



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ROTAČNÍ SOUČÁST VYRÁBĚNÁ NA CNC STROJI

ROTARY PART PRODUCED ON CNC MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Ratica

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Filip Ratica
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2020/21

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

Rotační součást vyráběná na CNC stroji

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro zadanou součást je proveden teoretický rozbor podmínek výroby, na ně navazuje výroba prototypu.

Cíle diplomové práce:

- Přehled vývoje číslicového řízení obráběcích strojů
- Charakteristika zadané součásti
- Definování podmínek výroby
- Sestavení technologického procesu s využitím TPV formulářů
- Seřízení pracoviště pro výrobu prototypu
- Výroba prototypu
- Vyhodnocení výroby

Seznam doporučené literatury:

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

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8-214-3946-7.

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

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

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

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

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

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

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.

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

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práca obsahuje prehľad vývoja číslicového riadenia obrábacích strojov a historický exkurz počiatkov číslicového riadenia. Práca sa zaoberá návrhom a predstavením súčiastky, a následne výpočtovou dokumentáciou slúžiacou pre určenie zaťaženia a bezpečnosti danej súčiastky. Po výpočtovej a konštrukčnej analýze sa práca zaoberá návrhom výroby súčiastky na CNC strojoch a technologickým postupom výroby. Nakoniec, je zdokumentovaná a vyhodnotená výroba súčiastky.

Kľúčové slová

NC stroj, NC systém, CNC stroj, program, stroj, sila, súčiastka, hriadeľ, moment, riadiaci systém, reakcia, zaťaženie, priemer, výpočet, návrh

ABSTRACT

The diploma thesis contains an overview of the development of numerical control of machine tools and a historical excursion of the beginnings of numerical control. The work deals with the design and presentation of the component, and then the calculation documentation used to determine the load and safety of the component. After computational and design analysis, the work deals with the design of component production on CNC machines and the technological process of production. Finally, the production of the part is documented and evaluated.

Key words

NC machine, NC system, CNC machine, program, machine, force, component, shaft, torque, control system, reaction, load, diameter, calculation, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

RATICA, Filip. Rotační součást vyráběná na CNC stroji [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129653>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému **ROTAČNÁ SÚČIASTKA VYRÁBANÁ NA CNC STROJI** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktoré tvoria prílohu tejto práce.

.....
Dátum

.....
Filip Ratica

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné pripomienky a pomernú voľnosť pri vypracovaní diplomovej práce.

Ďalej ďakujem rodine, hlavne rodičom, ktorí mi verili a podporovali ma pri štúdiu.

OBSAH

ABSTRAKT.....	3
PREHLÁSENIE.....	4
POĎAKOVANIE.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	9
1. PREHLAD VÝVOJA ČÍSLICOVÉHO RIADENIA OBRÁBACÍCH STROJOV	10
1.1 Historický exkurz	10
1.1.1 Skoré obrábacie stroje.....	10
1.1.2 Dierované karty.....	10
1.1.3 Servomechanizmy.....	12
1.1.4 Automatically Programmed Tool (APT)	12
1.2 Vznik NC strojov.....	12
1.3 História číslicovo riadených obrábacích strojov	13
1.4 Vývojové stupne číslicovo riadených strojov	14
1.4.1 Stroje 1. generácie.....	14
1.4.2 Stroje 2. generácie.....	15
1.4.3 Stroje 3. generácie.....	15
1.4.4 Stroje 4. generácie.....	15
1.5 CNC stroje, súčasný stav a trendy vývoja.....	16
1.6 Obrábacie CNC centrá.....	18
1.6.1 Požiadavky na moderné CNC stroje a výrobné centrá	19
1.7 Výrobná technológia HSC.....	20
1.7.1 Princíp HSC rezných procesov	20
1.7.2 Rezné podmienky.....	21
1.8 Súčasné obrábacie centrá.....	21
2. CHARAKTERISTIKA ZADANEJ SÚČIASTKY.....	24
2.1 Výpočtová dokumentácia potrebná pre návrh hriadeľa drevoobrábacieho stroja [18, 22, 23, 24, 25, 26]	24
2.1.1 Výpočet krútiaceho momentu na hriadeli motora.....	24
2.1.2 Výpočet pohonu klinovým remeňom.....	25
2.2 Návrh hriadeľa [17, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32].....	30
2.2.1 Výpočet zaťaženia hriadeľa a výsledných vnútorných účinkov (VVÚ).....	30
2.2.2 Výpočet predbežného priemeru hriadeľa.....	46
2.2.3 Pevnostná kontrola hriadeľa	47
2.2.4 Únavová kontrola hriadeľa	50

2.2.5	Výpočet dĺžky drážky pre pero pod hobľovacím valcom	53
2.2.6	Výpočet dĺžky drážky pre pero pod hnanou remenicou	54
3.	DEFINOVANIE PODMIENOK VÝROBY	56
3.1	Rozbor súčiastky	56
3.1.1	Popis vyrábanej súčiastky	56
3.1.2	Funkcia a zaťaženie vyrábanej súčiastky	56
3.1.3	Tvorba výkresovej dokumentácie súčiastky	59
3.1.4	Výrobné podmienky	59
3.1.5	Technologičnosť konštrukcie súčiastky	60
4.	ZOSTAVENIE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU S VYUŽITÍM TPV FORMULÁROV	61
4.1	Výber polotovaru	61
4.1.1	Voľba polotovaru	61
4.1.2	Materiál polotovaru	61
4.1.3	Rozmery polotovaru	61
4.1.4	Výpočet hmotnosti polotovaru	62
4.1.5	Výpočet straty materiálu obrábaním polotovaru	62
4.2	Návrh operácií	63
4.3	Strojový park	63
4.3.1	Pásová píla Pilous ARG 300 Plus	63
4.3.2	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	65
4.3.3	CNC frézka Mikron VCE 800 Pro	65
4.3.4	Závitorez Roscamat Shark VH	66
4.4	Návrh nástrojov a meracích zariadení	68
4.4.1	Nástroje pre sústružnícke operácie	68
4.4.2	Nástroje pre vrtacie operácie	72
4.4.3	Nástroje pre frézovacie operácie	73
4.4.4	Nástroje pre rezanie závitu	73
4.5	Nástrojový list	74
4.6	List meracích zariadení	74
4.7	Použitie strojov v jednotlivých operáciách	76
4.8	Technologický postup výroby hriadeľa	77
5.	NASTAVENIE PRACOVISKA PRE VÝROBU PROTOTYPU	83
5.1	Príprava polotovaru	83
5.2	Programovanie	83
5.3	Upnutie nástrojov do stroja	83
6.	VÝROBA PROTOTYPU	84
6.1	Výroba na CNC sústruhu	84

6.1.1	Výroba ľavej strany hriadeľa	84
6.1.2	Výroba pravej strany hriadeľa	86
6.2	Výroba na CNC frézke	88
6.2.1	Frézovanie veľkej drážky	88
6.2.2	Frézovanie malej drážky	89
6.3	Výroba na závitoreze	90
7.	VYHODNOTENIE VÝROBY	91
	ZÁVER	92
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	93
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	98
	ZOZNAM PRÍLOH	99

ÚVOD

Číslicovo riadené výrobné stroje (CNC) sú charakteristické tým, že ovládanie pracovných funkcií stroja je vykonávané riadiacim systémom stroja pomocou vytvoreného programu. Informácie o požadovaných činnostiach sú zapísané v programe pomocou alfanumerických znakov. Vlastný program je daný postupnosťou oddelených skupín znakov, ktorým sa hovorí bloky alebo vety. Program je určený pre riadenie silových prvkov stroja a zaručuje, aby požadovaná výroba súčasti prebehla v poradí zadanom po jednotlivých blokoch, ktoré sú napísané v NC kóde.

Pojem CNC (Computer Numerical Control) znamená počítačom (číslícovo) riadený stroj. Stroje sú „pružné“, je ich možné rýchlo prispôbiť k inej (obdobnej) výrobe, pracujú v automatizovanom cykle, ktorý je zaistený číslicovým riadením. Stroje CNC sa uplatňujú vo všetkých oblastiach strojárenskej výroby (obrábacia, tvárniaca, montážna, meriaca apod.) [15].

Prvá kapitola diplomovej práce sa zaoberá prehľadom vývoja číslicového riadenia CNC techniky a historickým exkurzom počiatkov číslicového riadenia, ktoré sa vyvinuli až po dnešné riadiace systémy. V ďalšej kapitole je cieľom návrh a predstavenie súčasti, a následne výpočtová dokumentácia slúžiaca pre určenie zaťaženia a bezpečnosti danej súčasti. Po výpočtovej a konštrukčnej analýze je vytvorený technologický postup výroby zadanej navrhutej súčasti, ktorá bude vyrábaná na CNC strojoch s riadiacimi systémami SmoothC a Heidenhain TNC 620. Zadaná súčiastka je tvarovo osadený hriadeľ (obr.1). Tvar súčasti a materiál sú navrhnuté v rámci možnosti jej samotnej výroby.



Obr.1. Zadaná súčiastka.

1. PREHLAD VÝVOJA ČÍSLICOVÉHO RIADENIA OBRÁBACÍCH STROJOV

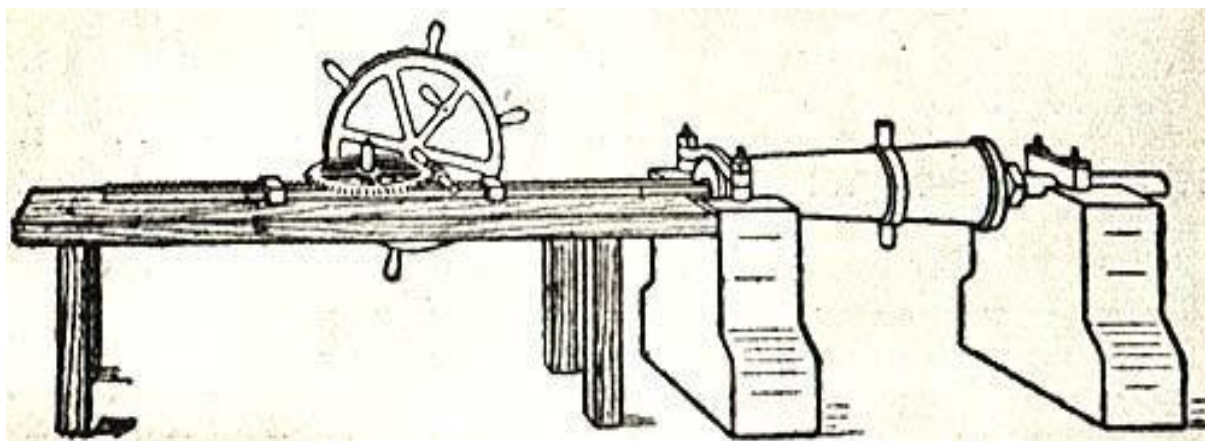
1.1 Historický exkurz

Na polozenie základov pre vývoj CNC strojov bolo nevyhnutných množstvo vynálezov. Medzi hlavné štyri piliere, ktoré boli základom priebehu vývoja, boli skoré obrábacie stroje, dierované karty, servomechanizmy a programovací jazyk Automatically Programmed Tool (APT) [1].

1.1.1 Skoré obrábacie stroje

V roku 1775 bola vyvrtávačka Johna Wilkinsona riešením pre presné vyvrtávanie valcov pre parné motory. James Watt sa zaslúžil o vytvorenie parného stroja, ktorý poháňal druhú priemyselnú revolúciu v Anglicku, ale mal problémy s dosahovaním stálej presnosti vo svojich valcoch pre parné stroje. Až kým Wilkinson nevytvoril svoj stroj na vyvrtávanie valcov s motorom na základe návrhu svojho pôvodného stroja na vyvrtávanie dier kanónov [1].

Na obr. 1.1 je znázornená Wilkinsonova vyvrtávačka, ktorej princíp sa využil pri vrtaní valcov parných strojov a kanónov [2].



Obr. 1.1. Wilkinsonov vyvrtávací stroj [2].

1.1.2 Dierované karty

V roku 1801 francúz Joseph Marie Jacquard zostrojil prvý programovateľný tkáčsky stav a zjednodušil ho postupným viazaním dierovaných kariet, čím automatizoval tento proces. Tieto dierované karty sú všeobecne považované za základy toho, čo sa malo stať moderným počítačom. “Žakárový” tkací stav vedel automaticky tkať vzorované látky podľa programu uloženého na za sebou idúcich diernych štítkoch. V momente keď kovové háčiky zapadli do diery na karte, príslušná niť osnovy tkacieho stroja sa zdvihla [1], [3].

Na karte, kde boli vyrazené diery, každý stĺpec a riadok zodpovedal konkrétnemu štvorcovému dizajnu. Tieto karty sa potom zošivali alebo viazali do súvislého pásu a privádzali sa do stavu [4].

Na obr. 1.2 sú znázornené viazané dierované karty na žakárovom ručnom tkáčskom stave [5].



Obr. 1.2. Žakárové dierované karty [5].

Dierované karty sa vyvíjali v druhej polovici 19. storočia a našli mnoho uplatnení, od telegrafie po samoúčelné píána. Zatiaľ čo prvé karty určovali mechanické ovládanie, americký vynálezca Herman Hollerith propagoval elektromechanický dierovač kariet, ktorý zmenil smerovanie. Jeho systém bol patentovaný v roku 1889, keď pracoval pre Úrad sčítania ľudu Spojených štátov.

V roku 1896 založil spoločnosť Tabulating Machine Company, ktorá bola v roku 1924 konsolidovaná so štyrmi ďalšími spoločnosťami a vytvorila spoločnosť IBM. V druhej polovici 20. storočia sa razené karty prvýkrát použili na vkladanie a ukladanie údajov v počítačoch a číslicovo riadených strojoch. Pôvodný formát mal päť radov dier, zatiaľ čo nasledujúce verzie mali šesť, sedem, osem alebo viac riadkov [1].



Obr. 1.3. 80-stĺpcová dierovaná karta od IBM [6].

1.1.3 Servomechanizmy

Servomechanizmus je automatické zariadenie, ktoré využíva spätnú väzbu snímajúcu chyby na korekciu výkonu stroja alebo mechanizmu. V niektorých prípadoch umožňuje servo riadenie veľkého množstva energie pomocou zariadenia s oveľa menším výkonom. Servomechanizmus sa skladá z ovládaného zariadenia, iného zariadenia, ktoré vydáva príkazy, detektora chýb, zosilňovača chybového signálu a zariadenia na opravu chýb (servomotor). Servá sa zvyčajne používajú na riadenie premenných, ako je poloha a rýchlosť, a sú najčastejšie elektrické, pneumatické alebo hydraulické.

Prvý elektrický servomechanizmus bol vytvorený v Anglicku H. Calendarom v roku 1896. Do roku 1940, MIT (Massachusettská technická univerzita) vytvorila špecializované laboratórium servomechanizmov, ktoré bolo postavené na základe zvýšenej pozornosti Katedry elektrotechniky na túto tému.

Pri CNC obrábaní sú servá nevyhnutné na dosiahnutie požadovaných tolerancií automatizovaného procesu obrábania [1].

1.1.4 Automatically Programmed Tool (APT)

Automatically Programmed Tool (APT), ktorý bol vytvorený v laboratóriu MIT Servomechanisms Lab v roku 1956, je ľahko použiteľný programovací jazyk vysokej úrovne, určený na vytváranie pokynov pre číslicovo riadené obrábacie stroje. Pôvodná verzia predchádzala FORTRAN-u, ale neskoršie verzie boli prepísané vo FORTRAN-e.

APT bol jazyk vytvorený pre prácu s prvým NC strojom MIT, jedným z prvých na svete. Stal sa štandardom pre programovanie počítačom riadených obrábacích strojov a bol používaný v 70. rokoch 20. storočia. Vývoj APT bol sponzorovaný letectvom a nakoniec bol pridaný do verejnej sféry.

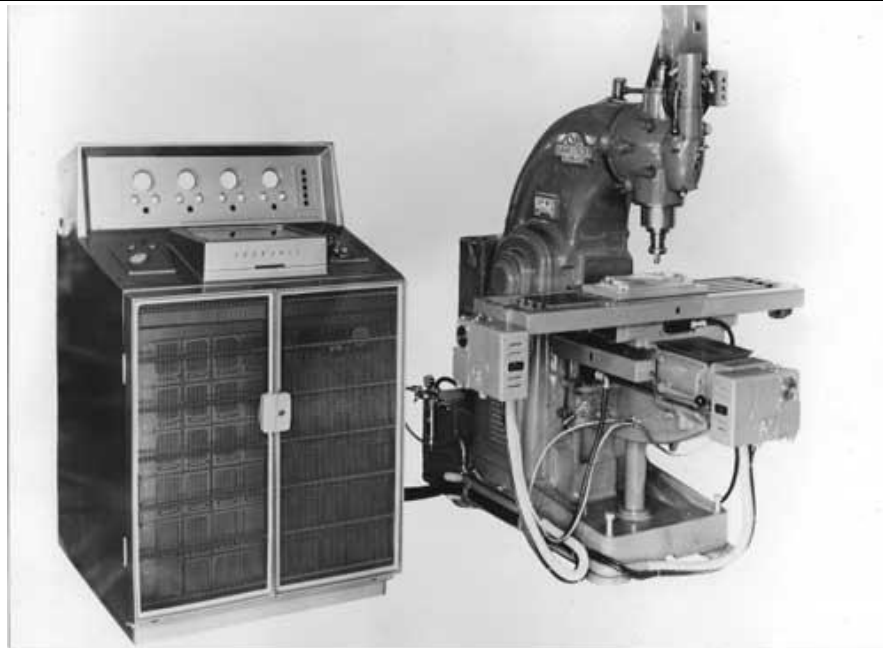
Vedúci skupiny počítačových aplikácií Douglas T. Ross je známy ako otec APT. Neskôr bol aj tvorca pojmu „počítačom podporovaný dizajn“ (CAD) [1].

1.2 Vznik NC strojov

Pred príchodom počítačom riadených strojov prišiel najprv vývoj číslicového riadenia a prvých NC obrábacích strojov. Aj keď existujú rôzne nezrovnalosti v rôznych popisoch historických detailov, prvé NC obrábacie stroje boli reakciou na konkrétne výrobné výzvy, ktorým čelila armáda, a ako aj na prirodzenú progresiu systému dierovacích kariet [1].

Tieto NC stroje boli vytvorené koncom štyridsiatych rokov minulého storočia John T. Parsonsonom, ktorý úzko spolupracoval s Massachusetts Institute of Technology. Produkt, ktorý vyvíjali, si objednalo letectvo Spojených štátov. Cieľom tejto práce bolo nájsť nákladovo efektívnejší spôsob výroby častí lietadiel, ktoré mali zložitú geometriu. Počas tohto časového obdobia sa NC stala priemyselným štandardom [7].

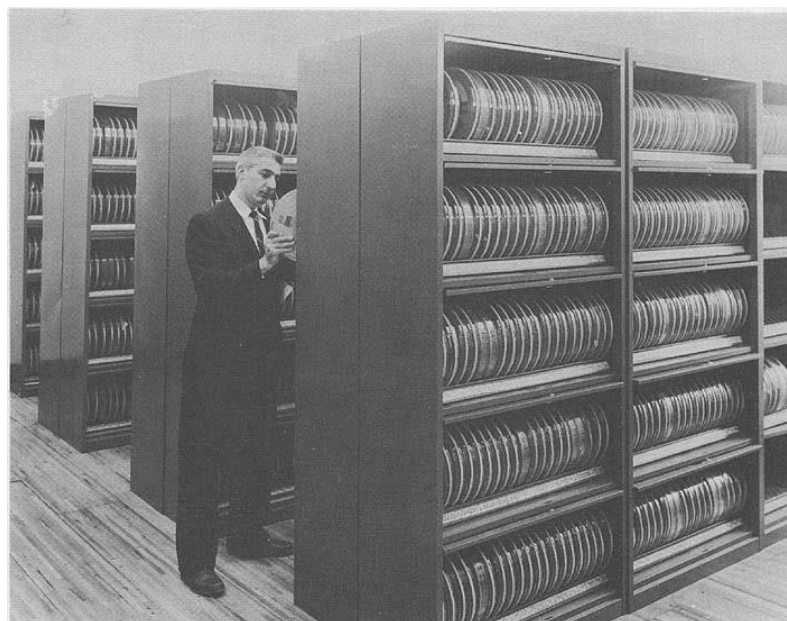
Číslicovo riadené stroje vznikali hlavne ako odozva na požiadavky výroby zložitých súčiastok, predovšetkým pre letecký priemysel, ako už bolo spomínané vyššie. Bola tu potreba presnosti a možnosti kedykoľvek vyrobiť súčiastku s rovnakými parametrami. V malosériovej výrobe to bola potreba flexibility a možnosť rýchlo sa preorientovať, čo jednoúčelové stroje nespĺňali [8].



Obr. 1.4. Prvý NC stroj vyrobený v Európe v roku 1956. Vyvinutý spoločnosťou CVA Ltd s pomocou Kearney & Trecker [9].

1.3 História číslicovo riadených obrábacích strojov

V 50. rokoch 20. storočia to boli konvenčné stroje prispôsobené číslicovému riadeniu. Ako pohon boli použité elektricky riadené hydromotory, neskôr elektricky riadené motory. Meranie bolo uskutočňované optickými snímačmi. NC systémy boli riadené programovacím kolíčkovým panelom, dierovanou kartou, dierovanou páskou a magnetofónovou páskou. Používalo sa pravouhlé riadenie. Ako prvé stroje boli numericky riadené konzolové frézky Parson-USA a Feranti-Škótsko [8].



Obr. 1.5. Úložný priestor pre magnetické pásky [10].

V 60. rokoch sa objavujú tranzistorové NC systémy, ktoré boli v USA postupne nahrádzané integrovanými obvody vrátane parabolických a splineových interpolácií. Vznikali výrobné linky, osadené NC strojmi a prvé viacprofesný stroj, tzv. obrábacie centrum.

V 70. rokoch sa do strojov dostávajú guľčkové skrutky pre lineárny pohon a hydrostatické vedenie. Aplikuje sa inprocesné meranie. NC systémy dostávajú pamäť a možnosť editácie programov. Minipočítače začínajú zasahovať do ovládania NC strojov, vznikajú CNC systémy.

V 80. rokoch sa do konštrukcie zabudovávali senzory pre rozlíšenie a kontrolu pohybu mechanických častí stroja. Stroje dostávajú zásobníky na nástroje a na obrobky. Riadiace systémy sú na báze CNC alebo PLC multiprocesorových mikropočítačových štruktúr.

V 90. rokoch dosahujú NC stroje vysokej presnosti a majú vysokú produktivitu práce. CNC systémy majú zabudované CAD, CAM systémy v prispôbomých osobných počítačoch a veľké množstvo technologického vybavenia. Zásobníky obrobkov a nástrojov sú už veľkokapacitné [8].

1.4 Vývojové stupne číslicovo riadených strojov

Číslicovo riadené stroje prešli v priebehu vývoja určitými vývojovými etapami, ktorým sa taktiež hovorí vývojové generácie [11]. Vývoj bol podriadený vývoju znalostí v oblasti fyziky, mechaniky, matematiky, výpočtovej techniky, materiálov použitých konštrukčných skupín, materiálov nástrojov, atď. [12].

Ich vývoj je možné rozdeliť do štyroch vývojových generácií:

1.4.1 Stroje 1. generácie

Vychádzajú zo základných koncepcií konvenčných strojov. Mechanická časť zostala zachovaná a bola doplnená riadiacim systémom. Nositeľom programu bola dierovaná páska, štítok alebo magnetická páska. Umožňujú riadenie v pravouhlých cykloch. Spoľahlivosť a presnosť strojov bola nízka. Dnes sa už nevyrábajú [11].

Z hľadiska výpočtovej techniky je možné tejto generácii (stupni) priradiť výpočtovú techniku na báze reléových a elektrónkových systémov [12].



Obr. 1.6. Dierovaná páska [13].

1.4.2 Stroje 2. generácie

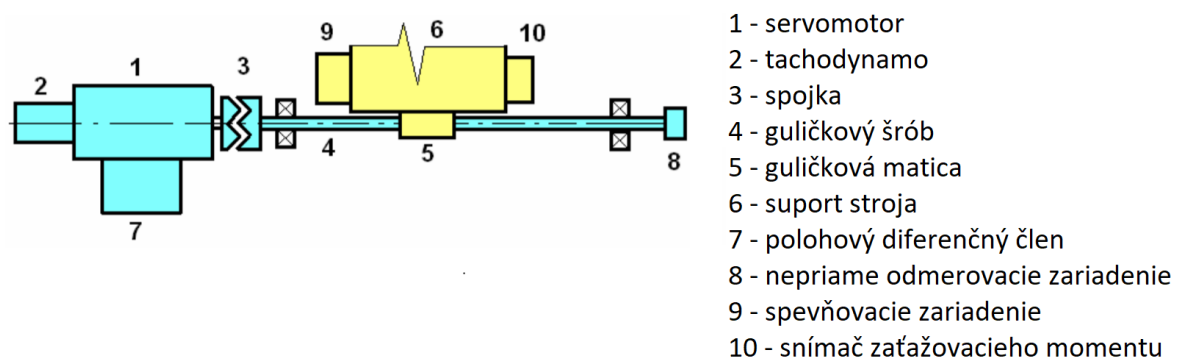
Mechanická časť týchto strojov je už upravená (revolverové hlavy, zásobníky nástrojov). Sú vybavené servosystémami. Umožňujú riadenie v obecných cykloch [11].

Riadiace systémy boli konštrukčne vystavané na tranzistoroch a obvodoch vysokého stupňa integrácie – LSI integrovaných obvodoch (LSI – Large Scale Integration) [12].

1.4.3 Stroje 3. generácie

Majú upravenú mechanickú časť. K pohonu posuvov sa používajú guľičkové šróby, sú použité veľkoobjemové zásobníky nástrojov riadené počítačom, pre zlepšenie presnosti je loža vybavená kalenými lištami, sú automatizované i ďalšie funkcie stroja. Sú riadené počítačom, ktorý súčasne realizuje i ďalšie úkony, ako napríklad napojenie stroja na systém dopravy nástrojov a obrobkov [11].

Riadiace systémy boli konštrukčne vystavané na obvodoch veľmi vysokého stupňa integrácie – VLSI integrovaných obvodoch (VLSI – Very Large Scale Integration) [12].



Obr. 1.7. Konštrukčné usporiadanie polohového servomechanizmu [12].

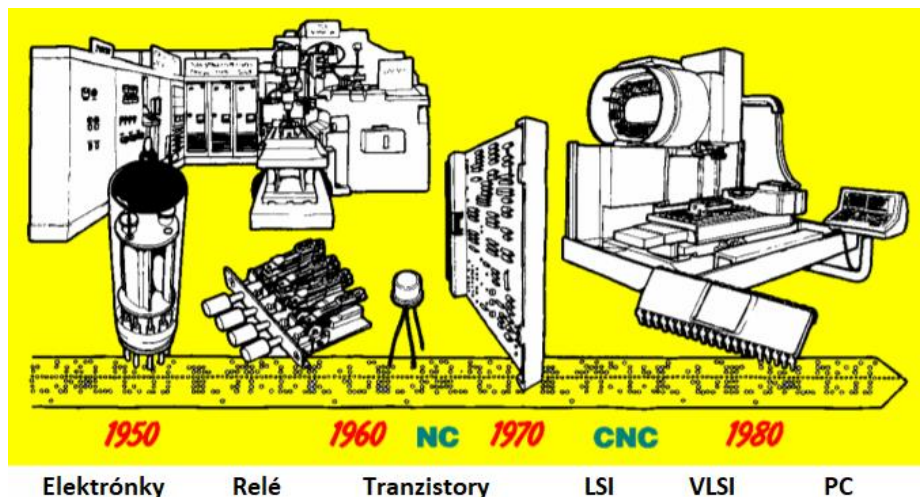


Obr. 1.8. Rez guľičovým šróbom SKF s ukážkou obehu guľičiek. [14].

