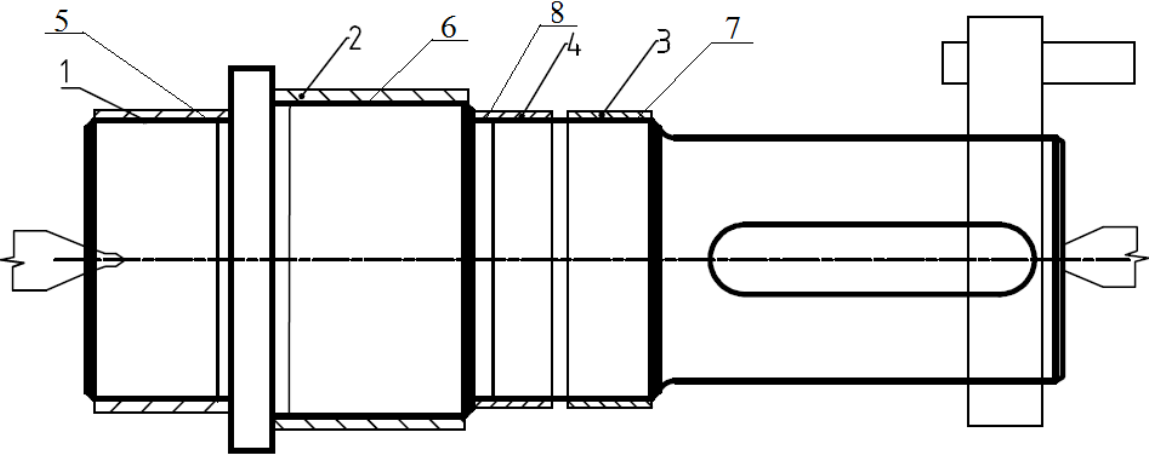
Příloha 19

Výrobní návodka č. 2.4

Výrobní návodka									
Součást: Hnaný hřídel			Stroj: Obráběcí centrum MAS MCV 750, 35235				Číslo operace: 08		
									
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	L [mm]	t_{AS} [min ⁻¹]	Nástroj
Hrubování	1	80	5 096	0,09	2x2,35	5 a 4,6	4x41	0,358	1
Dokončování	2	80	6 369	0,15	0	0,2	94	0,098	1
Σ								0,456	
1 – Hrubovací fréza 05E3S50-15A05 SUMA 2 – Dokončovací fréza 04E6R50-11A06 KIVA									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 12.4.2020				

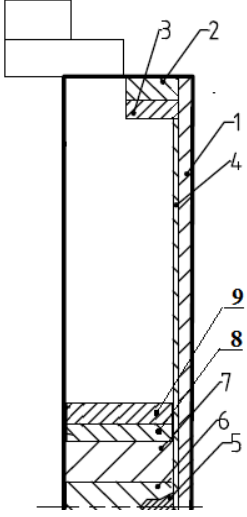
Příloha 20

Výrobní návodka č. 2.5

Výrobní návodka									
Součást: Hnaný hřídel			Stroj: Hrotová bruska univerzální BUA 20, 05512				Číslo operace: 10		
									
Operace	i	v_w [m.min ⁻¹]	v_c [m.s ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	20	28	160	10,0	8 x 0,030	8 x 20	0,100	1
Hrubování	2	20	28	140	10,0	8 x 0,030	8 x 28	0,140	1
Hrubování	3	20	28	160	10,0	8 x 0,030	8 x 12	0,060	1
Hrubování	4	20	28	160	10,0	8 x 0,030	8 x 18	0,090	1
Dokončování	5	15	35	120	7,5	12 x 0,005	12 x 20	0,266	1
Dokončování	6	15	35	100	7,5	12 x 0,005	12 x 28	0,374	1
Dokončování	7	15	35	120	7,5	12 x 0,005	12 x 12	0,160	1
Dokončování	8	15	35	120	7,5	12 x 0,005	12 x 18	0,240	1
Σ								1,430	
1 – Brousící kotouč T1 250x25x76 99BA46L8V40									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 12.4.2020				

Příloha 21

Výrobní návodka č. 3.1

Výrobní návodka								
Součást: Ozubené kolo		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 03		
								
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	360–3 000	0,50	1,60	88	0,245	1
Hrubování	2	190	360	0,30	5,75	14	0,129	1
Dokončování	3	260	520	0,20	0,50	14	0,135	2
Dokončování	4	260	520–3 000	0,20	0,40	88	0,447	2
Navrtávání	5	15	2 380	0,05	1,00	3	0,026	3
Vrtání	6	29	920	0,13	5,00	28	0,235	4
Vyvrtávání	7	24	300	0,34	7,50	28	0,275	5
Hrubování	8	190	2 400 a 1 730	0,40	5,00 a 4,35	2 x 26	0,030	6
Dokončování	9	260	1 890	0,20	0,50	25	0,066	7
Σ							1,588	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF 3 – Středicí vrták A2 ČSN 221110 4 - Vrták 10 ČSN 221140 5 - Vrták 25 ČSN 221140 6 – Vnitřní hrubovací nůž S25T PCLNR12 s CNMG 120412-PR 7 - Vnitřní dokončovací nůž S20S PCLNR09 s CNMG 090308-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 12.4.2020			

