



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**MOŽNOSTI SYSTÉMU SINUMERIK 840D SL. PŘI
PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

SINUMERIK 840D SL. TOOLS FOR PROGRAMMING OF CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matej Mešina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Matej Mešina**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Polzer, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti systému Sinumerik 840D sl. při programování CNC obráběcích strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Závěrečná práce je zaměřena na návrh náboje jízdního kola. Programování jeho výroby je v softwaru SinuTrain 4.8 – BASIC. Součástí návrhu vlastního designu je zpracování nezbytné technické dokumentace. Kontrola tvaru součásti je pomocí MKP. Simulace obrábění bude se zvolenými progresivními reznými nástroji významných světových výrobců.

Cíle diplomové práce:

- stručná charakteristika možností programování v řídicím systému Sinumerik 840D sl.,
- návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součásti jízdního kola,
- návrh výrobního procesu s ohledem na strojní vybavení ÚST FSI VUT v Brně.

Seznam doporučené literatury:

DAVIM, J. P. (ed.). Traditional machining processes. 1. New York: Springer, 2014. ISBN 978-36-2450-871.

DAVIM, J. P. (ed.). Modern machining technology: a practical guide. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.

TSCHÄTSCH, H. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009. xvii, 398 s. ISBN 978--642-01006-4.

SHAW, M. C. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

QUESADA, R. Computer numerical control: machining and turning centers. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

Technická příručka obrábění: soustružení - frézování - vrtání - vyvrtávání - upínání nástrojů. AB SANDVIK COROMANT. 2005.10. Švédsko: Elanders, 2005.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá konštrukčným návrhom predného náboja pre horský bicykel a jeho technológiou výroby. V rešeršnej časti práce sú charakterizované jednotlivé riadiace systémy CNC obrábacích strojov. Druhá kapitola je venovaná základnému rozdeleniu nábojov, navrhnutiu vlastného designu náboja, charakteristike materiálov na jeho výrobu a jeho overenie MKP analýzou. Tretia kapitola sa zaoberá návrhom polotovaru, nástrojov a samotného technologického postupu výroby. Vo štvrtej kapitole je navrhnutý NC program vytvorený v softvéri SinuTrain 4.8. Posledná časť sa venuje technicko-ekonomickému zhodnoteniu navrhnutého riešenia.

Summary

The thesis deals with the design and production technology of the front hub for a mountain bike. The research focuses primarily on the various control systems of CNC machining apparatuses. The second chapter is devoted to the elemental differentiation of hubs, the concept of personal design of the hub, and the characteristics of the materials for its production and its verification using the FEM analysis. The third chapter deals with the design of a workpiece, instruments and the manufacturing process itself. The design of an NC program constructed in the SinuTrain 4.8. software is dealt with in the fourth chapter. The last part is devoted to the technical and economic evaluation of the proposed solution.

Klíčové slová

technológia výroby, sústruženie, frézovanie, náboj

Keywords

production technology, turning, milling, hub

MEŠINA, M. *Možnosti systému Sinumerik 840D sl. při programování CNC obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 73 s. Vedoucí Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím uvedenej literatúry.

V Brne dňa 23. 5. 2019

.....
Bc. Matej Mešina

Podakovanie

Chcel by som touto cestou poďakovať vedúcemu svojej diplomovej práce Ing. Alešovi Polzerovi, Ph.D. za čas, odbornú pomoc a cenné pripomienky k mojej práci.

Ďalej ďakujem Ing. Kristiánovi Belákovi za rady potrebné k tvorbe MKP analýzy.

Ďakujem taktiež mojej rodine za neustálu podporu počas celého štúdia. Veľké poďakovanie patrí aj mojím priateľom, vďaka ktorým sa štúdium nezmazateľne zapísalo hlboko do pamäte.

Bc. Matej Mešina

Obsah

Úvod	8
1 Začlenenie Sinumeriku 840D sl medzi vybrané riadiace systémy	9
1.1 Fanuc	9
1.2 Haas	10
1.3 Heidenhain	11
1.4 Mazatrol	13
1.5 Sinumerik	14
2 Návrh a spracovanie technickej dokumentácie	17
2.1 Návrh designu náboja	19
2.2 Používaný materiál na výrobu nábojov	22
2.2.1 Hliníkové zliatiny	22
2.2.2 Titánové zliatiny	23
2.2.3 Uhlíkový kompozit	24
2.2.4 Voľba materiálu	25
2.3 MKP analýza	26
3 Technológia výroby	31
3.1 Polotovár obrobku	31
3.2 Nástroje	32
3.2.1 Sústružnícke nástroje	33
3.2.2 Frézovacie nástroje	42
3.2.3 Vrtacie nástroje	43
3.2.4 Kontrola výkonnostných parametrov	47
3.3 Technologický postup výroby	49
3.3.1 Technologický postup výroby prachoviek a redukcií	49
3.3.2 Technologický postup výroby náboja	50
4 Tvorba CNC programu	51
4.1 Prehľad príkazov	51
4.2 Simulácia	55
5 Technicko-ekonomické zhodnotenie	59
Záver	64
Zoznam použitých zdrojov	66
Zoznam použitých skratiek a symbolov	70
Zoznam príloh	73

Úvod

Horská cyklistika patrí k čoraz viacej rozšíreným oddychovým aktivitám. Tento druh športu vznikol odčlenením od cestnej cyklistiky. Keď začali cyklisti jazdiť po nespevnenom povrchu v prírode, výrobcovia cyklistického náčinia zareagovali a vznikla nová športová disciplína, ktorá si veľmi rýchlo získala svojich fanúšikov. Príroda strednej Európy poskytuje veľmi dobré podmienky pre horskú cyklistiku. V súčasnosti má horská cyklistika veľkú fanúšikovskú základňu a usporadúvajú sa súťaže na medzinárodnej úrovni.

Pohyb na bicykli nie je striktne obmedzený len na športove aktivity. Denne ho využívajú ľudia na cestu do práce alebo ako efektívny dopravný prostriedok v meste. V poslednej dobe je trend vytlačania automobilovej dopravy z centra miest hlavne z ekologického a priestorového hľadiska. Bicykel zaberá podstatne menšiu plochu v mestskej doprave v porovnaní napr. s osobným automobilom. Pri jeho používaní nie je potrebné žiadne palivo a nevznikajú škodlivé výfukové plyny. Cyklistická doprava je jedným z možných riešení aktuálneho problému väčšiny veľkých európskych miest s dopravnými zápchami, zapríčinenými neefektívnym využívaním osobnej automobilovej dopravy.

Rovnako ako aj v iných odvetviach výrobcovia cyklistických komponentov bojujú o svojho potenciálneho zákazníka. Čo má za následok pomerne rýchle napredovanie, vznik nových konštrukčných riešení, rýchlu implementáciu pokrokových materiálov a úpravu geometrie bicykla pre zlepšenie pôžitku z jazdy.

Cieľom predloženej diplomovej práce je navrhnúť technologický postup výroby predného náboja na horský bicykel. Jedná sa o rotačnú súčiastku, ktorá je súčasťou kolesa a slúži k jeho upevneniu do prednej vidlice. Samotnému technologickému postupu predchádza vlastný návrh designu náboja a výber vhodného materiálu na jeho výrobu. Následne je návrh overený pomocou MKP analýzy. Celý technologický postup je prispôbený pre sériovú výrobu v školských podmienkach na Ústave strojírenskej technológie VUT v Brně na sústružníckom centre SP 280 SY od firmy Kovosvit MAS.

1 Začlenenie Sinumeriku 840D sl medzi vybrané riadiace systémy

V súčasnosti existuje pomerne veľké množstvo firiem zaoberajúcich sa výrobou a vývojom riadiacich systémov CNC obrábacích strojov. Konceptne staršie stroje, ktoré nemajú číslicové riadenie sú vytláčané na okraj alebo nachádzajú uplatnenie pri jednoduchých opravárenských operáciách. Riadiace systémy slúžia k výraznému zefektívneniu samotnej strojárenskej výroby. Jedná sa hlavne o znižovanie výrobného času, zvyšovanie presnosti a redukciu množstva strojov a nástrojov používaných vo výrobnom procese. Nesmieme zabudnúť, že číslicovo riadené stroje pomáhajú zvyšovať bezpečnosť samotnej výroby, alebo umožňujú jej lepšie monitorovanie a riadenie aj na diaľku.

Jednotlivé systémy sa od seba líšia grafickým rozhraním, podporou cyklov a spôsobom programovania. Ich spoločným výstupom je NC kód slúžiaci k presnému ovládaniu stroja. Základne znalosti tvorby NC programov a základy jeho fungovania sú nevyhnutné k návrhu technologického postupu výroby danej súčiastky. Tieto znalosti umožňujú technologom zamyslieť sa nad konkrétnou súčiastkou a navrhnuť optimálny výrobný proces v závislosti na strojovom a nástrojovom vybavení danej prevádzky. Táto kapitola je venovaná vybraným riadiacim systémom a ich základnej charakteristike.

1.1 Fanuc

Japonská spoločnosť založená v 50. rokoch 20. storočia patrí k popredným výrobcam priemyselnej automatizácie. Do jej portfólia patria: priemyselné roboty, riadiace systémy CNC, vertikálne obrábacie centrá, vstrekovacie stroje a zariadenia na elektroerozívne obrábanie. Na obr. 1.1 je znázornený ovládací panel firmy Fanuc [1].



Obr. 1.1: Ovládací panel Fanuc [3]

Riadiace systémy môžeme rozdeliť do štyroch kategórií [2, 3]:

- **séria 0i MODEL F:**

Základná modelová rada koncipovaná pre viacnásobné riadenie. Systém umožňuje riadiť celkovo až 12 osí a 6 osí vretena. Modelová rada neumožňuje kontinuálne 5 osé obrábanie, ale iba 4 osé. Využitie nachádza pri aplikáciách: frézovanie, sústruženie, brúsenie, razenie a výrobe ozubených kolies. Jej prednosťou je nízka cena.

- **séria 30i/31i/32i:**

Pokročilejšia modelová rada umožňujúca kontinuálne 5 osé obrábanie. Systém dokáže riadiť 96 osi a 24 osi vretena. Uvedená séria je vhodná pre kombinované frézovaco-sústružnícke a sústružnícko-frézovacie multifunkčné obrábacie centrá. V porovnaní so sériou 0i, séria 3xi nachádza uplatnenie aj pri laserovom rezaní.

- **rad 35i:**

Riadiaci systém aplikovateľný predovšetkým pre prepravné linky, gántry a viaceré stanice určené na frézovanie alebo vŕtanie. Rad 35i umožňuje riadiť 20 osi a 4 osi vretena.

- **Power Motion i:**

Modelová rada ovládajúca 32 osi predurčená k efektívnemu riadeniu pohybov a rôznych priemyselných činností. Systém podporuje CAM. Využitie nachádza pri: balení tovarov, manipulácií, pílení, lisovaní, razení, ohýbaní a trecom zvaraní.

V nasledujúcej tabuľke je znázornený prehľad a porovnanie jednotlivých systémov.

Tab. 1.1: Porovnanie riadiacich systémov firmy FANUC [3].

	Riadené osi	Riadené vretená	Simultánne riadené osi	Počet kanálov
30i-B	96	24	24	15
31i-B5	34	8	5	6
31i-B	34	8	4	6
32i-B	20	8	4	2
0i-MF	11	4	4	2
0i-TF	12	6	4	2
0i-PF	7	-	4	1
35i-B	20	4	4	4
Power motion i	32	-	4	4

1.2 Haas

Americká firma založená v roku 1988 zaoberajúca sa vývojom a výrobou horizontálnych a vertikálnych frézok, sústruhov a číslicovým riadením strojov. Spoločnosť dodáva riadiace systémy umožňujúce ovládať 3,4,5 osé obrábacie stroje. Na obr. 1.2 je ovládací simulátor firmy HAAS slúžiaci na výukové programovanie. Ovládací panel simulátoru je totožný s panelom na skutočnom obrábacom stroji [4, 5].



Obr. 1.2: Ovládací simulátor [5]

1.3 Heidenhain

Nemecká spoločnosť zameriavajúca sa na vývoj a výrobu absolútnych a inkrementálnych rotačných snímačov, lineárnych a uhlových snímačov, dotykových sond a CNC riadiacich systémov. Od svojho založenia v roku 1889 sa firma zaoberala leptaním kovov, neskôr bol výrobný program rozšírený o optické snímače polohy pre obrábacie stroje. Začiatkom 60. rokov 20. stor. nastala výroba fotoelektrických snímačov dĺžok a uhlov. V sedemdesiatych rokoch spoločnosť vyvinula prvý číslicovo riadiaci systém, v ktorého vývoji pokračuje dodnes [6].

Riadiace systémy spoločnosti Heidenhain je možné aplikovať pre všetky typy bežného obrábania. Od jednoduchých 3-osých frézok až po multifunkčné stroje s 20 riadenými osami. Systém umožňuje kontinuálne 5-osé obrábanie a taktiež HSC obrábanie. Heidenhain poskytuje pre výuku programovania CNC strojov software pre PC s názvom Programovacia stanica. Software taktiež umožňuje vytvárať, poprípade optimalizovať existujúce programy v prípade vyťaženia stroja [7, 8].

Rozdelenie riadiacich systémov firmy Heidenhain [9]:

- **TNC 128:**

Kompaktný systém pre ovládanie troch osí a vretena. Voliteľne je možné pridať tretiu os. Využitie nachádza hlavne pri univerzálnych vrtacích, frézovacích a vyvrtávacích strojoch v kusovej alebo malosériovej výrobe. Vďaka svojej jednoduchosti je vhodný pre školské dielne.

- **TNC 320:**

Systém umožňuje riadenie štyroch osí (piatu os je možné dokúpiť). Riadenie je vhodné pre sériovú a kusovú výrobu, produkciu foriem a nástrojov. Podobne ako TNC 128 je TNC 320 určené pre ovládanie frézok, vrtáčiek a vyvrtávačiek.

- **TNC 620:**

TNC 620 je mnohostranné riadenie až pre 5 riadených osí. Systém je určený pre rovnaké stroje ako predchádzajúce dva typy riadenia. Obsahuje frézovacie cykly pre komplexné kontúry. Stroje osadené TNC 620 majú k dispozícii 3D dotykovú sondu pre rýchle nastavenie vzťažného bodu.

- **TNC 640:**

Systém určený pre frézky a multifunkčné frézovaco-sústružnícke obrábacie centrá. TNC 640 dokáže riadiť až 18 osí, podporuje HSC obrábanie a 5-osé obrábanie. Systém je optimalizovaný pre dosiahnutie čo najkratších časov pri obrábani 3D kontúr.

- **MANUALplus 620:**

CNC riadenie určené pre sústružnícke obrábacie centrá. Systém umožňuje cyklové programovanie ale aj konvenčné manuálne programovanie. MANUALplus 620 je skonštruovaný pre jednovretenové vertikálne aj horizontálne sústruhy s osou C. Riadenie nepodporuje os Y.

- **CNC PILOT 640:**

Systém koncipovaný pre CNC sústružnícke obrábacie centrá, vertikálne vyvrtavacie stroje a multifunkčné sústružnícko-frézovacie obrábacie centrá. Systém, zobrazený na obr. 1.3, podporuje hlavné a vedľajšie vreteno, C, Y a B os. Riadenie môže mať zabudovanú funkciu TURN PLUS, ktorá umožňuje automatické generovanie NC programu na základe vloženia modelu polotovaru a modelu obrobku.



Obr. 1.3: Ovládací panel systému CNC PILOT 640 [10].

1.4 Mazatrol

Japonská společnost založená v roce 1919 zaoberající sa vývojom a výrobou CNC sústružnických centier, vertikálnych a horizontálnych obrábacích centier, CNC laserových rezacích strojov, riadiacích systémov CNC strojov a CAD/CAM produktov. V roku 1981 uviedla spoločnosť na trh svoj prvý riadiaci systém s názvom MAZATROL. Systém umožňuje dielensky orientované programovanie ale aj ISO programovanie [11, 12].

Rozdelenie riadiacich systémov firmy Mazak podľa [12]:

- **SMART:**

Jednoducho programovateľný systém pre vytváranie základných sústružnických, frézovacích a vrtacích operácií. SMART dokáže riadiť až 4 osi a dve vretená.

- **MATRIX NEXUS 2:**

Riadenie umožňujúce vrtať pod uhlom a frézovať. Systém môže simultánne ovládať tri osi a druhé vreteno.

- **MATRIX 2:**

MATRIX 2 je systém umožňujúci simultánne riadenie 5-osého obrábania.

- **MAZATROL SmoothC, SmoothG, SmoothX:**

Modelová rada Smooth, zobrazená na obr. 1.4, umožňuje simultánne ovládanie piatich osi, osi C a HSC obrábanie. Systém je určený pre sústružnícke, frézovacie a vrtacie obrábacie centrá.



Obr. 1.4: Ovládací panel systému MAZATROL SmoothX [13].

1.5 Sinumerik

Siemens je nemecká spoločnosť založená Wernerom von Siemensom v roku 1847. Firma má široké portfólio služieb a tovarov. Medzi jej produkty patria energetické turbíny, veterné elektrárne, rozvody elektrickej energie, elektrické motory a generátory, elektrotechnická technika, koľajové vozidlá, zdravotná technika, technológie budov a automatizačná technika [14].

Spoločnosť ponúka CNC riadenie s názvom SINUMERIK celkovo v troch základných prevedeniach. Základný model SINUMERIK 808, kompaktný model SINUMERIK 828 a najvyšší model SINUMERIK 840. Jednotlivé modely sa vyskytujú vo viacerých prevedeniach, ktoré sa od seba môžu líšiť. Programovanie priamo na pracovisku je možné v dvoch variantoch: programGUIDE alebo ShopTurn a ShopMill. ProgramGUIDE je názov spoločnosti SIEMENS pre klasické programovanie v ISO G-kóde. V prostredí ProgramGUIDE je možné programy písané v G-kóde pohodlne kombinovať s výkonnými technologickými a meriacimi cyklami systému SINUMERIK. ShopTurn a ShopMill je dielensky orientované programovanie štruktúrované do pracovných krokov umožňujúce rýchle a jednoduché programovanie aj tvarovo náročných obrobkov. Dielensky orientované programovanie umožňuje použitie rovnakých cyklov ako v prostredí ProgramGUIDE. Systém podporuje import dát zo softvérov CAD vo formáte *.DXF. Import dát významne skraca čas samotnej tvorby programu, pretože nainportované dáta je možné použiť v kontúrovom editore [15, 16].

Sinumerik poskytuje veľké množstvo predprogramovaných cyklov. Od základných vrtacích, sústružníckych a frézovacích cyklov, napr. vrtanie hlbokých dier, frézovanie kruhovej kapsy a sústruženie drážok, až po komplexnejšie obrábacie operácie ako sú napr. gravírovanie, frézovanie hlbokých otvorov alebo trochoidné frézovanie [15, 16].

- **SINUMERIK 808**

Elementárny model riadiaceho systému CNC obrábacích strojov dodávaný v dvoch prevedeniach určený pre nenáročné aplikácie. Vďaka svojim kompaktným rozmerom je prioritne určený pre sústružnícke a frézovacie stroje menších rozmerov (modelová rada nie je aplikovateľná pri brúsení alebo výrobe ozubených kolies). Simulácia obrábania na paneli stroja je podporovaná iba vo formáte 2D. Systém neumožňuje teplotné kompenzácie, predprogramované cykly určené na meranie počas procesu obrábania alebo interpoláciu na základe splinov [15, 18].

- *808D*

Je model umožňujúci prepínanie medzi vretenom a C osou za chodu stroja. Riadenie dokáže pracovať so štyrmi osami. Vhodné je aj pre stroje so šikmými ložami. Model sa dodáva aj v prevedení pre PC. Táto verzia je vhodná pre výuku programovania ale aj pre offline programovanie [18].

- *808D ADVANCED*

modelová rada s podporou 5 osi. Systém je možné implementovať aj pre sústružnícke centrá, avšak bez osi Y [18].

- **SINUMERIK 828**

Kompaktný model navrhnutý pre štandardné sústružnícke, frézovacie a brúsiace stroje. Prevažne pre vertikálne a horizontálne obrábacie centrá, stroje pre výrobu foriem, brúsky určené na plošné brúsenie a na brúsenie na guľato. Na rozdiel od SINUMERIKU 808 umožňuje SINUMERIK 828 riadenie stroja s osou Y. Model dokáže riadiť až 10 osí a dva kanály, ale nepodporuje kontinuálne 5-osé obrábanie. Taktiež nie je možné jeho použitie pre kombinované sústružnícko-frézovacie a frézovaco-sústružnícke multifunkčné obrábacie centrá. Simulácia obrábania na paneli stroja je podporovaná vo formáte 3D. Systém ma zabudovaný modul na kontrolovanie kompenzácií vzniknutých trením, nakláňaním a krútiacím momentom. Systém podporuje SinuTrain¹, ktorému bude venovaný priestor v nasledujúcich kapitolách [15, 19].

- 828D

Určený pre štandardizované frézky a sústruhy v horizontálnom tak aj vo vertikálnom prevedení. Systém umožňuje dielenský orientované programovanie ShopMill/ShopTurn ale aj programovanie v ProgramGUIDE [18].

- 828D BASIC

Model sa vykytuje v dvoch variantoch T (turning) a M (milling). Verzia určená pre sústruhy ovláda aj všetky vrtacie a frézovacie operácie. Variant určený pre frézovacie stroje nepotrebuje špecifický CNC regulátor pre moldmaking aplikácie [18].

- **SINUMERIK 840D sl**

Najvyšší model riadiaceho systému, aký má firma SIEMENS vo svojej ponuke. Systém je nástupcom SINUMERIKU 840D, ktorého výroba bola ukončená v roku 2015, a ktorý sa stal základom pre model SINUMERIK 840D sl. Systém umožňuje plnohodnotne kontrolovať až 93 osí v 30 kanáloch strojov, podporuje kontinuálne 5-osé obrábanie a riadenie sústružníckych centier osadených osou B. Modelová rada podporuje PROFINET². Riadenie je postavené na otvorenej architektúre, vďaka čomu sa môže maximálne prispôbiť stroju. Operačný systém je možné doplniť a prispôbiť na konkrétnu prevádzku, dokonca je možné do systému integrovať roboty a iné manipulačné systémy (napr. robot obsluhujúci zásobník s nástrojmi alebo robot na výmenu obrobkov). Model je prispôbený na ovládanie sústružníckych, frézovacích a brúsiacich strojov, strojov na výrobu ozubenia, strojov na delenie materiálu vodným lúčom, plazmou a laserom ale aj na riadenie multifunkčných obrábacích centier. Riadenie nachádza uplatnenie aj pri progresívnych metódach výroby, ako sú kombinované erozívne a aditívne technológie. Systém podporuje SinuTrain. Na obr. 1.5 je znázornený ovládací panel riadiaceho systému SINUMERIK 840D sl. [21, 22].

¹SinuTrain je software od spoločnosti SIEMENS umožňujúci simulovať ovládací panel stroja na PC v plnej kompatibilitate.

²PROFINET je priemyslová komunikačná zbernica navrhnutá pre riadiace systémy v oblasti priemyselnej automatizácie. Systém je založený na báze priemyselného Ethernetu. Profinet umožňuje hierarchicky integrovať celý podnik od jednotlivých výrobných strojov až po vrcholový manažment.[20]



Obr. 1.5: Ovládací panel systému SINUMERIK 840D sl [23].