1.4.4 Stroje 4. generácie

Predpokladá sa adaptívne riadenie celého výrobného procesu. Systém sleduje výstupy pri obrábaní (napr. rezné sily, kvalitu povrchu), hodnoty sa vyhodnocujú a systém sám vyhľadá také rezné podmienky, ktoré zaručia požadovaný priebeh. U týchto strojov sa predpokladá zavádzanie progresívnejších metód v konštrukcii a vo využití strojov (napr. uplatnenie laserových lúčov hlavne v meraní, kontrole, riadení, atď.) [11].

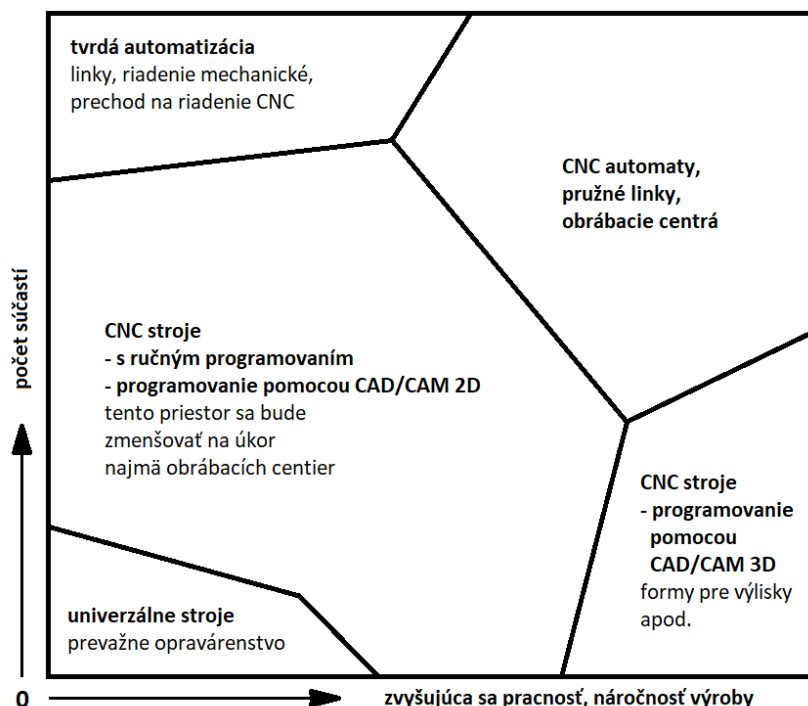
Použitie PC s procesormi firmy Intel (dnes Pentium IV) a ďalších firiem, alebo RISC procesory [12].



Obr. 1.9. Vývoj číslicovo riadených strojov [12].

1.5 CNC stroje, súčasný stav a trendy vývoja

Stav vývoja v modernizácii, automatizácii, v nasadení CNC techniky vo výrobnéj sfére ukazuje nasledujúci obr. 1.10. Náročnosť výroby a počet kusov na osách grafu demonštruje, ako danému odpovedá nasadenie výrobnéj techniky a druhu programovania. Konvenčná technika bude mať pravdepodobne budúce uplatnenie len v jednoduchéj kusovej výrobe a opravárstve [15].



Obr. 1.10. Nasadenie výrobných strojov – vybavenosť v podnikoch v závislosti na type a náročnosti výroby [15].

Neustály vývoj a modernizácia CNC strojov sa rýchlo uplatňuje v praxi. Napomáha tomu znižovanie cien riadiacej techniky i strojov vzhľadom ku stále zvyšujúcej sa ich úžitkovej hodnote. Stroje poskytujú viac komfortu pri programovaní, obsahujú viac funkcií, znižujú výrobné a vedľajšie časy. To vedie ku znižovaniu podielu tradičných konvenčných strojov, nasadených vo výrobe.

Trendy vývoja, ktoré je možné vidieť na CNC strojoch v strojárskych podnikoch sú:

- frézky, karusely: paletizácia obrobkov pre obrábanie (manipulácia na stroji je veľmi časovo krátka, karusely – výmenné upínacie dosky),
- sústruhy: použitie osi „Y“ a „B“ s vloženým uchopovadlom tam, kde nie je možné použiť sklz,
- používanie zásobníkov pre nástroje so stále sa zvyšujúcim počtom nástrojov (radovo stovky) a nástrojov pripravených v roztočených vretenách – pre rýchle použitie a výmenu,
- používanie modulárnych stavebnicových konštrukcií CNC strojov, ktoré bývajú prispôbované na použitie v akomkoľvek technologickom systéme. Reaguje sa tak pružne a rýchlo na požiadavky zákazníka, ktorý si kupuje stroj na mieru,
- používanie adaptívneho riadenia, ktoré eliminuje:
 - dĺžkové, teplom spôsobené dilatácie stroja – následne koriguje nástroje (aktívna korekcia);
 - po opotrebovaní nástrojov, na základe automatického merania obrobku na stroji, porovnáva rozmery s požadovanými toleranciami a vykonáva automatizovane rozmerové korekcie nástroja;
 - stráži a vyradzuje opotrebované a zlomené nástroje;
 - dáva pozor na preťaženie stroja, nástroja, jeho chvenie – následne automaticky upravuje rezné podmienky,
- frézky: konštruované s viac vysokoobrátkovými vretenami – často je výhodnejšie meniť roztočené vreteno s upnutým nástrojom než vreteno brzdiť a následne meniť nástroj,
- sústruhy: viac vretien obrába viac súčastí súčasne, dva suporty súčasne opracovávajú obrobok, sústruhy s protivretenom – odovzdanie obrobku s možnosťou obrábať v oboch vretenách nezávisle,
- upínanie polotovarov pri frézkach býva často riešené naklápacími a rotačnými doskami s upínaním tak, aby bolo možné súčasť obrábať z viac strán, prípadne i sústružiť,
- sú konštruované elektrovretená (vreteno stroja je os rotoru motora) s vysokým počtom otáčok, pre použitie HSC technológie,
- je daná požiadavka na vysoké rýchlosti pracovných posuvov a rýchloposuvov – dosahované rýchlosti guľčkovými šróbami už často nestačia a v súčasnosti nastupujú lineárne motory,

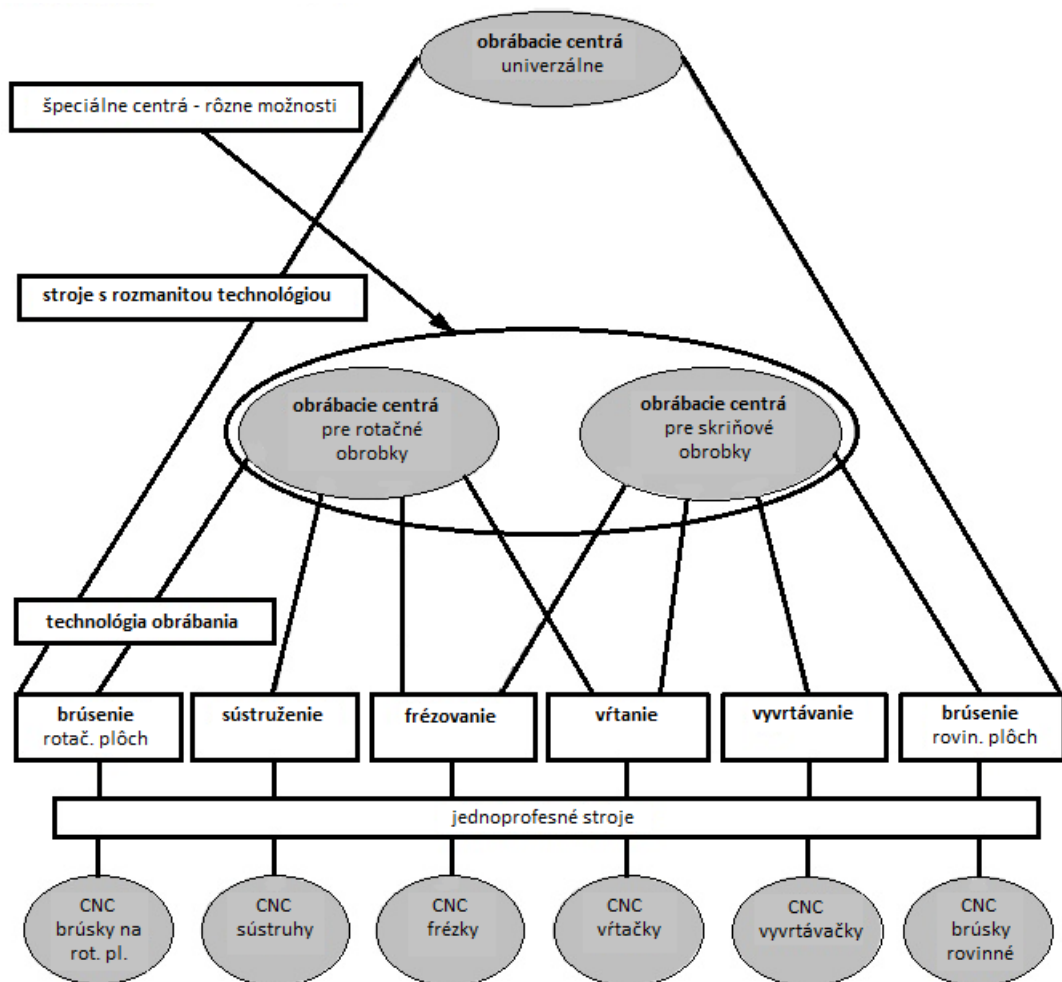
- nastáva problematika zrýchlenia a spomalenia posuvov, ktorá sa odráža v celkovej konštrukcii stroja i v jeho softwarovom vybavení. Z týchto dôvodov musí viesť software „čítať“ až 150 blokov dopredu pre aproximáciu možnej zmeny tvaru dráhy a požadovaného spomalenia,
- medzioperačné meranie sa postupne presúva z meracích prístrojov (stolov), kde bolo meranie vykonávané, priamo na stroj – dotykovými sondami, laserom,
- obrábacie centrá na báze sústruhu vybavené osou „Y“ a „B“, pri nich je ťažko odlíšiť, aký je základný typ stroja, frézka alebo sústruh,
- CNC centrá špeciálnej konštrukcie a určenia, môžu po vykonanom obrábaní vykonávať netypické operácie. Niektoré z príkladov: je dohotovenie 3D formy – laser, ohrev hrany tvaru formy a následne zakalenie, atď.,
- CNC riadenie je na vysokej úrovni, ale rastie rozmanitosť a rôznorodosť vzájomne nekompatibilných riadiacich systémov a techniky. Výrobcovia riadiacich systémov z dôvodu vzájomnej konkurencie neusilujú o unifikáciu a celosvetovú normalizáciu. To značne znepríjemňuje prácu programátorom, ktorí musia často poznať niekoľko riadiacich systémov strojov, ktoré svojimi programami obsluhujú,
- v súčasnosti nové kinematické štruktúry obrábacích strojov, ktoré stále vyžadujú konštrukčný vývoj, sa postupne dostávajú z laboratórií do výrobných praxe. Sú známe pod konštrukčným názvom hexapody, tripody. Ich prúťová konštrukcia riadi plošinu (Stewartovu), ktorá má až šesť stupňov voľnosti a na ktoré je umiestnené vreteno s nástrojom. Obrábaný dielec je nepohyblivý, nástroj k nemu prichádza a obrába z rôznych strán. Posuvy nástroja okolo obrobku sú dosahované skracovaním, predlžovaním premenných dĺžok servovzpier. Prednosťou je manipulácia s nástrojom, nie s ťažkým obrobkom, a to vzhľadom k veľkým zotrvačným silám pri pracovných posuvoch a rýchlých posuvoch [15].

1.6 Obrábacie CNC centrá

Na obr. 1.11 je znázornené triedenie obrábacích strojov, pôvodne jednoprofesných, triedených podľa technológie obrábania (obr. 1.11 nevystihuje všetky technológie a ich kombinácie). Existuje veľmi málo súčiastok, ktoré sú vyrobené iba jednou technológiou, napr. na sústruženie hriadeľa je potreba vyfrézovať drážku. Ekonomika prevádzky vedie k integrácii niekoľko spôsobov technológie obrábania do jedného obrábacieho stroja (centra). Dôvody sú v znížení (odstránení) vedľajších časov na ďalšej operácii, tiež sa zvyšuje presnosť výroby. Ďalšia integrácia technológií do stroja vedie až k univerzálnym obrábacím centrá.

To znamená pre ekonomiku:

- skrátenie priebežnej doby a zvýšenie presnosti práce;
- zníženie nákladov na výrobu (namiesto niekoľko strojov sa zaobstará jeden – úspora výrobných plôch, úspora odpisových nákladov);
- možnosť jednoduchšie automatizovať výrobu (stavba pružných výrobných liniek – CIM);
- u strojov s technológiou HSC je zvýšenie produktivity uvádzané ako päťnásobné, v tomto pomere je možné očakávať ekonomické úspory [15].

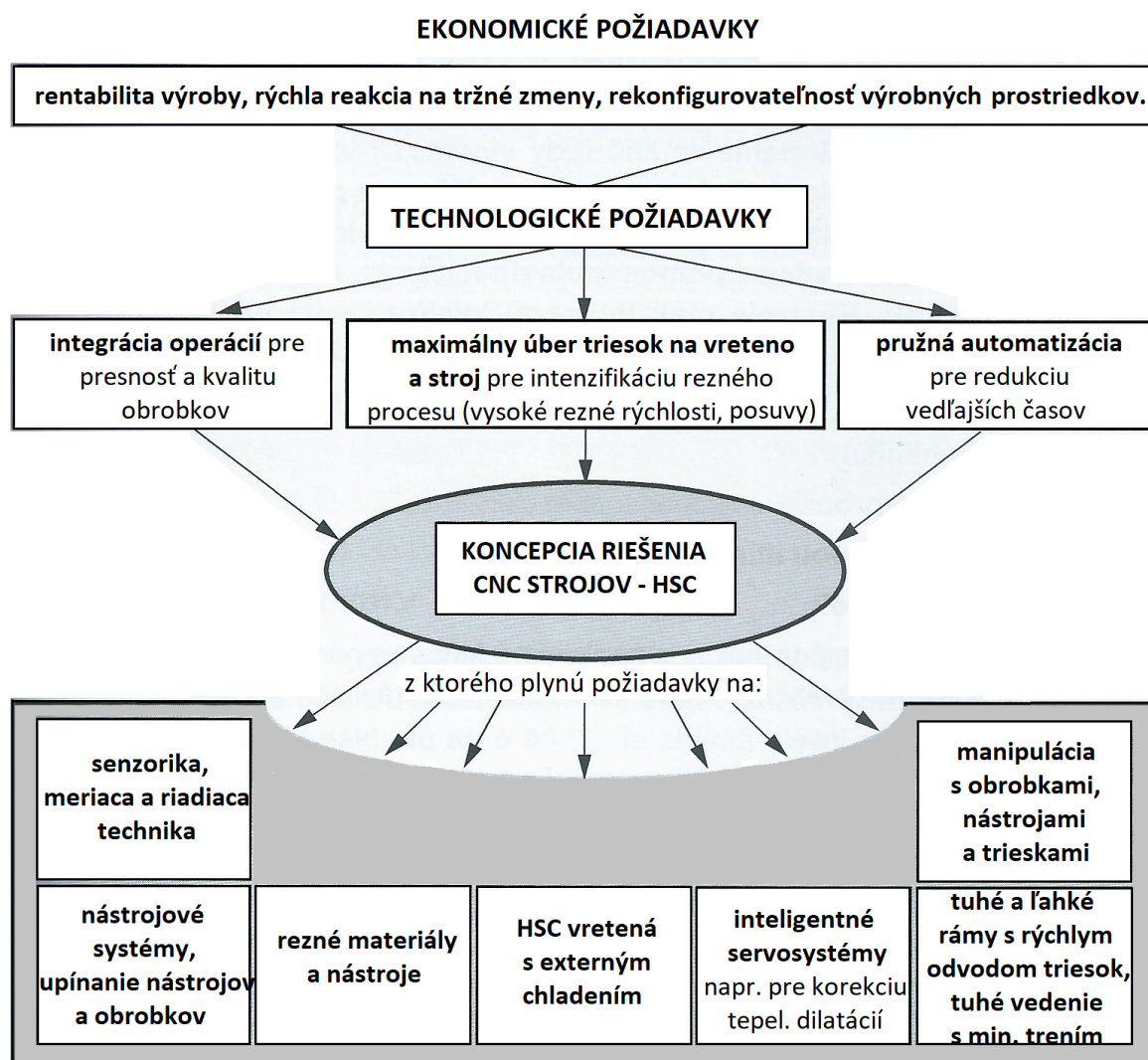


Obr. 1.11. Vývoj od jednoprofesionných strojov po obrábacie centrá [15].

V súčasnosti už podniky nekupujú jednoprofesionné CNC stroje. Často sú CNC stroje vyrábané ako jednoúčelové podľa konkrétnej požiadavky užívateľa [15].

1.6.1 Požiadavky na moderné CNC stroje a výrobné centrá

Schéma (na obr. 1.11) demonštruje požiadavky na súčasné vyvíjané a predávané CNC stroje (centrá), ktoré sú ekonomicky úspešné. Už pri vývoji stroja sa berú do úvahy ekonomické požiadavky, ktoré vyvolávajú technologické požiadavky a vedú ku konštrukcii, koncepcii stroja s progresívnou výrobnou technológiou HSC. Aby požiadavky stroj splnil, musí jeho konštrukcia obsahovať i ďalšie moderné prvky a príslušenstvo [15].



Obr. 1.12. Konceptia stroja, obrábacieho centra ovládajúceho technológiu HSC [15].

1.7 Výrobná technológia HSC

1.7.1 Princíp HSC rezných procesov

HSC zahŕňa vysokorýchlostné obrábanie a taktiež príbuzné technológie, tzv. suché a tvrdé obrábanie. Tieto technológie majú spoločný základ vo zvyšovaní reznej rýchlosti a teploty triesky. Všeobecne stále platí, že efektívne rezanie kovu nastáva vtedy, keď si rezný materiál udrží v reznom prostredí výraznú prevahu tvrdosti oproti obrábanému materiálu.

Pri konvenčnom obrábaní nastáva v rovine strihu spevnenie, stvrdnutie triesky oproti pôvodnému materiálu. V podmienkach HSC mimoriadne tvrdými a tepelne odolnými nástrojmi sa teplota triesky priblíži tavnej teplote obrábaného materiálu a pri určitej reznej rýchlosti dôjde k náhlej zmene množstva vznikajúcej triesky. Trieska sčervená, aj kalená oceľová trieska zmäkne a zníži svoju prítlačnú silu na čelo nástroja. Znížia sa kontaktné zóny a pri vysokých rýchlostiach trieska nestihne odovzdať teplo. Minimalizuje sa prenos tepla do nástroja, väčšina tepla odchádza s trieskou. Nástroje majú vysokú kvalitu reznej hrany,

dômyselné povlakovanie, ktoré vzdoruje abrazivnosti, difúznym procesom, a navyiac vytvára tepelnú izoláciu. Rast teploty nástroja dosahuje maximum:

- 600 °C pri hliníku;
- 1 000 °C pre bronz;
- 1 300 °C pre sivú liatinu;
- 1 500 °C pre oceľ.

Popísaná blesková zmena teploty je pozitívnym faktorom a principiálnym zdrojom efektov vysokorýchlostného obrábania. Chladenie nie je žiadúce, bránilo by popísanému efektu [15].

1.7.2 Rezné podmienky

Súčasná aplikácia rýchlostného obrábania sú najčastejšie pri frézovaní malými priemermi štíhlych nástrojov a pri sústružení. Prinášajú významné zníženie výrobných dobie až o 90 % a zníženie nákladov až o 50 %. Je jasná hlavná snaha doceliť zvýšenie výkonu, kvality obrábaného povrchu i životnosti nástroja vyššími otáčkami a posuvy pri zníženej hĺbke triesky, nižších rezných silách a zníženej teplote obrobku. Presnou hranicou parametrov strojov a rezných podmienok, za ktorých by vznikli efekty rýchlostného obrábania, nie je jednoduché vopred obecné stanoviť [15].

1.8 Súčasné obrábacie centra

Oproti konvenčnému sústruženiu a frézovaniu sú pri vysokorýchlostnom obrábaní posuvy i rezné rýchlosti 5 až 10-krát vyššie. Hlavné časy sa tým skracujú, kvalita výroby sa zvyšuje, dokončovacie práce sa minimalizujú. Základným predpokladom sú tuhé stroje, odolné proti chveniu, so zníženou hmotnosťou. Cieľom je i minimalizácia vedľajších časov. Veľkú úlohu hrá zrýchľovanie, spomaľovanie posuvov, rýchloposuvov – preto sú moderné (HSC) stroje vybavované valivými vodiacimi plochami s rýchlopojzdom do 120 m/min. Využívajú sa pohony s guľčikovými šróbami alebo priame lineárne pohony so zrýchlením 1 g až 3 g.

Triesky z ocele a neželezných kovov je nutné spoľahlivo odstrániť od obrobku a z pracovného priestoru. Sú odvádzané z miesta rezu buď s minimálnym množstvom reznej kvapaliny alebo smerovaným prúdom veľmi schladeného vzduchu. Ďalší transport extrémne horúcich triesok je bezpodmienečne nutný, pretože zbytočne zaťažujú obrobok aj stroj. Je to väčšinou riešené odľahčením tryskami do lože stroja, odkiaľ sa transportujú prevažne dopravníkom. Jeden zo spôsobov, aby sa triesky nezhromažďovali na obrobku, ponúka konštrukčné riešenie stroja, kedy sa obrába „hlavou dole“ (obrobok je upnutý hore – ako na obrátenom karuselovom sústruhu). Pri konvenčnom frézovaní sa dosahuje bežne 15 000 ot/min a pri vysokorýchlostnom 20 000 až 60 000 ot/min. Pri frézovaní ocele sú ekonomicky výhodné otáčky v rozmedzí 30 000 až 40 000 ot/min. Vretená s hybridnými ložiskami a valivými jednotkami z keramiky umožňujú až 60 000 ot/min. Magneticky uložené vretená, ktoré pracujú bez trenia, môžu dosiahnuť až 100 000 ot/min.

Problémy sú pri prechode na vysokorýchlostné obrábanie. Vzhľadom k vysokým rýchlostiam posuvov a rýchloposuvov tu môže dochádzať ku neočakávanému styku nástroja s obrobkom. Ak nedôjde ku včasnému rozpoznaní nebezpečia, môže nastať kolízia. Tá má najpodstatnejší vplyv na ložisko vretena, lebo sa poškodí jeho uloženie. Programátor môže možnosť kolízie vylúčiť, prípadne obmedziť najmä:

- použitím potenciometra na zníženie rýchloposuvov a posuvov, napr. pri príchode k materiálu a spustení programu v režime B-B. Blok po Bloku značí, že program sa po vykonaní jedného bloku zastaví a vyžaduje pre vykonanie ďalšieho bloku znovu štart;
- CAD/CAM umožňujú na účely možných kolízií zakresliť k súčasti v 3D vyskytujúce sa možné prekážky pri pohybe nástroja, ako sú tvary upínačov, úpiniek v reálnych veľkostiach a v miestach umiestnenia. K nim je potrebné stanoviť ochranné zóny. To tiež platí o nástrojoch a ich držiakoch. Narušenie tejto zóny pri odsimulovaní programu je oznámené programátorovi, ktorý zmení dráhu nástroja.

Pri hodnotení obrábacieho centra rozhodujú z veľkej časti aj vedľajšie časy (doba pojazdu rýchloposuvom, doba výmeny nástrojov, doba výmeny obrobkov vrátane ich paletizácia – ich upínanie, prepínanie, pootočenie a iné), objem úberu triesok, kvalita povrchových plôch a náklady na nástroje až po produktivitu celého systému.

Taktiež riadenie HSC má svoje špecifiká. Vyžadujú sa značné posuvové rýchlosti – blížia sa k 1 m/s. Medzi ďalšie požiadavky patria predom prepočítané, načítané obrysy (bloky programu) a bezproblémová komunikácia medzi modulmi CAD a CAM, bezproblémová príprava programu do stroja (postprocesory).

Stroje sú vybavené prevažne riadením Heidenhain, Ardon alebo Siemens. Takto vybavené stroje majú plne digitalizované riadenie a požiadavkám odpovedajúci program CNC. Stroje splňujú požiadavky automatickej prevádzky. V štandardnom prevedení sú vybavené pre zapojenie robotov a manipulačného zariadenia, ďalej sú dodávané s automatickou výmenou nástrojov. Majú diaľkovú diagnostiku porúch a chýb stroja, nástrojov (ulomenie, otupenie). Umožňujú merať obrobok sondami na stroji. V súčasnosti vrcholí integrácia strojných operácií do jedného stroja – centra. Jeden HSC stroj, vysoko produktívny s požadovanými nielen obrábacími technológiami, nahrádza často celú výrobnú linku – dochádza k úsporám času, miesta a nákladov. To všetko je pripravené pre bezobslužnú výrobu [15].



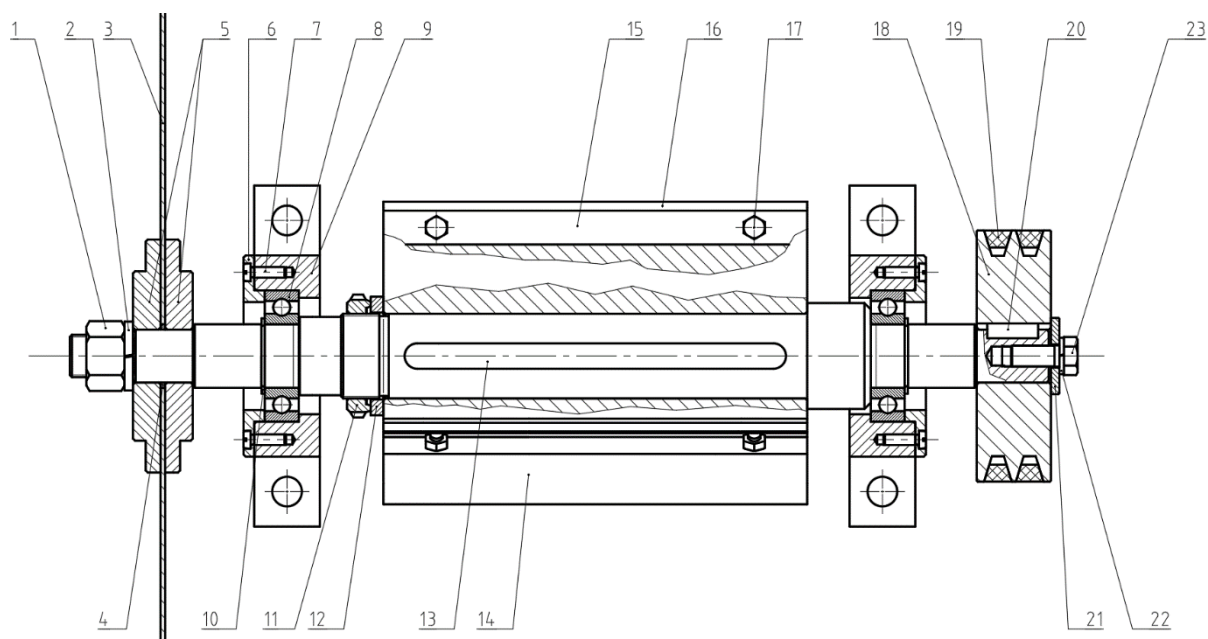
Obr. 1.13. QUASER UX 730 Dyn – päťosé vertikálne obrábacie centrum [16].