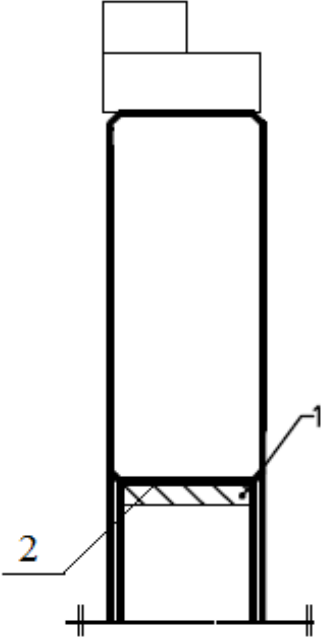
Příloha 22

Výrobní návodka č. 3.2

Výrobní návodka								
Součást: Ozubené kolo		Stroj: Soustruh MASTURN 550i CNC 34428				Číslo operace: 05		
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	190	360–3 000	0,5	1,60	65	0,230	1
Hrubování	2	190	360	0,3	5,75	14	0,129	1
Dokončování	3	260	520	0,2	0,50	14	0,135	2
Dokončování	4	260	520–3 000	0,2	0,40	88	0,447	2
							0,941	
1 - Hrubovací nůž DCLNR 2525M12 s VBD CNMG 120412-PR 2 - Dokončovací nůž DVJNR 2020K16 s VBD VNMG 160408-PF								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 13.4.2020			

Příloha 23

Výrobní návodka č. 3.3

Výrobní návodka									
Součást: Ozubené kolo		Bruska na díry BDA 40, 05571					Číslo operace: 07		
									
Operace	i	v_w [m.min ⁻¹]	v_c [m.s ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	30	25	210	16,0	8 x 0,030	8 x 25	0,059	1
Dokončování	2	25	30	170	12,0	12 x 0,005	12 x 25	0,148	1
Σ								0,207	
1 – Brouscí kotouč T5 32x32x10-20x16 99BA46K9V40									
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 13.4.2020				