SinuTrain

SinuTrain poskytuje plnohodnotné ovládanie a CNC programovanie riadiaceho systému SINUMERIK na PC. Proces je založený na totožnom SINUMERIK CNC jadre aké ma aj skutočný stroj. Program umožňuje rovnaké funkcie a grafické prostredie, aké sú možné na fyzickom stroji. Použitím SinuTrainu môžeme programovať CNC stroje v režime offline, dosiahnúť maximálnu kompatibilitu CNC programov a vďaka tomu zvýšiť produktivitu daného stroja. Ďalšou výhodou je, že môžeme pripraviť program pre nový produkt bez nutnosti zastavenia stroja a tým pádom nedochádza k blokovaniu prevádzky stroja. Po dokončení obrábania môžeme nainportovať už hotový program (vytvorený na PC v SinuTraine) a stroj môže okamžite pokračovať vo výrobe bez nutnosti programovania. Rovnako ako aj pri reálnom stroji je možné programovať v moduloch ProgramGUIDE a ShopMill/ShopTurn. Softvér umožňuje import *.DXF súborov. SinuTrain nachádza praktické využitie aj pri plnohodnotnej výuke CNC programovania bez nutnosti vlastníctva samotného stroja. Svoje uplatnenie nachádza aj pri prezentačnej činnosti možností riadiaceho systému [24].

Softvér má predprogramované základne typy strojov ako sú: sústruh s poháňanými nástrojmi, sústruh s poháňanými nástrojmi Y osou a proti-vretenom, dvoj kanálový sústruh, vertikálna frézka a vertikálne frézovacie centrum s otočným stolom. Ďalšie stroje je možné nainportovať [24].

2 Návrh a spracovanie technickej dokumentácie

Predložená diplomová práca sa zaoberá designom a následným návrhom technologickej výroby predného náboja horského bicykla. Súčiastka slúži na upevnenie kolesa do prednej vidlice, poprípade rámu bicykla v prípade, že sa jedná o zadný náboj. Ďalšou funkciou náboja je zabezpečenie brzdzenia vďaka upevnenému brzdovému kotúču. Existuje niekoľko druhov nábojov v závislosti od typu brzdy, umiestnenia špicov, typu a priemeru osky, konštrukčného riešenia zabezpečenia rotačného pohybu ložiskami alebo manuálne nastaviteľnými kónusmi. Odlišnosť medzi predným a zadným nábojom je v tom, že zadný náboj musí na rozdiel od toho predného zabezpečovať aj prenos pohybu od cyklistu. Prenos pohybu je zabezpečený na základe valčekovej reťaze poprípade kardanovým hriadelom.

Na obr. 2.1 je znázornené umiestnenie predného náboja upnutého v odpruženej vidlici.



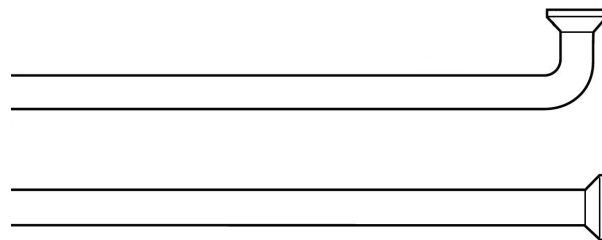
Obr. 2.1: Pohľad na umiestnenie náboja vzhľadom na vidlicu bicykla [25].

V závislosti na type brzdy môže byť náboj osadený držiakom brzdového kotúča. Brzdový kotúč je možno pripevniť niekoľkými spôsobmi. Medzi najrozšírenejšie patria systém upnutia 6-tími skrutkami znázornený na obr. 2.2a alebo systém Center Lock znázornený na obr. 2.2b, ktorý si patentoval japonský výrobca Shimano a postupne sa rozšíril do portfólia iných popredných svetových výrobcov nábojov ako sú: DT Swiss, Force, Hope, Novatec, Sram. V prvom uvedenom variante je brzdový kotúč pripevnený na prírubu 6-tími skrutkami so závitom M5. V prípade systému Center Lock je brzdový kotúč nasunutý na ozubenie a zaistený maticou s vonkajším závitom.



Obr. 2.2: Typy upevnenia brzdového kotúča (a) systém 6-tich dier (b) systém Center Lock [26].

Umiestnenie špicov vzhľadom na náboj, môžeme rozdeliť do viacerých kategórií. Na obr. 2.2a sú špice vložené v dierach umiestnených na rovine ležiacej rovnobežne s čelnou plochou náboja. Iný typ uloženia priamých špicov môžeme vidieť na obr. 2.2b, kde sú špice umiestnené tangenciálne v dierach rozmiestnených kolmo na čelnú plochu náboja. Existujú náboje, ktoré sú kombináciou oboch uvedených typov upevnenia špicov. Počet dier na špice býva v rozsahu 20-40 v závislosti od typu náboja a jeho použitia. Špice sa vyrábajú z korozivzdorných ocelí, uhlíkových ocelí, titánových zliatín a uhlíkového kompozitu. Na obr. 2.3 je znázornený špic s J-ohybom a priamy špic. Výhodou priamych špicov je absencia ohybu do tvaru písmena J. Miesto J-ohybu je najslabšou časťou špicu, pretože je špic namáhaný na ťah aj ohyb. Jeho odstránením sa zväčší jeho celková pevnosť. Nevýhodou náboja s priamymi špicami sú väčšie náklady na výrobu a ich menšia rozšírenosť [27, 28].



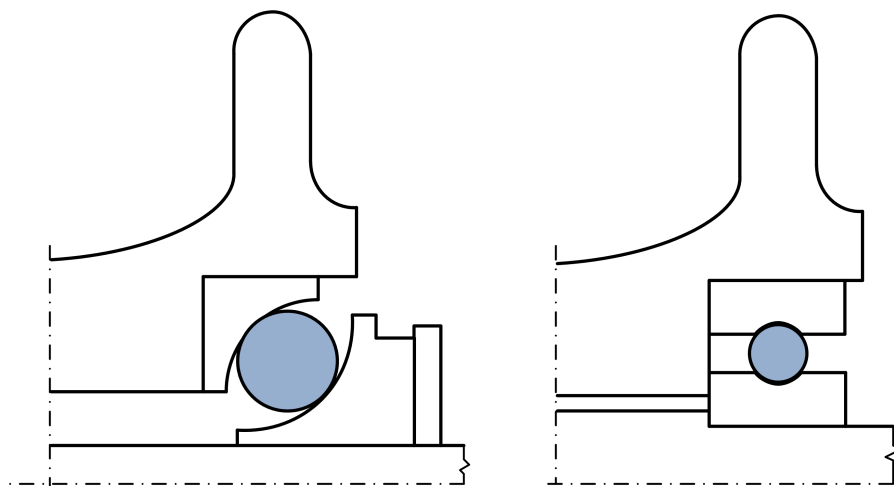
Obr. 2.3: Špic s J-ohybom a priamy špic (dole) [29].

Náboj je spojený s prednou vidlicou alebo rámom bicykla prostredníctvom osky. Na trhu je niekoľko druhov osiek v závislosti od jej priemeru alebo konštrukčného usporiadania. Na obr. 2.4a je variant $\varnothing 5$ mm osky používanej v kombinácii s rýchlopínakom. Táto oska je určená pre náboj zobrazený na obr. 2.2a. Iným variantom osky znázorneným na obr. 2.4b je $\varnothing 15$ mm pevná oska používaná v náboji znázornenom na obr. 2.2b. Konštrukčný rozdiel medzi týmito oskami je v tom, že oska v pravo je našróbovaná do závitú na nohe vidlice. Najprv sa nasunie náboj do vidlice a následne sa vloží oska a zášrobuje sa do závitú. Oska vľavo má maticu, ktorá je jej súčasťou a náboj s oskou je nasunutý do drážok vo vidlici. Pri použití tohto typu osky sa náboj nasunie do drážok vidlice spolu s oskou. Ďalšími variantami sú $\varnothing 9$, $\varnothing 10$, $\varnothing 12$ a $\varnothing 20$ mm oska. Materiál použitý na výrobu osiek je oceľ, hliníkové zliatiny alebo titánové zliatiny. V závislosti na použitom type osky a type náboja (predný alebo zadný) je na výber z viacerých širok náboja.



Obr. 2.4: Typy konštrukcie osiek, zľava $\varnothing 5$ mm oska s rýchloupínakom, $\varnothing 15$ mm pevná os [30, 31].

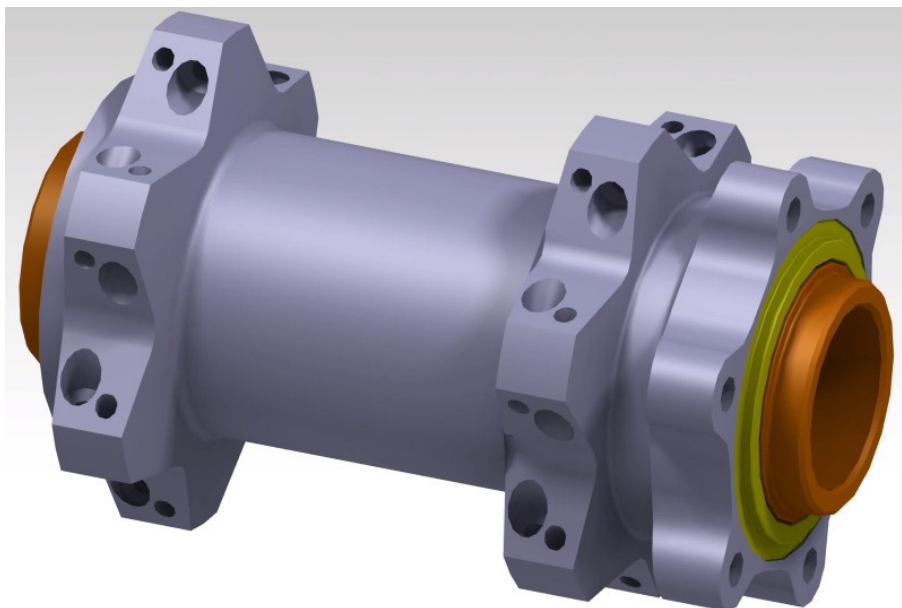
Ďalšou konštrukčnou odlišnosťou je usporiadanie možnosti pohybu náboja. Na obr. 2.5 vľavo je znázornené usporiadanie s kónusom s vnútorným závitom, ktorý je zaistený maticou. Kónus je v styku s valivými elementami. Nevýhodou je zložité nastavovanie správnej vzájomnej polohy kónusov. Toto riešenie sa používa pri lacných nábojoch. Druhým typom riešenia je použitie valivého ložiska zobrazeného na obr. 2.5. Výhodou je jednoduchá montáž ložiska a absencia nastavovania správnej polohy kónusov.



Obr. 2.5: Konštrukčné usporiadanie pohybu.

2.1 Návrh designu náboja

Navrhnutý predný náboj zobrazený na obr. 2.6 má špice umiestnené tangenciálne na valcovú plochu náboja. Brzdový kotúč je pripevnený systémom 6-tich dier. Náboj umožňuje použitie na dvoch typoch odpružných vidlíc a to s priemerom pevnej prednej osi $\varnothing 15$ mm a $\varnothing 20$ mm. Táto modularita je zabezpečená možnosťou výmeny dvoch typov redukcií dodávaných spolu s nábojom. Uvedené redukcie je možno jednoducho nasunúť do náboja v závislosti od rozmerov prednej vidlice. Výkresová dokumentácia je súčasťou príloh B až G.



Obr. 2.6: Vlastný konštrukčný návrh predného náboja.

Navrhnutá variácia má niekoľko výhod. Výmenou redukcií je možné v krátkom čase meniť kolesá medzi viacerými bicyklami. V prípade, že cyklista vlastní niekoľko bicyklov s rôznymi druhmi vidlíc, je možné tieto kolesá ľubovoľne zamieňať medzi bicyklami, vďaka čomu klesajú náklady na nákup viacerých sád kolies. Systém nachádza uplatnenie aj pri kúpe novej vidlice s rozdielným priemerom osky. Pri použití nábojov s nemenným typom priemeru osky, by boli staré kolesá nepoužiteľné a musel by sa vymeniť celý náboj, poprípade celé kolesá.

Zostava MTB náboja na obr. 2.7 alebo obr. 2.8 pozostáva z niekoľkých súčastí:

- **Náboj – šedá farba:**

Slúži pre upevnenie všetkých komponentov, montáž brzdového kotúča do šiestich dier so závitom M5 a obsahuje otvory na umiestnenie špicov. Priemer diery pre špice je $\varnothing 2,5$ mm a priemer valcového zahĺbenia je $\varnothing 4,5$ mm.

- **Prachovka vonkajšia – žltá farba:**

Jej funkciou je zabezpečenie súososti vnútornej prachovky a vnútorného krúžku valivého ložiska, je nalisovaná v náboji.

- **Prachovka vnútorná – oranžová farba:**

Je v kontakte s vnútorným krúžkom ložiska z jednej strany a na druhej strane je v kontakte s príslušnou redukciou. Je osadená O-krúžkom 25x2.

- **Ložisko 6804 – ružová farba:**

Zabezpečuje rotáciu okolo osi náboja.

- **Dištančná trubka – hnedá farba:**

Z oboch strán sa opiera o vnútorné krúžky ložísk a zabezpečuje aby axiálna sila vzniknutá dotiahnutím osi netlačila na vnútorný krúžok ložiska a nedošlo k jeho poškodeniu. Súosť dištančnej trubky je zabezpečená dvojicou O-krúžkov 24x1,2,

ktoré su nasadené z vonkajšej strany trubky a sú v kontakte s vnútornou válcovou plochou náboja.

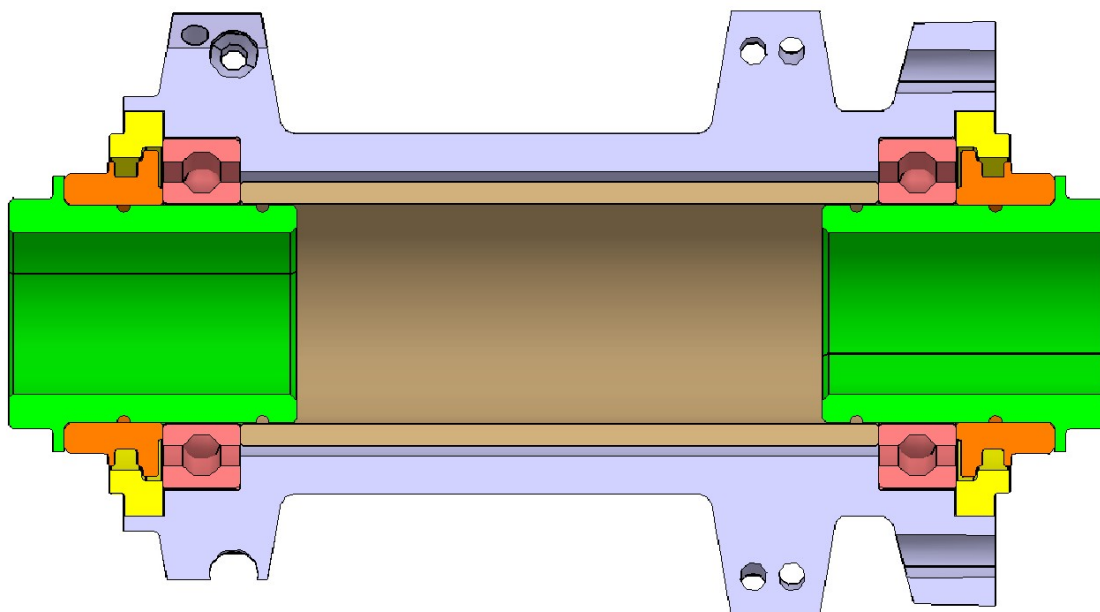
- **Redukcia na 15 mm os – zelená farba:**

Zabezpečuje korektné upnutie do vidlice s osou priemeru 15 mm. Je osadená dvojicou O-krúžkov 18x1.

- **Redukcia na 20 mm os – modrá farba:**

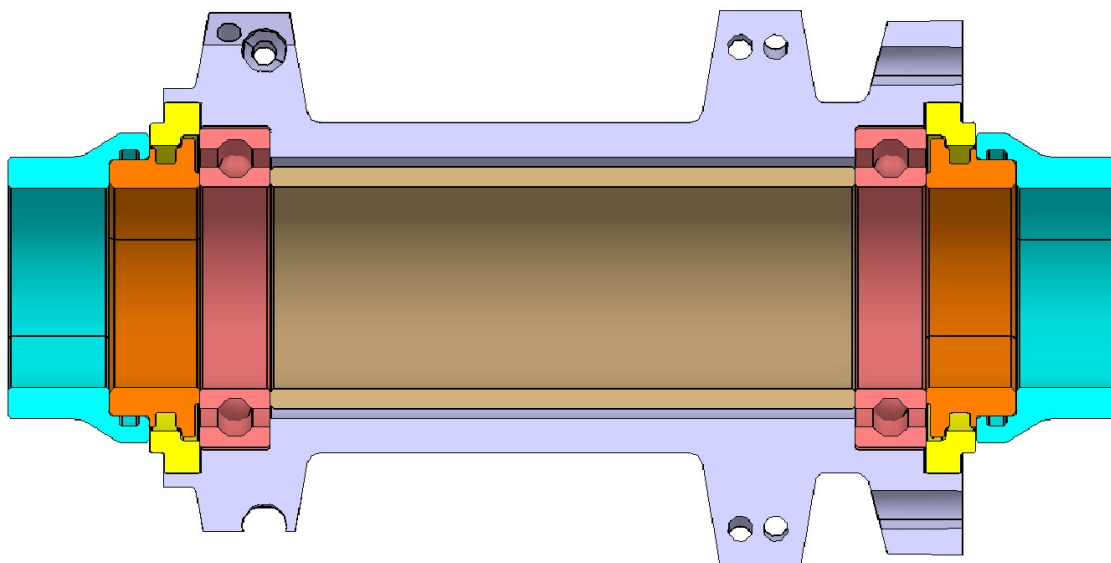
Zabezpečuje korektné upnutie do vidlice s osou priemeru 20 mm. Je osadená O - krúžkom 25x1,5.

Na obr. 2.7 je znázornený rez náboja osadeného redukciov (redukcia je zelenej farby) určenou pre os $\varnothing 15$ mm. Celková zástavbová šírka náboja spolu s redukciov je 100 mm. Redukcia je vložená do vnútornej prachovky znázornenej oranžovou farbou. Pohybu redukcie zamedzuje dvojica gumenných O-krúžkov osadených v drážkach na vonkajšej strane redukcie. Prvá drážka je v oblasti vnútornej prachovky a druhá vo vnútri dištančnej trubčiky.



Obr. 2.7: Náboj osadený redukciov na 15 mm os.

Druhý variant redukcie (redukcia je modrej farby) zobrazený na obr. 2.8 je navrhnutý pre použitie v kombinácii s vidlicou, ktorá je osadená osou $\varnothing 20$ mm a celkovou zástavbovou šírkou 110 mm. Redukcia je nasunutá z vonkajšej strany vnútornej prachovky znázornenej oranžovou farbou. Rovnako ako v prípade redukcie určenej pre $\varnothing 15$ mm os aj teraz je prachovka osadená O-krúžkom v drážke na vnútornej ploche redukcie.



Obr. 2.8: Náboj osadený redukciou na 20 mm os.

2.2 Používaný materiál na výrobu nábojov

Pri výrobe tela nábojov sa používa veľké spektrum materiálov v závislosti od tvaru a ceny výrobku. Najrozšírenejšou skupinou materiálov sú rôzne hliníkové zliatiny, high-endové modely nábojov sú z titánových zliatín alebo uhlíkového kompozitu.

2.2.1 Hliníkové zliatiny

Hliník a jeho zliatiny sú charakterizované relatívne nízkou hustotou ($\rho = 2,7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ v porovnaní s $\rho = 7,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ pre ocel), sú vysoko elektricky a tepelne vodivé a odolné voči korózii za bežných podmienok. Značná časť týchto zliatín je ľahko tvarovateľná vďaka vysokej ťažnosti. Pretože má vnútornú štruktúru usporiadanú do FCC mriežky, je možné jeho zliatiny tvárniť aj za pomerne nízkych teplôt. Jedným z hlavných obmedzení hliníku je jeho nízka teplota tavenia $660 \text{ }^\circ\text{C}$ [32].

Mechanickú pevnosť hliníku môžeme zväčšiť deformačným spevnením alebo legurami. Oba procesy ale vedú k znižovaniu rezistencie voči korózií. Hlavnými legurami sú Cu, Mg, Si, Mn a Zn. Zliatiny hliníku, ktoré neboli tepelne spracované, obsahujú jednu fázu. U týchto zliatín dosahujeme zvýšenú pevnosť zpevnením tuhého roztoku. Ostatné, tepelne spracované, zliatiny, sú schopné precipitačného vytvrdzovania. Podmienkou vytvrdzovania je teplotná zmena rozpustnosti prísadových prvkov, ktoré tvoria s hliníkom intermetalické fázy. Tieto fázy precipitujú z presýteného tuhého roztoku. Precipitáty blokujú pohyb dislokácií nachádzajúcich sa v mriežke kovu a ovplyvňujú jeho mechanické vlastnosti. Proces precipitačného vytvrdzovania sa skladá z troch častí: rozpúšťacie žihanie, kalenie a stárnutie. Stárnutie môže byť prirodzené alebo umelé. Prirodzené je za izbovej teploty a umelé za zvýšenej teploty približne $130\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu $4\text{--}16$ hod. Zliatiny hliníku rozdelujeme na liaté a tvárnené [32, 33].

Bežnou aplikáciou hliníkových zliatín sú: aeronautika, automotive, plechovky na nápoje, športové náčinie. V poslednej dobe sa kladie pozornosť na zliatiny hliníku a ostatné

2.2. POUŽÍVANÝ MATERIÁL NA VÝROBU NÁBOJOV

nizko-hustotné zliatiny ako významný element znižovania nákladov na spotrebu paliva v doprave. Významnou charakteristikou týchto zliatín je špecifická pevnosť, ktorá je kvantifikovaná pomerom pevnosti k hmotnosti zliatiny. V tab. 2.1 sú znázornené základné mechanické vlastnosti a použitie vybraných hliníkových zliatín [32].

Tab. 2.1: Mechanické vlastnosti a použitie vybraných hliníkových zliatín [32].

AA číslo	Zloženie [%]	Stav	R_m [MPa]	R_p [MPa]	A [%]	Príklad použitia
<i>Twárnené, bez tepelného spracovania</i>						
1100	Al99,0Cu	O	90	35	35–45	potravinárske obaly
3003	AlMn1Cu	O	110	40	30–40	kuchynské potreby
5052	AlMg2,5	H32	230	195	12–18	letecké armatúry
<i>Twárnené, tepelne spracované</i>						
2024	AlCu4Mg1	T4	470	325	20	nosné prvky lietadiel
6061	AlMg1SiCu	T4	240	145	22–25	športové náčinie
6061	AlMg1SiCu	T6	310	275	12	zvárané konštrukcie
7075	AlZn5,5MgCu	T6	570	505	11	štruktúrne časti lietadiel
<i>Liaté, tepelne spracované</i>						
295.0	AlCu4,5Si1	T4	221	110	8,5	skrine diferenciálov a volnobežiek
356.0	AlSi7Mg	T6	228	164	3,5	skrine prevodoviek a bloky motorov

Kde: O žíhané z dôvodu odstránenia deformačného spevnenia a zlepšenia ťažnosti,
H32 deformačne spevnené a čiastočne vyžíhaný,
T4 stav po rozpúšťacom žíhaní a prirodzenom stárnutí,
T6 stav po rozpúšťacom žíhaní a umelom stárnutí.