Pre hodnotenie konštrukčnej vyspelosti stroja (obrábacieho centra) sa používa ako jeden z ukazovateľov počet os súradnicového systému, ktoré môžu byť pri obrábaní súčasne v činnosti [15]. Ako príklad je možné uviesť päťosé vertikálne obrábacie centrum s riadiacim systémom nemeckej firmy Heidenhain, ktoré je znázornené na obr. 1.13. Stroj je vybavený štvrtou + piatou osou: vysokopresným otočno-sklopným stolom. Princíp brzdzenia stola je pneumaticko-hydraulický, prostredníctvom brzdiaceho krúžku. Stroj sa vyznačuje supertuhou konštrukciou a flexibilitou. Centrum je schopné pracovať s maximálnym výkonom prakticky nepretržite a pritom stále dosahuje vysokú presnosť, čo dokazuje, že vývoj v oblasti obrábacích strojov prešiel veľkým progresom [16].

2. CHARAKTERISTIKA ZADANEJ SÚČIASTKY

Pre výrobu súčiastky na CNC stroji je navrhnutý hriadeľ drevoobrábacieho stroja, ktorý slúži na prenos krútiaceho momentu. Hriadeľ je staticky a dynamicky zaťažovaný a to najmä v miestach upevnenia pílového kotúča, hobľovacieho valca a v mieste upevnenia hnanej remenice, kde pôsobí pracovné predpätie remeňa.

Na obr. 2.1 je znázornená schéma zostavy mechanizmu, ktorý je poháňaný elektrickým motorom pomocou remeňa (remeňov). Hriadeľ je uložený v dvoch jednoradových radiálnych guľičkových ložiskách s označením 6206 [17 str. 621].



Obr. 2.1. Schéma zostavy mechanizmu drevoobrábacieho stroja [vlastný obrázok]. 1 – matica M20, 2 – pružná podložka, 3 – pílový kotúč [18], 4 – redukčný krúžok [19], 5 – upínacie príruby, 6 – kryt ložiska, 7 – skrutka M5, 8 – ložisko s označením 6206, 9 – domec pre ložisko, 10 – poistný krúžok, 11 - poistná matica UW M40 so zaisťovacím zariadením [20], 12 – podložka M40, 13 – tesné pero, 14 – hobľovací valec, 15 – upínacia lišta, 16 – hobľovací nôž [21], 17 – rozpínacia skrutka M6, 18 – hnaná remenica, 19 – remeň, 20 – tesné pero, 21 – upínacia doska, 22 – pružná podložka, 23 – skrutka M10.

2.1 Výpočtová dokumentácia potrebná pre návrh hriadeľa drevoobrábacieho stroja [18, 22, 23, 24, 25, 26]

2.1.1 Výpočet krútiaceho momentu na hriadeľi motora

Zvolený motor SIEMENS 1LA7 [22].

2.1.1.1 Parametre motora

Výkon motora: $P = 4 \text{ kW}$ [22].

Otáčky motora: $n_1 = 2905 \text{ min}^{-1}$ [22].

$$n_1 = \frac{2900}{60} = 48,417 \text{ s}^{-1} \quad (2.1)$$

$$M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{4000}{2 \cdot \pi \cdot 48,417} = 13,149 \text{ Nm} \quad (2.2)$$

2.1.2 Výpočet pohonu klinovým remeňom

2.1.2.1 Prevodový pomer klinového remeňového prevodu

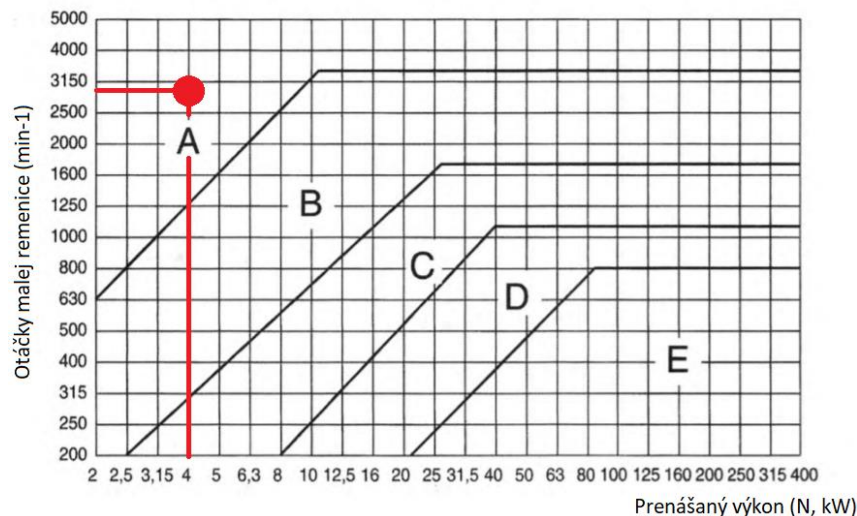
Maximálne otáčky motora: $n_1 = 2905 \text{ min}^{-1}$ [22].

Maximálne otáčky pílového kotúča: $n_2 = 2300 \text{ min}^{-1}$ [18].

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2900}{2300} = 1,263 [-] \quad (2.3)$$

2.1.2.2 Určenie veľkosti prierezu klinového remeňa

Z diagramu, v strojnických tabuľkách podľa normy ČSN 02 3111, na základe prenášaného výkonu na hnacom hriadeli a otáčok malej remenice na hnacom hriadeli je zvolený prierez remeňa – TYP A [23].



Obr. 2.2. Diagram určenia potrebného prierezu klinového remeňa [23 str. 546].

2.1.2.3 Minimálny priemer remeníc

V závislosti na veľkosti klasického prierezu remeňa sú minimálne priemery (D_{\min}) určené v ČSN 02 3179. Podľa tab. 2.1 sa zvolí minimálna veľkosť výpočtového priemeru remeníc [24].

Tab. 2.1. Minimálne výpočtové priemery remeníc pre jednotlivé veľkosti klasického prierezu klinového remeňa [24].

Prierez remeňa	D_{\min} [mm]
Z	63
A	90
B	125
C	200
D	355
E	500

Podľa tab. 2.1 je pre remeň TYPU A minimálny priemer $D_{\min} = 90$ mm.

2.1.2.4 Určenie minimálnych výpočtových priemerov remeníc

Maximálna rýchlosť remeňa: $v_{\max} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [25 str. 177].

Maximálne otáčky motora: $n_1 = 2905 \text{ min}^{-1}$ [22].

D_1 – priemer malej (hnacej) remenice.

$$D_{1,\max} = \frac{60\,000 \cdot v_{\max}}{\pi \cdot n_1} = \frac{60\,000 \cdot 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{\pi \cdot 2905 \text{ min}^{-1}} = 164,36 \text{ mm} \quad (2.4)$$

$$90 \text{ mm} \leq D_1 \leq 164,36 \text{ mm}$$

Tab. 2.2. Normalizované výpočtové priemery remeníc [24].

Prierez remeňa	Normalizovaný výpočtový priemer remenice D [mm]
Z	(50), (53), (56), 60, 63, 67,71, 75, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 150, 160, 180, 200, 224, 250
A	(75), (80), (85), 90, 95, 100, 106, 112, 118, 125, 132, 140, 150, 160, (170), 180, (190), 200, 224, 250, 280, 300, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, (800)
B	125, 132, 140, 150, 160, 170, 180, (190), 200, 224, 250, 280, 300, 315, 355, 375, 400, 450, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, (1120)
C	200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, (335), 355, 375, 400, 450, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600
D	355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, (530), 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1000, 1060, 1120, 1250, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
E	500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, (750), 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1500, 1600, 1800, 1900, 2000, 2240, 2500

Z tab. 2.2 je zvolený priemer $D_1 = 90$ mm.

Výpočet priemeru veľkej (hnanej) remenice:

$$D_2 = D_1 \cdot i = 90 \text{ mm} \cdot 1,263 = 113,67 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Z tab. 2.2 je zvolený normalizovaný priemer $D_2 = 112$ mm.

Skutočný prevodový pomer:

$$i_{skut} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{112 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} = 1,244 [-] \quad (2.6)$$

Obvodová rýchlosť remeňa:

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60\,000} = \frac{\pi \cdot 90 \text{ mm} \cdot 2905 \text{ min}^{-1}}{60\,000} = 13,689 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2.7)$$

2.1.2.5 Výpočet dĺžky klinového remene

Minimálna osová vzdialenosť remeníc:

$$a_{min} = 0,7 \cdot (D_1 + D_2) = 0,7 \cdot (90 + 112) = 141,4 \text{ mm} \quad (2.8)$$

Maximálna osová vzdialenosť remeníc:

$$a_{max} = 2 \cdot (D_1 + D_2) = 2 \cdot (90 + 112) = 404 \text{ mm} \quad (2.9)$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$141,4 \text{ mm} \leq a \leq 404 \text{ mm}$$

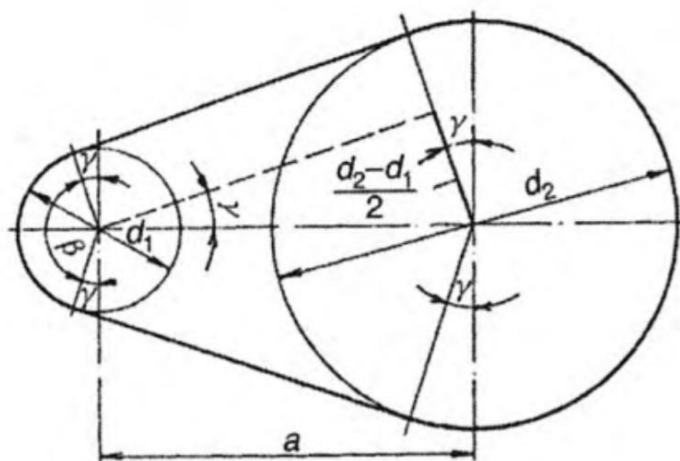
Osová vzdialenosť je zvolená $a = 350 \text{ mm}$.

Uhol opásania pre malú (β) a veľkú remenicu (δ):

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{D_2 - D_1}{2 \cdot a}\right) = \arcsin\left(\frac{112 - 90}{2 \cdot 350}\right) = 1,8^\circ \quad (2.10)$$

$$\beta = 180^\circ - 2 \cdot \gamma = 180^\circ - 2 \cdot 1,8^\circ = 176,4^\circ \quad (2.11)$$

$$\delta = 180^\circ + 2 \cdot \gamma = 180^\circ + 2 \cdot 1,8^\circ = 183,6^\circ \quad (2.12)$$



Obr. 2.3. Schéma opásania malej a veľkej remenice [23 str. 542].

Návrh dĺžky remeňa:

$$L'_p = 2 \cdot a \cdot \cos(\gamma) + \frac{\pi \cdot (D_1 + D_2)}{2} + \pi \cdot (D_2 - D_1) \cdot \frac{\gamma}{180^\circ}$$

$$L'_p = 2 \cdot 350 \cdot \cos(1,8^\circ) + \frac{\pi \cdot (90 + 112)}{2} + \pi \cdot (112 - 90) \cdot \frac{1,8^\circ}{180^\circ} \quad (2.13)$$

$$L'_p = 1017,65 \text{ mm}$$

Tab. 2.3. Normalizované výpočtové dĺžky L_P pre jednotlivé normalizované veľkosti klasického prierezu klinového remeňa [24].

Prierez remeňa	Výpočtové dĺžky L_P [mm] klinového remeňa
Z	400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500
A	560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000
B	800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300
C	1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000,
D	3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000, 11200, 12500, 14000
E	4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000, 11200, 12500, 14000, 16000, 18000

Podľa tab. 2.3 je zvolená normalizovaná dĺžka remeňa $L_P = 1000$ mm.

Bude použitý remeň A – 1000 ČSN 02 3110 [26].

Ďalej zvolené: REMENICA 90 ČSN 02 3179 [26],
REMENICA 112 ČSN 02 3179 [26].

2.1.2.6 Určenie potrebného počtu klinových remeňov**Menovitý ideálny výkon prevodu s jedným remeňom:**

pre $1 \leq i \leq 3$ je:

$$P_n^* = P_{n(i=1)}^* + K \cdot (P_{n(i=3)}^* - P_{n(i=1)}^*)$$

$$P_n^* = 1,64 + 0,5 \cdot (1,87 - 1,64) \quad (2.14)$$

$$P_n^* = 1,755 \text{ kW [25 str. 181]}$$

Menovitý ideálny výkon prevodu s jedným remeňom:

súčiniteľ opásania malej remenice: $C_a = 0,99$ [25 str. 176],
 súčiniteľ dynamickosti zaťaženia a pracovného režimu: $C_p = 1,3$ [25 str. 179],
 súčiniteľ dĺžky klinového remeňa: $C_L = 0,89$ [25 str. 183].

$$P^* = \frac{P_n^* \cdot C_p}{C_a \cdot C_L} = \frac{1,755 \cdot 1,3}{0,99 \cdot 0,89} = 2,589 \text{ kW} \quad (2.15)$$

Potrebný počet remeňov:

$$K = \frac{P}{P^*} = \frac{4 \text{ kW}}{2,589 \text{ kW}} = 1,545 \quad (2.16)$$

Budú potrebné 2 klinové remene.

2.1.2.7 Výpočet pracovného predpätia klinového remeňa**Kontrola ohybovej frekvencie:**počet remeníc, cez ktoré sa remeň ohýba: $k = 2$,obvodová rýchlosť remeňa: $v = 13,689 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow (2.7)$,dĺžka remeňa: $L_p = 1000 \text{ mm} \rightarrow (2.13)$,maximálna ohybová frekvencia pre klasický klinový remeň: $f_{oD} = 40 \text{ s}^{-1}$ [25 str. 177].

$$f_o = \frac{z \cdot v}{L_p} \leq f_{oD}$$

$$f_o = \frac{2 \cdot 13,689}{1} = 27,378 \text{ s}^{-1} \quad (2.17)$$

$$27,378 \leq 40 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Výpočet obvodovej sily:

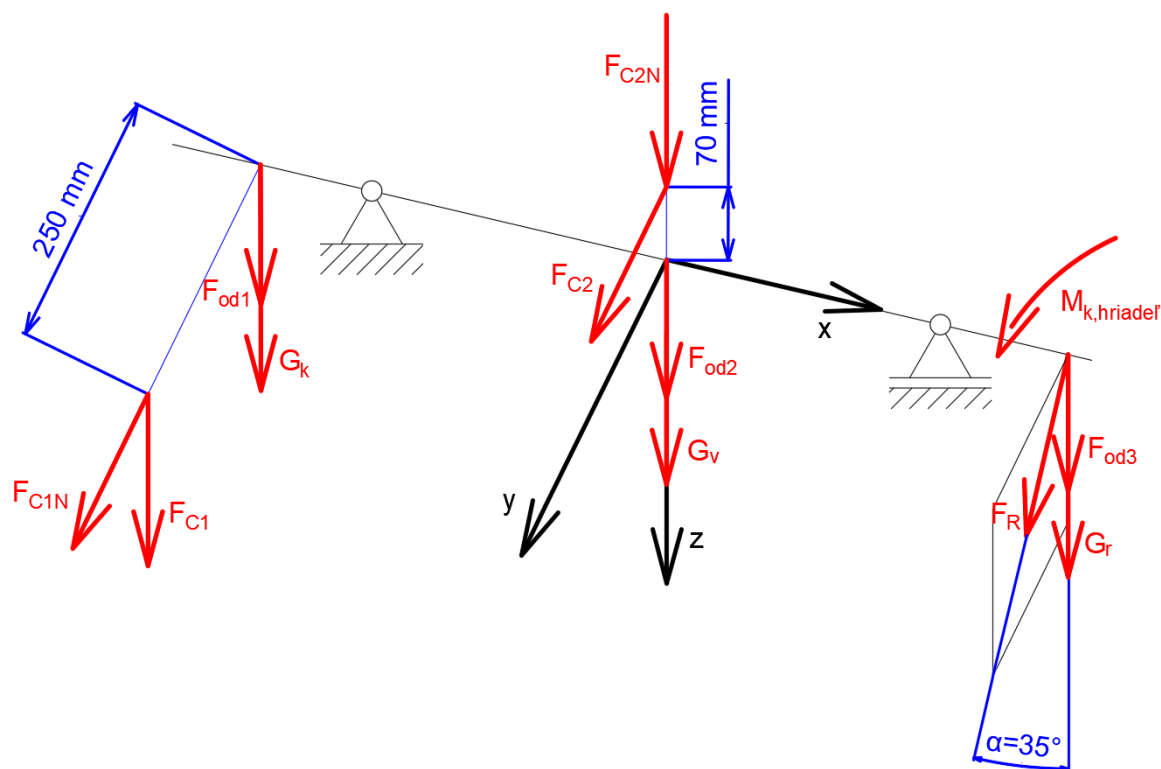
$$F = \frac{P}{v} = \frac{4000}{13,689} = 292,21 \text{ N} \quad (2.18)$$

Výpočet sily pracovného predpätia klinového remeňa:

$$F_R = 2 \cdot F = 2 \cdot 292,21 = 584,42 \text{ N} \quad (2.19)$$

2.2 Návrh hriadeľa [17, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]

2.2.1 Výpočet zaťaženia hriadeľa a výsledných vnútorných účinkov (VVÚ)



Obr. 2.3. Schéma zaťaženia hriadeľa od pílového kotúča, hobľovacieho valca a remenice [vlastný obrázok].

2.2.1.1 Materiálové hodnoty konštrukčnej ocele 12 050

Medza pevnosti v ťahu: $R_m = \min. 540 \text{ MPa}$ [27].

Medza klzu v ťahu: $R_e = \min. 325 \text{ MPa}$ [27].

Návrhový súčiniteľ bezpečnosti: $k = 3 [-]$ [25 str. 17].

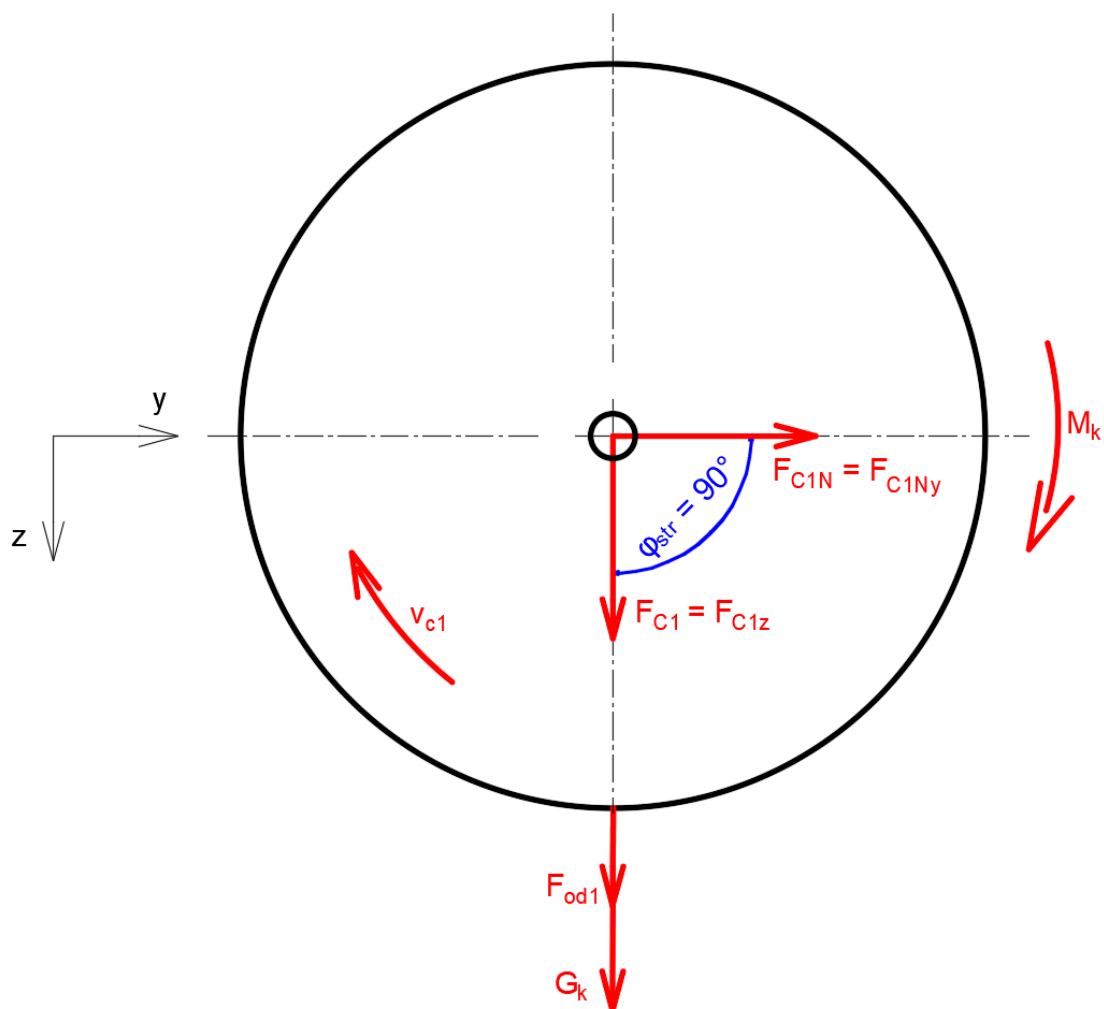
$$\sigma_{oD} = \frac{R_e}{k} = \frac{325}{3} = 108,33 \text{ MPa} \quad (2.20)$$

$$\tau_{kD} = 0,57 \cdot \sigma_{oD} = 61,75 \text{ MPa} \rightarrow [28] \quad (2.21)$$

$$\sigma_{Co} = 0,49 \cdot R_m = 0,49 \cdot 540 = 264,6 \text{ MPa} \quad (2.22)$$

Kde, σ_{oD} – dovolené napätie v ohybe [MPa] [25 str. 17],
 τ_{kD} – dovolené napätie v krute [MPa],
 σ_{Co} – medza únavy v ohybe pri súmerne striedavom kmite [MPa] [25 str. 24].

2.2.1.2 Zaťaženie hriadeľa v mieste upevnenia pílového kotúča



Obr. 2.4. Schéma zaťaženia hriadeľa v mieste upevnenia pílového kotúča [vlastný obrázok].
 F_{C1} – rezná sila [N], F_{od1} – odstredivá sila [N], G_k – tiažová sila pílového kotúča [N], F_{C1z} – zložka reznej sily na súradnici z [N], F_{C1N} – kolmá rezná sila [N], F_{C1Ny} – zložka kolmej reznej sily na súradnici y [N], φ_{str} – stredný uhol [°], v_c – rezná rýchlosť [m.s⁻¹], M_k – krútiaci moment [N.mm].

Krútiaci moment hriadeľa:

$$M_{k,hriadeľ} = i_{skut} \cdot M_k = 1,244 \cdot 13\,149 = 16\,357,36 \text{ Nmm} \quad (2.23)$$

Rezná sila pílového kotúča:

$$F_{C1} = \frac{2 \cdot M_{k,hriadeľ}}{D_{k1}} = \frac{2 \cdot 16\,357,36}{500} = 65,43 \text{ N} \quad (2.24)$$

kde, D_{k1} – priemer pílového kotúča [mm], $D_{k1} = 500 \text{ mm}$.

Kolmá rezná sila pílového kotúča:

$$F_{C1N} = m \cdot F_{C1} = 1 \cdot 65,43 = 65,43 \text{ N} \quad (2.25)$$

kde, m – koeficient [–], $m = (0,1 \div 1,2)$, pre koštrukčné výpočty sa volí $m = 1$ [30].

Zložky reznej sily pílového kotúča F_{C1} :

$$F_{C1y} = F_{C1} \cdot \cos(\varphi_{str}) = 65,43 \cdot \cos(90^\circ) = 0 \text{ N} \quad (2.26)$$

$$F_{C1z} = F_{C1} \cdot \sin(\varphi_{str}) = 65,43 \cdot \sin(90^\circ) = 65,43 \text{ N} \Rightarrow F_{C1z} = F_{C1} \quad (2.27)$$

kde, φ_{str} – stredný uhol [°], pre zjednodušenie výpočtov sa volí $\varphi_{str} = 90^\circ$.

Zložky kolmej reznej sily pílového kotúča F_{C1N} :

$$F_{C1Ny} = F_{C1N} \cdot \sin(\varphi_{str}) = 65,43 \cdot \sin(90^\circ) = 65,43 \text{ N} \Rightarrow F_{C1Ny} = F_{C1N} \quad (2.28)$$

$$F_{C1Nz} = F_{C1N} \cdot \cos(\varphi_{str}) = 65,43 \cdot \cos(90^\circ) = 0 \text{ N} \quad (2.29)$$

Tiažová sila pílového kotúča:

$$m_1 = m_{kotúč} + m_{prírubby} = 3,38 + 1,37 = 4,75 \text{ kg} \quad (2.30)$$

$$G_k = m_1 \cdot g = 4,75 \cdot 9,81 = 46,6 \text{ N} \quad (2.31)$$

kde, m_1 – hmotnosť pílového kotúča a upínacích prírub [kg],

$m_{\text{kotúč}}$ – hmotnosť pílového kotúča [kg], $m_{\text{kotúč}} = 3,38 \text{ kg}$,

$m_{\text{príruby}}$ – hmotnosť upínacích prírub [kg], $m_{\text{príruby}} = 1,37 \text{ kg}$,

g – gravitačné zrýchlenie [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$], $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Odstredivá sila pílového kotúča:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{\pi \cdot 2300}{30} = 240,86 \text{ s}^{-1} \quad (2.32)$$

$$F_{od1} = m_1 \cdot (r + e) \cdot \omega^2 = 4,75 \cdot (0,00004 + 0,00001) \cdot (240,86)^2 = 13,78 \text{ N} \quad (2.33)$$

kde, m_1 – hmotnosť pílového kotúča a upínacích prírub [kg],

r – vzdialenosť medzi ťažiskom pílového kotúča a osou hriadeľa [m],

$r = 0,00004 \text{ m}$ [31],

e – excentricita medzi hriadeľom a stredovou dierou pílového kotúča [m],

$e = 0,00001 \text{ m}$ [31],

ω – uhlová rýchlosť hriadeľa [s^{-1}], ($\omega = (\pi \cdot n)/30$) [30].