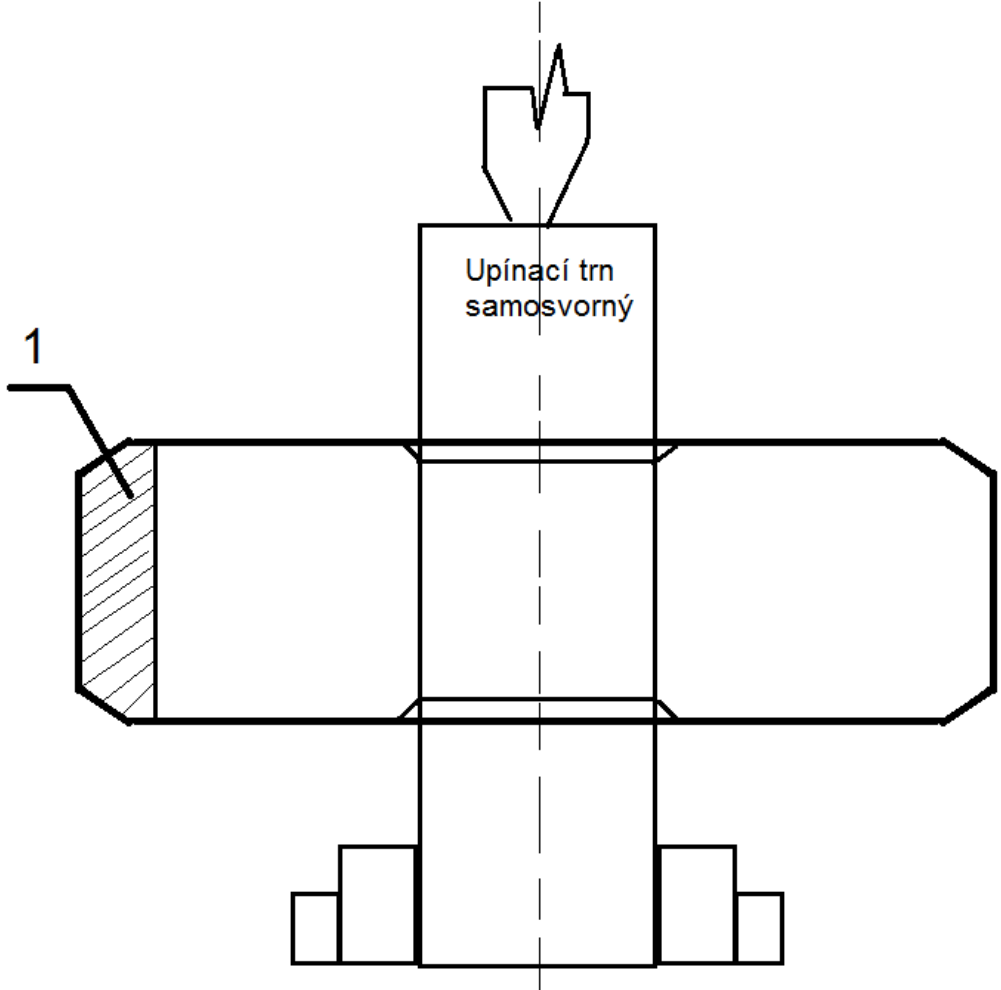
Příloha 24

Výrobní návodka č. 3.4

Výrobní návodka								
Součást: Ozubené kolo		Stroj: Obráběcí centrum MAS MCV 750, 35235				Číslo operace: 09		
Operace	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Hrubování	1	25	130	0,6	5,675	47	0,603	1
Σ pro 1 zub							0,603	
Σ pro 61 zubů							36,783	
1 – Kotoučová modulová fréza ČSN 22 2510 m2.5x20° č7								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 13.4.2020			

Příloha 25

Výrobní návodka č. 3.5

Výrobní návodka								
Součást: Ozubené kolo		Stroj: Bruska na ozubení Oerlikon OPAL 800, 35823					Číslo operace: 12	
								
Operace	i	v_c [m.s ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástroj
Dokončování	1	37	4 700	0,25	0,03	57	0,046	1
Σ pro 1 zub							0,046	
Σ pro 61 zubů							2,806	
1 – Tvarový brousící kotouč m2,5-61z-20°-99BA46K9V								
Navrhl: Jakubec Thomas					Datum: 5.5.2020			

Příloha 26

Koeficient obrobiteľnosti VBD ze SK [3]

Vypracoval:	(02) Soustružení I	Stud. skupina:
		Datum:

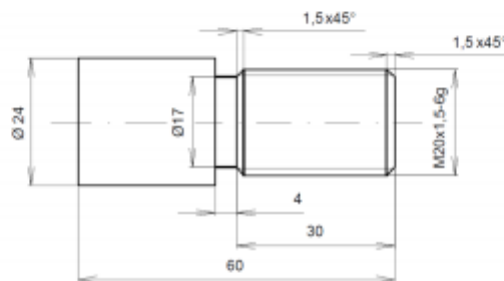
V elaborátu uveďte:

- náčrt obráběných součástí, popis materiálu obrobku a nástrojů
- výpočet řezných podmínek a strojního času
- výpočet hodnoty posuvu, která je daná max. přípustnou drsností povrchu
- vyhodnocení vypočtených a prakticky ověřených řezných podmínek (závěr)

Příklad 1

Vypočítejte řezné podmínky a strojní čas pro obrábění závitu dle obr. 1, pro obrábění oceli 11 600 (14b) a formulujte závěry vyplývající z daného výpočtu:

a) pro nástroj z RO (katalog Soustruhy 3, str. 102) - závitový nůž z rychlořezné oceli ČSN 22 3312 - 13 (trvanlivost $T = 30$ min, otupení hřbetu v oblasti špičky nože $VB = 0,2 - 0,6$ mm),



Obr. 1 Součást se závitem.

b) pro nástroj ze SK (katalog Soustruhy 3, str. 103) - závitový nůž s destičkou ze slinutého karbidu P20 (trvanlivost $T = 30$ min, otupení hřbetu v oblasti špičky nože $VB = 0,2 - 0,4$ mm).

Pro výpočet použijte řezné podmínky uvedené v tab. 1 a stanovte koeficient kinetické obrobiteľnosti materiálu k_{vc1} dle tab. 2.

Tab. 1 Tabulka řezných podmínek.

Řezné podmínky	Hrubování (RO)	Dokončování (RO)	Hrubování (SK)	Dokončování (SK)	Jednotka
Řezná rychlost (v_c)	10	15	80	100	m.min ⁻¹
Počet třísek (f)	5	4	5	4	-
Posuv (f)	1,5				mm
Délka náběhu (l_p)	3				mm
Délka přeběhu (l_n)	3				mm

Tab. 2 Stanovení koeficientu obrobiteľnosti zohledňující hodnotu kinetické obrobiteľnosti materiálu

Obrobiteľnost	8b	9b	10b	11b	12b	13b	14b	15b	16b
k_{vc1} (RO)	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1			
k_{vc1} (SK)	0,40	0,50	0,63	0,80	1				