Výrobcovia MTB nábojov a jeho komponentov najčastejšie využívajú materiály 6061 T6 a 7075 T6. Uvedené materiály nachádzajú široké uplatnenie aj pri iných komponentoch bicykla. Materiál 6061 sa používa pri výrobe zváraných rámov bicyklov.

2.2.2 Titánové zliatiny

Titán a jeho zliatiny patria k pomerne novým materiálom, ktoré poskytujú minoriadnú kombináciu mechanických vlastností. Produkcia titánu vo väčších množstvách začala koncom štyridsiatych rokov 20. storočia. Čistý kov má relatívne nízku hustotu $\rho = 4,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a vysokú teplotu tavenia $1668 \text{ }^\circ\text{C}$. Youngov modul pružnosti v ťahu je $E = 107 \text{ GPa}$ a medza pevnosti v ťahu za izbovej teploty dosahuje hodnôt až $R_m = 1400 \text{ MPa}$. Zliatiny titánu majú lepšiu ťažnosť a je ich možno ľahšie kovať a obrábať. Čistý titán má kryštálovú mriežku usporiadanú do tvaru HCP (α fáza), pri teplote $883 \text{ }^\circ\text{C}$ dochádza k zmene

2.2. POUŽÍVANÝ MATERIÁL NA VÝROBU NÁBOJOV

miežky na BCC (β fáza). Táto transformácia je silno ovplyvniteľná prítomnosťou legujúcich prvkov ako sú: V, Ni a Mb, ktoré znižujú teplotu transformácie z HCP na BCC mriežku [32, 33]. Titánové zliatiny sa nachádzajú celkovo v štyroch mikroštruktúrach: α , β , $\alpha+\beta$ a near α . Near α obsahuje malé množstvo β fázy, pretože obsah legúr, ktoré stabilizujú β fázu je približne do 2% [32, 33].

Hlavným obmedzením titánu je jeho chemická reaktivita s ostatnými prvkami za zvýšenej teploty. Táto vlastnosť viedla k vývinu nových nekonvenčných metód rafinácie, tavenia a odlievania titánu, ktoré majú za následok vysokú cenu titánových zliatín [33].

Medzi jeho hlavné využitie patrí aeronautika, výroba zdravotne nezávadných implantátov a chemický priemysel. V tab. 2.2 sú znázornené základné mechanické vlastnosti a použitie vybraných titánových zliatín.

Tab. 2.2: Štruktúra, označenie, mechanické vlastnosti a využitie niekoľkých bežných Ti zliatín [32].

Typ zliatiny	Zloženie [%]	R_m [MPa]	R_p [MPa]	A [%]	Príklad použitia
čistý Ti	-	240	170	24	prúdové motory
α	Ti-5 Al-2.5Sn	826	784	16	plynové turbíny
near α	Ti-8 Al-1Mo-1V	950	890	15	kované komponenty prúdových motorov
$\alpha + \beta$	Ti-6 Al-4V	947	877	14	zdravotné implantáty
$\alpha + \beta$	Ti-6 Al-6V-2Sn	1050	985	14	raketové motory
β	Ti-10V-2Fe-3Al	1223	1150	10	vysoko pevnostné komponenty trupu lietadla

Pri výrobe MTB nábojov a jeho komponentov sa zvyčajne používa titánová zliatina označená ako Ti-6 Al-4V. Za účelom výroby zvaraných rámov bola špeciálne vyvinutá zliatina Ti-3Al-2.5V. Titánové zliatiny nachádzajú široké uplatnenie aj pri iných komponentoch bicykla [33, 34].

2.2.3 Uhlíkový kompozit

Jedná sa o kompozitný materiál tvorený polymérnou maticou vyztúženou vysoko-pevnostnými vláknami. Matrica je zväčša z reaktoplastov napr. epoxidy alebo polyestery. Vlákňovú výstuhu tvorí uhlíkové vlákno. Medzi jeho hlavné výhody patrí vysoký modul pružnosti v ťahu a pevnosť v ťahu, ktoré si zachováva aj pri vysokých teplotách. Pri izbovej teplote nie sú uhlíkové vlákna ovplyvniteľné vlhkosťou a širokým množstvom rozpúšťadiel, kyselín a zásad. Karbonové vlákna dosahujú široké spektrá mechanických vlastností, čo umožňuje pripraviť kompozit so špecifickými vlastnosťami. Nízka teplotná rozťažnosť zaručuje dobrú zormerovú stálosť. Mechanické vlastnosti uhlíkových kompozitov závisia od smeru zaťažovania a orientácií vlákien. Medzi nevýhody patrí sklon k vysoko-teplotnej oxidácii [32].

Uhlíkový kompozit nachádza uplatnenie pri výrobe raketových motorov, v aeronautike a automotive a pri výrobe športových komponentov rôzneho druhu.

2.2. POUŽÍVANÝ MATERIÁL NA VÝROBU NÁBOJOV

Nasledujúca tabuľka zobrazuje mechanické vlastnosti dvoch uhlíkových kompozitov v porovnaní s predstaviteľmi kovových zliatin. Posledné dva stĺpce vyjadrujú pomer medze pevnosti v ťahu k hustote a pomer modulu pružnosti v ťahu k hustote materiálu v porovnaní s nízkouhlíkovou oceľou ako základom. To znamená, o koľko je daný pomer väčší alebo menší v porovnaní s nízkouhlíkovou oceľou. Mechanické vlastnosti uhlíkových kompozitov sú merané v smere vlákien [35].

Tab. 2.3: Porovnanie mechanických vlastností uhlíkového kompozitu a reprezentatívnych kovových zliatin [35].

Materiál	ρ [g · cm ⁻³]	R _m [MPa]	E [GPa]	Pomer R _m /ρ	Pomer E/ρ
nízkouhlíková oceľ	7,87	345	207	1	1
legovaná oceľ (tepelne spracovaná)	7,87	3450	207	10	1
hliníková zliatina (tepelne spracovaná)	2,7	415	69	3,5	1
uhlíkový kompozit (vysoko pevnostné vlákna)	1,55	1500	140	22,3	3,4
uhlíkový kompozit (vysoko elastické vlákna)	1,65	1200	214	16,7	4,9

2.2.4 Voľba materiálu

Vzhľadom na to, že predložená práca sa zaoberá možnosťami systému Sinumerik 840D sl. nie je možné použiť pri výrobe náboja uhlíkový kompozit. Náboj vyrobený z uhlíkového kompozitu sa nevyrába obrábaním. Konvenčnou technológiou výroby by bolo možné vyrobiť len niektoré jeho komponenty, poprípade vrtať otvory pre špice alebo zhotoviť dosadacie plochy pre ložiská.

Vlastná konštrukcia náboja predpokladá sériovú výrobu pre bežného zákazníka. Najbežnejším materiálom pri výrobe nábojov sú hliníkové zliatiny. Náboje vyrobené z titánových zliatin patria do kategórie úzko profilovaného tovaru špeciálne určeného pre high-endové modely MTB bicyklov.

Z týchto dôvodov bude navrhnutý materiál hliníková zliatina. Pri výbere materiálu sa musí brať do úvahy jeho hodnota medze klzu a taktiež aj obrobiteľnosť. Podľa tab. 2.1 sa javí ako najlepšia voľba materiál označený ako 7075 v stave T6. Tento materiál dosahuje najvyššiu hodnotu medze klzu. Obrobiteľnosť uvedenej zliatiny je veľmi dobrá. Nevýhodou materiálu je jeho náchylnosť na koróziu a nevhodnosť k eloxovaniu [36].

Pri vystavení čistého hliníku atmosferickým podmienkam, vzniká na povrchu telesa oxidická vrstva tvorená Al_2O_3 . Povrchová vrstva je pomerne tenká a dosahuje hodnôt jednotiek nanometrov. V prípade jej odstránenia sa vrstva veľmi rýchlo obnoví. Rast vrstvy podporuje teplota a vyššia relatívna vlhkosť. Vo vode je rýchlosť rastu vrstvy niekoľkonásobne väčšia ako na vzduchu. Vo vlhkých podmienkach sa oxid mení na hydroxid. Vrstva

tvorená hydroxidom chráni povrch menej ako oxidická vrstva. Dôvodom je nižšia adhézia hydroxidu s povrchom [33].

Hliníkové zliatiny korodujú v kontakte s inými kovmi, ktoré majú rozdielny elektrický potenciál. Pokiaľ sa nachádzajú vo vodivom prostredí, dochádza k vzniku galvanického článku, z hliníkových zliatín sa stane anóda a koroduje. Hodnota galvanického korózneho prúdu nie je závislá len na rozdiely elektrického potenciálu kovov ale aj na celkovej elektrickej odolnosti alebo polarizácií galvanického obvodu. Napr. kontakt medzi hliníkom a korozivzdornou ocelou spôsobuje menšiu koróziu ako by sa dalo očakávať z rozdielu ich elektrických potenciálov. Na druhej strane kontakt hliníka s meďou spôsobuje vážnu galvanickú koróziu napriek tomu, že rozdiel elektrických potenciálov je menší ako v predchádzajúcom prípade. Galvanickej korózií môžeme zabrániť niekoľkými spôsobmi. Pokiaľ sa nemôžeme vyhnúť kontaktu rozdielnych kovov, musíme zvoliť kov, ktorý ma elektrický potenciál podobný ako hliník. Ďalším spôsobom je zabrániť vzniku korozívneho prostredia [33].

Náboj a jeho komponenty budú vystavené vode a na ich povrchu vznikne oxidická vrstva, ktorá sa následne zmení na hydroxid. Takisto budú v kontakte s inými kovmi, napr. s ložiskom alebo vidlicou. Pomerne častou povrchovou úpravou hliníkových zliatín je eloxovanie. Napriek tomu, že výrobca materiálu nedoporučuje túto zliatinu ako vhodnú k eloxovaniu, je možné materiál eloxovať [38, 37].

2.3 MKP analýza

Model určený pre MKP analýzu sa skladá z 29" kolesa, ktoré je najväčšie z pomedzi bežne dostupných priemerov kolies pre MTB. Priemer použitého brzdového kotúča je $r_{bk} = 200 \text{ mm}$. Maximálna brzdná sila, ktorá pôsobí na koleso pri použití vyššie uvedené brzdového kotúča je približne $F_b = 650 \text{ N}$ [39].

Silu pôsobiacu na brzdový kotúč vypočítame z rovnosti momentov:

$$M_b = M_{bk} \quad (2.1)$$

Kde: M_b moment pôsobiaci na koleso [N · m],
 M_{bk} moment pôsobiaci na brzdový kotúč [N · m].

$$F_b \times r_b = F_{bk} \times r_{bk} \quad (2.2)$$

Kde: F_b brzdná sila pôsobiaca na koleso [N],
 r_b polomer kolesa [m],
 F_{bk} sila pôsobiaca na brzdový kotúč [N],
 r_{bk} polomer brzdového kotúča [m].

$$F_{bk} = \frac{F_b \times r_b}{r_{bk}} = \frac{650 \times 0,3683}{0,1} = 2393,95 \text{ N}$$

Následne rozložíme túto silu do šiestich zložiek F_i , ktoré budú pôsobiť v miestach šróbového spoja medzi brzdovým kotúčom a nábojom:

$$F_i = \frac{F_{bk}}{6} = \frac{2393,95}{6} = 398,99 \text{ N} \doteq 400 \text{ N}$$

Tuhosť špicov vypočítame zo vzťahu pre tuhosť prútu podľa [40]:

$$k = \frac{E \times S_p}{L_p} \quad (2.3)$$

Kde: k tuhosť prútu [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$],
 E modul pružnosti v ťahu [GPa],
 S_p priemer prútu [m^2],
 L_p dĺžka prútu [mm].

Tuhosť je vypočítaná pre špic DT Swiss Competition straight pull, ktorého stredný priemer je $\varnothing 2 \text{ mm}$ a dĺžka $L_p = 304 \text{ mm}$ bola stanovená na základe CAD modelu. Materiál na výrobu tohto špicu je austenitická korozivzdorná oceľ 1.4301, ktorej modul pružnosti je $E = 200 \text{ GPa}$ [41].

$$k = \frac{200 \cdot 10^9 \times \pi \times (1 \cdot 10^{-3})^2}{304} = 2066,84 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

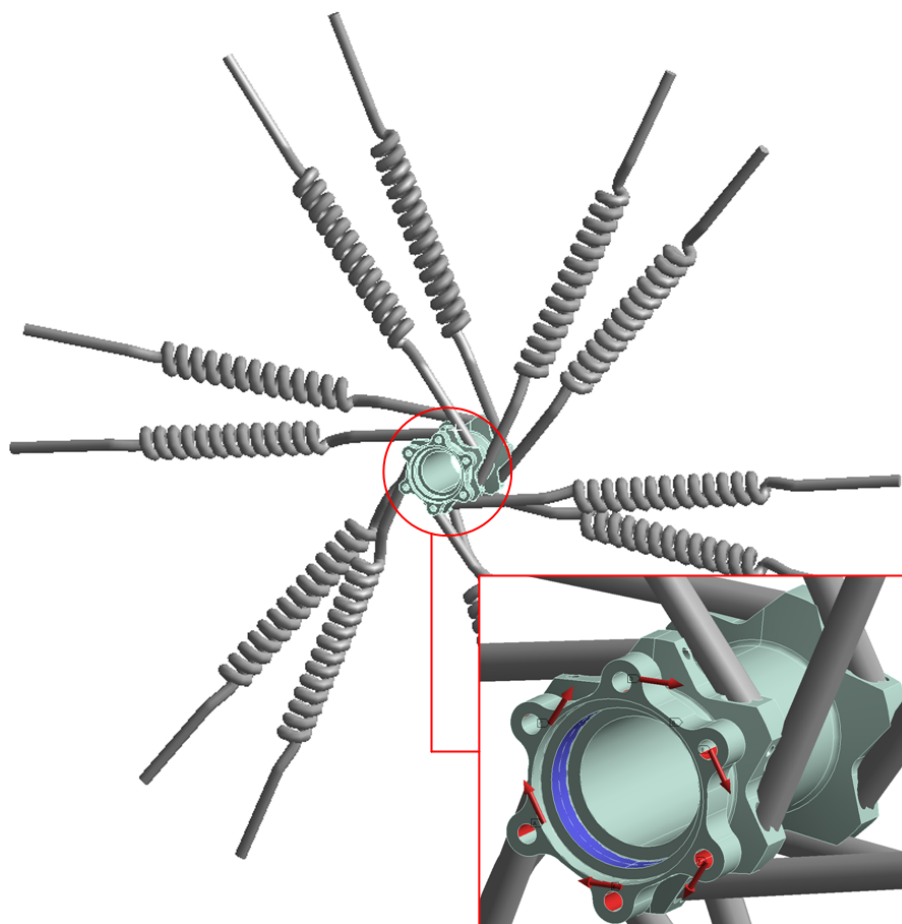
Pri samotnej analýze zanedbávame únavu materiálu a dynamické účinky. Špice sú umiestnené v dierach v ráfiku, ktorý považujeme za absolútne tuhý a zanedbávame jeho deformáciu. Keď je koleso v kludovom stave, sú všetky špice predopnuté. Napätie vznikne dotiahnutím špeciálnej matice umiestnenej v dierach ráfiku. Pri analýze sa zahŕňa do výpočtu len polovicu špicov. Predpokladá sa namáhanie iba na ťah. Špice nemôžu byť namáhané na tlak z dôvodu, že sú iba vložené v dierach náboja. V prípade predĺženia špicov namáhaných na ťah, dochádza k uvoľneniu špicov, ktoré by mali byť namáhané na tlak. Tie nie sú v skutočnosti namáhané na tlak ale dôjde k poklesu napätia a ich uvoľneniu.

Na obr. 2.9 je znázornený výpočtový model v softvéri ANSYS. Špice boli nahradené pružinami s odpovedajúcou tuhosťou $k = 2066,84 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$. Sila pôsobiaca na brzdomý kotúč je rozdelená do šiestich zložiek vyznačených červenými šípkami. Valcová plocha vyznačená modrou farbou je styková plocha náboja s ložiskom. Pohyb telesa je definovaný funkciou Cylindrical Support, ktorá má uvoľnený rotačný pohyb iba v tangenciálnom smere. Detailný pohľad na vytvorenú sieť prvkov je na obr. 2.10.

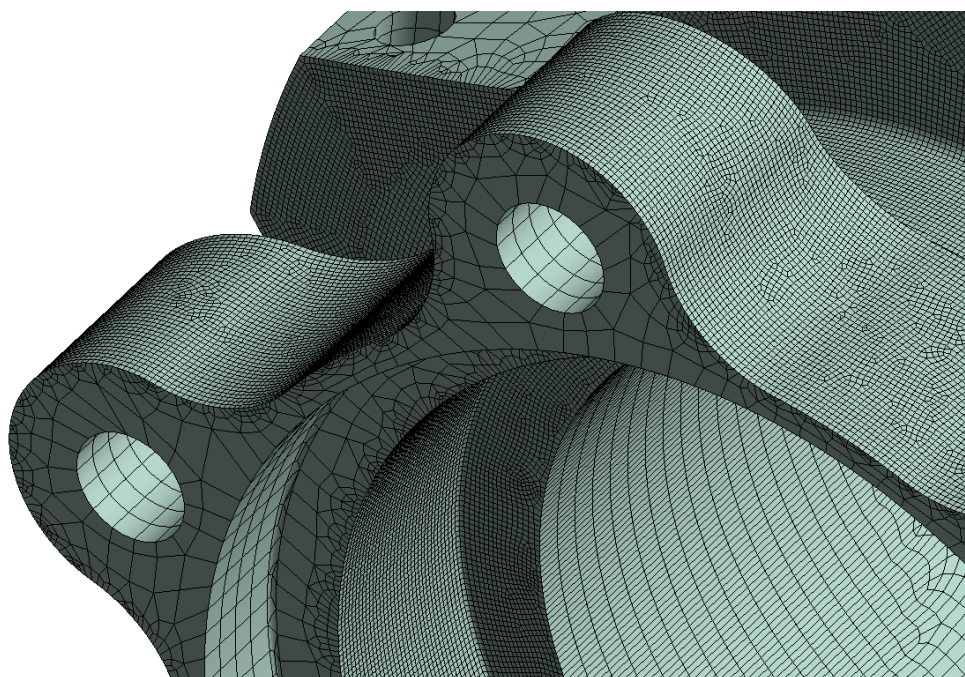
V tab. 2.4 sú použité mechanické charakteristiky zliatiny EN AW 7075 $\varnothing 60 \text{ mm}$ použitej ako polotovar pri výrobe náboja. Výpočet polotovaru je uvedený v tab. 3.1.

Tab. 2.4: Mechanické vlastnosti zliatiny EN AW 7075 [36].

EN AW	Stav	R_p [MPa]	E [GPa]	μ [-]	ρ [g · cm ⁻³]
7075	T6	500	71	0,33	2,81

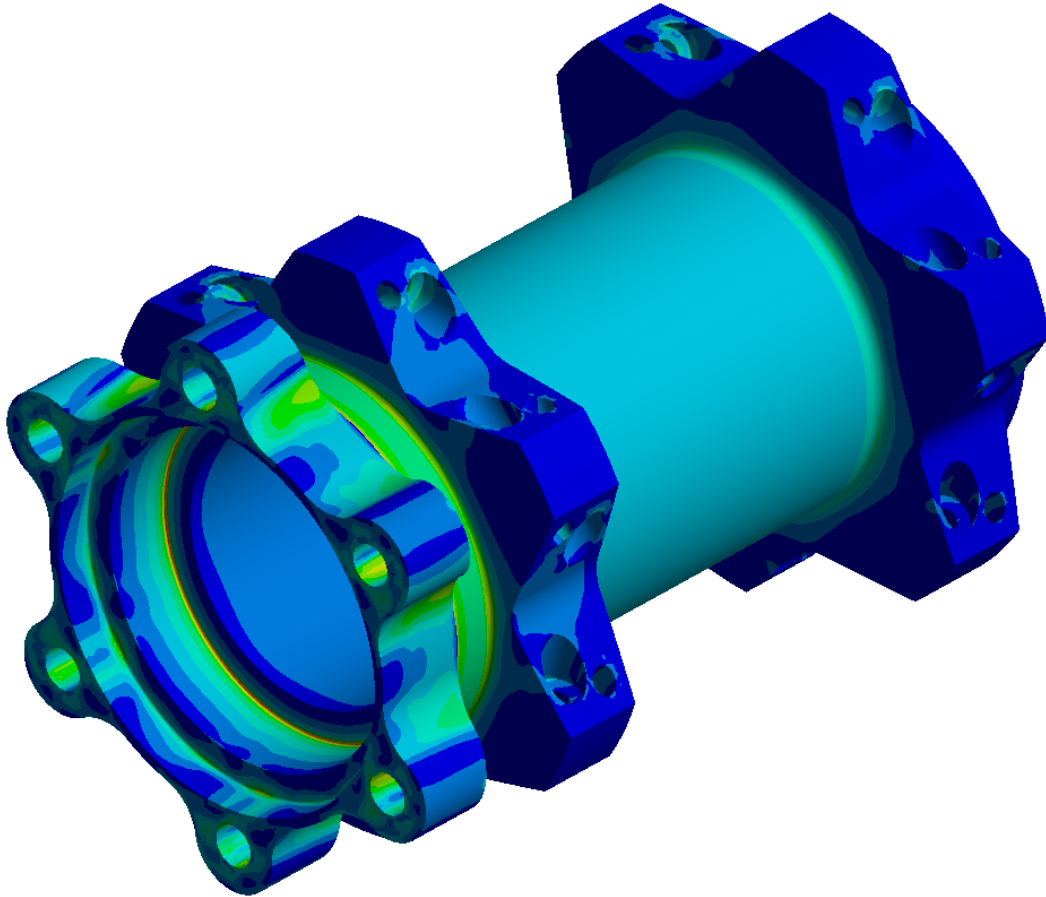


Obr. 2.9: Model pre MKP analýzu.