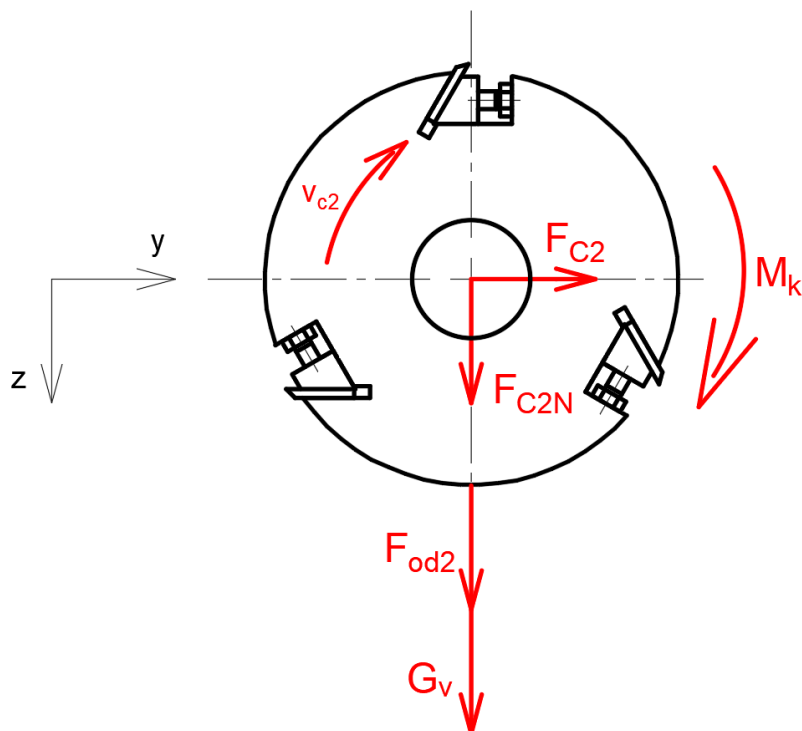
Výsledná sila do smeru osi z:

$$F_{z1} = F_{C1} + G_k + F_{od1} = 65,43 + 46,6 + 13,78 = 125,81 \text{ N} \quad (2.34)$$

Výsledná sila do smeru osi y:

$$F_{y1} = F_{C1N} = 65,43 \text{ N} \quad (2.35)$$

2.2.1.3 Zat'azenie hriadeľa v mieste upevnenia hobľovacieho valca



Obr. 2.5. Schéma zaťaženia hriadeľa v mieste upevnenia pilového kotúča [vlastný obrázok].
 F_{C2} – rezná sila [N], F_{od2} – odstredivá sila [N], G_v – tiažová sila hobľovacieho valca [N], F_{C2N} – kolmá rezná sila [N], v_c – rezná rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$], M_k – krútiaci moment [N.mm].

Krútiaci moment hriadeľa:

$$M_{k,hriadel'} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Rezná sila hobľovacieho valca:

$$F_{C2} = \frac{2 \cdot M_{k,hriadel'}}{D_{k2}} = \frac{2 \cdot 16\,357,36}{140} = 233,68 \text{ N} \quad (2.36)$$

kde, D_{k2} – priemer hobľovacieho valca [mm], $D_{k2} = 140 \text{ mm}$.

Kolmá rezná sila hobľovacieho valca:

$$F_{C2N} = m \cdot F_{C2} = 1 \cdot 233,68 = 233,68 \text{ N} \quad (2.37)$$

Tiažová sila hobľovacieho valca:

$$G_v = m_{vavec} \cdot g = 21,33 \cdot 9,81 = 209,25 \text{ N} \quad (2.38)$$

kde, m_{vavec} – hmotnosť hobľovacieho valca [kg], $m_{vavec} = 21,33 \text{ kg}$,
 g – gravitačné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Odstredivá sila hobľovacieho valca:

$$\omega = 240,86 \text{ s}^{-1} \rightarrow (2.32)$$

$$\begin{aligned} F_{od2} &= m_{vavec} \cdot (r + e) \cdot \omega^2 \\ F_{od2} &= 21,33 \cdot (0,00004 + 0,00001) \cdot (240,86)^2 \\ F_{od2} &= 61,87 \text{ N} \end{aligned} \quad (2.39)$$

kde, m_{vavec} – hmotnosť hobľovacieho valca [kg], $m_{vavec} = 21,33 \text{ kg}$,
 r – vzdialenosť medzi ťažiskom hobľovacieho valca a osou hriadeľa [m],
 $r = 0,00004 \text{ m}$,
 e – excentricita medzi hriadeľom a stredovou dierou hobľovacieho valca [m],
 $e = 0,00001 \text{ m}$,
 ω – uhlová rýchlosť hriadeľa [s^{-1}], ($\omega = (\pi \cdot n) / 30$) [30].

Poznámka: Kvôli zjednodušeniu výpočtu sú predpokladané, pre vzdialenosť r a excentricitu e , rovnaké hodnoty ako pri výpočte odstredivej sily pílového kotúča.

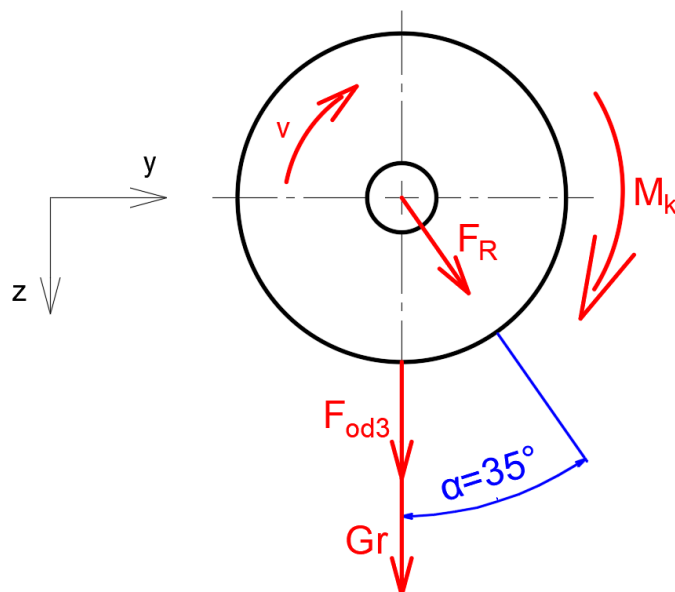
Výsledná sila do smeru osi z:

$$F_{z2} = F_{C2N} + G_v + F_{od2} = 233,68 + 209,25 + 61,87 = 504,8 \text{ N} \quad (2.40)$$

Výsledná sila do smeru osi y:

$$F_{y2} = F_{C2} = 233,68 \text{ N} \quad (2.41)$$

2.2.1.4 Zat'azenie hriadeľa v mieste upevnenia hnanej (veľkej) remenice



Obr. 2.6. Schéma zat'azenia hriadeľa v mieste upevnenia remenice [vlastný obrázok]. F_R – sila pracovného predpätia klinového remeňa [N], F_{od3} – odstredivá sila [N], G_r – tiažová sila remenice [N], α – uhol predpätia klinového remeňa [°], v – obvodová rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$], M_k – krútiaci moment [N.mm].

Sila pracovného predpätia klinového remeňa:

$$F_R = 584,42 \text{ N} \rightarrow (2.19)$$

Tiažová sila remenice:

$$G_r = m_{remenica} \cdot g = 2,29 \cdot 9,81 = 22,46 \text{ N} \quad (2.42)$$

kde, $m_{remenica}$ – hmotnosť remenice [kg], $m_{remenica} = 2,29 \text{ kg}$,

g – gravitačné zrýchlenie [$m \cdot s^{-2}$], $g = 9,81 \text{ m} \cdot s^{-2}$.

Odstredivá sila remenice:

$$\omega = 240,86 \text{ s}^{-1} \rightarrow (2.32)$$

$$F_{od3} = m_{remenica} \cdot (r + e) \cdot \omega^2$$

$$F_{od3} = 2,29 \cdot (0,00004 + 0,00001) \cdot (240,86)^2 \quad (2.43)$$

$$F_{od3} = 6,64 \text{ N}$$

kde, m_{remenica} – hmotnosť remenice [kg], $m_{\text{remenica}} = 2,29 \text{ kg}$,
 r – vzdialenosť medzi ťažiskom remenice a osou hriadeľa [m],
 $r = 0,00004 \text{ m}$,
 e – excentricita medzi hriadeľom a stredovou dierou remenice [m],
 $e = 0,00001 \text{ m}$,
 ω – uhlová rýchlosť hriadeľa [s^{-1}], ($\omega = (\pi \cdot n) / 30$) [30].

Poznámka: Kvôli zjednodušeniu výpočtu sú predpokladané, pre vzdialenosť r a excentricitu e , rovnaké hodnoty ako pri výpočte odstredivej sily pílového kotúča.

Výsledná sila do smeru osi z:

$$\begin{aligned} F_{z3} &= F_R \cdot \cos(\alpha) + G_r + F_{od3} \\ F_{z3} &= 584,42 \cdot \cos(35^\circ) + 22,46 + 6,64 \\ F_{z3} &= 507,83 \text{ N} \end{aligned} \tag{2.44}$$

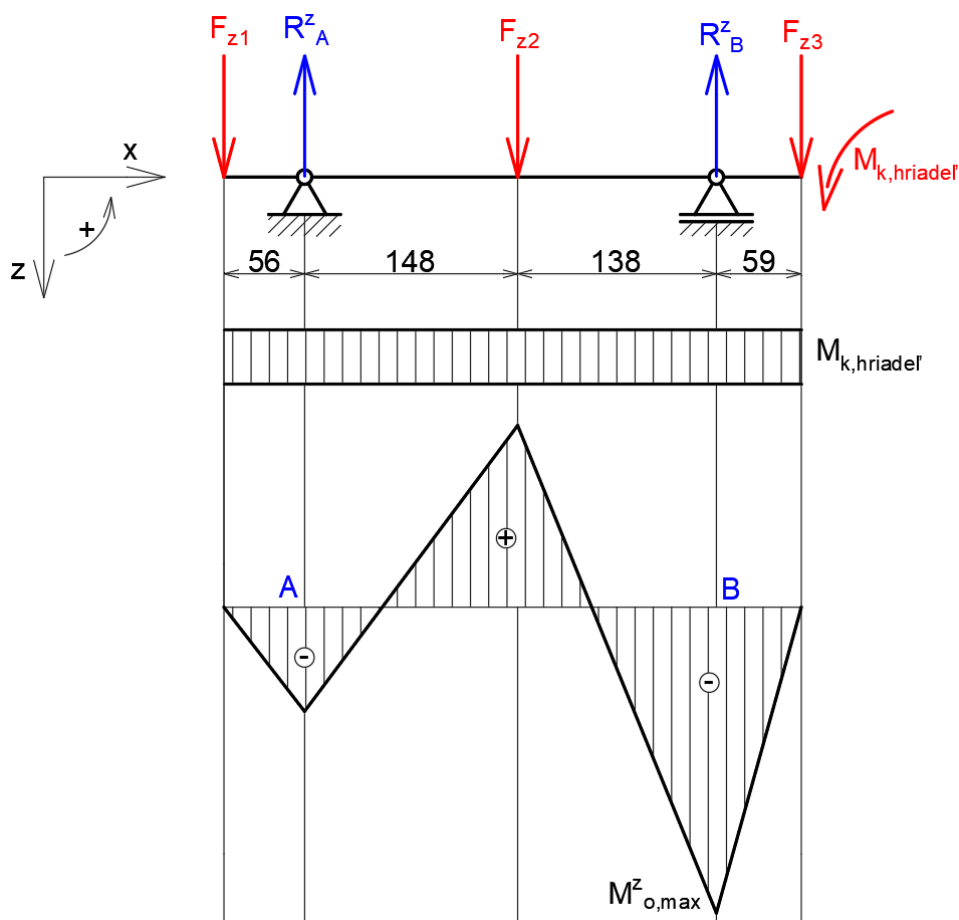
kde, α – uhol predpätia klinového remeňa [$^\circ$], zvolený $\alpha = 35^\circ$.

Výsledná sila do smeru osi y:

$$F_{y3} = F_R \cdot \sin(\alpha) = 584,42 \cdot \sin(35^\circ) = 335,21 \text{ N} \tag{2.45}$$

2.2.1.5 Výsledné vnútorné účinky (VVÚ) pri zaťažení hriadeľa od pílového kotúča, hobľovacieho valca a remenice

Zaťaženia hriadeľa od pílového kotúča, hobľovacieho valca a remenice v rovine XZ:



Obr. 2.7. VVÚ v rovine XZ [vlastný obrázok]. F_{z1} – výsledná sila v mieste upevnenia pílového kotúča na súradnici z, F_{z2} – výsledná sila v mieste upevnenia hobľovacieho valca na súradnici z, F_{z3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici z, R_A^z – reakčná sila vo väzbe A na súradnici z, R_B^z – reakčná sila vo väzbe B na súradnici z, $M_{k,hriadeľ}$ – krútiaci moment hriadeľa, $M_{o,max}^z$ – maximálny ohybový moment v smere osi z.

Zaťaženie v rovine XZ:

$$F_{z1} = 125,81 \text{ N} \rightarrow (2.34) \quad F_{z2} = 504,8 \text{ N} \rightarrow (2.40) \quad F_{z3} = 507,83 \text{ N} \rightarrow (2.44)$$

$$M_{k,hriadeľ} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XZ:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: F_{z1} \cdot 56 - F_{z2} \cdot 148 + R_B^z \cdot 286 - F_{z3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^z \quad (2.46)$$

$$R_B^z = \frac{-F_{z1} \cdot 56 + F_{z2} \cdot 148 + F_{z3} \cdot 345}{286} \quad (2.47)$$

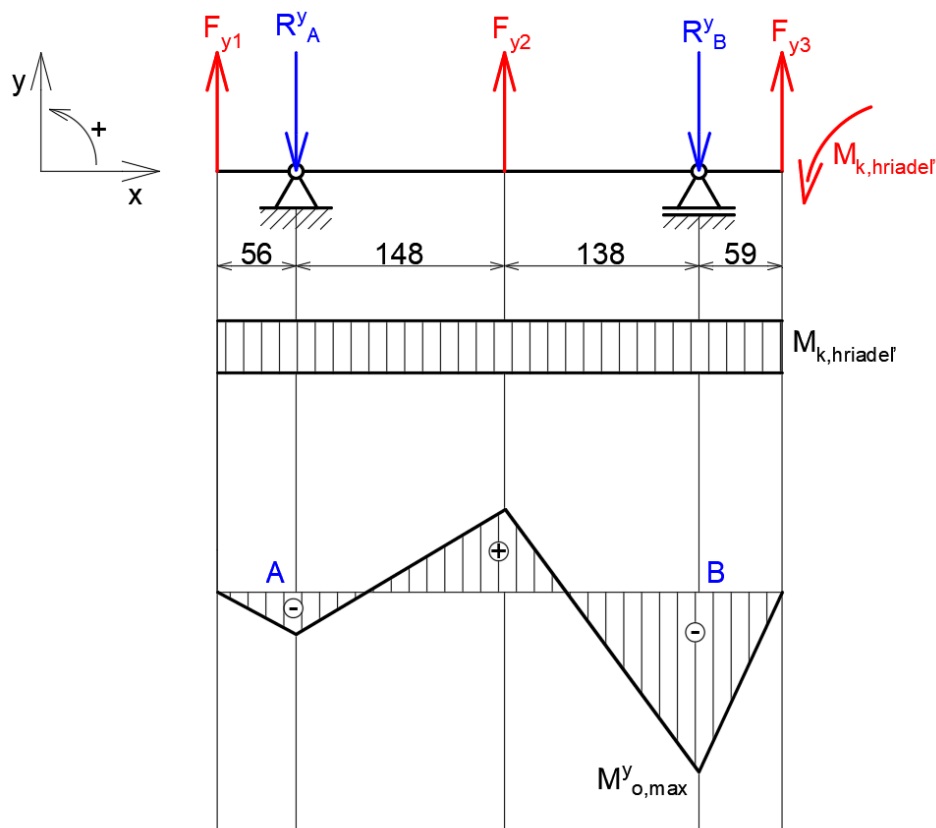
$$R_B^z = \frac{-125,81 \cdot 56 + 504,8 \cdot 148 + 507,83 \cdot 345}{286} = 849,18 \text{ N}$$

$$\sum F_{iz} = 0: F_{z1} - R_A^z + F_{z2} - R_B^z + F_{z3} = 0 \Rightarrow R_A^z \quad (2.48)$$

$$R_A^z = F_{z1} + F_{z2} - R_B^z + F_{z3} \quad (2.49)$$

$$R_A^z = 125,81 + 504,8 - 849,18 + 507,83 = 289,26 \text{ N}$$

Zaťaženia hriadeľa od pilového kotúča, hobľovacieho valca a remenice v rovine XY:



Obr. 2.8. VVÚ v rovine XY [vlastný obrázok]. F_{y1} – výsledná sila v mieste upevnenia pilového kotúča na súradnici y, F_{y2} – výsledná sila v mieste upevnenia hobľovacieho valca na súradnici y, F_{y3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici y, R_A^y – reakčná sila vo väzbe A na súradnici y, R_B^y – reakčná sila vo väzbe B na súradnici y, $M_{k,hriadeľ}$ – krútiaci moment hriadeľa, $M_{o,max}^y$ – maximálny ohybový moment v smere osi y.

Zat'azenie v rovine XY:

$$F_{y1} = 65,43 \text{ N} \rightarrow (2.35) \quad F_{y2} = 233,68 \text{ N} \rightarrow (2.41) \quad F_{y3} = 335,21 \text{ N} \rightarrow (2.45)$$

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XY:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: -F_{y1} \cdot 56 + F_{y2} \cdot 148 - R_B^y \cdot 286 + F_{y3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^y \quad (2.50)$$

$$R_B^y = \frac{-F_{y1} \cdot 56 + F_{y2} \cdot 148 + F_{y3} \cdot 345}{286} \quad (2.51)$$

$$R_B^y = \frac{-65,43 \cdot 56 + 233,68 \cdot 148 + 335,21 \cdot 345}{286} = 512,48 \text{ N}$$

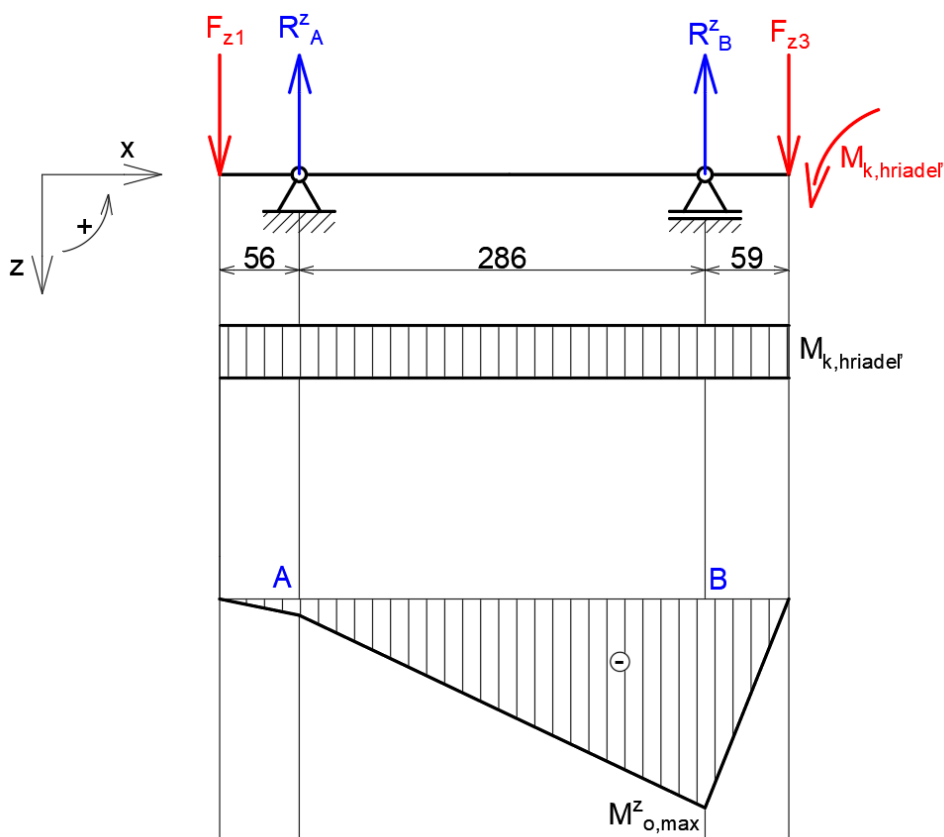
$$\sum F_{iy} = 0: F_{y1} - R_A^y + F_{y2} - R_B^y + F_{y3} = 0 \Rightarrow R_A^y \quad (2.52)$$

$$R_A^y = F_{y1} + F_{y2} - R_B^y + F_{y3} \quad (2.53)$$

$$R_A^y = 65,43 + 233,68 - 512,48 + 335,21 = 121,84 \text{ N}$$

2.2.1.6 Výsledné vnútorné účinky (VVÚ) pri zaťažení hriadeľa od pílového kotúča a remenice

Zaťaženia hriadeľa od pílového kotúča a remenice v rovine XZ:



Obr. 2.9. VVÚ v rovine XZ [vlastný obrázok]. F_{z1} – výsledná sila v mieste upevnenia pílového kotúča na súradnici z, F_{z3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici z, R_A^z – reakčná sila vo väzbe A na súradnici z, R_B^z – reakčná sila vo väzbe B na súradnici z, $M_{k,hriadel}$ – krútiaci moment hriadeľa, $M_{o,max}^z$ – maximálny ohybový moment v smere osi z.

Zaťaženie v rovine XZ:

$$F_{z1} = 125,81 \text{ N} \rightarrow (2.34) \quad F_{z3} = 507,83 \text{ N} \rightarrow (2.44)$$

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XZ:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: F_{z1} \cdot 56 + R_B^z \cdot 286 - F_{z3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^z \quad (2.54)$$

$$R_B^z = \frac{-F_{C1} \cdot 56 + F_{z3} \cdot 345}{286} \quad (2.55)$$

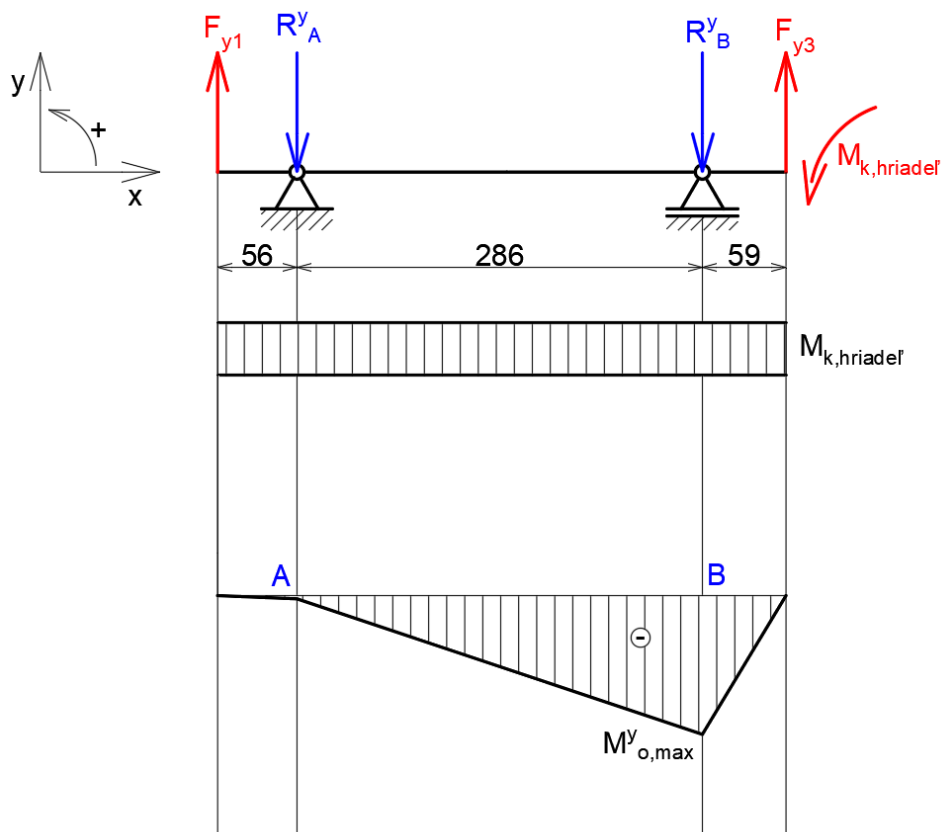
$$R_B^z = \frac{-125,81 \cdot 56 + 507,83 \cdot 345}{286} = 587,96 \text{ N}$$

$$\sum F_{iz} = 0: F_{z1} - R_A^z - R_B^z + F_{z3} = 0 \Rightarrow R_A^z \quad (2.56)$$

$$R_A^z = F_{z1} - R_B^z + F_{z3} \quad (2.57)$$

$$R_A^z = 125,81 - 587,96 + 507,83 = 45,68 \text{ N}$$

Zat'azenia hriadeľa od pílového kotúča a remenice v rovine XY:



Obr. 2.10. VVÚ v rovine XY [vlastný obrázok]. F_{y1} – výsledná sila v mieste upevnenia pílového kotúča na súradnici y, F_{y3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici y, R_A^y – reakčná sila vo väzbe A na súradnici y, R_B^y – reakčná sila vo väzbe B na súradnici y, $M_{k,hriadeľ}$ – krútiaci moment hriadeľa, M_o^y,max – maximálny ohybový moment v smere osi y.