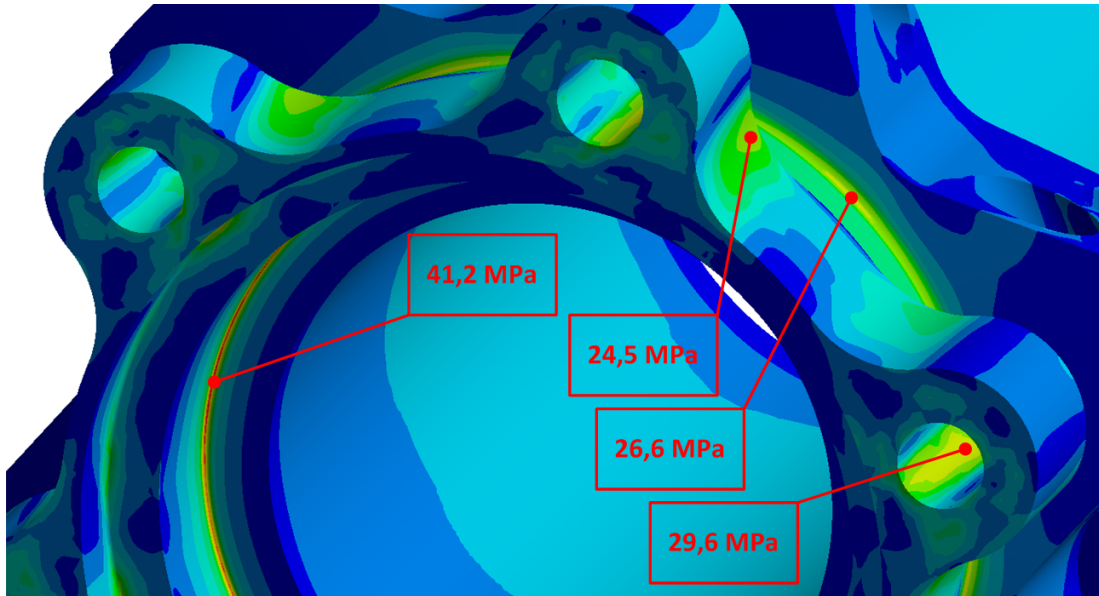


Obr. 2.10: Detailný pohľad na vytvorenú sieť.

Nasledujúce obrázky znázorňujú rozloženie redukovaného napätia podľa podmienky HMH v telese náboja. Na obr. 2.12 môžeme vidieť hodnoty napätia pre miesta s najväčšou koncentráciou napätia. Najväčšie napätie 41,2 MPa je v mieste rádiusu medzi prechodom z valcovej plochy do čelnej plochy. Hodnota maximálneho napätia je niekoľkonásobne menšia ako hodnota zmluvnej medze klzu $R_{p0,2} = 500$ MPa.



Obr. 2.11: Rozloženie redukovaného HMH napätia v náboji pri zaťažení brzdou silou.



Obr. 2.12: Miesta s najvyššou koncentráciou napätia.

3 Technológia výroby

Celý technologický postup je prispôsobený pre výrobu na školskom multifunkčnom CNC sústruhu SP 280 SY od českého výrobcu Kovošvit MAS. Sústruh je vybavený elektro vretenom, protivretenom, poháňanými nástrojmi a možnosťou obrábať C a Y osou. Riadiacím systémom je Sinumerik 840D sl. Podrobnejšie informácie spolu s technickými parametrami sú súčasťou prílohy A.

3.1 Polotovar obrobku

Pri výbere polotovaru je potreba zohľadniť niekoľko faktorov, ako sú: dostupnosť materiálu v danom prevedení, technológia výroby a taktiež je kladený dôraz na efektivitu výroby. Pre všetky komponenty náboja je zvolený ako polotovar tyčový materiál. Tyč je vložená vcelku do vretena obrábacieho stroja. Po obrobení kusu dôjde k vysunutiu polotovaru protivretenom a jeho následnému upichnutiu. Vzápätí sa proces opakuje, až pokiaľ nedôjde k obrobeniu celej tyče. Prídavok na priemer polotovaru je stanovený na základe výpočtu podľa empirického vzťahu (3.1) a výpočtový priemer polotovaru podľa vzťahu (3.2). Jednotlivé hodnoty sú v tab. 3.1 nižšie spolu s vybraným polotovarom na základe údajov od výrobcu [42, 36].

$$p_c = 0,05 \times d_{max} + 2 \quad (3.1)$$

Kde: p_c celkový prídavok na priemer [mm],
 d_{max} najväčší priemer obrobku [mm].

$$d_{pv} = d_{max} + p_c \quad (3.2)$$

Kde: d_{pv} výpočtový priemer polotovaru [mm],
 d_{max} najväčší priemer obrobku [mm],
 p_c celkový prídavok na priemer [mm].

$$d_p \geq d_{pv} \quad (3.3)$$

Kde: d_p priemer polotovaru dostupného na trhu [mm].

Maximálny priemer tyče, ktorá ešte dokáže prejsť elektrovretenom je 61 mm. Najväčší priemer polotovaru je 60 mm, takže je možné obrábať z nedeleného tyčového materiálu. Dĺžka prírezu polotovaru je stanovená na 1000 mm [45].

Tab. 3.1: Výpočet prídavkov na priemer a celkového priemeru polotovaru.

	d_{\max} [mm]	p_c [mm]	d_{pv} [mm]	d_p [mm]
náboj	55	4,75	59,75	60
prachovka vnútorná	30	3,5	33,5	35
prachovka vonkajšia	37	3,85	40,85	42
redukcia 15 mm	25	3,25	28,25	30
redukcia 20 mm	31	3,55	34,55	35

3.2 Nástroje

Pri výbere nástrojov sa kladie dôraz na najnovšie trendy, materiál obrobku, výkonnostné parametre stroja a tvar obrobku. Vzhľadom na to, že jednotlivé komponenty sú z hliníkovej zliatiny musia byť nástroje prispôbené na obrábanie daného materiálu. V prípade sústruženia a frézovania je nutné použiť vymeniteľné rezné doštičky (ďalej len VRD) s pozitívnou geometriou, t.j. s pozitívnym uhlom čela γ a lapovaným čelom. Lapované čelo slúži k eliminovaniu tvorby nárazku na čele nástroja. V závislosti od typu obrábania sa používajú vymeniteľné doštičky so špičkou z polykryštalického diamantu (ďalej len PKD) alebo nepovlakované rezné doštičky zo spekaného karbidu [43, 44].

Pred samotným výberom materiálu VRD musíme zväžiť doporučené rezné podmienky uvedené výrobcom, maximálne otáčky stroja ale aj cenu VRD. V prípade VRD so špičkou z PKD udáva výrobca doporučenú reznú rýchlosť $v_c = 2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Maximálne otáčky hlavného vretena sústruhu SP 280 SY sú $n_{max1} = 4700 \text{ min}^{-1}$ a maximálne otáčky protivretena $n_{max2} = 6000 \text{ min}^{-1}$. V prípade obrábania polotovaru náboja $d_p = 60 \text{ mm}$ vypočítame potrebné otáčky vretena [45, 46]:

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d_p} \quad (3.4)$$

$$n = \frac{2000 \times 1000}{\pi \times 60} = 10610,3 \text{ min}^{-1}$$

Kde: v_c rezná rýchlosť [min^{-1}],
 d_p priemer polotovaru [mm].

Z uvedeného vyplýva, že pri obrábaní nedosiahneme potrebné otáčky nutné pre obrábanie reznou rýchlosťou doporučenou výrobcom VRD z PKD. V prípade obrábania menších priemerov sa potrebné otáčky zvyšujú. V prípade VRD vyrobenej z nepovlakovaného spekaného karbidu udáva výrobca reznú rýchlosť $v_c = 1900 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Táto hodnota taktiež nemôže byť dosiahnutá [46].

Cena VRD tvaru V s geometriou 160404 so špičkou z PKD je približne 72 €, cena rovnakej doštičky z nepovlakovaného spekaného karbidu je približne 11 € [47].

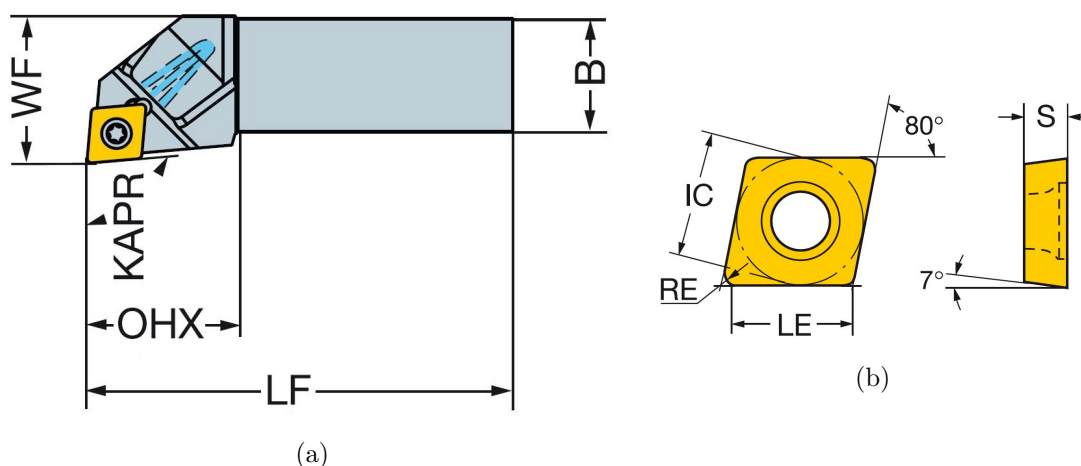
Vzhľadom na niekoľkonásobne väčšiu cenu VRD z PKD v porovnaní s doštičkou z nepovlakovaného spekaného karbidu je vhodnejšie použiť pre danú aplikáciu lacnejšie doštičky z nepovlakovaného spekaného karbidu.

Pri obrábaní hliníkových zliatín dochádza k tvorbe nárastku. Ten vzniká adhéziou materiálu na čele nástroja. Pri odtrhnutí nárastku dochádza vytrhnutiu časti materiálu ostria VRD, čo má za následok rýchlejšie opotrebenie chrbta VRD. Nárostok vzniká len pri dostatočnej plasticite obrábaného materiálu, ktorá je podmienená teplotou rezania. Tvorba nárastku ovplyvňuje rozmerovú presnosť a kvalitu obrobenej plochy tým, že mení geometriu rezného nástroja. Zabrániť tvorbe nárastku môžeme: použiť povlakovanú VRD, zväčšiť v_c alebo f_n , zvoliť VRD s ostrejšou geometriou alebo lapovaným čelom, použiť vhodnú reznú kvapalinu [48, 49].

3.2.1 Sústružnícke nástroje

Vonkajšie sústružnícke nože:

Vonkajší hrubovací nôž s vnútorným prívodom reznej kvapaliny od výrobcu Sandvik Coromant na upnutie doštičky typu C. Tento nástroj sa použije v ľavom aj pravom prevedení. Nepovlakovaná doštička s pozitívnou geometriou je vyrobená zo spekaného karbidu H10.



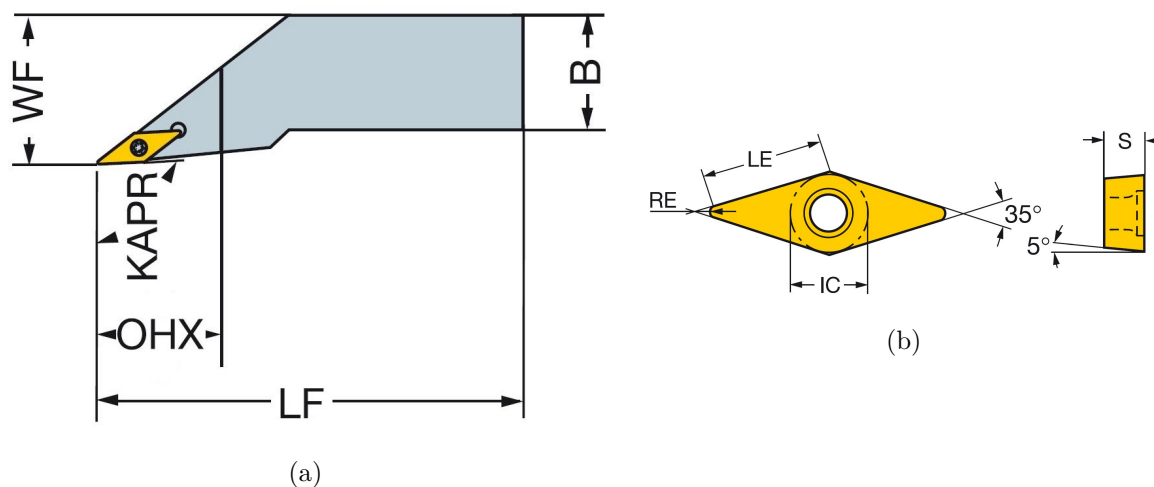
Obr. 3.1: Vonkajší hrubovací nôž ľavý SCLCL2020K09HP a doštička CCGX09T304-AL H10 [46].

V nasledujúcej tabuľke sú doporučené rezné podmienky a geometria použitej vymeniteľnej reznej doštičky.

Tab. 3.2: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD CCGX09T304-AL H10 a držiak SCLCL2020K09HP [46].

	LE	S	RE	a_p	f_n	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	9,3	3,97	0,4	1,5 (0,05-5)	0,2 (0,1-0,3)	2000 (2500-250)
	B	LF	WF	OHX	KAPR	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	
držiak	20 × 20	125	25	26,5	95	

Vonkajší dokončovací nôž od výrobcu Sandvik Coromant určený na upnutie VRD typu V. Tento nástroj sa použije v práci v ľavom aj pravom prevedení. Doštička je z nepovlakovaného spekaného karbidu triedy H10.



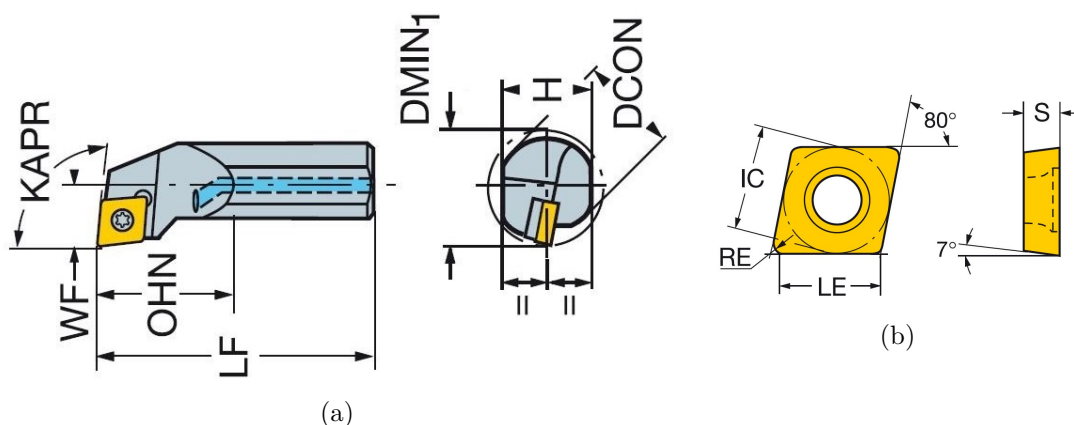
Obr. 3.2: Vonkajší dokončovací nôž lavý SVJBL2020K11 a doštička VCGX110202-AL H10 [46].

Tab. 3.3: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD VCGX110202-AL H10 a držiak SVJBL2020K11 [46].

	LE	S	RE	a_p	f_n	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	10,9	2,38	0,2	1 (0,3-3)	0,12 (0,05-0,15)	2000 (2500-250)
	B	LF	WF	OHX	KAPR	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	
držiak	20 × 20	125	25	21,2	93	

Vnútorne sústružnícke nože:

Vnútorný hrubovací nôž s vnútorným prívodom reznej kvapaliny od výrobcu Sandvik Coromant na upnutie doštičky typu C. Tento nástroj sa použije v práci v ľavom aj pravom prevedení. Nepovlakovaná doštička s pozitívnou geometriou je vyrobená zo spekaného karbidu H10.

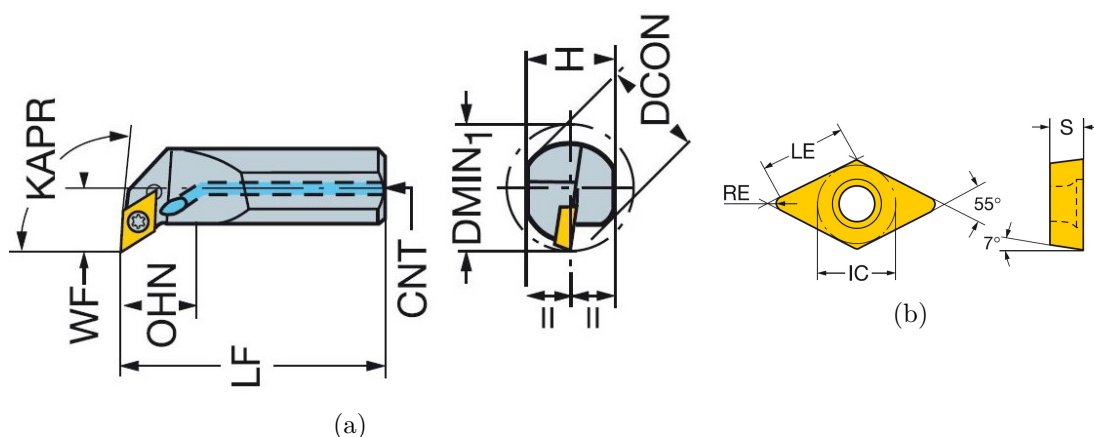


Obr. 3.3: Vnútrotný hrubovací nôž ľavý A12M-SCLCL06 a doštička CCGX060204-AL H10 [46].

Tab. 3.4: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD CCGX060204-AL H10 a držiak A12M-SCLCL06 [46].

	LE	S	RE	a_p	f_n	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	6	2,38	0,4	1,5 (0,5-3)	0,2 (0,1-0,3)	2000 (2500-250)
	H	LF	DMIN	OHX	KAPR	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	
držiak	9	125	16	40	95	

Vnútrotný dokončovací nôž s vnútorným prívodom reznej kvapaliny od výrobcu Sandvik Coromant na upnutie doštičky typu D. Tento nástroj sa použije v práci v ľavom aj pravom prevedení. Nepovlakovaná doštička s pozitívnou geometriou je vyrobená zo spekaného karbidu H10.

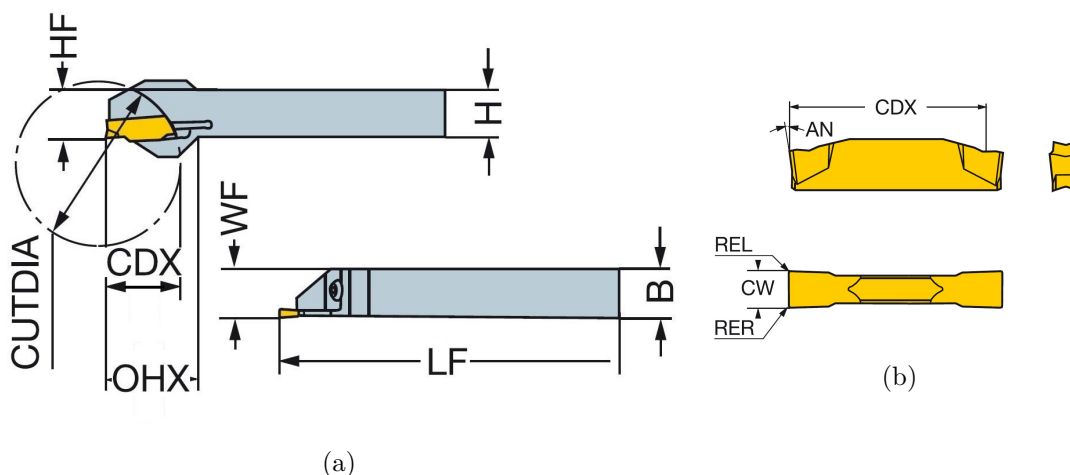


Obr. 3.4: Vnútrotný dokončovací nôž ľavý A10K-SDUCL07 a doštička DCGX070202-AL H10 [46].

Tab. 3.5: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD DCGX070202-AL H10 a držiak A10K-SDUCL07 [46].

	LE	S	RE	a_p	f_n	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	$[m \cdot \min^{-1}]$
VRD	7,6	2,38	0,2	1 (0,3-3)	0,12 (0,05-0,15)	2000 (2500-250)
	H	LF	DMIN	OHX	KAPR	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	
držiak	9	125	13	40	93	

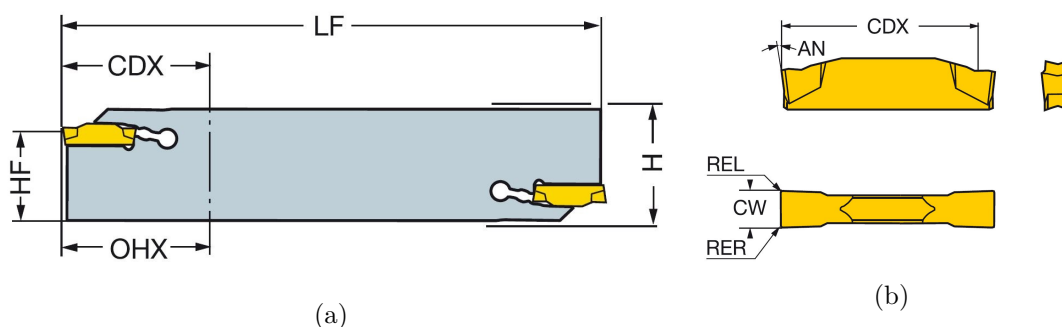
Upichovacie nože: V práci sú navrhnuté dva typy upichovacích nožov. Prvý nôž zobrazený na obr. 3.5a LF123D17-1616B-S slúži na upichnutie menších komponentov ako sú prachovky a redukcie. Druhý nástroj zobrazený na obr. 3.6a N123F55-25A2 slúži na upichovanie náboja. Pri upichovaní materiálu sa znažíme použiť VRD s čo najmenšou šírkou CW z dôvodu šetrenia materiálu. Prvý uvedený nástroj má šírku doštičky CW = 1,5 mm a druhý CW = 2,5 mm. V prípade upichovania náboja, ktorého priemer polotovaru je väčší ako pri ostatných polotovaroch musíme použiť nástroj schopný deliť väčší priemer polotovaru a teda nástroj s väčšou šírkou VRD.



Obr. 3.5: Vonkajší upichovací nôž ľavý LF123D17-1616B-S a doštička N123D2-0150-0002-CM 1105 [46].

Tab. 3.6: Rozměry a doporučené rezné podmínky pro VRD N123D2-0150-0002-CM 1105 a držák LF123D17-1616B-S [46].

	CDX	CW	REL/R	f_{nx}	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	12,9	1,5	0,1	0,08 (0,05-0,12)	1500 (1900-190)
	CDX	OHX	CUTDIA	H	LF
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
držák	17	28,6	34	16 × 16	125



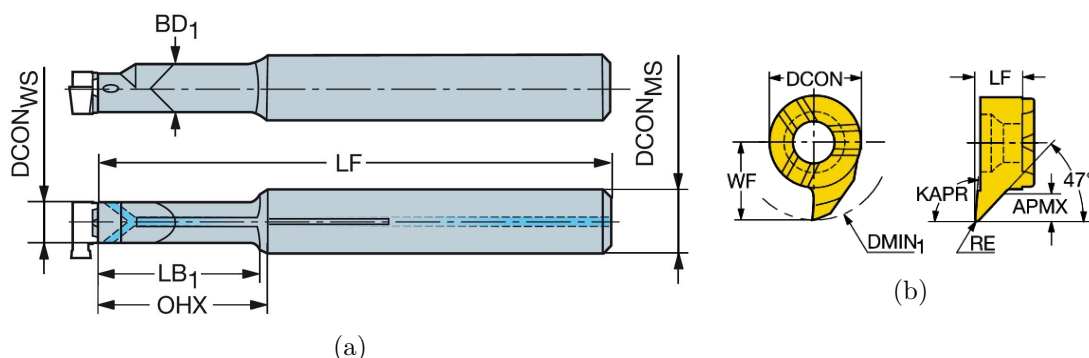
Obr. 3.6: Vonkajší upichovací nůž N123F55-25A2 a doštička N123F2-0250-0002-CM 1105 [46].

Tab. 3.7: Rozměry a doporučené rezné podmínky pro VRD N123F2-0250-0002-CM 1105 a držák N123F55-25A2 [46].

	CDX	CW	REL/R	f_{nx}	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	19,4	2,5	0,1	0,1 (0,05-0,15)	1500 (1900-190)
	CDX	OHX	CUTDIA	H	LF
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
držák	55	55	110	31,9	150

Drážkovacie nože:

Vnútroň kopírovací nôž s vnútorným prívodom reznej kvapaliny od výrobcu Sandvik Coromant na upnutie doštičky typu MB. Tento nástroj slúži k vytvoreniu vnútorného zrazenia pod uhlom 45° .

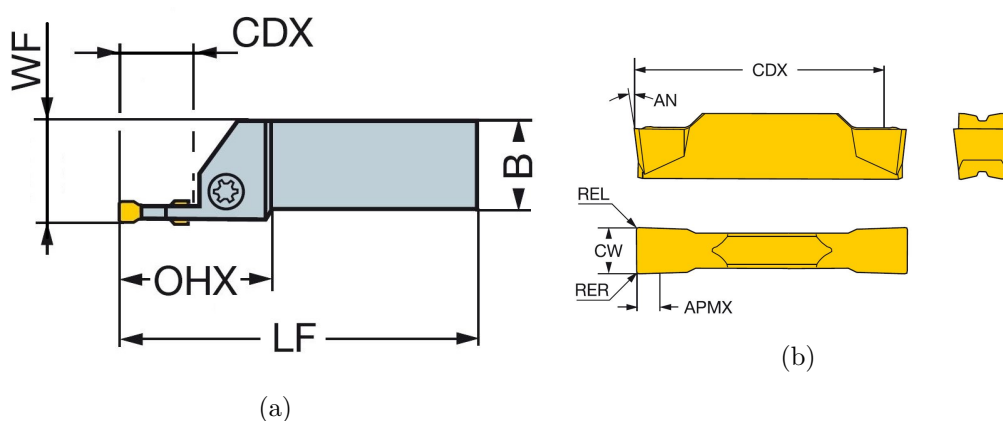


Obr. 3.7: Vnútroň kopírovací nôž ľavý MB-E12-48-07L a doštička MB-07E93-02-10L 1025 [46].

Tab. 3.8: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD MB-07E93-02-10L 1025 a držiak MB-E12-48-07L [46].

	DMIN	RE	APMX	a_p	f_n	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
VRD	10	0,2	1,8	0,5(0,05-1)	0,04 (0,02-0,1)	750 (930-95)
	OHX	LB ₁	BD ₁	DCON _{MS}	DCON _{WS}	LF
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
držiak	48	44,1	7,4	12	7	111,1

Vonkajší drážkovací nôž určený pre zvyškové sústruženie redukcie na 20 mm os a náboju od výrobcu Sandvik Coromant. Nepovlakovaná doštička z spekaného harbidu H13A.

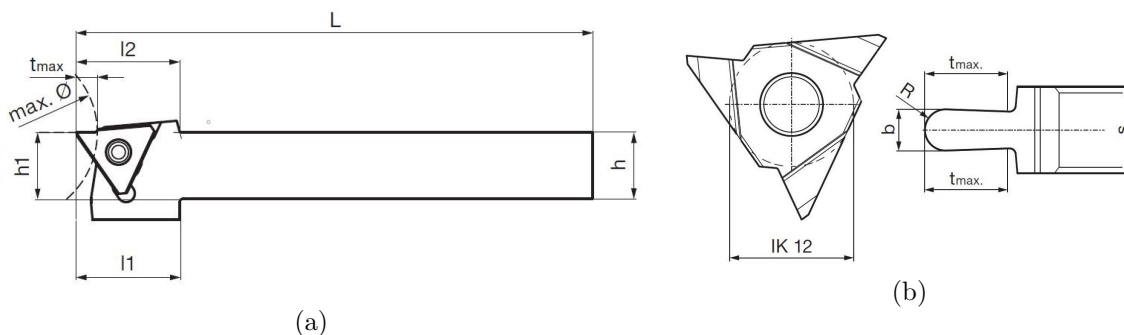


Obr. 3.8: Vonkajší drážkovací nôž ľavý pre zvyškové sústruženie LF123G20-2020B a doštička N123G2-0300-0004-TM H13A [46].

Tab. 3.9: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD N123G2-0300-0004-TM H13A a držiak LF123G20-2020B [46].

	CDX [mm]	CW [mm]	REL/R [mm]	APMX [mm]	v_c [m · min ⁻¹]
VRD	18,4	3	0,4	1,8	1500 (1900-190)
	f_{nx} [mm]	f_{nz} [mm]	a_p [mm]		
VRD	0,12 (0,07-0,16)	0,2 (0,1-0,25)	0,3-1,7		
	CDX [mm]	OHX [mm]	WF [mm]	B [mm]	LF [mm]
držiak	20	41	21	20 × 20	125

Vonkajší drážkovací nôž určený pre vytvorenie rádiusovej drážky pre O-krúžok od výrobcu Gühring. Povlakovaná doštička s povlakom TiCN.

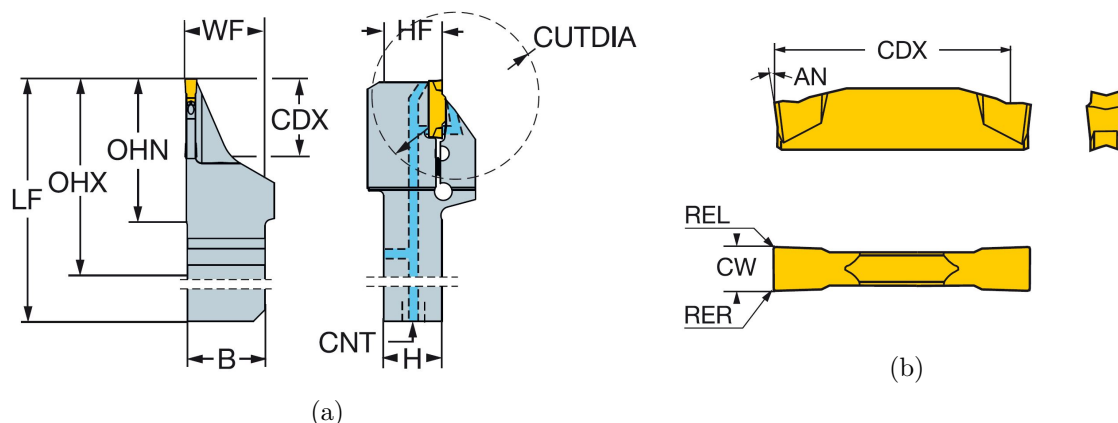


Obr. 3.9: Vonkajší drážkovací nôž ľavý GH305.2020.125.00.04.L a doštička GE305.0120.060.AA.04.N TiCN [50].

Tab. 3.10: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD GE305.0120.060.AA.04.N TiCN a držiak GH305.2020.125.00.04.L [50].

	b [mm]	t_{max} [mm]	R [mm]	s [mm]	f_n [mm]	v_c [m · min ⁻¹]
VRD	1,2	3	0,6	4,2	0,03-0,15	200-400
	max.Ø [mm]	t_{max} [mm]	h [mm]	L [mm]		
držiak	80	5	20 × 20	125		

Vonkajší drážkovací nôž od výrobcu Sandvik Coromant. Nepovlakovaná doštička z spekaného harbidu H13A.

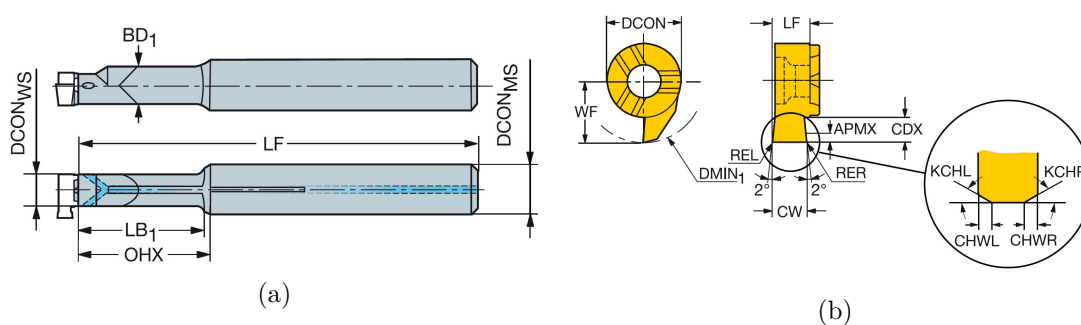


Obr. 3.10: Vonkajší drážkovací nôž ľavý QS-LF123G20C2020F a doštička N123G2-0300-0003-GM H13A [46].

Tab. 3.11: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD N123G2-0300-0003-GM H13A a držiak QS-LF123G20C2020F [46].

	CDX	CW	REL/R	f_{nx}	v_c
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	$[m \cdot \min^{-1}]$
VRD	18,2	3	0,3	0,08 (0,05-0,14)	1500 (1900-190)
	CDX	OHX	B	CUTDIA	LF
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
držiak	20	62,7	20 × 20	40	106,7

Vnútrotný drážkovací nôž s vnútorným prívodom reznej kvapaliny od výrobcu Sandvik Coromant na upnutie doštičky typu MB. Tento nástroj slúži k vytvoreniu drážky pre O-krúžok.

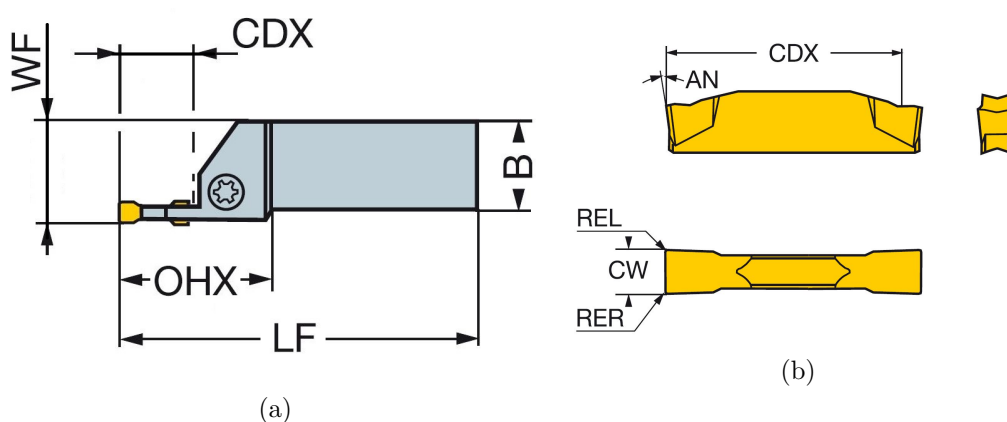


Obr. 3.11: Vnútrotný drážkovací nôž ľavý MB-E12-24-07R a doštička MB-07G150-00-11L 1025 [46].

Tab. 3.12: Rozměry a doporučené rezné podmínky pro VRD MB-07G150-00-11L 1025 a držák MB-E12-24-07R [46].

	D _{MIN} [mm]	CW [mm]	CDX [mm]	CHWL/R [mm]	f _{nx} [mm]	v _c [m · min ⁻¹]
VRD	11	1,5	2,8	0,04	0,02 (0,01-0,02)	1500 (1900-190)
	OHX [mm]	LB ₁ [mm]	BD ₁ [mm]	D _{CON_{MS}} [mm]	D _{CON_{WS}} [mm]	LF
držák	24	20,1	7,4	12	7	88,1

Vonkajší drážkovací nůž od výrobce Sandvik Coromant. Povlakovaná doštička z spekaného harbidu s povlakem 1125.



Obr. 3.12: Vonkajší drážkovací nůž ľavý LF123D15-2020B a doštička N123D2-0150-0001-GF 1125 [46].

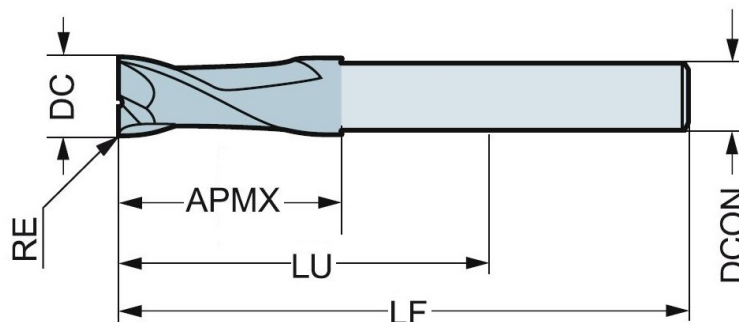
Tab. 3.13: Rozměry a doporučené rezné podmínky pro VRD N123D2-0150-0001-GF 1125 a držák LF123D15-2020B [46].

	CDX [mm]	CW [mm]	REL/R [mm]	f _{nx} [mm]	a _p [mm]	v _c [m · min ⁻¹]
VRD	13,3	1,5	0,1	0,05-0,15	0,5-1	1500 (1900-190)
	CDX [mm]	OHX [mm]	B [mm]	WF [mm]	LF [mm]	
držák	15	33,5	20 × 20	21	125	

3.2.2 Frézovacie nástroje

Stopková fréza:

Nepovlakovaná monolitná fréza $\varnothing 6$ a $\varnothing 12$ zo spekaného karbidu od výrobcu Sandvik Coromant. Nástroj slúži na hrubovanie, zvyškové hrubovanie a dokončovanie príruby na brzdový kotúč a držiaku na špice. Frézy sa použijú pre obrábanie v hlavnom aj vedľajšom vretene. Nástroj $\varnothing 4$ slúži na frézovanie plôch na vrtanie dier pre špice. Počet efektívnych ostrí na čele nástroja je pre všetky frézy 2.



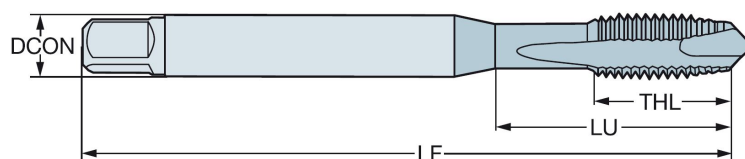
Obr. 3.13: Stopková fréza 2S221-0300-020-NG H10F [52].

Tab. 3.14: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre stopkovú frézu 2S221-0300-020-NG H10F [52].

DC	DCON	APMX	LF	LU	RE
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
4	3,8	5	60	32	0,3
6	5,8	9	100	64	1
12	11,7	17	125	80	1,5
f_z	v_c	a_e	a_p		
[mm]	[m · min ⁻¹]	[mm]	[mm]		
0,04	270	4	2		
0,15	480	3	6		
0,22	360	1,8	12		

Závitník:

Závitník pre výrobu metrického závitú M5. Nástroj je určený pre výrobu závitú do prierežnej diery.



Obr. 3.14: Závitník E448M5 HSS-E [52].

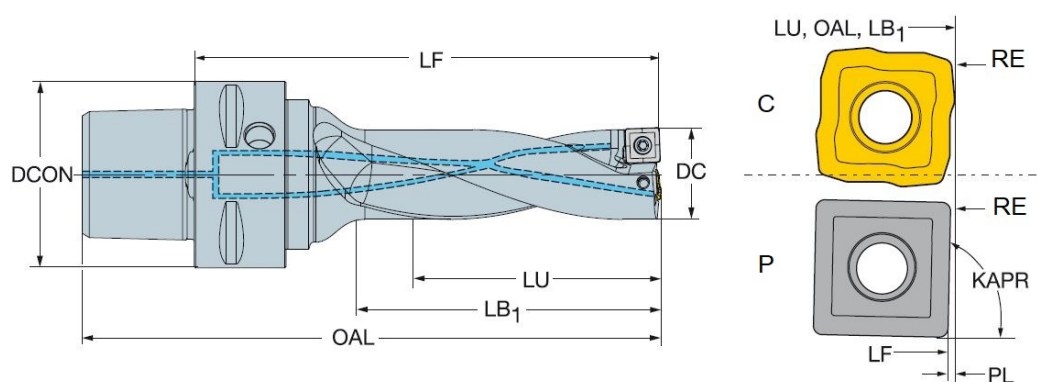
Tab. 3.15: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre Závitník E448M5 HSS-E [52].

DCON	P	LF	LU	THL	f_n	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]
6	0,8	70	23	13	0,8	38

3.2.3 Vrtacie nástroje

Vrtáky s VRD:

V práci sú použité tri vrtáky s VRD, ktoré sa od seba líšia rezným priemerom a funkčnou dĺžkou. V závislosti od priemeru vrtáku su použité povlakované VRD s povlakom 1044 a 4344 alebo nepovlakované VRD zo spekaného karbidu H13A.



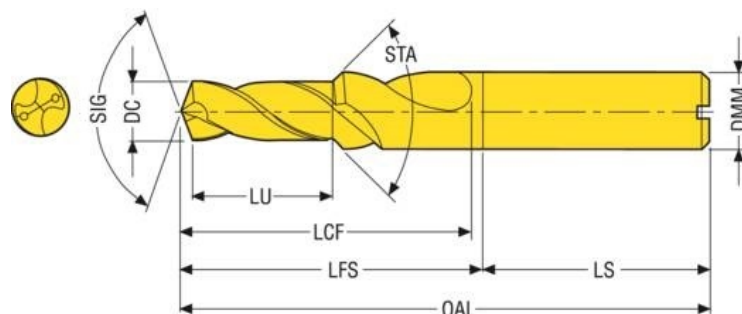
Obr. 3.15: Vrták 880-D1450 C4-03, doštičky 880-020204H-C-LM 1044 a 880-0202W05-P-LM 4344 [51].

Tab. 3.16: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre VRD 880-020204H-C-LM, 880-0202W05H-P-LM a držiak 880-D1450 C4-03 [51].

	RE-S	RE-P	f_n	v_c		
	[mm]	[mm]	[mm]	[m · min ⁻¹]		
VRD	0,4	0,5	0,04-0,14	300-405		
	0,5	0,6	0,04-0,16	300-400		
	0,5	0,7	0,1-0,18	300-400		
	DC	DCON	OAL	LU	LF	KAPR
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]
držiak	14,5	40	104	44	79,67	88
	19,5	40	123	59	98,61	88
	25	50	174	100	143,52	88

Monolitné vrtáky:

Monolitný vrták $\varnothing 4,2$ pre výrobu dier určených na rezanie závitov M5. Nástroj vytvorí zrazenú dieru, ktorá je potrebná pre správne vedenie závitníku. Výrobcom nástroja je firma Seco.

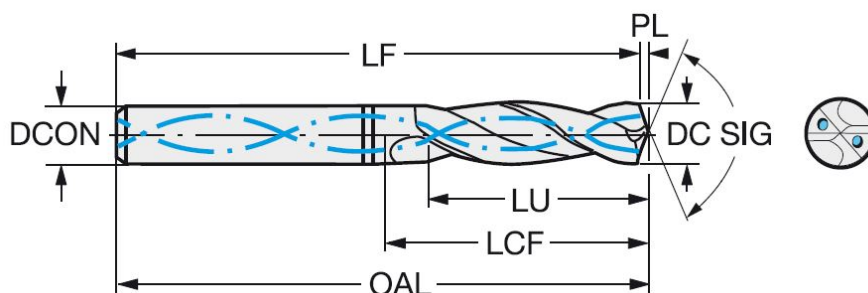


Obr. 3.16: Monolitný karbidový vrták $\varnothing 4,2$ mm so zrážачom hrán SD203A-C45-4.2-13.6-6R1 TiAlN + TiN [53].

Tab. 3.17: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre vrták $\varnothing 4,2$ mm SD203A-C45-4.2-13.6-6R1 TiAlN + TiN [53].

DC	DMM	OAL	LU	SIG	STA	f_n	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[°]	[mm]	[m · min ⁻¹]
4,2	6	66	13,6	140	90	0,2	345

Monolitný vrták $\varnothing 4,5$ pre výrobu kuželového zahĺbenia pre správne usadenie špicu v diere.

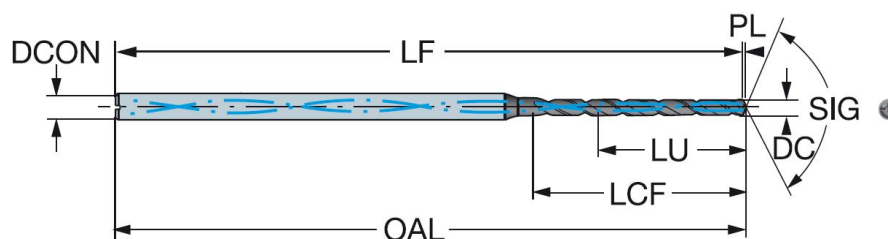


Obr. 3.17: Monolitný karbidový vrták $\varnothing 4,5$ mm 860.1-0450-036A1-NM H10F [52].

Tab. 3.18: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre vrták $\varnothing 4,5$ mm 860.1-0450-036A1-NM H10F [52].

DC	DCON	OAL	LU	SIG	f_n	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[mm]	[m · min ⁻¹]
4,5	6	86	36,6	130	0,222 (0,176-0,264)	400 (320-480)

Monolitný vrták $\varnothing 2,5$ určený pre vrtanie dier na špice.



Obr. 3.18: Monolitný karbidový vrták $\varnothing 2,5$ mm 862.1-0250-030A1-GM GC34 [52].

Tab. 3.19: Rozmery a doporučené rezné podmienky pre vrták $\varnothing 2,5$ mm 862.1-0250-030A1-GM GC34 [52].

DC	DCON	OAL	LU	SIG	f_n	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[mm]	[m · min ⁻¹]
2.5	3	78	29,8	140	0,14-0,16	48-72

Tab. 3.20 znázorňuje využitie jednotlivých nástrojov pri výrobe komponentov MTB náboja. Navrhnutý technologický postup výroby komponentu *náboj* používa 20 nástrojov. Počet polôh nástrojovej hlavy sústružníckeho centra SP 280 SY je 12. Na to, aby sa mohlo upnúť všetkých 20 nástrojov použijeme držiak pre viacnásobné upnutie nástrojov. Tieto držiaky umožňujú upnutie viacerých stacionárnych aj poháňaných nástrojov na jednej polohe v nástrojovej hlave.