Zaťaženie v rovine XY:

$$F_{y1} = 65,43 \text{ N} \rightarrow (2.35) \quad F_{y3} = 335,21 \text{ N} \rightarrow (2.45)$$

$$M_{k,hriadeľ} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XY:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: -F_{y1} \cdot 56 - R_B^y \cdot 286 + F_{y3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^y \quad (2.58)$$

$$R_B^y = \frac{-F_{y1} \cdot 56 + F_{y3} \cdot 345}{286} \quad (2.59)$$

$$R_B^y = \frac{-65,43 \cdot 56 + 335,21 \cdot 345}{286} = 391,55 \text{ N}$$

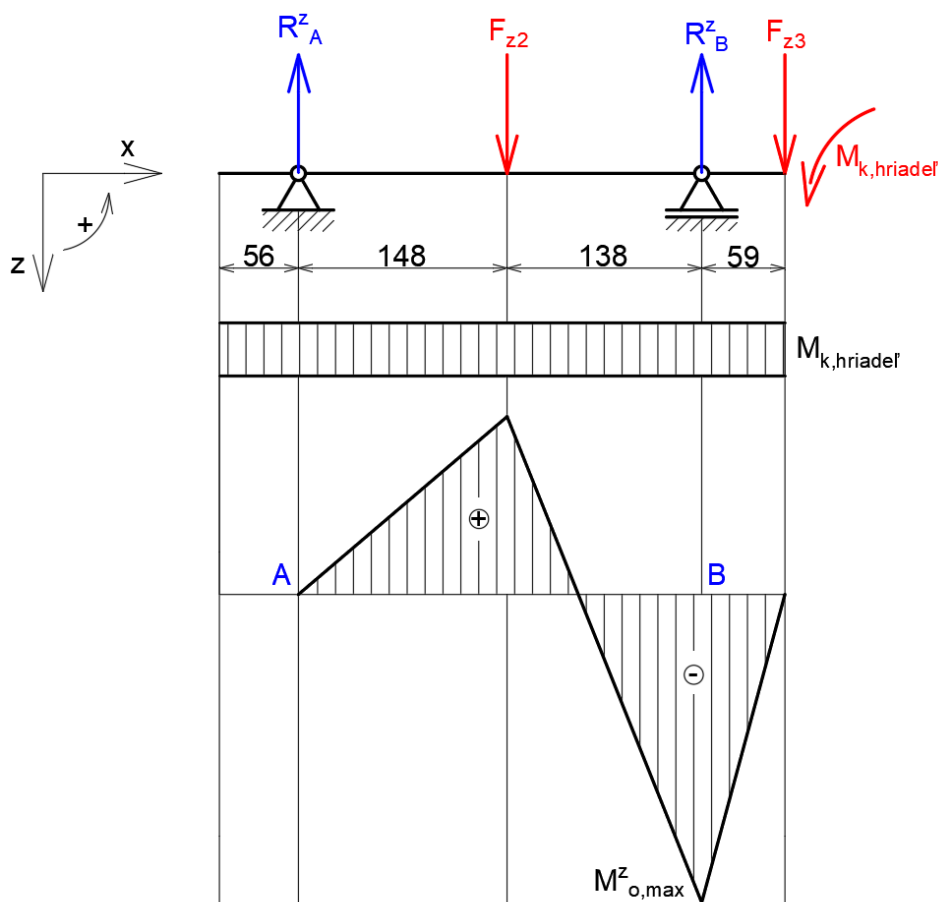
$$\sum F_{iy} = 0: F_{y1} - R_A^y - R_B^y + F_{y3} = 0 \Rightarrow R_A^y \quad (2.60)$$

$$R_A^y = F_{y1} - R_B^y + F_{y3}$$

$$R_A^y = 65,43 - 391,55 + 335,21 = 9,09 \text{ N} \quad (2.61)$$

2.2.1.7 Výsledné vnútorné účinky (VVÚ) pri zaťažení hriadeľa od hobľovacieho valca a remenice

Zaťaženia hriadeľa od hobľovacieho valca a remenice v rovine XZ:



Obr. 2.11. VVÚ v rovine XZ [vlastný obrázok]. F_{z2} – výsledná sila v mieste upevnenia hobľovacieho valca na súradnici z, F_{z3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici z, R_A^z – reakčná sila vo väzbe A na súradnici z, R_B^z – reakčná sila vo väzbe B na súradnici z, $M_{k,hriadel}$ – krútiaci moment hriadeľa, $M_{o,max}^z$ – maximálny ohybový moment v smere osi z.

Zaťaženie v rovine XZ:

$$F_{z2} = 504,8 \text{ N} \rightarrow (2.40) \quad F_{z3} = 507,83 \text{ N} \rightarrow (2.44)$$

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XZ:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: -F_{z2} \cdot 148 + R_B^z \cdot 286 - F_{z3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^z \quad (2.62)$$

$$R_B^z = \frac{F_{z2} \cdot 148 + F_{z3} \cdot 345}{286} \quad (2.63)$$

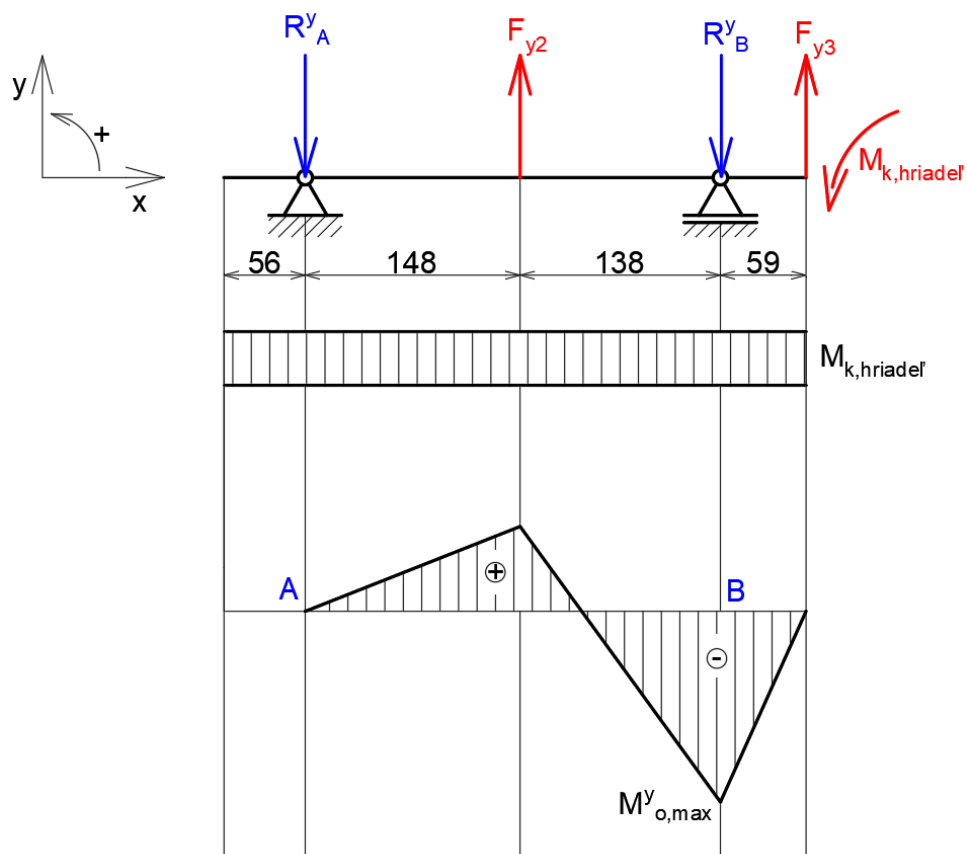
$$R_B^z = \frac{504,8 \cdot 148 + 507,83 \cdot 345}{286} = 873,82 \text{ N}$$

$$\sum F_{iz} = 0: -R_A^z + F_{z2} - R_B^z + F_{z3} = 0 \Rightarrow R_A^z \quad (2.64)$$

$$R_A^z = F_{z2} - R_B^z + F_{z3} \quad (2.65)$$

$$R_A^z = 504,8 - 873,82 + 507,83 = 138,81 \text{ N}$$

Zaťaženia hriadeľa od hobľovacieho valca a remenice v rovine XY:



Obr. 2.12. VVÚ v rovine XY [vlastný obrázok]. F_{y2} – výsledná sila v mieste upevnenia hobľovacieho valca na súradnici y, F_{y3} – výsledná sila v mieste upevnenia remenice na súradnici y, R_A^y – reakčná sila vo väzbe A na súradnici y, R_B^y – reakčná sila vo väzbe B na súradnici y, $M_{k,hriadel}$ – krútiaci moment hriadeľa, $M_{o,max}^y$ – maximálny ohybový moment v smere osi y.

Zat'azenie v rovine XY:

$$F_{y2} = 233,68 \text{ N} \rightarrow (2.41) \quad F_{y3} = 335,21 \text{ N} \rightarrow (2.45)$$

$$M_{k,hriadel'} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Reakcie v rovine XY:

kde, úloha je staticky určitá, dve rovnice a dve neznáme.

$$\sum M_{iA} = 0: F_{y2} \cdot 148 - R_B^y \cdot 286 + F_{y3} \cdot 345 = 0 \Rightarrow R_B^y \quad (2.66)$$

$$R_B^y = \frac{F_{y2} \cdot 148 + F_{y3} \cdot 345}{286} \quad (2.67)$$

$$R_B^y = \frac{233,68 \cdot 148 + 335,21 \cdot 345}{286} = 525,29 \text{ N}$$

$$\sum F_{iy} = 0: -R_A^y + F_{y2} - R_B^y + F_{y3} = 0 \Rightarrow R_A^y \quad (2.68)$$

$$R_A^y = F_{y2} - R_B^y + F_{y3}$$

$$R_A^y = 233,68 - 525,29 + 335,21 = 43,6 \text{ N} \quad (2.69)$$

2.2.2 Výpočet predbežného priemeru hriadeľa

$$M_{k,hriadel'} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

$$\tau_{kD} = 61,75 \text{ MPa} \rightarrow (2.21)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k,hriadel'}}{W_k} \leq \tau_{kD} [\text{MPa}] \quad (2.70)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} [\text{mm}^3] \quad (2.71)$$

Kde, d – priemer hriadeľa [mm],

W_k – prierezový modul v krute [mm³],

M_k – krútiaci moment hriadeľa [N · mm],

τ_{kD} – dovolené napätie v krute [MPa] [29 str. 29].

Po dosadení a úprave:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k,hriadeľ}}{\pi \cdot \tau_{kD}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 16\,357,36}{\pi \cdot 61,75}} \quad (2.72)$$

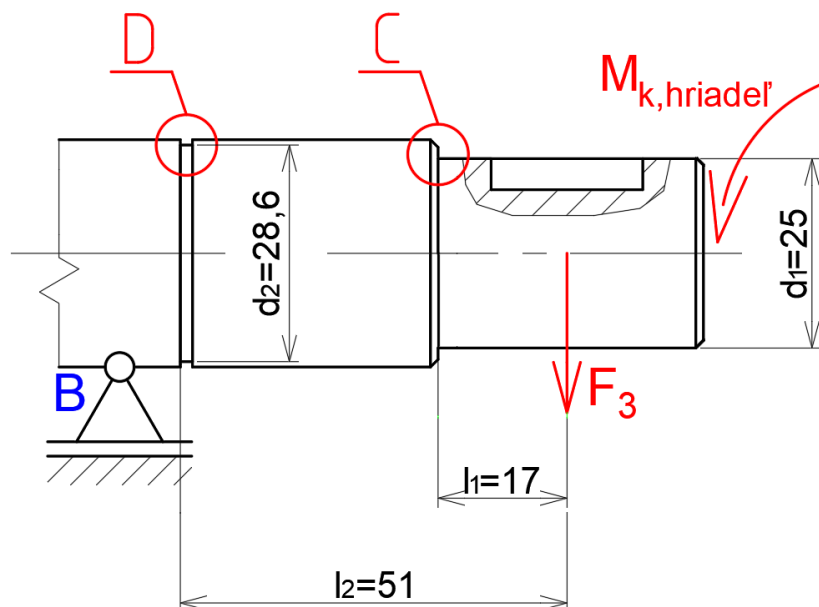
$$d \geq 11,05 \text{ mm}$$

Minimálna hodnota potrebného priemeru hriadeľa je približne **11,05 mm**. Z návrhu hriadeľa je najmenší priemer 20 mm a na vstupe pod remenicou, kde sa nachádza drážka pre pero, je pod drážkou priemer 25 mm. To znamená, že navrhnuté minimálne priemery sú **vyhovujúce**.

2.2.3 Pevnostná kontrola hriadeľa

Z výsledných vnútorných účinkov (VVÚ) v rovine XZ, najmä pri zaťažení hriadeľa od hobľovacieho valca a remenice, bez pílového kotúča, na obr. 2.11 vyplýva, že najviac namáhaný hriadeľ je na jeho pravej strane pod ložiskom v bode B.

K medznému stavu plasticity je hriadeľ kontrolovaný v bode C a D. Dôvodom zvolenia bodu C je, že sa tu nachádza miesto, kde dochádza ku zmene priemeru hriadeľa a je v blízkosti napäťového konca. V bode D sa nachádza drážka pre poistný krúžok, ktorý je veľký koncentrátor napätia a taktiež sa nachádza v blízkosti napäťového konca. Ďalšie body neboli zvolené, pretože napätie v ďalších miestach nie je veľmi veľké [32].



Obr. 2.13. Najviac namáhaná časť hriadeľa a kontrolované body [vlastný obrázok].

$$F_3 = \sqrt{(F_{z3})^2 + (F_{y3})^2} = \sqrt{(507,83)^2 + (335,21)^2} = 608,49 \text{ N} \quad (2.73)$$

$$M_{oC} = F_3 \cdot l_1 = 608,49 \cdot 17 = 10\,344,33 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.74)$$

$$M_{oD} = F_3 \cdot l_2 = 608,49 \cdot 51 = 31\,032,99 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.75)$$

kde, F_3 – výsledná sila v mieste upevnenia remenice [N],

M_{oC} – ohybový moment v bode C [N · mm],

M_{oD} – ohybový moment v bode D [N · mm].

Nominálne napätie v bode C:

$$l_1 = 17 \text{ mm}$$

$$d_1 = 25 \text{ mm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (2.76)$$

$$\sigma_{o,nom,C} = \frac{M_{oC}}{W_{oC}} = \frac{32 \cdot F_3 \cdot l_1}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{32 \cdot 608,49 \cdot 17}{\pi \cdot 25^3} = 6,74 \text{ MPa} \quad (2.77)$$

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

$$\tau_{k,nom,C} = \frac{M_{k,hriadel}}{W_{kC}} = \frac{16 \cdot M_{k,hriadel}}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{16 \cdot 16\,357,36}{\pi \cdot 25^3} = 5,33 \text{ MPa} \quad (2.78)$$

kde, l_1 – vzdialenosť od miesta pôsobenia sily F_3 k bodu C [mm],

d_1 – priemer v bode C [mm],

W_{oC} – modul prierezu v ohybe v bode C [mm³] [29 str. 28],

$\sigma_{o,nom,C}$ – nominálne napätie v ohybe v bode C [MPa] [17],

$\tau_{k,nom,C}$ – nominálne napätie v krute v bode C [MPa] [17].

Nominálne napätie v bode D:

$$l_2 = 51 \text{ mm}$$

$$d_2 = 28,6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{o,nom,D} = \frac{M_{oD}}{W_{oD}} = \frac{32 \cdot F_3 \cdot l_2}{\pi \cdot d_2^3} = \frac{32 \cdot 608,49 \cdot 51}{\pi \cdot 28,6^3} = 13,51 \text{ MPa} \quad (2.79)$$

$$M_{k,hriadel'} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

$$\tau_{k,nom,D} = \frac{M_{k,hriadel'}}{W_{kD}} = \frac{16 \cdot M_{k,hriadel'}}{\pi \cdot d_2^3} = \frac{16 \cdot 16\,357,36}{\pi \cdot 28,6^3} = 3,56 \text{ MPa} \quad (2.80)$$

kde, l_2 – vzdialenosť od miesta pôsobenia sily F_3 k bodu D [mm],
 d_2 – priemer v bode D [mm],
 W_{oD} – modul prierezu v ohybe v bode D [mm³] [29 str. 28],
 $\sigma_{o,nom,D}$ – nominálne napätie v ohybe v bode D [MPa] [17],
 $\tau_{k,nom,D}$ – nominálne napätie v krute v bode D [MPa] [17].

Redukované napätie v bode C

Výpočet redukovaného napätia je podľa podmienky HMH.

$$\begin{aligned} \sigma_{red,C} &= \sqrt{(\alpha_{o,C} \cdot \sigma_{o,nom,C})^2 + 3 \cdot (\alpha_{k,C} \cdot \tau_{k,nom,C})^2} \\ \sigma_{red,C} &= \sqrt{(2,1 \cdot 6,74)^2 + 3 \cdot (1,7 \cdot 5,33)^2} \\ \sigma_{red,C} &= 21,13 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (2.81)$$

Kde, $\alpha_{o,C}$ – súčiniteľ tvaru vrubu v bode C (ohyb) [-] [17 str. 1115], $\alpha_{o,C} = 2,1$ [-],

$\alpha_{k,C}$ – súčiniteľ tvaru vrubu v bode C (krut) [-] [17 str. 1115], $\alpha_{k,C} = 1,7$ [-].

Redukované napätie v bode C **vyhovuje**.

Redukované napätie v bode D

Výpočet redukovaného napätia je podľa podmienky HMH.

$$\begin{aligned}\sigma_{red,D} &= \sqrt{(\alpha_{o,D} \cdot \sigma_{o,nom,D})^2 + 3 \cdot (\alpha_{k,D} \cdot \tau_{k,nom,D})^2} \\ \sigma_{red,D} &= \sqrt{(2,3 \cdot 13,51)^2 + 3 \cdot (1,6 \cdot 3,56)^2} \\ \sigma_{red,D} &= 32,6 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{2.82}$$

Kde, $\alpha_{o,D}$ – súčiniteľ tvaru vrubu v bode D (ohyb) [-] [17 str. 1117], $\alpha_{o,D} = 2,3$ [-],

$\alpha_{k,D}$ – súčiniteľ tvaru vrubu v bode D (krut) [-] [17 str. 1117], $\alpha_{k,D} = 1,6$ [-].

Redukované napätie v bode D **vyhovuje**.

2.2.4 Únavová kontrola hriadeľa

Únavová kontrola hriadeľa je vykonávaná v rovnakých bodoch ako pevnostná kontrola hriadeľa. Pri výpočte je použité GERBEROVO kritérium a je uvažované súmerne striedavé zaťažovanie krútiacim momentom a zaťažovanie časovo nepremennivým momentom [32].

Korigovaná medza únavy:

Súčiniteľ vplyvu akosti povrchu k_a :

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 540^{-0,265} = 0,85 \text{ [-]} \rightarrow [17 \text{ str. } 345]\tag{2.83}$$

kde, súčiniteľ $a = 4,51$ [-] \rightarrow [17 str. 346],

exponent $b = -0,265$ [-] \rightarrow [17 str. 346].

Súčiniteľ vplyvu veľkosti telesa:

$$k_b = 1,24 \cdot d^{-0,107} = 1,24 \cdot 25^{-0,107} = 0,88 \text{ [-]} \rightarrow [17 \text{ str. } 346].\tag{2.84}$$

kde, priemer $d = 25 \text{ mm}$ \rightarrow vyplýva z návrhu hriadeľa.

Súčiniteľ vplyvu spôsobu zaťažovania: $k_c = 1$ [17 str. 348].

Súčiniteľ vplyvu teploty: $k_d = 1$ [17 str. 348].

Súčiniteľ spoľahlivosti: $k_e = 1$ [17 str. 350].

Súčiniteľ zahrňujúci ďalšie vplyvy: $k_f = 1$ [17 str. 350].

$$\begin{aligned}\sigma_c^* &= k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{Co} \\ \sigma_c^* &= 0,85 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 264,6 \\ \sigma_c^* &= 197,92 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (2.85)$$

Výpočet bezpečnosti k_c v bode C:

$$\sqrt{a} = \frac{139}{R_m} [\sqrt{\text{mm}}] \quad (2.86)$$

$$\beta_{o,C} = \frac{\alpha_{o,C}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{o,C} - 1) \cdot \frac{R_m}{\sqrt{r}}}{\alpha_{o,C}}} = \frac{2,1}{1 + \frac{2 \cdot (2,1 - 1) \cdot \frac{540}{\sqrt{1}}}{2,1}} = 1,65 [-] \quad (2.87)$$

$$\beta_{k,C} = \frac{\alpha_{k,C}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{k,C} - 1) \cdot \frac{R_m}{\sqrt{r}}}{\alpha_{k,C}}} = \frac{1,7}{1 + \frac{2 \cdot (1,7 - 1) \cdot \frac{540}{\sqrt{1}}}{1,7}} = 1,4 [-] \quad (2.88)$$

kde, \sqrt{a} – Heywoodov parameter pre oceľ $[\sqrt{\text{mm}}]$ [17 str. 354],

$\beta_{o,C}$ – súčiniteľ vrubu pre ohyb v bode C [-] [17 str. 1055],

$\beta_{k,C}$ – súčiniteľ vrubu pre krut v bode C [-] [17 str. 1055].

$$A_C = \sqrt{4 \cdot (\beta_{o,C} \cdot M_{oC})^2} = \sqrt{4 \cdot (1,65 \cdot 10\,344,33)^2} = 34\,136,29 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.89)$$

$$B_C = \sqrt{3 \cdot (\beta_{k,C} \cdot M_{k,hriadel})^2} = \sqrt{3 \cdot (1,4 \cdot 16\,357,36)^2} = 39\,664,49 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.90)$$

$$\begin{aligned}k_C &= \frac{1}{\frac{8 \cdot A_C}{\pi \cdot d_1^3 \cdot \sigma_c^*} \cdot \left(1 + \left(1 + \left(\frac{2 \cdot B_C \cdot \sigma_c^*}{A_C \cdot R_m} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)} \\ k_C &= \frac{1}{\frac{8 \cdot 34\,136,29}{\pi \cdot 25^3 \cdot 197,92} \cdot \left(1 + \left(1 + \left(\frac{2 \cdot 39\,664,49 \cdot 197,92}{34\,136,29 \cdot 540} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)} \\ k_C &= 15,38 [-]\end{aligned}\quad (2.91)$$

Výpočet bezpečnosti k_C v bode D:

$$\sqrt{a} = \frac{104}{R_m} [\sqrt{\text{mm}}] \quad (2.92)$$

$$\beta_{o,D} = \frac{\alpha_{o,D}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{o,D} - 1) \cdot \frac{104}{R_m}}{\alpha_{o,D} \cdot \sqrt{r}}} = \frac{2,3}{1 + \frac{2 \cdot (2,3 - 1) \cdot \frac{104}{540}}{2,3 \cdot \sqrt{1}}} = 1,89 [-] \quad (2.93)$$

$$\beta_{k,D} = \frac{\alpha_{k,D}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{k,D} - 1) \cdot \frac{104}{R_m}}{\alpha_{k,D} \cdot \sqrt{r}}} = \frac{1,6}{1 + \frac{2 \cdot (1,6 - 1) \cdot \frac{104}{540}}{1,6 \cdot \sqrt{1}}} = 1,4 [-] \quad (2.94)$$

kde, \sqrt{a} – Heywoodov parameter pre ocel' $[\sqrt{\text{mm}}]$ [17 str. 354],

$\beta_{o,D}$ – súčiniteľ vrubu pre ohyb v bode D [-] [17 str. 1055],

$\beta_{k,D}$ – súčiniteľ vrubu pre krut v bode D [-] [17 str. 1055].

$$A_D = \sqrt{4 \cdot (\beta_{o,D} \cdot M_{oD})^2} = \sqrt{4 \cdot (1,89 \cdot 31\,032,99)^2} = 117\,304,7 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.95)$$

$$B_D = \sqrt{3 \cdot (\beta_{k,D} \cdot M_{k,hriadel})^2} = \sqrt{3 \cdot (1,4 \cdot 16\,357,36)^2} = 39\,664,49 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (2.96)$$

$$k_D = \frac{1}{\frac{8 \cdot A_D}{\pi \cdot d_2^3 \cdot \sigma_c^*} \cdot \left(1 + \left(1 + \left(\frac{2 \cdot B_D \cdot \sigma_c^*}{A_D \cdot R_m} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

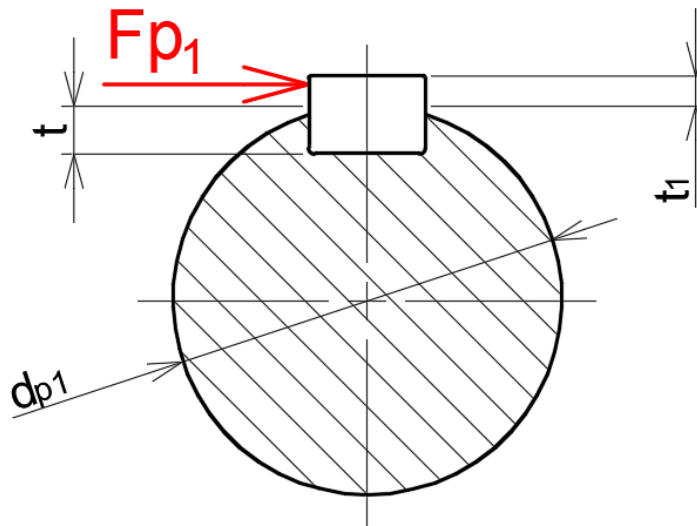
$$k_D = \frac{1}{\frac{8 \cdot 117\,304,7}{\pi \cdot 28,6^3 \cdot 197,92} \cdot \left(1 + \left(1 + \left(\frac{2 \cdot 39\,664,49 \cdot 197,92}{117\,304,7 \cdot 540} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)} \quad (2.97)$$

$$k_D = 7,63 [-]$$

Bezpečnosti pre únavovú medzu v bodoch C a D sú **vyhovujúce**. Dôvod, prečo sú bezpečnosti pomerne veľké je samotná konštrukcia, ktorá bola správne navrhnutá z hľadiska bezpečnosti.

V prípade miesta C je bezpečnosť pre únavovú medzu $k_C = 15,38$ a v mieste D je bezpečnosť $k_D = 7,63$.

2.2.5 Výpočet dĺžky drážky pre pero pod hobľovacím valcom



Obr. 2.14. Silové pôsobenie na bok pera v mieste upevnenia hobľovacieho valca [vlastný obrázok].

Vstupné údaje pre výpočet:

Hĺbka drážky v náboji $t_1 = 3,1 \text{ mm}$ [26 str. 117].

Šírka drážky (pera) $b = 12 \text{ mm}$ [26 str. 117].

Dovolený tlak $p_{D1} = 37,5 \text{ MPa}$ [17 str. 1081].

Priemer pod drážkou $d_{p1} = 40 \text{ mm}$.

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Silové pôsobenie na bok pera v náboji:

$$F_{p1} = \frac{M_{k,hriadel}}{\frac{d_{p1}}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{16\,357,36}{\frac{40}{2} + \frac{3,1}{2}} = 759,04 \text{ N} \quad (2.98)$$

Minimálna funkčná dĺžka drážky (pera):

$$l = \frac{F_{p1}}{p_{D1} \cdot t_1} = \frac{759,04}{37,5 \cdot 3,1} = 6,53 \text{ mm} \quad (2.99)$$

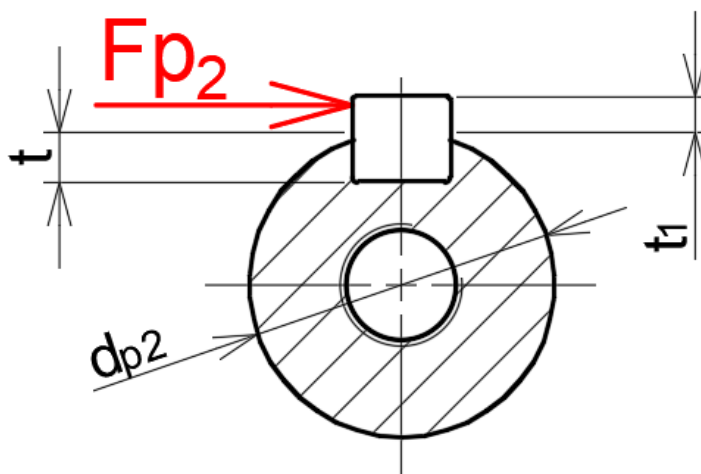
Minimálna dĺžka drážky (pera):

$$l = l' + b = 6,53 + 12 = 18,53 \text{ mm} \quad (2.100)$$

Minimálna normalizovaná dĺžka podľa ČSN 02 2562 je $l = 20 \text{ mm}$ [26 str. 118].

Dĺžka neskôr upravená podľa návrhu na $l = 180 \text{ mm}$.

2.2.6 Výpočet dĺžky drážky pre pero pod hnanou remenicou



Obr. 2.15. Silové pôsobenie na bok pera v mieste upevnenia remenice [vlastný obrázok].