Tab. 3.20: Súhrnná tabuľka využitia nástrojov.

nástroj	náboj	prachovka vnútorná	prachovka vonkajšia	redukcia 15 mm	redukcia 20 mm
<i>Sústružnícke nástroje</i>					
SCLCL2020K 09 HP	•	•	•	•	•
SCLCR2020K 09 HP	•	•	•	•	•
SVJBL2020K11	•	•	•	•	•
SVJBR2020K11	•	•	•	•	•
A12M-SCLCL06	•		•		•
A12M-SCLCR06	•				
A10K-SDUCL07	•	•	•	•	•
A10K-SDUCR07	•				
GH305.2020.125.00.04.L				•	
LF123D15-2020B		•	•		
LF123D17-1616B-S		•	•	•	•
N123F55-25A2	•				
LF123G20-2020B	•				•
MB-E12-24-07R					•
MB-E12-48-07L		•	•	•	•
QS-LF123G20C2020F				•	
<i>Frézovacie nástroje</i>					
E448M5	•				
2S221-0600-100-NG-L	•				
2S221-0600-100-NG-R	•				
2S221-0400-030-NG	•				
2S221-1200-150-NG-L	•				
2S221-1200-150-NG-R	•				
<i>Vrtacie nástroje</i>					
880-D1450C4-03				•	
880-D1950C4-03		•			•
880-D2500C5-04	•		•		
860.1-450-036A1-NM	•				
862.1-0250-030A1-GM	•				
SD203A-C45-4.2- 13.6-6R1	•				

3.2.4 Kontrola výkonnostných parametrov

Pri použití rezných podmienok navrhnutých výrobcou nástroja, sa musia vziať do úvahy aj parametre obrábacieho stroja. Jedná sa o charakteristiku pohonu vretena. Výrobca stroja dodáva maximálne hodnoty výkonu vretena a jeho momentovú charakteristiku v závislosti na otáčkach vretena. Tieto údaje sú vynesené v grafoch závislosti maximálneho rezného výkonu P_c na otáčkach vretena a závislosti krútiaceho momentu M_k na otáčkach vretena. V týchto grafoch sú zakreslené hodnoty krátkodobého preťaženia elektromotoru aj s konkrétnymi podmienkami preťažovania. Nedodržovanie týchto hodnôt môže viesť k poškodeniu stroja.

Pre všetky obrábacie operácie je vypočítaný potrebný rezný výkon a porovnaný s hodnotami rezného výkonu, ktoré udáva výrobca stroja. Výpočet je zostavený podľa vzťahov (3.5–11) [43].

Sústruženie

$$P_c = \frac{v_c \times a_p \times f_n \times k_c}{6 \cdot 10^4} \quad (3.5)$$

- Kde: P_c rezný výkon [mm],
 v_c rezná rýchlosť [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 a_p šírka záberu hlavného ostria nástroja [mm],
 f_n posuv na otáčku [mm],
 k_c merná rezná sila [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$].

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (3.6)$$

- Kde: k_c merná rezná sila [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 k_{c1} merná rezná sila platná pre $h_m = 1$ mm [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$],
 h_m priemerná hrúbka triesky [mm],
 m_c opravný súčiniteľ pre danú h_m ,
 γ_0 uhol čela [$^\circ$].

$$h_m = f_n \times \sin(\kappa_r) \quad (3.7)$$

- Kde: h_m priemerná hrúbka triesky [mm],
 f_n posuv na otáčku [mm],
 κ_r uhol nastavenia hlavného ostria nástroja [$^\circ$].

Frézovanie

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{6 \cdot 10^5} \quad (3.8)$$

Kde: P_c rezný výkon [mm],
 a_p axiálna šírka záberu hlavného ostria nástroja [mm],
 a_e radiálna šírka záberu hlavného ostria nástroja [mm],
 v_f posuvová rýchlosť [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$],
 k_c merná rezná sila [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$].

Výpočet k_c je rovnaký ako pri sústružení.

$$h_m = \frac{360 \times \sin(\kappa_r) \times a_e \times f_z}{\pi \times D_{cap} \times \arccos(1 - \frac{2 \times a_e}{D_c})} \quad (3.9)$$

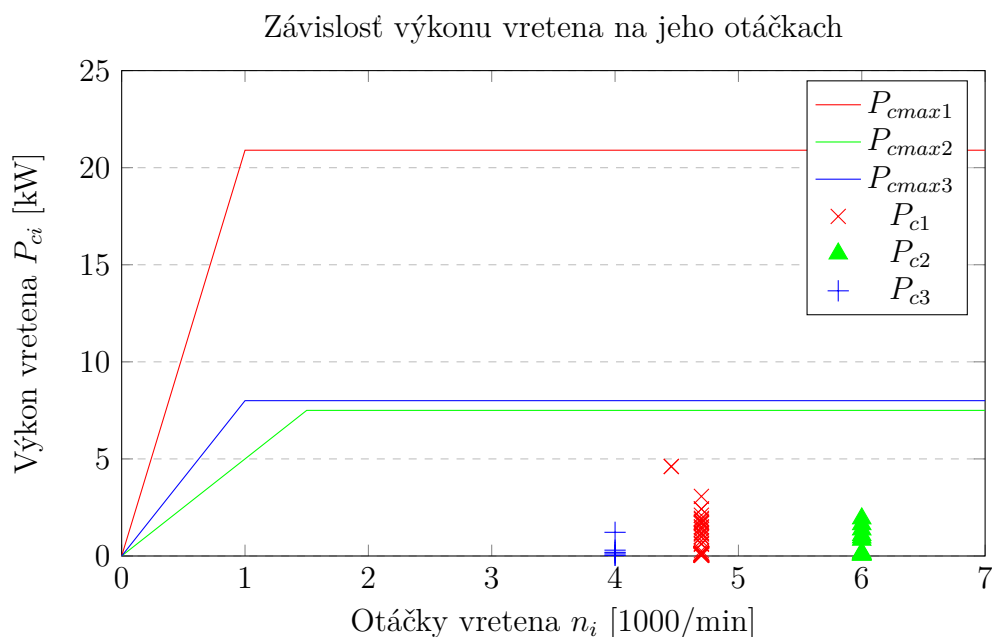
Kde: h_m priemerná hrúbka triesky [mm],
 κ_r uhol nastavenia hlavného ostria nástroja [$^\circ$],
 a_e radiálna šírka záberu hlavného ostria nástroja [mm],
 f_z posuv na zub [mm],
 D_c rezný priemer [mm],

Vrtanie

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times D_c \times k_c}{24 \cdot 10^4} \quad (3.10)$$

$$k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin(\kappa_r))^{-m_c} \times (1 - \frac{\gamma_0}{100}) \quad (3.11)$$

Na obr. 3.19 sú znázornené vypočítané hodnoty potrebného rezného výkonu a zakreslené do grafu. Krivky S1, S2 a S3 predstavujú maximálny rezný výkon pri konkrétnych otáčkach hlavného vretena S1, protivretena S2 a nástrojového vretena S3. Maximálne otáčky týchto vretien sú $n_{max1} = 4700 \text{ min}^{-1}$, $n_{max2} = 6000 \text{ min}^{-1}$ a $n_{max3} = 4000 \text{ min}^{-1}$. Maximálne rezné výkony pre jednotlivé vretená sú $P_{cmax1} = 20,9 \text{ kW}$, $P_{cmax2} = 7,5 \text{ kW}$ a $P_{cmax3} = 8 \text{ kW}$. Z grafu vyplýva, že pri žiadnej operácii nedošlo k prekročeniu maximálneho rezného výkonu pre dané vreteno. Pri väčšine operácií nedokážeme využiť naplno výkonnostný potenciál stroja. Podľa (3.5, 3.8 a 3.11) je rezný výkon závislý na v_c . Rezná rýchlosť je zase podľa (3.4) závislá na otáčkach vretena n_i . Vzhľadom na to, že vreteno nedokáže vyvinúť potrebné otáčky na dosiahnutie reznej rýchlosti udanej výrobcom, musíme používať menšie otáčky a tým pádom dosahujeme menšiu hodnotu v_c . V tabulke, ktorá je súčasťou prílohy M, sú vypočítané hodnoty rezného výkonu pre rezné rýchlosti udané výrobcom nástrojov ale aj pre reálne dosiahnuteľné rezné rýchlosti vzhľadom na parametre stroja [45].



Obr. 3.19: Graf závislosti výkonu vřetena na jeho otáčkách

3.3 Technologický postup výroby

Výrobu jednotlivých komponentov zostavy MTB náboja môžeme rozdeliť do dvoch kategórii. Prvou je výroba: vonkajšej prachovky, vnútornej prachovky, redukcie pre $\varnothing 15$ mm os a redukcie pre $\varnothing 20$ mm os. Druhou kategóriou je výroba náboja. Uvedené členenie je vytvorené na základe tvarovej a veľkostnej podobnosti jednotlivých komponentov. Detailné technologické postupy výroby sú súčasťou príloh H až L.

3.3.1 Technologický postup výroby prachoviek a redukcií

Komponenty patriace do prvej kategórie sa vyrábajú z tyčového polotovaru, ktorý je vcelku umiestnený v hlavnom vřetene CNC sústruhu. Vzhľadom na to, že sa jedná o súčiastky z pomernej krátkou celkovou dĺžkou (dĺžka vnútornej prachovky je iba 4,9 mm), je výhodnejšie tieto súčiastky obrábať z nedeleného polotovaru. V prípade, že by bol polotovar delený v predchádzajúcej operácii, nastal by problém s upnutím jednotlivých prírezov polotovaru. Polotovar je upnutý v trojčelustovom skľučovadle.

Prvou operáciou je zarovnanie čelnej plochy polotovaru, následne dochádza k sústruženiu vonkajšej kontúry na válcovej ploche polotovaru. Ďalšou operáciou je vrtanie centrálného otvoru, dokončenie vonkajšej kontúry a čelnej plochy. Vnútorňý otvor je v závislosti na súčiastke hrubovaný a následne dokončený. Po obrobení pravej strany, protivreteno povytiahne obrobok z hlavného vřetena a dôjde k upichnutiu obrobku. Obrobok je upnutý v trojčelustovom skľučovadle s nasadenými mäkkými čelustami. Na záver sa presústruží ľavé čelo polotovaru upnutého v protivretene. Po odobratí hotového obrobku sa môže proces spustiť od začiatku.

3.3.2 Technologický postup výroby náboja

Polotovár pre výrobu náboja je rovnako ako v predchádzajúcom prípade upnutý vcelku v trojčelustovom skľučovadle v hlavnom vretene. Prvou operáciou je hrubovacie sústruženie čela. Obrábanie vonkajšej valcovej plochy polotovaru pozostáva z troch častí. Najprv dochádza k obrobeniu vonkajším sústružníckym nožom s VRD tvaru C. Následne je zvyškový materiál obrábaný ponorným sústružením¹ vonkajším zapichovacím nožom s VRD, ktorá ma prispôsobenú geometriu pre sústruženie. Následne je vonkajšia kontúra dokončená rovnakým nožom. Dokončenie čelnej plochy je nutné spraviť pred vrtaním dier určených pre závit na uchytenie brzdového kotúča a frézovaním príruby, na upevnenie kotúča. Pokiaľ by sa dokončovalo čelo až po frézovaní príruby jednalo by sa o prerušovaný rez, ktorý ma negatívny vplyv na trvanlivosť VRD. Ďalším krokom je vrtanie dier $\varnothing 4,2$ mm a rezanie závitú M5. Následne dochádza k frézovaniu príruby pre brzdový kotúč a frézovaniu držiaku špicov na pravej strane. Obe dve frézovacie operácie pozostávajú z: hrubovanie frézou $\varnothing 12$ mm, zvyškové hrubovanie frézou $\varnothing 6$ mm a dokončenie rovnakou frézou. Výroba dier pre špice pozostáva z troch krokov. Ako prvá je vyfrézovaná plocha ležiaca na rovine kolmej k osi diery. Táto predfrézovaná plocha slúži k tomu, aby vrták $\varnothing 2,5$ mm vrtal do kolmej plochy a nie naklonenej roviny. V prípade, že by vrták vrtal do šikmej plochy mohlo by dôjsť k jeho poškodeniu alebo vzniku otvoru s nevyhovujúcimi rozmermi. V nasledujúcom kroku vrták $\varnothing 4,5$ mm vytvorí kuželové zahĺbenie otvoru. Následne je obrábaný stredový otvor a sústruženie vnútornej kontúry s osadením pre ložisko a prachovku. Vnútorň otvor je obrábaný až po obrobení vonkajšej kontúry a vonkajšom frézovaní z dôvodu tuhosti. V opačnom prípade by bol obrobok zbytočne namáhaný na ohyb.

Po obrobení pravej strany dochádza k upnutiu obrobku do protivretena osadeného mäkkými čelustami, jeho povytiahnutiu a upichnutiu. Náboj je upnutý za držiak špicov $\varnothing 55$ mm a zároveň je opretý už o obrobené čelo. Prvou operáciou v protivretene je presústruženie čela. Následne dochádza k frézovaniu držiaku na špice, frézovaniu plôch a vrtaniu dier pre špice. Na záver sa obrobí vnútorná kontúra s dosadacími plochami pre ložisko a prachovku. Po odobratí hotového obrobku sa môže obrábanie spustiť od začiatku.

¹Ponorné sústruženie je výhodnejšie z hľadiska času obrábania v porovnaní so sústružením viacnásobným zapichovaním [43].

4 Tvorba CNC programu

Programy pre všetky navrhnuté komponenty zostavy MTB náboja sú naprogramované v prostredí programGuide riadiaceho systému Sinumerik 840D sl vo verzii 4.8 SP2. Programy sú zostavené vo softvéri SinuTrain. Program a jednotlivé podprogramy sú súčasťou príloh N až S.

4.1 Prehľad príkazov

V tejto podkapitole sú uvedené vybrané príkazy použité pri programovaní obrábania.

Úvodné nastavenie

Počiatkové nastavenie, zobrazené na výpis 4.1, je rovnaké pre všetky programy, rozdiel je v použitom polotovare.

Výpis 4.1: Časť výpisu programu pre úvodné nastavenie

```
1 g90 g54 diamon g71 g95 g18
2 ;*****
3 WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,1,-130,-90,60)
```

Na prvom riadku sú zadané základné nastavenia určené pre celý program. Príkaz *g90* znamená absolútne programovanie, *g54* definovanie nulového bodu obrobku, kód *diamon* nastavuje priemerové programovanie X-ovej súradnice, *g71* predstavuje programovanie v metrických jednotkách, *g95* je posuv v [mm] a *g18* obrábanie v rovine X-Z.

Transmit a Mcall

Na výpis 4.2 je uvedený zdrojový kód využitia funkcie *Transmit* a funkcie *Mcall*. Funkcia *Transmit* umožňuje obrábať na čelnej ploche polotovaru aj mimo os Z. Jedná sa o vrtanie, rezanie závitov a frézovanie. Polohovanie rotačnej osi S1 riadi funkcia *Transmit*. Programátor definuje polohovanie a rezné podmienky poháňaného rotačného nástroja upnutého v nástrojovej hlave.

Funkcia *Mcall* slúži na zopakovanie cyklu na vopred definovaných polohách. Funkcia je ukončená až po vykonaní cyklu na všetkých nadefinovaných polohách.

Výpis 4.2: Časť výpisu programu pre funkciu Transmit a Mcall

```
1 msg("vrtanie fi4,2")
2 T="SD203A-C45-4.2-13.6-6R1"D1
3 g0 x50 z10
4 setms(3)
5 transmit
6 g96 s345 LIMS=4000 f0.2 m3=3 m8
7 MCALL CYCLE82(10,0.1,1,,14.1,0.6,10,1,11)
8 HOLES2(0,0,22,90,30,6,1010,0,,1)
9 mcall
10 g18
11 trafoof
12 g0 x140 z50 m3=5 m9
```

Riadok 4 zvolí ako hlavné vreteno nástrojové vreteno S3. Zapnutie funkcie *Transmit* je zobrazené na riadku päť. Nasledujúci riadok predstavuje obrábanie konštatnou reznou

rýchlostou $345 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, otáčky hlavného vretena sú obmedzené príkazom *LIMS* na hodnotu 4000 min^{-1} , posuv na otáčku je $0,2 \text{ mm}$, príkaz $m3 = 3$ zapne otáčky nástrojového vretena v smere hodinových ručičiek a posledný príkaz $m8$ zapne prívod reznej kvapaliny. Zapnutie funkcie *Mcall* spolu s definovaním obrábacieho cyklu je v riadku 7, v našom prípade sa jedná o vrtanie dier pre závit M5. V nasledujúcom riadku sú príkazom *HOLE\$2* definované polohy dier ležiace na kružnici. Nasledujúce riadky vypínajú funkciu *Mcall*, definujú obrábanie v rovine X-Z kódom *g18* a vypnutie funkcie *Transmit* príkazom *Trafoof*. Posledný riadok predstavuje pohyb nástroja rýchloposuvom, vypnutie otáčok nástrojového vretena príkazom $m3 = 5$ a vypnutie prívodu reznej kvapaliny.

Repeat a obrábanie Y osou

Funkcia *Repeat* umožňuje zopakovať niekoľko riadkov kódu. V našom prípade dochádza k natočeniu hlavného vretena S1 po vykonaní cyklu vrtania. Výpis 4.3 zobrazuje použitie funkcie *Repeat* a obrábanie Y osou.

Výpis 4.3: Časť výpisu programu pre funkciu Repeat a obrábanie Y osou

```

1 msg("frezovanie plosky1")
2 spos[1]=0
3 T="2S221-0400-030-NG"D1
4 g0 z-21.8 x30 y23.5
5 setms(3)
6 g19
7 g96 s270 LIMS=4000 f.04 m3=3 m8
8 spos[1]=IC(10)
9 BEGIN1:
10 CYCLE82(25,4,0.5,,3,0.6,0,3,11)
11 spos[1]=IC(60)
12 REPEAT BEGIN1 P=5
13 g0 z-22 x50 y23.5

```

Druhý riadok napolohuje hlavné vreteno S1 do uhlovej polohy 0° . Riadok 4 napolohuje nástroj nad frézovanú kapsu. Nasledujúci riadok nastaví nástrojové vreteno S3 ako hlavné vreteno. V ďalšom riadku zapneme rovinu Y-Z kódom *g19*. Riadok 8 natočí vreteno S1 inkrementálne o 10° v smere hodinových ručičiek. V nasledujúcom riadku nadefinujeme označenie štartu funkcie *Repeat*. V našom prípade sa jedná o názov *BEGIN1*. Desiaty riadok predstavuje frézovanie plochy určenej pre vrtanie dier pre špice. Po vyfrézovaní plochy dochádza k inkrementálnemu natočeniu vretena S1 o 60° v smere hodinových ručičiek. Riadok 13 predstavuje samotnú funkciu *Repeat*. Dôjde k opakovaniu riadkov 10–11 v celkovom počte $5 \times$.

Protivreteno

V nasledujúcom výpise je zobrazená časť kódu, ktorá riadi prechytenie obrobku do protivretena S2, upichnutie obrobku a stanovuje vstupné parametre pre obrábanie v protivretene S2.

Výpis 4.4: Časť výpisu programu pre funkciu Protivreteno

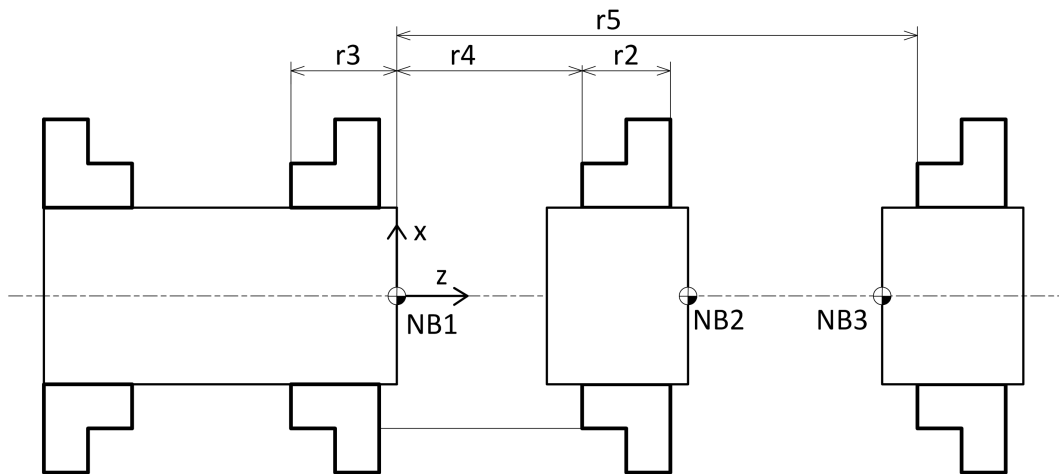
```

1  msg("protivreteno")
2  r2=50
3  r3=41
4  r4=43
5  r5=250
6  ;*****
7  msg("Prechytenie suciastky do protivretena")
8  M3 s100 M2=4 s2=100
9  Coupdef(S2,S1,1,-1,"fine","Dv")
10 SPCON
11 Spcon(2)
12 Coupon(S2,S1)
13 M61
14 g0 z2=r2+25
15 g94 g1 f500 z2=r2-r3
16 M20
17 g4 f1
18 M11
19 g4 f1
20 g1 f500 z2=r2+r4
21 g95
22 M10
23 atrans z=r3+r4
24 ;*****
25 msg("Upichnutie")
26 T="N123F55-25A2"D1
27 g0 z-89.2
28 g0 x60
29 CYCLE92(39.5,-80.2,27,24,0,1,1500,4700,3,0.1,0.07,200,0.2,0,,2,
30 11000)
31 g0 x100
32 g0 x140 z50
33 M5 M2=5 M9
34 ;*****
35 coupof(S2,S1)
36 spcof
37 spcof(2)
38 coupdel(S2,S1)
39 ;*****
40 WORKPIECE(,,,"NONE",0)
41 WORKPIECE(,,,"PIPE",12544,1,80.2,-40.2,55,25)
42 ;*****
43 g0 z2=r2+r3+r4+r5
44 atrans z=r3+r5-79.5
45 ;*****
46 msg("hrubovanie druhej strany")

```

Riadky 2–5 definujú parametre pre polohovanie protivretena. Jednotlivé parametre sú znázornené na obr. 4.1. $R2$ reprezentuje rozmer skľučovadla, $r3$ je hĺbka zasunutia

obrobku do protivretena, r_4 je vzdialenosť odjazdu s protivretenom z dôvodu upichovania a parameter r_5 predstavuje vzdialenosť, pri ktorej dochádza k obrábaniu ľavej strany obrobku. Ich vzájomnou kombináciou stanovujeme Z súradnicu protivretena a transformujeme nulový bod obrobku.



Obr. 4.1: Schéma znázorňujúca parametre r_2 – r_5

Riadok 8 definuje smer otáčania jednotlivých vretien a ich rýchlosť. Nasledujúci riadok definuje väzbu medzi synchronnými vretienami S1 a S2. Čísla 1 a -1 predstavujú pomer otáčok medzi hlavným vretenom S1 a pomocným vretenom S2. Parameter *fine* znamená jemný prechod na ďalší blok. Príkazy *Spcon* a *Spcon(2)* prepínajú vretená z režimu riadenia otáčok do režimu riadenia polohy. Príkaz *Coupon* aktivuje synchronnú väzbu medzi hlavným vretenom S1 a protivretenom S2. Príkaz *M61* zapne ofukovanie pravého vretena vzduchom, ktoré sa ukončí automaticky po cca 3 sek. Riadok 15 predstavuje zasunutie obrobku do protivretena posuvom $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Riadky 16–22 postupne definujú zatvorenie skľučovadla protivretena, prestávka 1 s, otvorenie skľučovadla hlavného vretena, prestávka 1 s, odjazd protivretenom, prepnutie posuvu z $[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ na $[\text{mm}]$ a zatvorenie skľučovadla hlavného vretena.

Riadok 23 transformuje nulový bod obrobku do miesta *NB2* vyznačeného na obr. 4.1. Následne dochádza k upichnutiu polotovaru. Riadok 35 vypne synchronizáciu hlavného vretena S1 a protivretena S2. Príkaz *Spcof* a *Spcof(2)* prepne vretená z režimu riadenia polohy naspäť do režimu riadenia otáčok. Príkaz *Coupdel* vymaže väzbu medzi hlavným vretenom a protivretenom. Riadok 40 vymaže obrobku v hlavnom vretene. Nasledujúci riadok nasimuluje polotovar v tvare trubky, ktorý je upnutý v protivretene.

Riadok 43 napolohuje protivreteno do pozície určenej pre obrábanie ľavej strany obrobku. Nasledujúci riadok transformuje nulový bod obrobku na ľavé čelo do miesta *NB3* vyznačeného na obr. 4.1. Po transformácii dochádza k obrábaniu ľavej strany obrobku.

Ukončenie programu

Na výpis 4.5 môžeme vidieť poslednú časť programu.

Výpis 4.5: Časť výpisu programu pre koniec programu

```

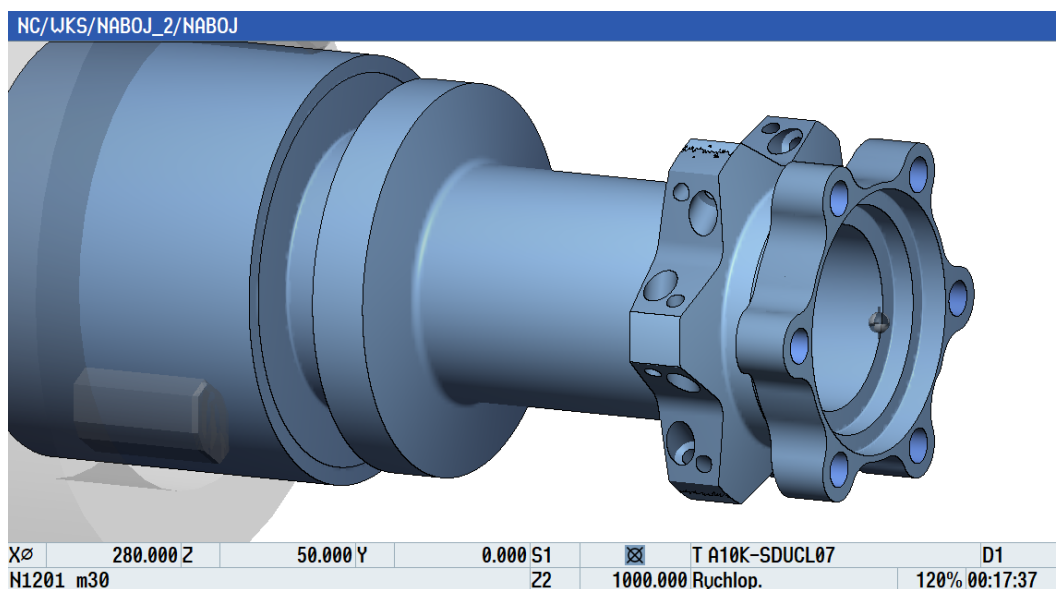
1  atrans z=-r3-r4-r3-r5+79.2
2  ;*****
3  M21
4  M61
5  g0 z2=500
6  ;*****
7  M30

```

Prvý riadok transformuje nulový bod na pôvodnú polohu nulového bodu *NB1* vyznačeného na obr. 4.1. Príkaz *M21* otvorí sklučovadlo protivretena, *M61* zapne vzduchové ofukovanie pravého sklučovadla po ukončení ofukovania odíde protivretno do polohy $z2=500$. Samotný program je ukončený príkazom *M30*.

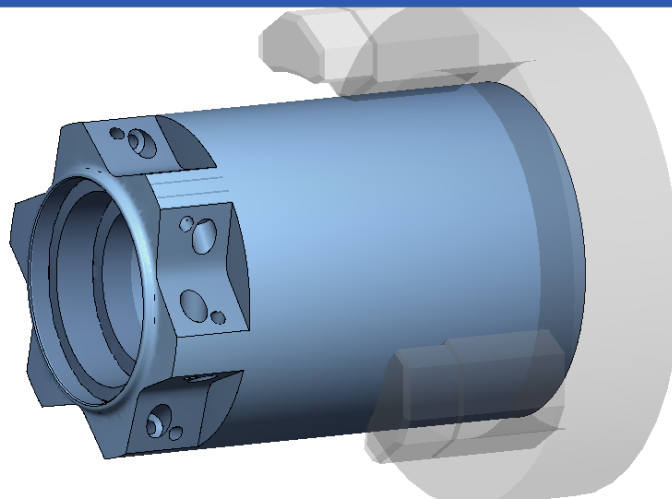
4.2 Simulácia

Na obr. 4.2–7 sú znázornené simulácie obrábania jednotlivých komponentov zostavy MTB náboja. Simuláciou môžeme odladiť nedostatky naprogramovaného kódu. Môžeme si zapnúť dráhy jednotlivých nástrojov a skontrolovať, či nedochádza ku kolízií nástroju s obrobkom alebo strojom. Taktiež môžeme eliminovať zbytočné dlhé dráhy nájazdov a prejazdov nástroja. Pri simulácii je farebne odlíšený pohyb rýchloposuvom *g0* a samotné obrábanie kódom *g1*, poprípade cyklom. Na zobrazených obrázkoch sú dráhy nástroja potlačené z dôvodu prehľadnosti obrázku.



Obr. 4.2: Simulácia obrábania pravej strany náboju.

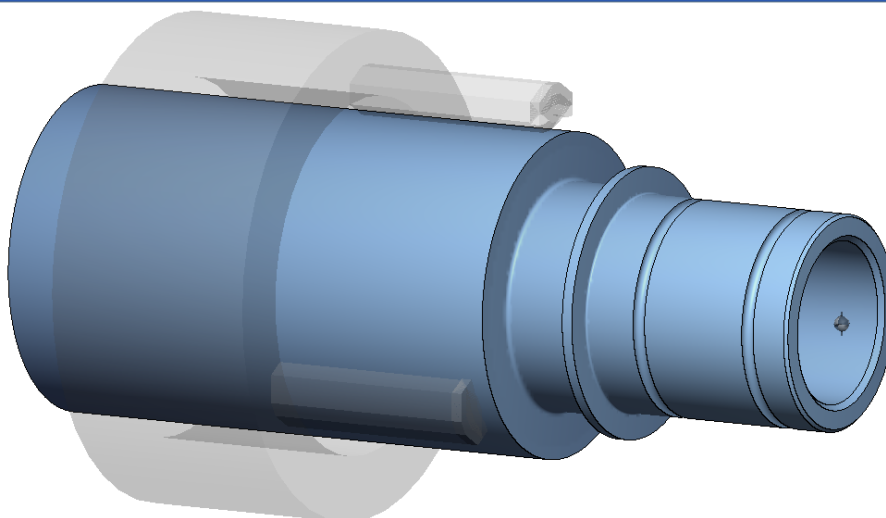
NC/WKS/NABOJ_2/NABOJ



X∅	280.000 Z	50.000 Y	0.000 S2	<input checked="" type="checkbox"/> T A10K-SDUCR07	D1
N2186 m30			22	384.000 Rychlop.	120% 00:28:17

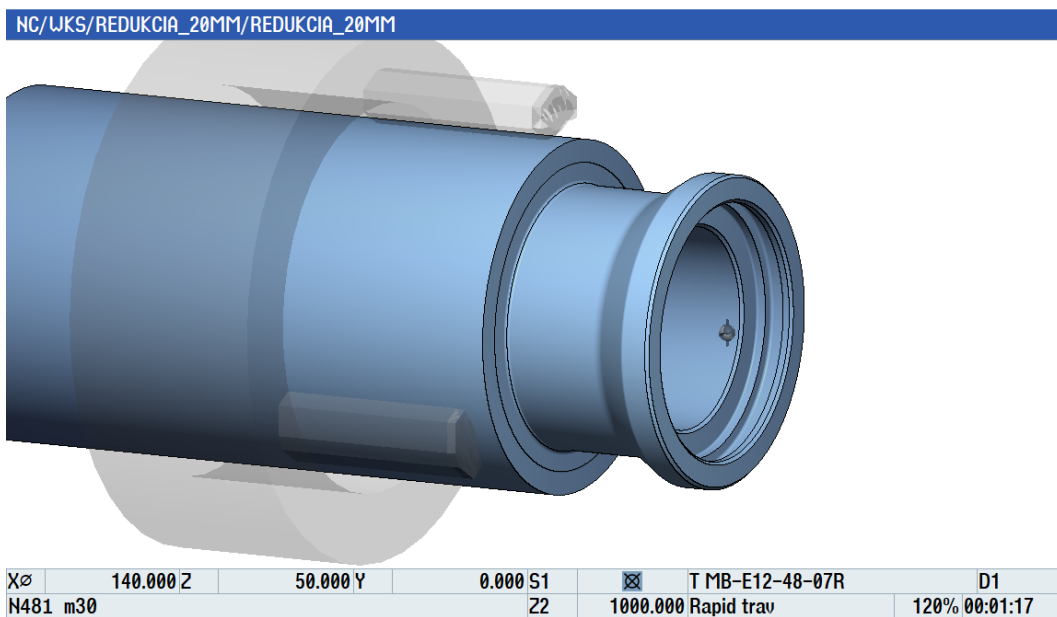
Obr. 4.3: Simulácia obrábania ľavej strany náboju.

NC/WKS/REDUKCIA_15MM/REDUKCIA_15MM

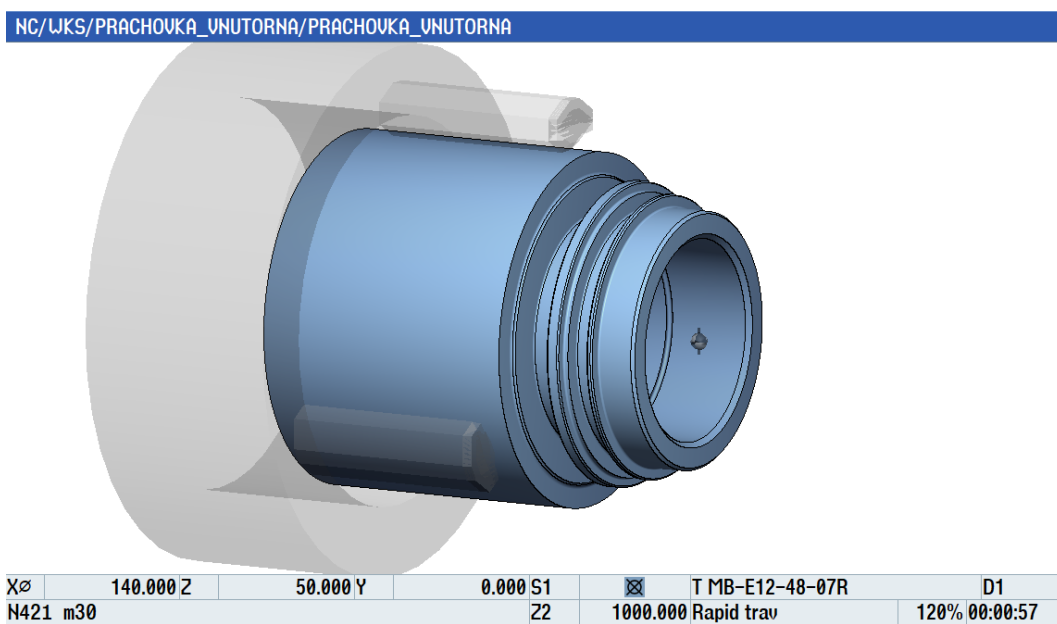


X∅	140.000 Z	50.000 Y	0.000 S1	<input checked="" type="checkbox"/> T MB-E12-48-07R	D1
N406 m30			22	1000.000 Rapid trav	120% 00:01:23

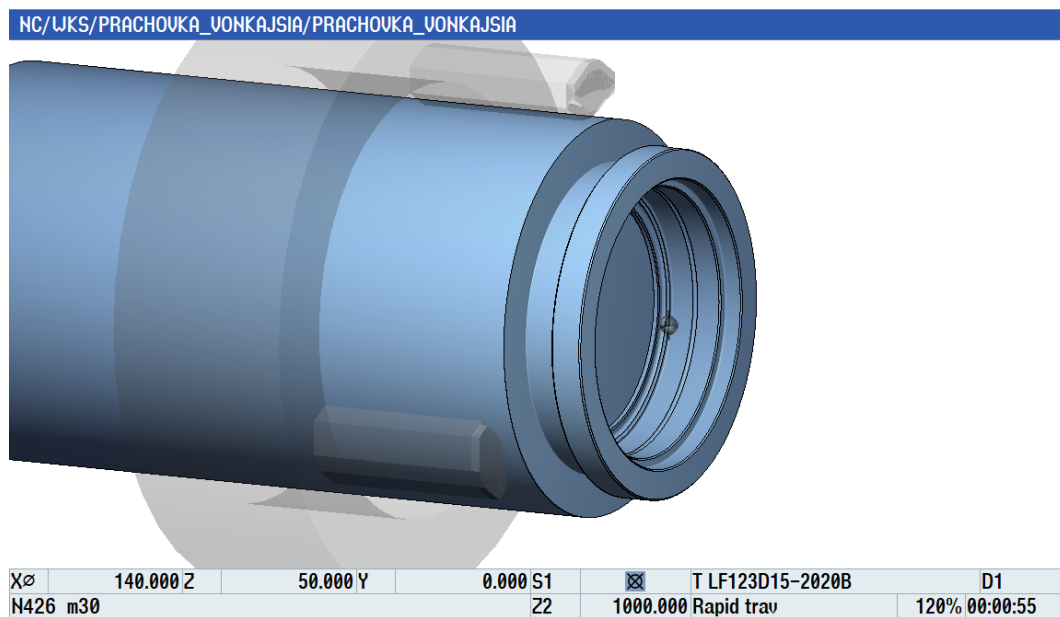
Obr. 4.4: Simulácia obrábania redukcie na 15 mm os.



Obr. 4.5: Simulácia obrábania redukcie na 20 mm os.



Obr. 4.6: Simulácia obrábania vnútornej prachovky.



Obr. 4.7: Simulácia obrábania vonkajšej prachovky.

V nasledujúcej tabuľke sú časy obrábania jednotlivých komponentov zostavy MTB náboja uvedené v minútach. Jednotlivé časy boli získané simuláciou navrhnutých NC kódov v programe SinuTrain.

Tab. 4.1: Celkové časy obrábania jednotlivých komponentov.

Obrobok	Čas obrábania
	[min]
Náboj	28:18
Redukcia 15 mm	2:14
Redukcia 20 mm	2:04
Prachovka vnútorná	1:43
Prachovka vonkajšia	1:38

5 Technicko-ekonomické zhodnotenie

V tab. 4.1 sú uvedené jednotlivé časy obrábania pre všetky komponenty zostavy MTB náboja. Podľa času obrábania môžeme tieto komponenty rozdeliť do dvoch skupín: náboj a ostatné komponenty. Jednotlivé redukcie a prachovky majú približne rovnaký čas obrábania v porovnaní s nábojom. U uvedeného vyplýva, že v prípade snahy o zníženie času obrábania jednotlivých komponentov sa ako najlepší kandidát javí samotný náboj.

V tab. 5.1 sú znázornené dva varianty navrhutej technológie výroby náboja. Medzi časovo najnáročnejšie operácie pôvodnej varianty patria operácie:

- frézovanie príruby pre brzdový kotúč,
- dokončovanie príruby pre brzdový kotúč,
- frézovanie držiaku špicov,
- dokončovanie držiaku špicov,
- frézovanie plôch pre špice,
- vrtanie dier $\varnothing 2,5$.

Všetky uvedené operácie s výnimkou vrtania dier $\varnothing 2,5$ boli upravené a ich čas obrábania sa znížil. Operácia, pri ktorej sa zhotovujú otvory $\varnothing 2,5$ nebola upravená. Dôvodom je, že v tejto operácii sa používa nástroj pomerne malého priemeru, ktorý vyžaduje nízke hodnoty posuvu a reznej rýchlosti. Čas obrábania nie je možné zmeniť poprípade upraviť voľbou iného nástroja alebo obrábacieho cyklu. Pri tejto operácii sme limitovaný hlavne maximálnymi otáčkami nástrojového vretena. Zníženie výrobného času by bolo možné pri použití stroja s väčšími maximálnymi otáčkami.

Pôvodný variant bol úpravou niektorých nástrojov a zmenou obrábacích cyklov upravený do novej podoby. V prípade frézovania príruby pre brzdový kotúč a držiaku špicov na pravej a ľavej strane obrobku došlo k pridaniu ďalšej stopkovej frézy $\varnothing 12$. Uvedený nástroj nahradil pôvodný nástroj $\varnothing 6$ pri hrubovacej operácii. Zmena umožňuje použitie vyšších hodnôt a_p , a_e a f_z . Pôvodná stopková fréza $\varnothing 6$ sa používa už len na dohrubovacie a dokončovacie operácie danej kontúry. Rovnako došlo k pridaniu obrábacieho cyklu. Zvyškové hrubovanie využíva cyklus *CYCLE72*: frézovania po kontúre. Hrubovací a dokončovací cyklus zostal nezmenený. Uvedené zmeny zabezpečili výraznú úsporu obrábacieho času.

Ďalšie zmeny nastali pri frézovaní plôch pre špice. Pôvodná stopková fréza $\varnothing 3$ bola nahradená rovnakou frézou $\varnothing 4$. Cyklus *POCKET4*: frézovanie kapsy bol nahradený cyklom *CYCLE82*: vrtanie. Pôvodná časovo náročná operácia sa nahradila jednoduchším cyklom a nástrojom s väčším priemerom.

Uvedené zmeny mali za následok skrátenie celkového obrábacieho času z pôvodných 43:59,4 min na 28:18 min.

Tab. 5.1: Porovnanie časov obrábania jednotlivých operácií.

Operácia	Pôvodný variant [min]	Upravený variant [min]
<i>Obrábanie pravej strany</i>		
hrubovanie čela	0:07,49	0:07,49
vonkajšie hrubovanie	0:26,58	0:26,58
vonkajšie zvyškové hrubovanie	0:51,1	0:51,1
vonkajšie dokončovanie	0:21,76	0:21,76
dokončovanie čela	0:06,46	0:06,46
vrtanie dier $\varnothing 4,2$	0:21,24	0:21,24
rezanie závitů M5	0:43	0:43
hrubovanie príruby pre kotúč	5:06	2:17,6
zvyškové hrubovanie príruby pre kotúč	-	1:13,2
dokončovanie príruby pre kotúč	2:22	1:11,8
hrubovanie držiaku špicov	3:13,3	1:47,7
zvyškové hrubovanie držiaku špicov	-	1:13,8
dokončovanie držiaku špicov	1:25,3	1:14,09
frézovanie plôch pre špice	6:20,2	1:01,5
vrtanie dier $\varnothing 2,5$	3:10,5	3:10,5
vrtanie kuželového zahĺbenia $\varnothing 4,5$	0:21,4	0:21,4
vrtanie $\varnothing 25$	0:49,7	0:49,7
vnútorné hrubovanie	0:10,1	0:10,1
vnútorné dokončovanie	0:09,85	0:09,85
upichnutie a synchronizácia vretien	0:45,66	0:45,66
<i>Obrábanie ľavej strany</i>		
hrubovanie čela	0:05,54	0:05,54
dokončovanie čela	0:06,3	0:06,3
hrubovanie držiaku špicov	4:18	1:59,9
zvyškové hrubovanie držiaku špicov	-	1:13,4
dokončovanie držiaku špicov	2:13	1:13,3
frézovanie plôch pre špice	6:20,2	1:01,8
vrtanie dier $\varnothing 2,5$	3:10,7	3:10,7
vrtanie kuželového zahĺbenia $\varnothing 4,5$	0:21,7	0:21,7
vnútorné hrubovanie	0:16,5	0:16,5
vnútorné dokončovanie	0:10,42	0:10,42
Celkový čas obrábania	43:59,4	28:18

Počet obrobých obrobkov do výmeny konkrétneho nástroja alebo VRD vypočítame podľa vzťahu (5.1). Trvanlivosť ostria VRD je $T_{rh} = 15$ min, trvanlivosť monolitných fréz zo spekaných karbidov $T_{rh} = 45$ min a trvanlivosť závitníku $T_{rh} = 45$ min. Všetky VRD majú dve ostria okrem MB doštičiek, ktoré majú jedno ostrie. Vítacie VRD majú štyri ostria. Monolitné frézy je možno po opotrebení ostria znova nabrúsiť a ďalej používať. Závitník nie je možné nabrúsiť.

$$N_v = \frac{T_{rh} \times N_o \times 60}{t_{AS}} \quad (5.1)$$

Kde: N_v počet obrobkov do výmeny nástroja alebo VRD [-],
 T_{rh} trvanlivosť ostria VRD alebo trvanlivosť nástroja [min],
 N_o počet ostrí VRD [-],
 t_{AS} strojný čas [s].

Jednotlivé hodnoty počtu vyrobených komponentov zostavy MTB náboja sú uvedené v tab. 5.2–6. Pri výrobe redukcií a prachoviek je potrebné ako prvú vymeniť upichovaciu VRD pri nástroji LF123D17-1616B-S. Životnosť tejto VRD skončí po obrobení 104 ks redukcií na 15 mm os. Tento počet odpovedá približne 4 hodinám obrábania. Po dvoch hodinách je potreba otočiť VBD a začať používať druhé ostrie.

Pri obrábaní náboja sa najrýchlejšie opotrebuje vrták 862.1-0250-030A1-GM a to po obrobení 7 ks. Toto množstvo odpovedá približne 3,5 hod obrábania. Po obrobení 9. a 11. ks dôjde k opotrebeniu ďalších dvoch nástrojov 2S221-1200-150-NG-L a 2S221-0600-100-NG-L. Výhodnejšie je vymeniť uvedené nástroje naraz po obrobení 7. ks (3,5 hod odpovedá približne polovici 8 hod výrobnéj zmeny). Ďalšou alternatívou je použitie viacerých rovnakých nástrojov v zásobníku nástrojov.

Tab. 5.2: Počet obrobých redukcií na 15 mm osu do výmeny nástroja.

Nástroj	t_{AS} [s]	T_{rh} [min]	N_o [-]	N_v [-]
SCLCL2020K09HP	10,24	15	2	175
880-D1450C4-03	26,25	15	4	137
SVJBL2020K11	5,77	15	2	312
A10K-SDUCL07	4,58	15	2	293
GH305.2020.125.00.04L	1,77	15	3	1525
QS-LF123G20C2020F	9,15	15	2	196
MB-E12-48-07R	1,34	15	1	671
LF123D17-1616B-S	17,18	15	2	104
SCLCR2020K09HP	0,93	15	2	1935
SVJBR2020K11	1,83	15	2	983

Tab. 5.3: Počet obrobeneých redukcí na 20 mm osu do výmeny nástroja.