Vstupné údaje pre výpočet:

Hĺbka drážky v náboji $t_1 = 2,9 \text{ mm}$ [26 str. 117].

Šírka drážky (pera) $b = 8 \text{ mm}$ [26 str. 117].

Dovolený tlak $p_{D2} = 67,5 \text{ MPa}$ [17 str. 1081].

Priemer pod drážkou $d_{p2} = 25 \text{ mm}$.

$$M_{k,hriadel} = 16\,357,36 \text{ Nmm} \rightarrow (2.23)$$

Silové pôsobenie na bok pera v náboji:

$$F_{p2} = \frac{M_{k,hriadel}}{\frac{d_{p2}}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{16\,357,36}{\frac{25}{2} + \frac{2,9}{2}} = 1172,57 \text{ N} \quad (2.101)$$

Minimálna funkčná dĺžka drážky (pera):

$$l' = \frac{F_{p2}}{p_{D2} \cdot t_1} = \frac{1172,57}{67,5 \cdot 2,9} = 6 \text{ mm} \quad (2.102)$$

Minimálna dĺžka drážky (pera):

$$l = l' + b = 6 + 8 = 14 \text{ mm} \quad (2.103)$$

Minimálna normalizovaná dĺžka podľa ČSN 02 2562 je $l = 14 \text{ mm}$ [26 str. 118].

Dĺžka neskôr upravená podľa návrhu na $l = 24 \text{ mm}$.

3. DEFINOVANIE PODMIENOK VÝROBY

3.1 Rozbor súčiastky

3.1.1 Popis vyrábanej súčiastky

Vyrábaná súčiastka je rotačná súčiastka typu hriadeľ s celkovou dĺžkou $L = 462$ mm, ktorá je stupňovitého charakteru s meniacimi sa veľkosťami priemerov. Prechodové oblasti priemerov sú tvorené zrazenými hranami.

Jeho najväčší priemer je $D = 50$ mm a ostatné základné priemery sú $\varnothing 25$, $\varnothing 30$, $\varnothing 37$, $\varnothing 40$. Na obr. 3.1 je znázornený tvar navrhnutého hriadeľa, ktorý má na ľavom konci predpísaný vonkajší ľavotočivý závit M20 a ľavotočivý závit M40, ktorý sa nachádza asi vo vzdialenosti jednej tretiny dĺžky hriadeľa od ľavého konca. Hriadeľ je tvorený jednou veľkou drážkou pre pero s dĺžkou 180 mm a menšou drážkou pre pero s dĺžkou 24 mm, ktorá je umiestnená na pravom konci hriadeľa. Drážky sú vzájomne pootočené o 90 stupňov. Na pravom konci hriadeľa je vyvrtaná diera so závitom M10. Ďalej je hriadeľ tvorený dvoma drážkami pre poistné krúžky a dvoma zápichmi typu F2,5x0,3.



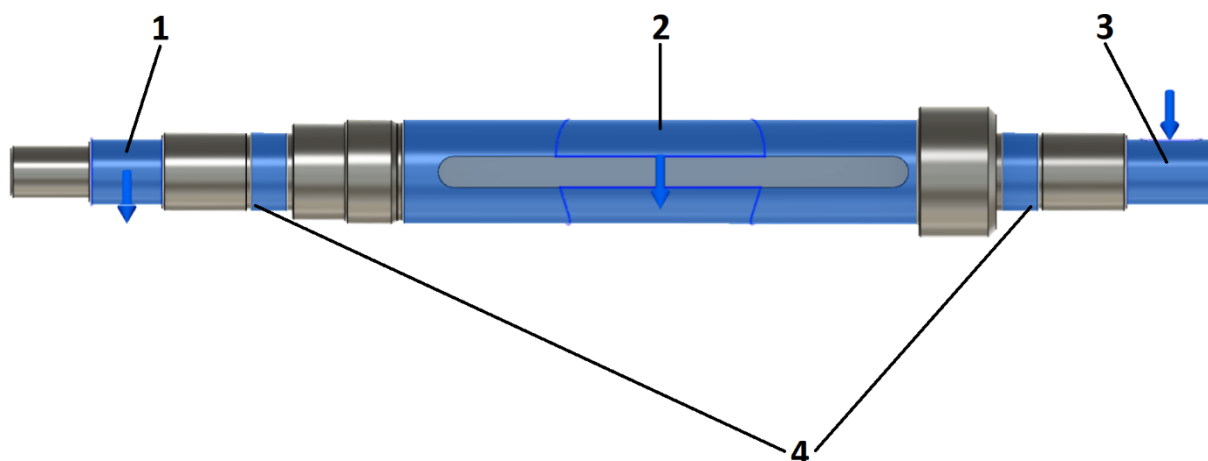
Obr. 3.1. Tvar navrhnutého hriadeľa so zakótovanou celkovou dĺžkou, základnými priemermi a závitmi [vlastný obrázok].

3.1.2 Funkcia a zaťaženie vyrábanej súčiastky

Ako už bolo spomenuté na začiatku 2. kapitoly, navrhnutá súčiastka je hriadeľ drevoobrábacieho stroja, ktorý slúži na prenos krútiaceho momentu. Na obr. 2.1 je znázornená schéma zostavy mechanizmu, ktorý je poháňaný elektrickým motorom s výkonom $P = 4$ kW a maximálnymi otáčkami $n = 2905 \text{ min}^{-1}$ pomocou dvoch klinových remeňov. Klinové remene sú opásané okolo malej (hnacej) remenice, ktorá je umiestnená na hriadeli motora, a okolo veľkej (hnanej) remenice, ktorá je upevnená perovým spojom na pravom konci hriadeľa. Perový spoj umožňuje prenos pohybu na hriadeľ a následne hriadeľ prenáša pohyb na hobl'ovací valec a pílový kotúč pomocou upevnenia, ktorým sú na hriadeli pripevnené. Hriadeľ sa otáča v dvoch jednoradových radiálnych guľčkových ložiskách s označením 6206 [17 str. 621], ktoré zároveň slúžia ako podperné väzby.

Hriadeľ je dynamicky a staticky zaťažovaný a preto posledným krokom pri konštrukčnom návrhu je skontrolovať vypočítaný hriadeľ pomocou simulácie zaťaženia. Hriadeľ bol vymodelovaný podľa navrhnutých rozmerov a následne podrobený simulácii pri zvážených zjednodušených podmienkach. Pre simuláciu bol použitý program Autodesk Fusion 360. Pri analýze zaťaženia sa postup skladá z niekoľkých krokov:

- priradenie materiálu k modelu,
- definovanie uloženia,
- priradenie síl a momentov,
- statická analýza modelu [31].

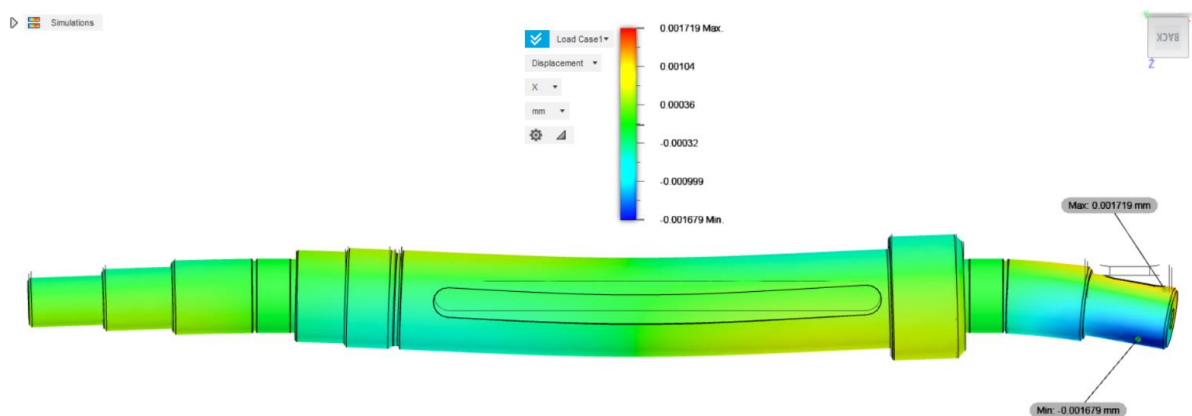


Obr. 3.2. Hriadeľ s definovanými podperami a silami [vlastný obrázok].

Z vypočítaných hodnôt v kapitole 2.2 boli dosadené zaťažujúce sily a momenty, resp. krútiaci moment. Na obr. 3.2 sú znázornené väzby uloženia, kde na ploche č. 1 je definované uloženie pilového kotúča so silami $F_{y1} = 65,43$ N a $F_{z1} = 125,81$ N. Na ploche č. 2 je zaťaženie od hobľovacieho valca $F_{y2} = 233,68$ N a $F_{z2} = 504,8$ N. Na ploche č. 3 je definované uloženie remenice so silami $F_{y3} = 335,21$ N a $F_{z3} = 507,83$ N. A na záver na plochách č. 4 sa nachádzajú ložiská.

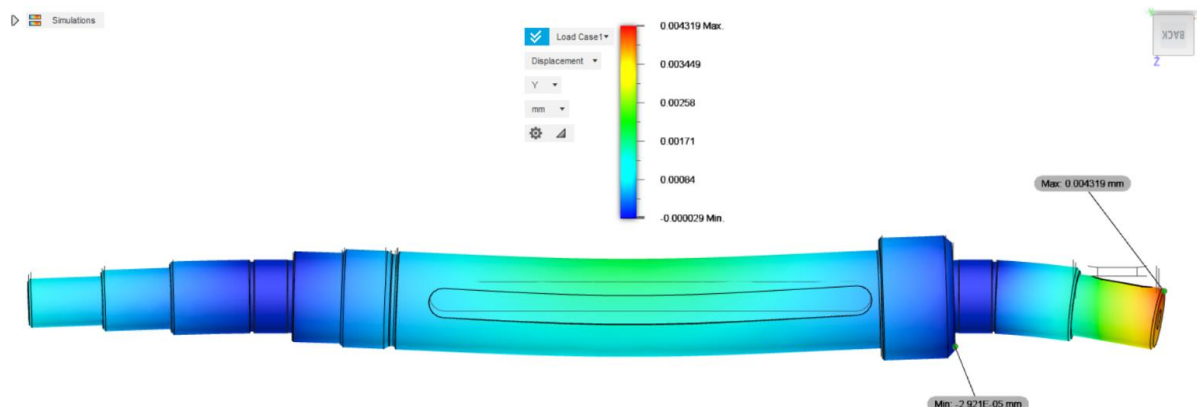
3.1.2.1 Posunutie hriadeľa

Na nasledujúcich obrázkoch sú zobrazené maximálne posunutia hriadeľa v súradniciach X, Y a Z. Zobrazenie posunutia hriadeľa je zväčšené a legenda je v [mm].



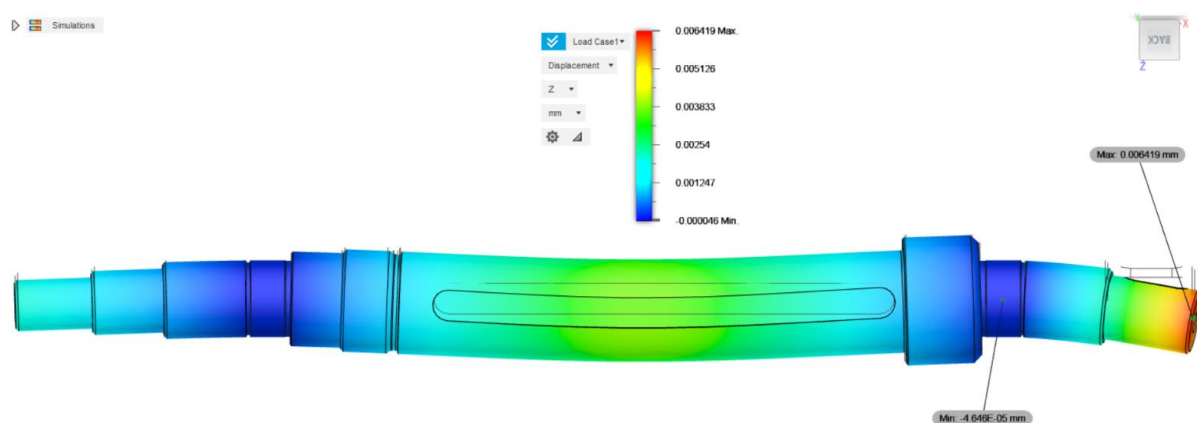
Obr. 3.3. Posunutie hriadeľa v smere osi X [vlastný obrázok].

Na obr. 3.3 je znázornené posunutie hriadeľa v smere osi X, ktoré na základe simulácie je maximálne na mieste uloženia remenice, a to $x_{MAX} = 0,001719$ mm.



Obr. 3.4. Posunutie hriadeľa v smere osi Y [vlastný obrázok].

Na obr. 3.4 je znázornené posunutie hriadeľa v smere osi Y, ktoré na základe simulácie je maximálne na mieste uloženia remenice, a to $y_{MAX} = 0,004319$ mm.



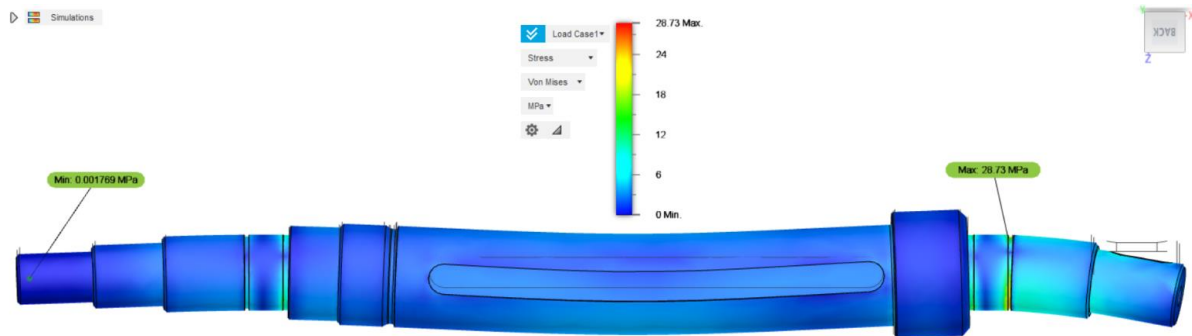
Obr. 3.5. Posunutie hriadeľa v smere osi Z [vlastný obrázok].

Na obr. 3.5 je znázornené posunutie hriadeľa v smere osi Z, ktoré na základe simulácie je maximálne na mieste uloženia remenice, a to $z_{MAX} = 0,006419$ mm.

3.1.2.2 Napätie na hriadelí

Na obr. 3.6 sa nachádza napät'ová analýza s maximálnym napätím na hriadelí, kde pre zobrazenie výsledkov bolo použité Ekvivalentné napätie, tzv. Von Misesovo napätie.

Najväčšia hodnota napätia vzniká v drážke pre poistný krúžok na pravej strane v blízkosti oblasti uloženia remenice s hodnotou **28,73 MPa** a zvyšné napätia sa pohybujú do rozmedzia tejto maximálnej hodnoty, čo sa dá považovať za priaznivé. Legenda na obrázku je v [MPa].



Obr. 3.6. Napätie hriadeľa [vlastný obrázok].

3.1.3 Tvorba výkresovej dokumentácie súčiastky

Výkresovú dokumentáciu súčiastky bolo potrebné spracovať podľa navrhnuté modelu súčiastky. V prílohe č.1 je uvedený spracovaný výkres súčiastky.

Súčasťou vytvorenia dokumentácie súčiastky bolo aj vytvorenie 3D modelu v softvéri SOLIDWORKS. Na obr. 3.7 je zobrazená súčiastka vytvorená v programe SOLIDWORKS.



Obr. 3.7. Model hriadeľa [vlastný obrázok].

3.1.4 Výrobné podmienky

Návrh je spracovaný pre výrobu jedného kusu. Výroba bude vykonávaná prevažne na CNC strojoch pomocou riadiaceho systému Heidenhain. Na zabezpečenie výroby súčiastky je potrebné použiť operácie delenia materiálu, sústruženia, frézovania a vrtania.

3.1.5 Technologičnosť konštrukcie súčiastky

Súčasť je rotačná. Technologicky je súčiastka zhruba stredne zložitá so zvýšenými požiadavkami na rozmerovú presnosť výroby IT 6 [33 str. 46], čo samotnú výrobu čiastočne predražuje.

Obrobitelnosť materiálu je 14b [34 str. 15].

Najnižšia požadovaná priemerná aritmetická odchýlka profilu Ra je 0,8. Zbytok súčiastky tvoria hodnoty Ra 3,2.

4. ZOSTAVENIE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU S VYUŽITÍM TPV FORMULÁROV

4.1 Výber polotovaru

4.1.1 Voľba polotovaru

Pre výrobu súčiastky bol zvolený polotovar tyč kruhovaná ťahaná h9 STN 12 050, s priemerom $\varnothing 55$ mm. Oceľová tyč bude delená na pásovej pile na požadovanú dĺžku.

4.1.2 Materiál polotovaru

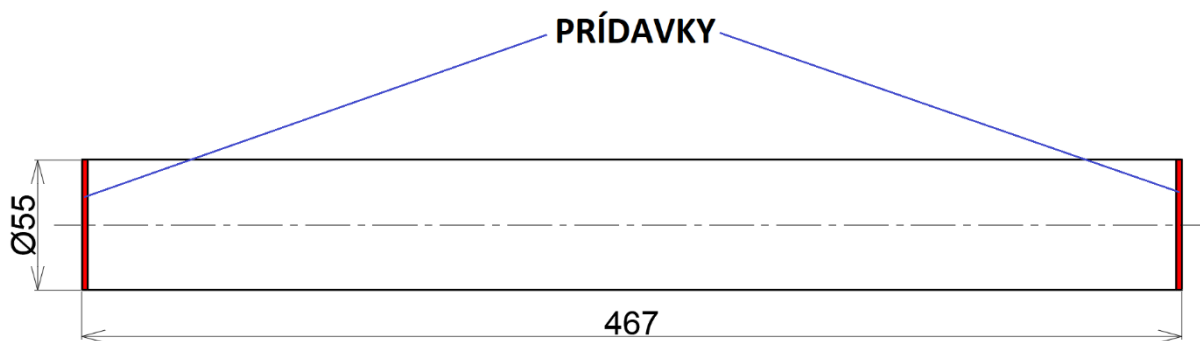
Na výrobu súčiastky je navrhnutá konštrukčná oceľ 12 050. Oceľ je vhodná na hriadele ťažných strojov, turbokompresorov, čerpadiel, elektromotorov a dynám, karuselov, šneky, rotory šróbových kompresorov. Vhodná je aj pre automobilové kľukové hriadele, ojnice, páky riadenia a ďalej pre vretená, piesty kompresorov, čapy, šróby, vrtacie tyče [23, 35].

Tab. 4.1. Chemické zloženie materiálu ČSN 41 2050 (12 050) [27].

Materiál	Obsah C [%]	Obsah Mn [%]	Obsah Si [%]	Obsah Cr [%]	Obsah Ni [%]	Obsah Cu [%]	Obsah P [%]	Obsah S [%]
12 050	Max. 0,50	Max. 0,80	Max. 0,37	Max. 0,25	Max. 0,30	Max. 0,30	Max. 0,040	Max. 0,040

4.1.3 Rozmery polotovaru

Vzhľadom k predpisu tolerancie drsnosti Ra 3,2 na najväčšom priemere súčiastky, bol zvolený priemer polotovaru väčší ako najväčší priemer na danej súčiastke, aby bolo možné drsnosť obrobit' na požadovanú hodnotu. Dĺžka polotovaru bude oproti dĺžke hotovej súčasti navýšená o prídavky na obrábanie čiel. Prídavok pre obrobenie (zarovnanie) čela bol zvolený 2,5 mm. Celková dĺžka aj s prídavkom na obrobenie čela, na ktorú bude polotovar delený pásovou pilou, bude 467 mm.



Obr. 4.1. Rozmery polotovaru s prídavkami na obrábanie [vlastný obrázok].

4.1.4 Výpočet hmotnosti polotovaru

$$Q_P = \frac{\pi \cdot D_P^2}{4} \cdot L_P \cdot \rho$$

$$Q_P = \frac{\pi \cdot 0,055^2}{4} \cdot 0,467 \cdot 7850 \quad (4.1)$$

$$Q_P = 8,71 \text{ kg}$$

Kde, D_P – priemer polotovaru [m], $D_P = 0,055 \text{ m}$,

L_P – dĺžka polotovaru [m], $L_P = 0,467 \text{ m}$,

ρ – hustota ocele [kg/m^3], $\rho = 7850 \text{ kg}/\text{m}^3$.

4.1.5 Výpočet straty materiálu obrábaním polotovaru

$$Q_d = Q_P - Q_S$$

$$Q_d = 8,71 - 3,55 \quad (4.2)$$

$$Q_d = 5,16 \text{ kg}$$

Kde, Q_P – hmotnosť polotovaru [kg], $Q_P = 8,71 \text{ kg}$,

Q_S – hmotnosť hotovej súčiastky [kg], $Q_S = 3,55 \text{ kg} \rightarrow$ obr. 4.2.

PROPERTIES	
Bodies (1)	
Area	5.677E+04 mm ²
Density	7.850E-06 kg / mm ³
Mass	3.55 kg
Volume	4.523E+05 mm ³
Physical Material	Steel

Obr. 4.2. Zobrazenie vlastností hotovej súčiastky, v programe Fusion 360, s výraznenou hmotnosťou [vlastný obrázok].

4.2 Návrh operácií

Operácie potrebné k výrobe súčiastky sú delenie materiálu, programovanie, sústruženie, sústruženie zápchov, vŕtanie, frézovanie, rezanie závitov, zámočnicke práce a balenie.

Tab. 4.2. Zjednodušený technologický postup výroby súčiastky.

Poradie	Názov operácie	Popis práce v operácii	Pracovisko (stroj)
1.	Delenie materiálu	Deliť na uvedený rozmer. Potom odmastiť, odihliť a uložiť na ďalšie spracovanie.	PÍLA
2.	Programovanie	Programovať podľa 3D modelu. Porovnať výkres/model, prípadné nezrovnalosti konzultovať.	PROG.
3.	Sústruženie	Skontrolovať rozmery polotovaru. Zoradiť a nastaviť stroj. Sústružiť podľa programu.	SÚSTRUH
4.	Frézovanie	Zoradiť a nastaviť stroj. Dofrézovať podľa programu.	FRÉZKA
5.	Zámočnicke práce	Odihliť hrany a rezať závit (podľa výkresu). Vizuálne skontrolovať súčiastku.	ZAM.
6.	Balenie	Súčiastku pripraviť na expedíciu k zákazníkovi (zabalit' a označiť štítkom). Ak je potrebné, súčiastku aj konzervovať (proti korózii).	BALIARŇA

4.3 Strojový park

4.3.1 Pásová píla Pilous ARG 300 Plus

Delenie materiálu bude prebiehať na pásovej píle Pilous ARG 300 Plus.

Konštrukčne vychádza z osvedčených modelov ARG 230 PLUS a ARG 240 PLUS. Mimoriadne vysoká produktivita a presnosť rezu i u veľkých prierezov materiálu. Veľký rozsah rezných uhlov 60° vpravo a 45° vľavo. Vybavená frekvenčným meničom, umožňujúci plynulú reguláciu rýchlosti pílového pásu v rozsahu 15 – 90 m/min. Rameno pílového pásu sa zdvíhá ručne, posuv do rezu je vykonávaný vlastnou váhou ramena s možnosťou plynulej regulácie škrtiacim ventilom olejového tlmiča. Rozmer pílového pásu je 3110 x 27 x 0,9 [36].



Obr. 4.3. Pásová píla Pilous ARG 300 Plus [37].

	90°	-45°	+45°	+60°
●	300	220	240	155
■	300	190	230	150
■	360x290	230x125	250x290	155x155
■	340x300	135x300	215x300	135x300
ARG 300 PLUS	400V, 1,7 kW	35; 70 m/min.	1600x950x1600	540 kg

Obr. 4.4. Vlastnosti pásovej píly [36].

Tab. 4.3. Technické parametre pásovej píly Pilous ARG 300 Plus [37].

Rezná rýchlosť	15 – 90 m/min
Max. rezaný priemer (pri 0°)	300 mm
Max. rezaný priemer (pri 45°)	220 mm
Max. rezaný profil (pri 0°)	375 x 190 mm
Max. rezaný profil (pri 45°)	240 x 100 mm
Chladienie	Áno

4.3.2 CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L

Sústružnícke operácie budú prebiehať na CNC sústruhu Mazak QT-COMPACT 200M L s riadiacim systémom SmoothC.

Je to CNC sústruh s rotačnými nástrojmi, ktorý je vybavený vysoko tuhým integrálnym vretenom a motorom pre bezkonkurenčný obrábací výkon. Nie sú použité žiadne prevody ani remene, ktoré by pri obrábaní mohli vytvárať chvenie.

Natáčanie osi C v krokoch $0,001^\circ$ s rotačnými nástrojmi namontovanými v revolverovej hlave zaisťujú univerzálnosť.

Vysoko presné polohovanie sa dosahuje vysoko tuhými lineárnymi valečkovými vedeniami a priamo spojenými servomotormi na všetkých lineárnych osách.

Pokročilé funkcie CNC Mazak SmoothC [38].



Obr. 4.5. CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L [37].

Tab. 4.4. Technické parametre CNC sústruhu Mazak QT-COMPACT 200M L [37].

Pracovný rozsah [mm]	215 x 1155 (súradnice X a Z)
Riadiaci systém	SmoothC
Presnosť polohovania v priestore	10 μm
Otáčky vretena	5000 min^{-1}
Chladienie	Vonkajšie a vnútorné (30 bar)

4.3.3 CNC frézka Mikron VCE 800 Pro

Operácie frézovania budú prebiehať na CNC frézke Mikron VCE Pro, ktorá je ideálna pre mnoho rôznych aplikácií. Spoľahnúť sa na ňu je možné pri 2½D aj 3D aplikáciách.

Tento štandardný stroj sa vyznačuje vysokou výkonnosťou. S ďalším príslušenstvom je ho možné upraviť a rozšíriť podľa konkrétnych potrieb [39].



Obr. 4.6. CNC frézka Mikron VCE Pro [37].

Tab. 4.5. Technické parametre CNC frézky Mikron VCE Pro [37].

Pracovný rozsah [mm]	800 x 500 x 540 (súradnice X, Y a Z)
Riadiaci systém	Heidenhain TNC 620
Presnosť polohovania	8 μm (lineárne vedenia)
Otáčky vretena	50 – 10 000 min^{-1}
Chladienie	Vonkajšie a vnútorné (30 bar)
Nosnosť stola	1100 kg

4.3.4 Závítőrez Roscamat Shark VH

Na operácie rezania závitů bude použitý závítőrez Roscamat Shark s kapacitou závitovania M3 – M36 (pri mäkkých materiáloch do M42).

Stroj je vyrobený z dvoch ramien vzájomne spojených tak, že tvoria pantografický systém zaručujúci kolmosť nástroja na rovinu upnutia v každom pracovnom bode. Systém je vyvažovaný vzduchovou pružinou umiestnenou v telese ramena.