Nástroj	t_{AS} [s]	T_{rh} [min]	N_o [-]	N_v [-]
SCLCL2020K09HP	7,47	15	2	241
LF123G20-2020B	4,88	15	2	368
880-D1950C4-03	14,46	15	4	249
A12M-SCLCL06	3,40	15	2	529
A10K-SDUCL07	3,57	15	2	504
SVJBL2020K11	3,82	15	2	471
MB-E12-24-07R	8,23	15	1	109
MB-E12-48-07R	1,26	15	1	714
LF123D17-1616B-S	14,02	15	2	128
SCLCR2020K09HP	0,94	15	2	1914
SVJBR2020K11	1,19	15	2	1512

Tab. 5.4: Počet obrobeneých vnútorných prachoviek do výmeny nástroja.

Nástroj	t_{AS} [s]	T_{rh} [min]	N_o [-]	N_v [-]
SCLCL2020K09HP	10,80	15	2	166
880-D1450C4-03	6,18	15	4	582
A10K-SDUCL07	2,98	15	2	604
SVJBL2020K11	4,11	15	2	438
LF123D15-2020B	7,56	15	3	238
MB-E12-48-07R	1,28	15	1	703
LF123D17-1616B-S	13,93	15	2	129
SCLCR2020K09HP	1,53	15	2	1176
SVJBR2020K11	1,38	15	2	1304

Tab. 5.5: Počet obrobených vonkajších prachoviek do výmeny nástroja.

Nástroj	t_{AS} [s]	T_{rh} [min]	N_o [-]	N_v [-]
SCLCL2020K09HP	4,25	15	2	423
880-D1950C4-03	7,93	15	4	454
A12M-SCLCL06	2,95	15	2	610
A10K-SDUCL07	2,29	15	2	786
SVJBL2020K11	3,35	15	2	537
MB-E12-48-07R	1,21	15	1	743
LF123D15-2020B	6,15	15	2	292
LF123D17-1616B-S	11,09	15	2	162
SCLCR2020K09HP	0,93	15	2	1935
SVJBR2020K11	1,70	15	2	1058

Tab. 5.6: Počet obrobených nábojov do výmeny nástroja.

Nástroj	t_{AS} [s]	T_{rh} [min]	N_o [-]	N_o [-]
SCLCL2020K09HP	26,01	15	2	69
LF123G20-2020B	67,66	15	2	26
SVJBL2020K11	4,02	15	2	447
SD203A-C45-4.2-13.6-6R1	19,57	45	1	138
E448M5	40,89	45	1	66
2S221-1200-150-NG-L	241,66	45	1	11
2S221-1200-150-NG-R	107,98	45	1	25
2S221-0600-100-NG-L	289,48	45	1	9
2S221-0600-100-NG-R	144,78	45	1	18
2S221-0400-030-NG	114,22	45	1	23
862.1-0250-030A1-GM	375,18	45	1	7
860.1-0450-036A1-NM	34,80	45	1	77
880-D2500C5-4	45,88	15	1	78
A12M-SCLCL06	6,69	15	2	269
A10K-SDUCL07	6,64	15	2	271
N123F55-25A2	17,74	15	2	101
SCLCR2020K09HP	1,30	15	2	1384
SVJBR2020K11	1,71	15	2	1052
A12M-SCLCR06	6,26	15	2	287
A10K-SDUCR07	5,67	15	2	317

Záver

Predložená práca je zameraná na návrh technológie výroby predného náboja na horský bicykel. Súčasťou práce je návrh vlastného konštrukčného riešenia. Navrhnutý náboj umožňuje použitie dvoch typov pevných os $\varnothing 15$ a $\varnothing 20$ mm.

Začiatok diplomovej práce je zameraný na charakteristiku riadiaceho systému Sinumerik 840D sl. a jeho porovnanie s vybranými riadiacimi systémami dostupnými na trhu. Ďalšou časťou práce je rešerš nábojov a materiálov používaných na ich výrobu. Materiál zvolený na výrobu navrhnutého predného náboja je letecká hliníková zliatina EN AW 7075 v stave T6. Tento materiál nachádza široké uplatnenie pri výrobe športových komponentov. Navrhnutý design je overený podľa metódy konečných prvkov. Náboj bol zatažený silou vzniknutou pri brzdení pôsobením brzdového strmeňa na brzdový kotúč. Maximálne redukované napätie podľa teórie HMH je 41,2 MPa. Vypočítané napätie je menšie ako medza klzu materiálu, ktorej hodnota je 500 MPa.

V návrhu technológie výroby bolo použitých 26 nástrojov pre výrobu všetkých piatich komponentov zostavy MTB náboja. Bol vytvorený NC kód, ktorý obsahuje podprogramy pre všetky jednotlivé komponenty. Kód je určený pre sústružnícke centrum SP 280 SY, ktoré sa nachádza v laboratóriách ÚST. Všetky podprogramy sú zostavené a odsimulované v softvéri SinuTrain. Programovanie prebiehalo v prostredí programGuide. Výhodou navrhnutého riešenia je použitie jedného stroja. Proces obrábania prebieha automaticky pre obe strany obrobku bez nutnosti zásahu človeka. Polotovarom je nedelený tyčový materiál.

Navrhnuté nástroje a ich doporučené rezné podmienky boli overené s výkonnosťnými charakteristikami jednotlivých vretien. Maximálny rezný výkon potrebný pre obrábania v hlavnom vretene je $P_{1max} = 4,61$ kW, vo vedľajšom vretene $P_{2max} = 1,93$ kW a v nástrojovom vretene $P_{3max} = 1,22$ kW. Všetky rezné výkony potrebné pri obrábaní navrhnutými reznými podmienkami sú menšie ako maximálne hodnoty výkonov jednotlivých vretien.

Celkové časy obrábania komponentov zostavy MTB náboja sú: *náboj* 28,3 min, *redukcia na 15 mm os* 2,23 min, *redukcia na 20 mm os* 2,07 min, *prachovka vnútorná* 1,72 min a *prachovka vonkajšia* 1,63 min.

Pôvodné riešenie bolo upravené pridaním stopkovej frézy $\varnothing 12$ mm a úpravou niektorých frézovacích cyklov. Táto zmena znížila celkový výrobný čas náboju z pôvodných 43,98 min na 28,3 min.

Hlavným obmedzením navrhnutého riešenia obrábania komponentov zostavy MTB náboja sú malé maximálne otáčky hlavného vretena a protivretena sústružníckeho centra SP 280 SY. Vzhľadom na to, že všetky komponenty sú pomerne malého priemeru potrebujeme veľké otáčky k dosiahnutiu potrebnej reznej rýchlosti odporúčanej výrobcom rezných nástrojov. Napr. v prípade sústružníckych operácií výrobca doporučuje hodnoty reznej rýchlosti až $v_c = 2000$ m \cdot min⁻¹. Reálne hodnoty dosahované v procese obrábania sú $v_c = 220-890$ m \cdot min⁻¹.

Rovnako aj pri frézovacích operáciách nedochádza k dosiahnutiu potrebnej reznej rýchlosti doporučenej výrobcom nástrojov. Maximálne otáčky nástrojového vretena sú $n_{max3} = 4000$ min⁻¹. Tento problém je možné odstrániť zaradením frézovacieho stroja do technologického postupu výroby. Tvarová zložitosť náboja neumožňuje jeho obrábanie na 3-osej frézke. Obrábanie by muselo prebiehať na 4-osom alebo 5-osom frézovacom centre. Možným problémom tohoto riešenia je potreba navrhnuť špeciálny upínací prípravok.

Ďalším zlepšením do budúcnosti je implementácia združeného nástroja $\varnothing 2,5$ mm pre vŕtanie a tvarové zahlbovanie. Navrhnutý technologický postup používa dva nástroje, ktoré by sa dali nahraďiť jedným združeným nástrojom. Použitie združeného nástroja by viedlo k nahradeniu dvoch nástrojov jedným a skráteniu výrobného času.

Možným zlepšením je použitie dvojkanálového sústružníckeho centra. Súčasné obrábanie dvoma nástrojmi by našlo uplatnenie pri niekoľkých operáciách náboja, napr. zvyškové sústruženie vonkajšej kontúry, frézovanie príruby pre brzdový kotúč a frézovanie držiaku špicov. Pri frézovacích operáciách by došlo k zmene smeru obrábania z axiálneho frézovania C-osou na radiálne frézovanie Y-osou.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] FANUC: Ovládacie prvky. *Fanuc.eu* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/sk/sk/cnc/ovládacie-prvky/cnc-control-series>
- [2] FANUC: Kto sme. *Fanuc.eu* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/sk/sk/kto-sme>
- [3] *CNC CONTROLS: Product overview*. FANUC Europe Corporation, 2018. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/sk/sk/cnc/ovládacie-prvky>
- [4] ŘÍZENÍ HAAS. In: *Haascnc.com* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/productivity/control.html>
- [5] HAAS: Ovládací simulátor. *Haascnc.com* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/machines/vertical-mills/control-simulator.html>
- [6] HEIDENHAIN: O firmě. *Heidenhain.cz* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/
- [7] KLARTEX-PORTAL: CNC controls. *Klartext-portal.com* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: <https://www.klartext-portal.com/en/cnc-controls/>
- [8] HEIDENHAIN: Programovací stanice pro řízení HEIDENHAIN. *Heidenhain.cz* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/programovaci-pracoviste/
- [9] HEIDENHAIN: CNC řízení. *Heidenhain.cz* [online]. [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/
- [10] BUSSINESSWIRE: HEIDENHAIN's CNC Pilot 640 Lathe Control Offers Exciting New Functionality. In: *Businesswire.com* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20180918005101/en/HEIDENHAIN's-CNC-Pilot-640-Lathe-Control-Offers>
- [11] MAZAK: Cesta Mazak. *Mazakeu.cz* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/o-evropskem-centru-Mazak/globalni-zavazek/>
- [12] MAZAK: CNC Technology. *Mazakusa.com* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/technology/cnc-controls/#tab-1>
- [13] ENGINEERING: Mazak to Feature New CNC at MMTS 2016. In: *Engineering.com* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/11778/Mazak-to-Feature-New-CNC-at-MMTS-2016.aspx>
- [14] SIEMENS: Obory činnosti. *Siemens.com* [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/Pages/produkty-sluzby.aspx
- [15] *SINUMERIK: Intelligent solutions for machine tools*. GERMANY, 2015.

- [16] *CHYTRÁ ŘEŠENÍ PRO OBRÁBĚCÍ STROJE: CNC řídicí systém SINUMERIK*. Česká republika, 2018.
- [17] SIEMENS: Řídicí systémy SINUMERIK 808. *Etnetera.cz* [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=ade03435f6&ctxp=home>
- [18] SIEMENS: Vlastná trieda - SINUMERIK CNC riadenie. *Siemens.com* [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/sk/sk/produkty_sluzby/industry/cnc_ridiace_systemy/cnc_riadenie/Pages/Default.aspx
- [19] SIEMENS: The powerhouse in the compact CNC class. *Siemens.com* [online]. [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/cnc-sinumerik/automation-systems/sinumerik-828.html>
- [20] AUTOMA: Komunikačný systém Profinet IO. *Automa.cz* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/komunikacny-system-profinet-io-2006_07_31231_560/
- [21] *SINUMERIK 840D sl: Open, flexible, powerful. The premium CNC for machine tools*. GERMANY, 2015.
- [22] SIEMENS: Premium class CNCs – delivering ultimate performance. *Siemens.com* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/cnc-sinumerik/automation-systems/sinumerik-840.html>
- [23] SIEMENS: Premium class CNCs – delivering ultimate performance. In: *Siemens.com* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/se/sv/home/produkter/industriautomation/systems/sinumerik-tjanster-for-verktygsmaskiner/automation-systems/sinumerik-840.html>
- [24] *SinuTrain - the control-identical NC-programming station*. Germany, 2016.
- [25] Pinkbike. In: *Pinkbike.com* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/photo/17005609/>
- [26] DT SWISS: 240S CLASSIC. In: *Dtswiss.com* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.dtswiss.com/en/products/hubs-rws/hubs/240s-classic/>
- [27] WHEEL COMPONENTS: HUB INFORMATION AND DETAILS. *Sugarwheelworks.com* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://sugarwheelworks.com/wheel-components/hub-information-and-details/>
- [28] Wheelbuilding. *Sheldonbrown.com* [online]. 2011 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/wheelbuild.html#nipples>
- [29] *Richman: SR series*. Taiwan. Dostupné také z: <https://www.pillarspoke.com/download>

- [30] DT SWISS: 5 mm. In: *Dtswiss.com* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.dtswiss.com/en/products/hubs-rws/rws/5-mm/>
- [31] SRAM: Maxle Lite. In: *Sram.com* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.sram.com/rockshox/products/maxle-lite>
- [32] CALLISTER, William D. a David G. RETHWISCH. *MATERIALS SCIENCE and ENGINEERING*. 9th. USA: WILEY, 2014. ISBN 978-1-118-32457-8.
- [33] POLMEAR, Ian. *Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals*. 4th. United Kingdom: ELSEVIER, 2006. ISBN 0 7506 6371 5.
- [34] GOKISO Super Climber Hub. *Gosiko.jp* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: http://www.gokiso.jp/en/products/hub_01.html
- [35] GROOVER, Mike P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. 4th. USA: WILEY, 2010. ISBN 978-0470-467002.
- [36] TYČE. *Alumeco.cz* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://alumeco.cz/aluminium/tye/g/8#p=1&ps=10&s=CustomSortName>
- [37] *Hard anodizing of aluminium alloys and its effect on Bal Seal performance*. USA, 2015. Dostupné také z: https://www.balseal.com/sites/default/files/TR-17_revision_F_0.pdf
- [38] LORD, Famiyeh a Huang XIAOHU. *Improving Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Aluminum and its Alloys via Plasma Electrolytic Oxidation for Aerospace Applications: A Review* [online]. 2018, , 1-40 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/327477932_Improving_Corrosion_Resistance_and_Mechanical_Properties_of_Aluminum_and_its_Alloys_via_Plasma_Electrolytic_Oxidation_for_Aerospace_Applications_A_Review
- [39] OERTELA, Clemens, Heinz NEUBURGERA a Anton SABO. Construction of a test bench for bicycle rim and disc brakes. *8th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA)* . ELSEVIER, 2010, , 2943-2948.
- [40] JIRÁSEK, Milan, Vít ŠMILAUER a Jan ZEMAN. *Pružnost, pevnost, plasticita: Pracovní verze výukového skriptu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2018.
- [41] How are bicycle spokes made?: We talked to DT Swiss to find out. *Off.road.cc* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://off.road.cc/content/feature/how-are-bicycle-spokes-made-2466>
- [42] KAREL, Kocman a Jiří PERNIKÁŘ. *ROČNÍKOVÝ PROJEKT II - obrábění* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Brno, 2002 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
- [43] AB SANDVIK COROMANT. *Training handbook: Metal cutting technology* [online]. Švédsko, 2017 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/en/training_handbook/

- [44] TSCHÄTSCHE, Heinz. *Applied Machining Technology*. 8th. New York: Springer, 2008. ISBN 978-3-642-01006-4.
- [45] *Číslicově řízené soustruhy // Numerczynie sterowane tokarki: SP Line 280*. KOVOSVIT MAS. Sezimovo Ústí.
- [46] SANDVIK COROMANT. *Turning tools* [online]. Švédsko, 2017 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/turning_tools_2017/
- [47] *Ebay: CNC, Metalworking & Manufacturing* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: ebay.com
- [48] DAVIM, Paulo J., ed. *Traditional Machining Processes: Research Advances*. Nemecko: Springer, 2014. ISBN 9783662450888.
- [49] SHAW, Milton C. *Metal Cutting principles*. 2nd. New York: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2005. ISBN 9780195142068.
- [50] GUEHRING KG. *GUEHRING: Grooving systems* [online]. Nemecko, 2018 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://media.guehring.com/catalogs/xyjgt1dxkf.pdf?=&021819100310>
- [51] SANDVIK COROMANT. *Rotating tools* [online]. Švédsko, 2017 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/en/rotating_tools_2017/
- [52] SANDVIK COROMANT. *Solid Round Tools* [online]. Švédsko, 2018 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/en/solid_round_tools_2018/
- [53] *HOLEMAKING: CATALOG & TECHNICAL GUIDE 2018.2* Fagersta, 2018. Dostupné také z: <https://usercontent.azureedge.net/Content/UserContent/Documents/022974.pdf>

Zoznam použitých skratiek a symbolov

Skratka	Význam
2D	Two-dimensional
3D	Three-dimensional
AA	Aluminium Association
BCC	Body-centred cubic
CAD	Computer-aided Design
CAM	Computer-aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
DXF	Drawing Exchange Format
EN AW	European aluminum standards, wrought product
FCC	Face-center cubic
FSI	Fakulta strojního inženýrství
HCP	Hexagonal clove-packed
HMH	Huber, von Mises, Hencky
HSC	High Speed Cutting
ISO	International Organization for Standardization
MKP	Metóda konečných prvkov
MTB	Mountain Bike
NB1	nulový bod jedna
NB2	nulový bod dva
NB3	nulový bod tri
PC	Personal Computer
PKD	Polykryštalický diamant
S1	hlavné vreteno
S2	protivreteno
S3	nástrojové vreteno
ÚST	Ústav strojírenské technologie
VRD	vymenitelná rezná doštička
VUT	Vysoké učení technické v Brně

Symbol	Jednotka	Význam
A	[%]	ťažnosť
a_p	[mm]	šírka záberu hlavného ostria nástroja
a_e	[mm]	radiálna šírka záberu hlavného ostria nástroja
$APMX$	[mm]	maximálna dĺžka rezu
b	[mm]	šírka reznej časti doštičky
B	[mm]	šírka stopky
BD_1	[mm]	priemer zúženej časti nástroja

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

<i>CDX</i>	[mm]	maximálna hĺbka rezu
<i>CHWL/R</i>	[mm]	šírka skosenia rohu
<i>CUTDIA</i>	[mm]	maximálny priemer deleného materiálu
<i>CW</i>	[mm]	rezná šírka
<i>DC</i>	[mm]	rezný priemer
<i>DCON</i>	[mm]	priemer stopky
<i>DCON_{MS}</i>	[mm]	priemer stopky na strane stroja
<i>DCON_{WS}</i>	[mm]	priemer stopky na strane obrobku
<i>DMIN</i>	[mm]	minimálny priemer diery
<i>DMM</i>	[mm]	priemer stopky
<i>d_{max}</i>	[mm]	najväčší priemer obrobku
<i>d_p</i>	[mm]	priemer polotovaru dostupného na trhu
<i>d_{pv}</i>	[mm]	výpočtový priemer polotovaru
<i>F_b</i>	[N]	brzdná sila pôsobiaca na koleso
<i>F_B</i>	[N]	sila pôsobiaca na brzdný kotúč
<i>F_i</i>	[N]	zložka sily pôsobiacej na brzdný kotúč
<i>f_n</i>	[mm]	posuv na otáčku
<i>f_{nx}</i>	[mm]	radiálny posuv na otáčku
<i>f_{nz}</i>	[mm]	axiálny posuv na otáčku
<i>f_z</i>	[mm]	posuv na zub
<i>γ₀</i>	[°C]	uhol čela
<i>h</i>	[mm]	výška stopky
<i>H</i>	[mm]	výška stopky
<i>h_m</i>	[mm]	priemerná hrúbka triesky
<i>KAPR</i>	[°]	uhol nastavenia ostria nástroja
<i>k_c</i>	[N · mm ⁻²]	merná rezná sila
<i>k_{c1}</i>	[N · mm ⁻²]	merná rezná sila pre <i>h_m = 1 mm</i>
<i>κ_r</i>	[°]	uhol nastavenia ostria nástroja
<i>L</i>	[mm]	funkčná dĺžka
<i>LB₁</i>	[mm]	dĺžka zúženej časti nástroja
<i>LE</i>	[mm]	efektívna dĺžka reznej hrany
<i>LF</i>	[mm]	funkčná dĺžka
<i>LU</i>	[mm]	použiteľná dĺžka
<i>max.∅</i>	[mm]	maximálny priemer deleného materiálu
<i>M_b</i>	[N · m]	moment pôsobiaci na koleso
<i>M_{bk}</i>	[N · m]	moment pôsobiaci na brzdový kotúč
<i>m_c</i>	[-]	opravný súčiniteľ pre danú <i>h_m</i>
<i>n_{max1}</i>	[min ⁻¹]	maximálne otáčky hlavného vretena
<i>n_{max2}</i>	[min ⁻¹]	maximálne otáčky protivretena
<i>n_{max3}</i>	[min ⁻¹]	maximálne otáčky nástrojového vretena
<i>N_o</i>	[-]	počet ostrí VRD
<i>N_v</i>	[-]	počet obrobkov do výmeny nástroja alebo VRD
<i>OAL</i>	[mm]	celková dĺžka

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

OHX	[mm]	maximálne vysunutie
P	[mm]	rozteč metrického závitu
P_{1max}	[kW]	maximálny rezný výkon potrebný pre obrábanie v hlavnom vretene
P_{2max}	[kW]	maximálny rezný výkon potrebný pre obrábanie v protivretene
P_{3max}	[kW]	maximálny rezný výkon potrebný pre obrábanie v nástrojovom vretene
p_c	[mm]	celkový prídavok na priemer
P_c	[kW]	rezný výkon
$PSIRL$	[°]	uhol nastavenia hlavného ostria ľavorezného nástroja
R	[mm]	rádus špičky
r_b	[m]	polomer kola
r_{bk}	[m]	polomer brzdového kotúču
RE	[mm]	rádus špičky
REL/R	[mm]	rádus špičky na pravej a ľavej strane
R_m	[MPa]	medza pevnosti v ťahu
R_p	[MPa]	medza klzu v ťahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	zmluvná medza klzu v ťahu
ρ	[g · cm ⁻³]	hustota
S	[mm]	hrúbka vymeniteľnej reznej doštičky
SIG	[°]	uhol špičky
STA	[°]	uhol zrážачu hrán
t_{AS}	[s]	strojný čas
THL	[mm]	dĺžka závitu
t_{max}	[mm]	maximálna hĺbka rezu
T_{rh}	[min]	trvanlivosť ostria VRD alebo trvanlivosť nástroja
v_c	[m · min ⁻¹]	rezná rýchlosť
v_f	[mm · min ⁻¹]	posuvová rýchlosť
WF	[mm]	funkčná šírka

Zoznam príloh

Príloha A	Podrobná charakteristika sústružnického centra SP 280 SY
Príloha B	Výkres náboja
Príloha C	Výkres redukcie 15 mm
Príloha D	Výkres redukcie 20 mm
Príloha E	Výkres prachovky vnútornej
Príloha F	Výkres prachovky vonkajšej
Príloha G	Výkres zostavy MTB náboja
Príloha H	Výrobný postup náboja
Príloha I	Výrobný postup redukcie 15 mm
Príloha J	Výrobný postup redukcie 20 mm
Príloha K	Výrobný postup prachovky vnútornej
Príloha L	Výrobný postup prachovky vonkajšej
Príloha M	Výpočet výkonnostných charakteristík
Príloha N	NC program MTB náboja
Príloha O	NC podprogram náboja
Príloha P	NC podprogram redukcie 15 mm
Príloha Q	NC podprogram redukcie 20 mm
Príloha R	NC podprogram prachovky vnútornej
Príloha S	NC podprogram prachovky vonkajšej