Elektronicky riadený motor je napojený na číslicové riadenie (NC systém). Jednotku je možné riadiť v ručnom alebo automatickom móde tak, že sa nastavujú hodnoty pomocou šiestich tlačidiel. Tieto sú umiestnené spolu s displejom nad motorom a sú veľmi dobre prístupné obsluhu. Nastavujú sa tieto parametre:

- pravé a ľavé otáčky nástroja,
- typ závitu (metrický, Whitworthov, atď.),
- automatická hĺbka závitu,
- dávkovanie mazania závitníka,
- typ materiálu, tvrdosť,
- otáčky závitníka.

Na zvýšenie krútiaceho momentu a tým aj kapacity závitovania sa používajú redukčné moduly (prevodovky), ktoré sa pripájajú k motoru. Moduly sú ukončené rýchlospojkami pre klieštiny.

Závitorezy Roscamat sú unikátne modulárnym systémom, ktorý umožňuje v prípade potreby rýchlo meniť otáčky závitorezu pomocou 6 modulov (prevodoviek) [40].



Obr. 4.7. Závitorez Roscamat Shark VH [37].

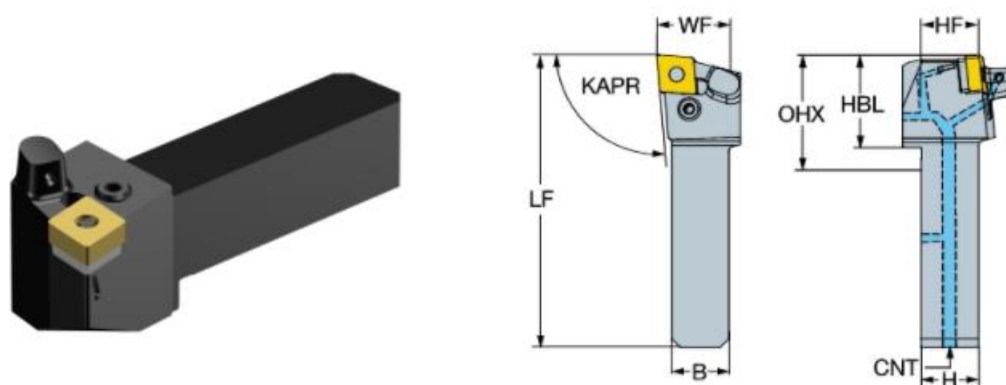
Tab. 4.6. Technické parametre závitorezu Roscamat Shark VH [37].

Rozsah rezaného závitu do ocele	M3 – M36 (M42 hliník)
Točivý moment	15 – 340 N.m
Otáčky vretena	40 – 900 min ⁻¹
Pracovný rádius	1295 mm

4.4 Návrh nástrojov a meracích zariadení

4.4.1 Nástroje pre sústružnícke operácie

Pre sústružnícke operácie sú nástroje volené z webovej stránky spoločnosti Sandvik Coromant. Pre vonkajšie hrubovanie je zvolený držiak noža s označením QS-PCLNR 2020-12C, ktorý je znázornený na obr. 4.8. Bližšia charakteristika držiaku je popísaná v tab. 4.7.

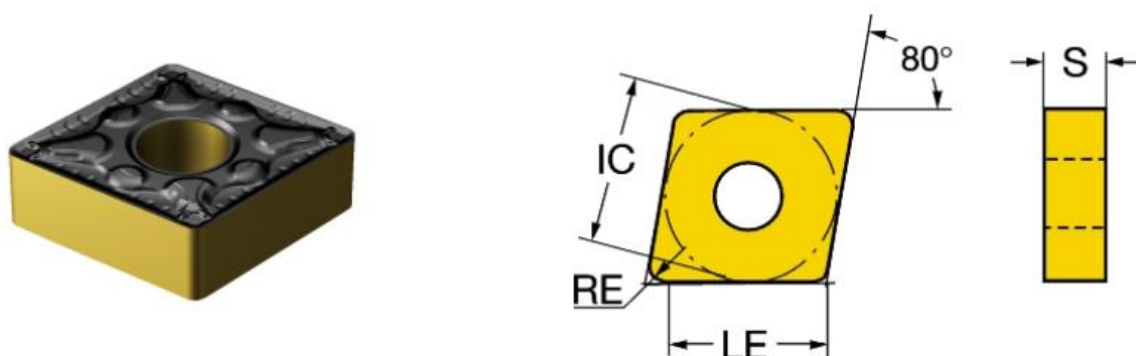


Obr. 4.8. Držiak noža QS-PCLNR 2020-12C [41].

Tab. 4.7. Rozmery držiaku noža QS-PCLNR 2020-12C [41].

Označenie ISO	LF	B	WF	KAPR	H	OHX	HBL	HF
QS-PCLNR 2020-12C	101 mm	20 mm	25 mm	95°	20 mm	52 mm	32 mm	20 mm

Pre daný držiak je zvolená vymeniteľné rezné doštičky (ďalej len VRD) zo spekaných karbidov (ďalej len SK) s označením CNMG 12 04 08-PM, ktorá je znázornená na ilustračnom obr. 4.9. Bližšia charakteristika doštičky je popísaná v tab. 4.8.

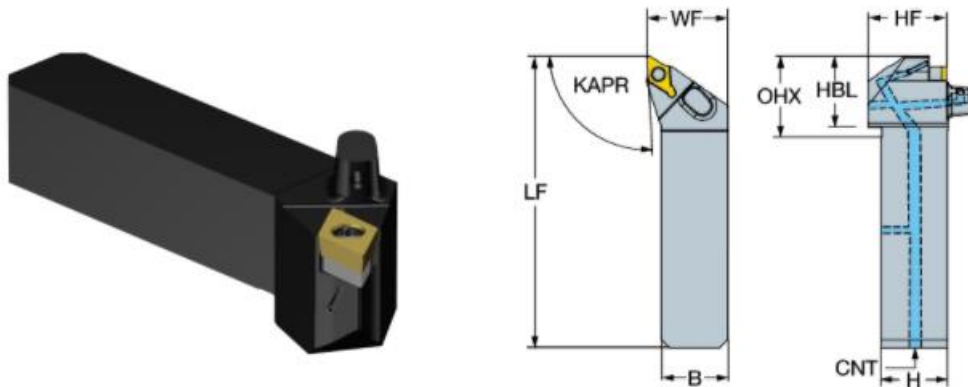


Obr. 4.9. VRD CNMG 12 04 08-PM [42].

Tab. 4.8. Parametre VRD s označením CNMG 12 04 08-PM [42].

Označenie ISO	LE	IC	RE	S
CNMG 12 04 08-PM	12,096 mm	Ø12,7 mm	0,794 mm	4,763 mm

Pre vonkajšie dokončovanie je zvolený držiak noža s označením QS-SDJCL 12 3C, ktorý je znázornený na obr. 4.10. Bližšia charakteristika držiaku je popísaná v tab. 4.9.

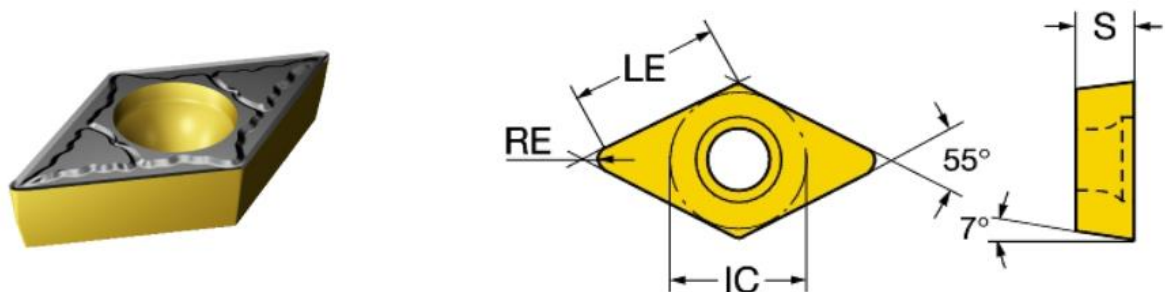


Obr. 4.10. Držiak noža QS-SDJCL 12 3C [43].

Tab. 4.9. Rozmery držiaku noža QS-SDJCL 12 3C [43].

Označenie ISO	LF [mm]	B [mm]	WF [mm]	KAPR [°]	H [mm]	OHX [mm]	HBL [mm]	HF [mm]
QS-SDJCL 12 3C	113	19,05	31,75	93°	19,05	54,4	29	25,4

Pre daný držiak je zvolená VRD zo SK s označením DCMT 11 T3 04-PM, ktorá je znázornená na obr. 4.11. Bližšia charakteristika doštičky je popísaná v tab. 4.10.

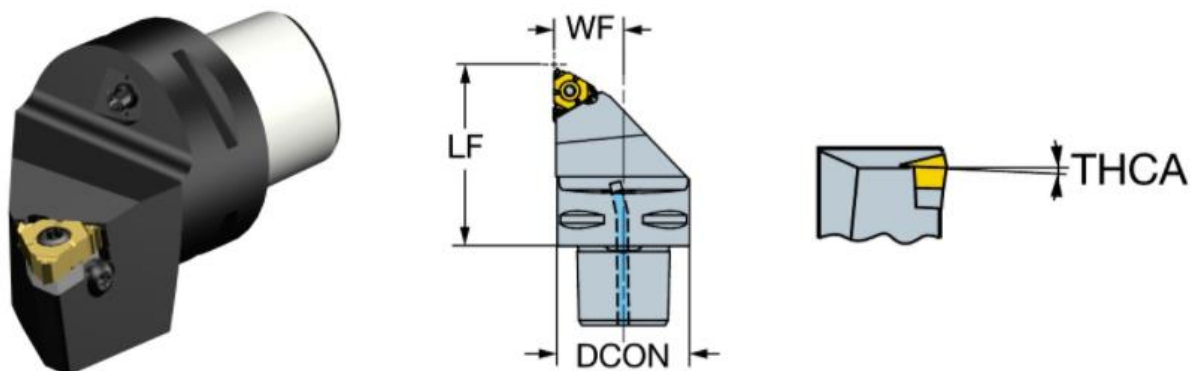


Obr. 4.11. VRD DCMT 11 T3 04-PM [44].

Tab. 4.10. Parametre VRD s označením DCMT 11 T3 04-PM [44].

Označenie ISO	LE	IC	RE	S
DCMT 11 T3 04-PM	11,228 mm	Ø9,525 mm	0,397 mm	3,969 mm

Pre sústruženie vonkajších závitov je zvolený držiak noža s označením C4-266RFA-21055-16, ktorý je znázornený na obr. 4.12. Bližšia charakteristika držiaku je popísaná v tab. 4.11.

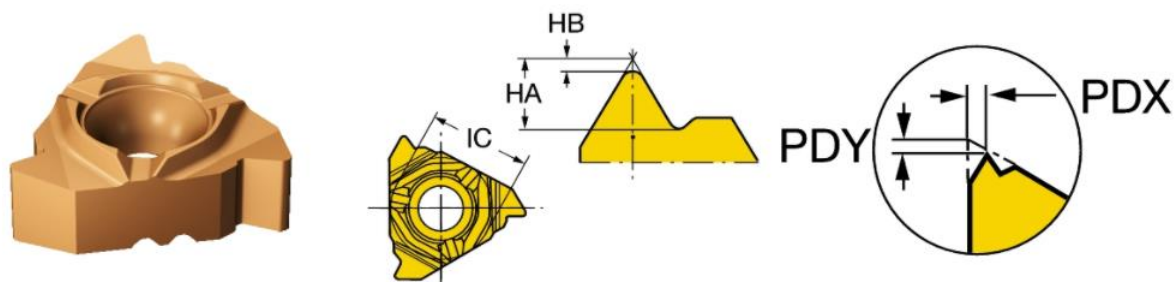


Obr. 4.12. Držiak noža C4-266RFA-21055-16 [45].

Tab. 4.11. Rozmery držiaku noža C4-266RFA-21055-16 [45].

Označenie ISO	LF [mm]	WF [mm]	THCA- Korekčný uhol šróbovice závitú [°]	DCON [mm]
C4-266RFA-21055-16	55	21	1°	40

Pre daný držiak sú zvolené VRD zo SK s označením 266RG-16MM01C150M 1125 so stúpaním závitú 1,5 mm a 266RG-16MM01C250M 1125 so stúpaním závitú 2,5 mm, ktoré sú znázornené na jednom ilustračnom obr. 4.13, pretože majú rovnaký tvar, ale s odlišnými rozmermi. Bližšia charakteristika doštičiek je popísaná v tab. 4.12.

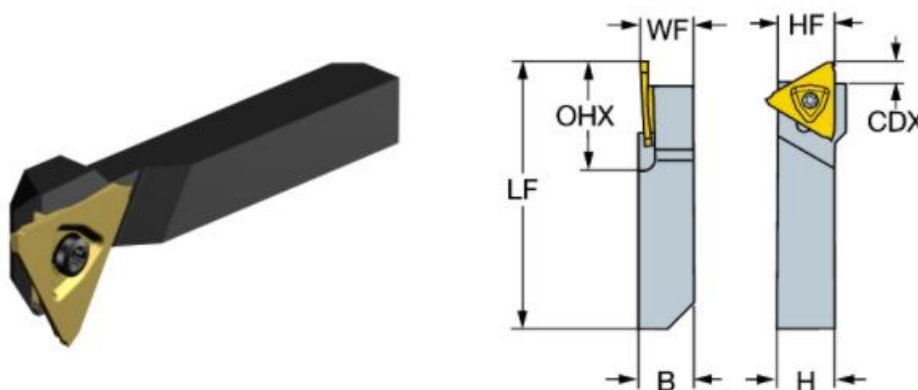


Obr. 4.13. VRD 266RG-16MM01C150M 1125 a 266RG-16MM01C250M 1125 [46, 47].

Tab. 4.12. Parametre VRD s označením 266RG-16MM01C150M 1125 a 266RG-16MM01C250M 1125 [46, 47].

Označenie ISO	IC	HA	HB	PDX	PDY
266RG-16MM01C150M 1125	Ø9,525 mm	1,12 mm	0,22 mm	1 mm	1,33 mm
Označenie ISO	IC	HA	HB	PDX	PDY
266RG-16MM01C250M 1125	Ø9,525 mm	1,87 mm	0,36 mm	1,4 mm	1,33 mm

Pre sústruženie vonkajších zápichov je zvolený držiak noža s označením QS-RF123T023-06B, ktorý je znázornený na obr. 4.14. Bližšia charakteristika držiaku je popísaná v tab. 4.13.



Obr. 4.14. Držiak noža QS-RF123T023-06B [48].

Tab. 4.13. Rozmery držiaku noža QS-RF123T023-06B [48].

Označenie ISO	LF [mm]	B [mm]	WF [mm]	OHX [mm]	H [mm]	HF [mm]	CDX [mm]
QS-RF123T023-06B	69,85	9,525	9,525	31,7	9,525	9,525	6,35

Pre daný držiak je zvolená VRD s označením N123T3-0100-0000-GS 1125, ktorá je znázornená na obr. 4.15. Bližšia charakteristika doštičky je popísaná v tab. 4.14.



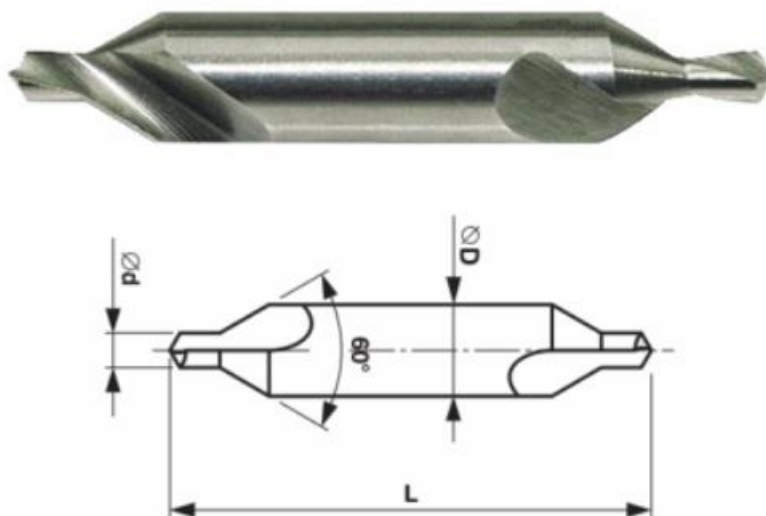
Obr. 4.15. VRD N123T3-0100-0000-GS 1125 [49].

Tab. 4.14. Parametre VRD s označením N123T3-0100-0000-GS 1125 [49].

Označenie ISO	CDX [mm]	AN [°]	CW [mm]	RER [mm]	REL [mm]
N123T3-0100-0000-GS 1125	2,2	7°	1	0	0

4.4.2 Nástroje pre vŕtacie operácie

Pre vŕtanie strediacich jamiek je zvolený strediaci vrták z rýchloreznej ocele (HSS) s označením DIN 333A (ČSN 221110). Zvolený vrták je zobrazený na obr. 4.16. Základné rozmery strediaceho vrtáku sú popísané v tab. 4.15.



Obr. 4.16. Strediaci vrták 60° - tvar A [50].

Tab. 4.15. Rozmery strediaceho vrtáku DIN 333A [50].

Označenie	d [mm]	D [mm]	L [mm]
ČSN 221110 - DIN 333A	2,50	6,3	45

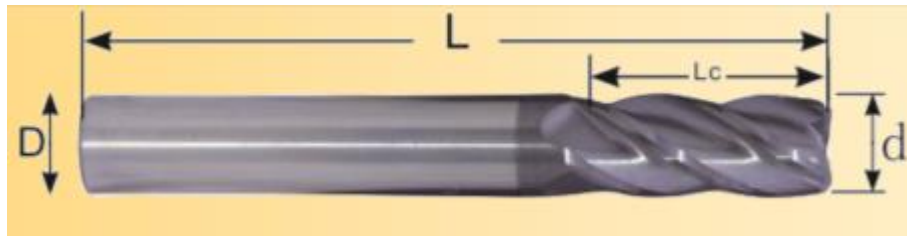
Pre vŕtanie diery je zvolený vrták válcovou stopkou pro NC / CNC s označením DIN338 a s priemerom Ø8,5 mm, ktorého zobrazenie je na obr. 4.17.



Obr. 4.17. Vrták DIN338 [51].

4.4.3 Nástroje pre frézovacie operácie

Pre frézovanie drážok pre perá je zvolená štvorbritá karbidová fréza AlTiN s označením SKFA060/2045060075, ktorá je zobrazená na obr. 4.18. Základné rozmery frézy sú popísané v tab. 4.16.



Obr. 4.18. Štvorbritá karbidová fréza AlTiN [52].

Tab. 4.16. Rozmery štvorbritej karbidovej frézy AlTiN [52].

d [mm]	D [mm]	Lc [mm]	L [mm]	Počet britov
6	6	20	75	4

4.4.4 Nástroje pre rezanie závitů

Pre rezanie závitů M10 je zvolený strojný závitník z rýchloreznej ocele HSS triedy M2 s označením M10-6H HSS. Závitník má celkovú dĺžku 100 mm, z toho dĺžka závitů je 24 mm. Závit je veľkosti M10 so stúpaním 1,5 mm [53]. Strojný závitník je zobrazený na obr. 4.19.



Obr. 4.19. Strojný závitník z rýchloreznej ocele HSS triedy M2 [53].



4.5 Nástrojový list






Tab. 4.17. Nástrojový list pre všetky operácie výroby.

Pozícia nástroja	Názov	Označenie výrobcu
T1	Držiak noža (hrubovanie) VRD	QS-PCLNR 2020-12C CNMG 12 04 08-PM
T2	Držiak noža (dokončovanie) VRD	QS-SDJCL 12 3C DCMT 11 T3 04-PM
T3	Držiak noža (rezanie závitů) VRD	C4-266RFA-21055-16 266RG-16MM01C150M 1125
T4	Držiak noža (rezanie závitů) VRD	C4-266RFA-21055-16 266RG-16MM01C250M 1125
T5	Držiak noža (zapichovanie) VRD	QS-RF123T023-06B N123T3-0100-0000-GS 1125
M1	Strediaci vrták	DIN 333A
M2	Vrták Ø8,5 mm	DIN 338
F1	Štvorbritá karbidová fréza AlTiN	SKFA060/2045060075
Z1	Strojný závitník z rýchloreznej oceľe HSS triedy M2	M10-6H HSS

4.6 List meracích zariadení

Tab. 4.18. List meracích zariadení použitých pri výrobe [54, 55, 56, 57, 58, 59].

Znázornenie	Názov	Výrobca	Špecifikácia	Použitie v operáciách
	Posuvné meradlo [54]	Mitutoyo	Rozsah meradla: 0 – 200. Delenie stupnice: 0,02 mm. Presnosť: ±0,03 mm	00/00 03/03 10/10 14/14 20/20 23/23 29/29
	Horizontálny páčkový odchýlkomer [55]	Mitutoyo	Delenie stupnice: 0,01 mm. Stupnica: 0-40-0	03/03 10/10 14/14 20/20 23/23

Znázornenie	Názov	Výrobca	Špecifikácia	Použitie v operáciach
	Digitálny mikrometer [56]	Mitutoyo	Ochrana IP 65. Merací rozsah 75-100mm. Presnosť 0,002mm. Rozlíšenie 0.001mm.	03/03 20/20
	Digitálny výškomer QM-Height [57]	Mitutoyo	Rozsah merania: 0-600.	00/00 26/26
	Závitový krúžok ľavý M20x2,5-6g [58]	MICHOVKÝ TOOLS	Presnosť podľa normy DIN 13	06/06
	Závitový krúžok ľavý M40x1,5-6g [58]	MICHOVKÝ TOOLS	Presnosť podľa normy DIN 13	17/17
	Závitový kaliber M10x1,5-6H [58]	MICHOVKÝ TOOLS	Presnosť podľa normy DIN 13	31/31
	Drsnomer Surfptest SJ-210 [59]	Mitutoyo	Rozsah / Rozlíšenie: 360 µm / 0,02 µm, 100 µm / 0,006 µm, 25 µm / 0,002 µm.	26/26
	Základné mierky, johasonky [60]	SOMET	ČSN 253310.2 S12 0,5-100 mm	28/28

4.7 Použitie strojov v jednotlivých operáciách

Tab. 4.19. List strojov a pracovísk použitých pri výrobe.

Názov stroja / pracovisko	Použitie v operáciách
Pásová píla Pilous ARG 300 Plus	00/00
CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	01/01; 02/02; 04/04; 05/05; 07/07; 08/08; 09/09; 11/11; 12/12; 13/13; 15/15; 16/16; 18/18; 19/19; 21/21; 22/22; 24/24; 25/25
CNC frézka Mikron VCE Pro	27/27; 28/28
Závitorez Roscamat Shark VH	30/30
Kontrola	00/00; 03/03; 06/06; 10/10; 14/14; 17/17; 20/20; 23/23; 26/26; 29/29; 31/31
Baliarňa	32/32

Technologický postup výroby hriadeľa je uvedený v podkapitole 4.8 v tab. 4.20. Technologický postup obsahuje celkom 32 operácií, ktoré sú vykonávané na strojoch a na pracoviskách kontroly podľa tab. 4.19.

4.8 Technologický postup výroby hriadeľa

Tab. 4.20. List technologického postupu výroby hriadeľa.

VUT BRNO FSI ÚST		VÝROBNÝ POSTUP		Názov súčiastky : Hriadeľ	Číslo výkresu: 1-A02-2020
Dátum : 10.09.2020		Vyhotovil: Filip Ratica		Kontroloval:	Polotovár: STN 12 050 Ø55 x 467 mm
Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii		Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:			v_c – rezná rýchlosť [m/min]	
00/00	Pásová píla Pilous ARG 300 Plus	Rezať materiál na tyč dĺžky 467 mm.			pílový pás 3110 x 27 x 0,9 mm
	Kontrola	Odmastiť polotovár. Kontrolovať rozmery polotovaru.			Posuvné meradlo Mitutoyo Digitálny výškomer QM-Height Mitutoyo
01/01	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Upnúť do čelusti za Ø55. Vysunúť z čela 80 mm. Zarovnať čelo na +0,2 (v šírke 2,3 mm). Hrubovať v dĺžke 60 mm na +1,6 (na priemer Ø51,6 mm).		$v_c = 354 \text{ m/min}$ $f_n = 0,311 \text{ mm}$	T1
02/02	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Presné sústruženie čela (dokončovanie). Sústružiť na Ø20,1 v dĺžke 30 mm. Presné sústruženie na rozmer Ø25 h12 (za priemerom Ø20,1) v dĺžke 28 mm. Zraziť hrany 1 x 45° na Ø25 h12.		$v_c = 438 \text{ m/min}$ $f_n = 0,169 \text{ mm}$	T2
03/03	Kontrola	Kontrolovať: Ø20,1 početnosť 20%, Ø25 h12 početnosť 100%, zrazenie hrany 1 x 45° na Ø25 h12 početnosť 20%.			Posuvné meradlo Mitutoyo Digitálny mikrometer Mitutoyo Horizontálny páčkový odchýlkomer Mitutoyo

Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii	Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:		v_c – rezná rýchlosť [m/min] f_n – posuv na otáčku [mm]	
04/04	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Sústružiť zápich (osadenie) za závitom M20-6g LH.	$v_c = 242 \text{ m/min}$ $f_n = 0,05 \text{ mm}$	T5
05/05	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Rezať ľavý vonkajší závit M20-6g LH so stúpaním závitú 2,5 mm v dĺžke 28 mm.	$v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_n = 2,5 \text{ mm}$	T4
06/06	Kontrola	Kontrolovať závit M20-6g LH početnosť 100 %.		Závitový krúžok ľavý M20x2,5-6g MICHOVKÝ TOOLS
07/07	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Vrtať strediacu jamku Ø2,5. Potom vysunúť čelo 400mm. Prísun koníka.	$v_c = 53,4 \text{ m/min}$ $f_n = 0,26 \text{ mm}$	M1
08/08	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Hrubovať Ø30 h8 v dĺžke 34 mm na +1,6 (na priemer Ø31,6). Hrubovať Ø30 k6 v dĺžke 16 mm na +1,6 (na priemer Ø31,6). Hrubovať Ø37 v dĺžke 20 mm na +1,6 (na priemer Ø38,6).	$v_c = 354 \text{ m/min}$ $f_n = 0,311 \text{ mm}$	T1
09/09	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Presné sústruženie na Ø30 h8 v dĺžke 34 mm. Zraziť hrany 1 x 45° na Ø30 h8. Presné sústruženie na Ø30 k6 v dĺžke 16 mm. Presné sústruženie na Ø37 v dĺžke 20 mm. Zraziť hrany 0,5 x 45° na Ø37.	$v_c = 438 \text{ m/min}$ $f_n = 0,169 \text{ mm}$	T2
10/10	Kontrola	Kontrolovať: Ø30 h8 početnosť 100%, zrazenie hrany 1 x 45° na Ø30 h8 početnosť 20%, Ø30 k6 početnosť 100%, Ø37 početnosť 20%, zrazenie hrany 0,5 x 45° na Ø37.		Posuvné meradlo Mitutoyo Horizontálny páčkový odchýlkomer Mitutoyo

ZOSTAVENIE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU S VYUŽITÍM TPV FORMULÁROV

Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii	Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:		v_c – rezná rýchlosť [m/min] f_n – posuv na otáčku [mm]	
11/11	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Sústružiť drážku 1,6 H13 pre poistný krúžok. Sústružiť zápich F2,5x0,3	$v_c = 242 \text{ m/min}$ $f_n = 0,05 \text{ mm}$	T5
12/12	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Hrubovať na Ø41,6 v dĺžke 220 mm. Hrubovať na Ø51,6 v dĺžke 30 mm.	$v_c = 354 \text{ m/min}$ $f_n = 0,311 \text{ mm}$	T1
13/13	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Presné sústruženie na Ø40,1 v dĺžke 22,5 mm. Presné sústruženie na Ø40 js6 v dĺžke 197,5 mm. Presné sústruženie na Ø50 v dĺžke 30 mm.	$v_c = 438 \text{ m/min}$ $f_n = 0,169 \text{ mm}$	T2
14/14	Kontrola	Kontrolovať: Ø40,1 početnosť 20%, Ø40 js6 početnosť 100%, Ø50 početnosť 20%,		Posuvné meradlo Mitutoyo Horizontálny páčkový odchýlkomer Mitutoyo
15/15	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Sústružiť drážku (zápich) za ľavým vonkajším závitom M40x1,5-6g LH.	$v_c = 242 \text{ m/min}$ $f_n = 0,05 \text{ mm}$	T5
16/16	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Rezať ľavý vonkajší závit M40x1,5-6g LH so stúpaním závitu 1,5 mm v dĺžke 18 mm.	$v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_n = 1,5 \text{ mm}$	T3
17/17	Kontrola	Kontrolovať závit M40x1,5-6g LH početnosť 100 %.		Závitový krúžok ľavý M40x1,5-6g MICHOVKÝ TOOLS

Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii	Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:		v_c – rezná rýchlosť [m/min] f_n – posuv na otáčku [mm]	
18/18	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Upnúť za druhý koniec súčiastky do čeľustí za Ø40. Upnúť za dĺžku 348 mm. Zarovnať čelo na +0,2 (v šírke 2,3 mm). Hrubovať Ø25 js6 v dĺžke 34 mm na +1,6 (na priemer Ø26,6).	$v_c = 354 \text{ m/min}$ $f_n = 0,311 \text{ mm}$	T1
19/19	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Presné sústruženie čela (dokončovanie). Presné sústruženie na Ø25 js6 v dĺžke 34 mm. Zraziť hrany 1 x 45° na Ø25 js6.	$v_c = 393 \text{ m/min}$ $f_n = 0,169 \text{ mm}$	T2
20/20	Kontrola	Kontrolovať: Ø25 js6 početnosť 100%, zrazenie hrany 1 x 45° na Ø25 js6.		Posuvné meradlo Mitutoyo Digitálny mikrometer Mitutoyo Horizontálny páčkový odchýlkomer Mitutoyo
21/21	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Hrubovať Ø30 h8 v dĺžke 34 mm na +1,6 (na priemer Ø31,6). Hrubovať Ø30 k6 v dĺžke 16 mm na +1,6 (na priemer Ø31,6).	$v_c = 354 \text{ m/min}$ $f_n = 0,311 \text{ mm}$	T1
22/22	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Presné sústruženie na Ø30 h8 v dĺžke 34 mm. Zraziť hrany 1 x 45° na Ø30 h8. Presné sústruženie na Ø30 k6 v dĺžke 16 mm. Zraziť hrany 3 x 45° na Ø50.	$v_c = 438 \text{ m/min}$ $f_n = 0,169 \text{ mm}$	T2
23/23	Kontrola	Kontrolovať: Ø30 h8 početnosť 100%, zrazenie hrany 1 x 45° na Ø30 h8, Ø30 k6 početnosť 100%, zrazenie hrany 3 x 45° na Ø50.		Posuvné meradlo Mitutoyo Horizontálny páčkový odchýlkomer Mitutoyo

ZOSTAVENIE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU S VYUŽITÍM TPV FORMULÁROV

Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii	Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:		v_c – rezná rýchlosť [m/min] f_n – posuv na otáčku [mm]	
24/24	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Sústružiť drážku 1,6 H13 pre poistný krúžok. Sústružiť zápich F2,5x0,3.	$v_c = 242 \text{ m/min}$ $f_n = 0,05 \text{ mm}$	T5
25/25	CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L	Vítať dieru Ø8,5 do hĺbky 27 mm.	$v_c = 109 \text{ m/min}$ $f_n = 0,2 \text{ mm}$	M2
26/26	Kontrola	Kontrolovať: dĺžku (výšku) súčiastky početnosť 100%, Ra 0,8 početnosť 20%.		Digitálny výškomer QM-Height Mitutoyo Drsnomer Surftest SJ-210 Mitutoyo
27/27	CNC frézka Mikron VCE Pro	Upnúť za priemer Ø40 js6. Frézovať drážku 12 P9 do hĺbky $4,9^{+0,2}_0$ a v dĺžke $180^{+0,5}_0$.	$v_c = 136 \text{ m/min}$	F1
28/28	CNC frézka Mikron VCE Pro	Zaistiť polohu cez johansonky v drážke 12 P9. Frézovať drážku 8 P9 do hĺbky $4,1^{+0,2}_0$ a v dĺžke $24^{+0,2}_0$.	$v_c = 176 \text{ m/min}$	ČSN 253310.2 S12 johansonky SOMET F1
29/29	Kontrola	Kontrolovať drážky: 12 P9, $4,9^{+0,2}_0$ početnosť 50%, 8 P9, $4,1^{+0,2}_0$ početnosť 50%.		Posuvné meradlo Mitutoyo
30/30	Závitorez Roscamat Shark VH	Upnúť do zveráku. Do vyvrtanej diery Ø8,5 rezať závit M10-6H do hĺbky 22 mm.	$v_c = 25,3 \text{ m/min}$ $f_n = 1,5 \text{ mm}$	Z1
31/31	Kontrola	Kontrolovať závit M10-6H početnosť 100 %. Vizuálna kontrola početnosť 100 %. Odmastiť súčiastku.		Závitový kaliber M10x1,5-6H MICHOVKÝ TOOLS

ZOSTAVENIE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU S VYUŽITÍM TPV FORMULÁROV

Poradové číslo op.:	Názov, označenie stroja, zariadenie, pracovisko :	Popis práce v operácii	Doporučené rezné podmienky:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:
Orientačné:	Triediace číslo:		v_c – rezná rýchlosť [m/min] f_n – posuv na otáčku [mm]	
32/32	Balenie	Zakonzervovať súčiastku, zabaliť.		
Pri operáciách 01/01; 02/02; 04/04; 05/05; 07/07; 08/08; 09/09; 11/11; 12/12; 13/13; 15/15; 16/16; 18/18; 19/19; 21/21; 22/22; 24/24; 25/25; 27/27; 28/28 použiť procesnú kvapalinu ZET-cut 4100 od firmy ZET-CHEMIE [61].				

5. NASTAVENIE PRACOVISKA PRE VÝROBU PROTOTYPU

5.1 Príprava polotovaru

Pred samotnou výrobou prototypu musí byť známy materiál a rozmery polotovaru, ktoré zahŕňajú aj prídavky na obrábanie, napr. pre zarovnanie čela polotovaru. V našom prípade boli navrhnuté rozmery polotovaru $\text{Ø}55 \times 467$ mm. Polotovar je na dĺžku 467 mm delený pásovou pílou Pilous ARG 300 Plus z kruhovej ťahanej tyče h9 STN 12 050 (C45). Po delení pásovou pílou sa polotovar odmastí a pripraví na spracovanie.

Na obr. 5.1 je znázornený polotovar po delení pílou na stanovený rozmer a po odmastení.



Obr. 5.1. Polotovary pripravený na spracovanie.

5.2 Programovanie

Pre výrobu prototypu sú spracované celkovo 3 výrobné programy. Na CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L, s riadiacim systémom SmoothC, sú spracované 2 programy, jeden na ľavú a druhý na pravú stranu súčiastky (programy sú uvedené v prílohe 1). Na CNC frézku Mikron VCE Pro, s riadiacim systémom Heidenhain TNC 620, je spracovaný jeden program pre výrobu drážok pre perá (program je uvedený v prílohe 2).

Výrobné programy sú spracované podľa 3D modelu súčiastky.

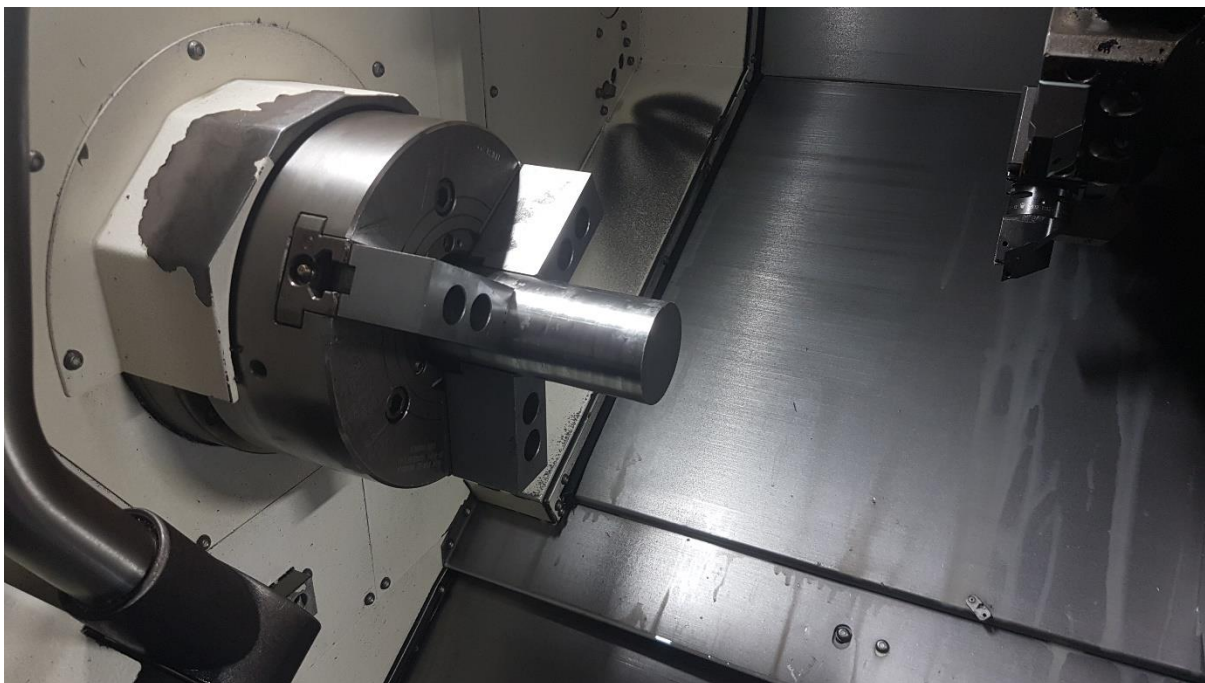
5.3 Upnutie nástrojov do stroja

CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L je vybavený revolverovou hlavou, ktorá poskytuje možnosť upnutia nástrojov. Pre tento CNC sústruh je v technologickom postupe výroby navrhnutých sedem nástrojov, ktoré sa upnú do revolverovej hlavy. Podľa návrhu výroby sa na CNC sústruhu vykonáva 18 operácií, kde patrí vŕtanie, sústruženie závitov, zápichov, hrubovacie a dokončovacie sústruženie. Výroba hriadeľa na CNC sústruhu je rozdelená na dve polovice. Revolverová hlava je osadená hrubovacím a dokončovacím nožom, dvoma závitovými nožmi a upichovacím nožom. Nože sú navrhnuté od spoločnosti Sandvik Coromant. Zoznam nástrojov je popísaný v nástrojovom liste v podkapitole 4.5, v tab. 4.17.

6. VÝROBA PROTOTYPU

6.1 Výroba na CNC sústruhu

CNC sústruh Mazak QT-COMPACT 200M L je osadený potrebnými nástrojmi. Na obr. 6.1 je znázornený polotovaru upnutý v čeľustiach pripravený na obrábanie.



Obr. 6.1. Upnutie polotovaru v čeľustiach.

6.1.1 Výroba ľavej strany hriadeľa

Na obr. 6.2 je vysústružený ľavý vonkajší závit M20-6g LH a priemer $\varnothing 25$ h12. Potom sa vysunie čelo von na dĺžku 400 mm a prisunie sa koník do strediacej jamky ako je znázornené na obr. 6.3.



Obr. 6.2. Vysústružený závit.



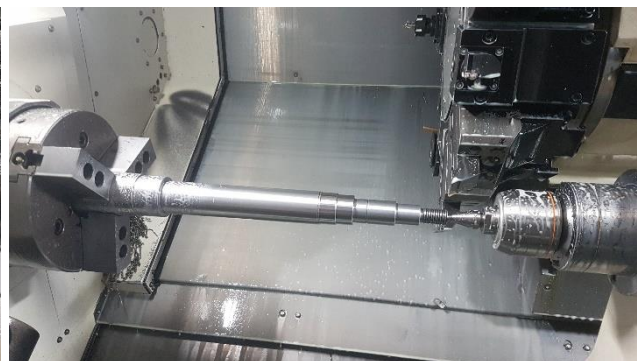
Obr. 6.3. Vysunuté čelo a prisunutý koník.

Na obr. 6.4 a obr. 6.5 je možné vidieť už sústruženie s upnutím pomocou koníka, kde na obr. 6.4 sú už vysústružené priemery s rozmermi $\varnothing 30$ mm, a taktiež drážka pre poistný

krúžok. Na obr. 6.5 prebehla hrubovacia a dokončovacia operácia priemeru pre umiestnenie závitú M40x1,5-6g LH.



Obr. 6.4. Vysústružený priemer pre uloženie ložiska a drážka pre poistný krúžok.



Obr. 6.5. Hrubovacie a dokončovacie sústruženie.

Na obr. 6.6 je hriadel' po dokončovacom sústružení priemerov $\text{Ø}40$ js6 a $\text{Ø}50$, na obr. 6.7 je vyhotovený ľavý vonkajší závit M40x1,5-6g LH a na obr. 6.8 je dokončená ľavá strana hriadel'a.



Obr. 6.6. Hriadel' po dokončovacom sústružení.



Obr. 6.7. Vyhotovený ľavý vonkajší závit M40x1,5-6g LH.



Obr. 6.8. Dokončená ľavá strana hriadel'a.

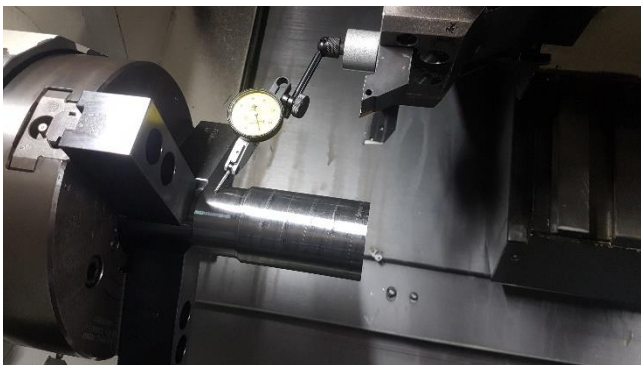
6.1.2 Výroba pravej strany hriadeľa

Pre výrobu pravej strany sa súčiastka opäť upne do čeľustí, ale za ľavú stranu za priemer $\text{Ø}40$. Na obr. 6.9 je znázornené upnutie za ľavú stranu.



Obr. 6.9. Upnutie v čeľustiach pre výrobu pravej strany.

Na obr. 6.10 je znázornené meranie pomocou horizontálneho páčkového odchýlkomera. Na obr. 6.11 je znázornené dokončovacie sústruženie pravej strany.



Obr. 6.10. Meranie odchýlkomerom.



Obr. 6.11. Dokončovacie sústruženie pravej strany.

Na obr. 6.12 je znázornená dokončená pravá strana hriadeľa aj s vyvítanou dierou s priemerom $\text{Ø}8,5$. Na obr. 6.13 je znázornené meranie priemeru $\text{Ø}25$ pomocou digitálneho mikrometra.



Obr. 6.12. Dokončená pravá strana hriadeľa.



Obr. 6.13. Meranie priemeru.

Na obr. 6.14 je znázornené kontrolné meranie dĺžky (výšky) hriadeľa, po výrobe na CNC sústruhu, pomocou digitálneho výškomera.



Obr. 6.14. Meranie dĺžky (výšky) hriadeľa.

6.2 Výroba na CNC frézce

CNC frézka Mikron VCE Pro je osadená potrebnými nástrojmi. Na obr. 6.15 je znázornený upnutý hriadeľ pripravený na frézovanie.



Obr. 6.15. Upnutý hriadeľ pripravený na frézovanie.

6.2.1 Frézovanie veľkej drážky

Na obr. 6.16 je znázornená vyfrézovaná drážka 12 P9 dĺžky 180 mm.



Obr. 6.16. Vyfrézovaná drážka 12 P9.

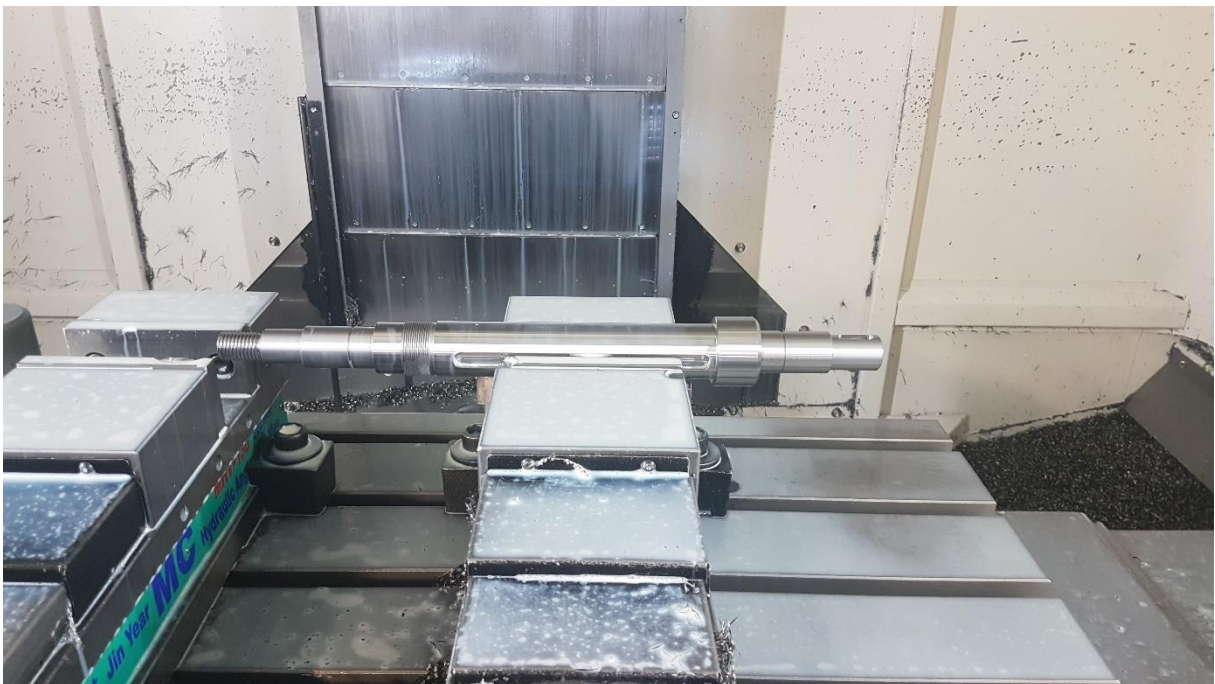
6.2.2 Frézovanie malej drážky

Pre výrobu drážky 8 P9 dĺžky 24 mm je zaistená poloha hriadeľa cez johansonky v drážke 12 P9, ktorú je možné vidieť na obr. 6.17.



Obr. 6.17. Zaistená poloha hriadeľa cez johansonky v drážke 12 P9.

Na obr. 6.18 je znázornená vyfrézovaná drážka 8 P9 dĺžky 24 mm.



Obr. 6.18. Vyfrézovaná drážka 8 P9.

6.3 Výroba na závitoreze

Závitorez Roscamat Shark VH je osadený strojným závitníkom M10-6H HSS. Na obr. 6.19 je znázornené upnutie hriadeľa vo zveráku a rezanie závitú M10-6H do diery s priemerom $\text{Ø}8,5$ mm.



Obr. 6.19. Upnutie hriadeľa a rezanie závitú M10-6H.

7. VYHODNOTENIE VÝROBY

Výroba hriadeľa drevoobrábacieho stroja prebehla v súlade s navrhnutým technologickým postupom výroby a bez závažných komplikácií. Pred samotnou výrobou bolo nutné pripraviť polotovary, upevniť potrebné náradie a nastaviť korekcie nástrojov.



Obr. 7.1. Hotový hriadeľ.

ZÁVER

Diplomová práca predstavuje prehľad vývoja číslicového riadenia CNC obrábacích strojov a historický exkurz počiatkov číslicového riadenia. Následne po tejto úvodnej časti práce je v ďalšej kapitole venovaný priestor návrhu a predstaveniu súčiastky, ku ktorej je spracovaná detailná výpočtová dokumentácia slúžiaca pre určenie zaťaženia pri konaní práce súčiastky a pre určenie jej bezpečnosti v rámci medze únavy. Po výpočtovej a konštrukčnej analýze bolo ďalším bodom diplomovej práce zostavenie celkového technologického procesu, ktorý zahŕňa návrh operácií výroby, návrh strojového parku, návrh nástrojov pre jednotlivé operácie a návrh technologického postupu výroby. Na základe tohto zostavenia bolo nastavené pracovisko pre výrobu. Pred samotnou výrobou sa musel pripraviť polotovar a upevniť potrebné nástroje, ktoré boli navrhnuté pre výrobu súčiastky, do strojov. Podľa návrhu technologického postupu výroby a výrobných programov pre CNC stroje bola realizovaná výroba súčiastky, ktorá bola fotograficky zdokumentovaná a vyhodnotená.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] History: History of CNC Machining, Part 1 [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>
- [2] Create & Innovate: Home Grown Innovation, Invention, Home Made Gifts & Games: We Will Manufacture - We Develop the Best Automatic Machine Processes by A. Russel Bond [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: http://saltofamerica.com/contents/displayArticle.aspx?19_266
- [3] ČERVENĀKOVÁ, Jana. Využití číslicově řízených strojů a zařízení v konfekční výrobě [online]. Fakulta textilní, 2018 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/154003/Bakalarska_praca_Cervenakova.pdf?sequence=1. Bakalárska práca. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Vedoucí práce Ing. Viera Glombíková, Ph.D.
- [4] AGE OF REVOLUTION - MAKING THE WORLD OVER: Jacquard Loom [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://ageofrevolution.org/200-object/jacquard-loom/>
- [5] Development of the Jacquard Loom [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.belindarose.co.uk/2018/09/10/development-of-the-jacquard-loom/>
- [6] The history of computer storage (slideshow): Punched card and tape [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/90156-the-history-of-computer-storage-slideshow/2>
- [7] BARON Machine Company NEWS: THE EVOLUTION OF CNC MACHINING [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.baronmachine.com/news/the-evolution-of-cnc-machining/>
- [8] NEZBEDA, FILIP. DESKRIKCE MOŽNOSTÍ ČÍSLICOVÉHO ŘÍZENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ [online]. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY, 2010 [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29012. Bakalárska práca. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.
- [9] La historia del CNC (control numérico por computadora): La primera máquina CNC [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/la-historia-del-cnc-control-numericopor-computadora.html>
- [10] IBM 705 III: IBM 705 III Data Processing System [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <http://ed-thelen.org/comp-hist/BRL61-ibm0705III.html>
- [11] ING. POLÁŠEK, Jaromír. ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ STROJE: Elektronická učebnice [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [12] Programování CNC strojů [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4872741-1-uvod-1-2-obsah-4-2-1-seznam-obrazku-7-3-obrabeni-10.html>
- [13] Historie přenosných paměťových médií: Od děrného štítku k DVD: Děrná páska [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xkutner-esej.htm>
-

-
- [14] Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů: Volba kuličkových šroubů [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>
- [15] ING. ŠTULPA, Miloslav. CNC: Obráběcí stroje a jejich programování. Věšínova 5, Praha 10: Nakladatelství BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [16] UX 730 Dyn: QUASER UX 730 Dyn je najdynamickejší stroj rady UX navrhnutý pre tuhú formárenskú výrobu [online]. [cit. 2020-08-08]. Dostupné z: <http://www.boststroje.sk/stroje/ux-730-dyn/>
- [17] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 9788021426290.
- [18] Pilový kotouč na dřevo 500x2,2x30 5310 - 56KV25°: Popis produktu [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: <https://www.azvercajk.cz/pilovy-kotouc-na-drevo-500x2-2x30-5310-56kv25-/d23413>
- [19] Redukčné krúžky na pílové kotúče CMT: 8448 30 x 25 x 2 mm 22922800 [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: <https://www.remab.sk/redukcne-kruzky-na-pilove-kotuce-cmt#30-x-25-x-2-mm-22922800-2023>
- [20] Poistné matice UW so zaisťovacím zariadením, oceľ a nerezová oceľ: 653 458 00 653 994 58 M40 x 1,5 [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: https://www.components.sk/catalogue/SK42_567.pdf
- [21] IGM Hobľovací nôž mäkké-tvrde drevo - 200x23x3 typ Rojek: F992-20023 [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: <https://www.igm.sk/igm-hoblovaci-noz-makke-tvrde-drevo--200x23x3-tyr-rojek/?tab=0>
- [22] Motor 4kW 2905ot/min patkový výr. Siemens: Technické parametry [online]. [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: https://www.prumyslovydum.cz/SIEMENS/Motor-4kW-2905ot-min-patkovy-1LA7-K20_g383.html
- [23] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: Učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [24] KALÁB, Květoslav. NÁVRH, VÝPOČET A MONTÁŽ ŘEMENOVÉHO PŘEVODU: Vysokoškolská příručka. Ostrava, 2010.
- [25] KŘÍŽ, Rudolf. STROJNICKÉ TABULKY II. POHONY: Hřídele, ozubené převody, řetězové a řemenové převody. Výstavní 10, Ostrava: MONTANEX, 1997. ISBN 80-85780-51-8.
- [26] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Výběry z norem pro konstrukční cvičení. Vydání páté. BRNO: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [27] Ocel 12 050: Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení [online]. [cit. 2020-08-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_12050.3.pdf
- [28] 5. Šmyk: 5.1 Hookov zákon pre šmyk [online]. [cit. 2020-08-27]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/lf-kli/Semrad%20Karol/Pruznost%20a%20pevnost/05-Smyk.pdf>
-

-
- [29] ŘEŘÁBEK, Antonín. STAVBA A PROVOZ STROJŮ: STROJNÍ SOUČÁSTI 2. Křížová 1018/6, 150 05 Praha 5: NAKLADATELSTVÍ SCIENTIA, spol., 2009. ISBN 978-80-86960-21-0.
- [30] SVOREŇ, Ján. DREVÁRSKE STROJE ČASŤ I. TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Katedra drevárskych strojov a zariadení, 2002.
- [31] ORAVEC, Michal. Konštrukčné riešenie uloženia hriadeľa rezného mechanizmu univerzálnej stolárskej kotúčovej píly [online]. Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, 2013 [cit. 2020-08-27]. Dostupné z: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=0D77803B6B9621F08666D6294FA2&seo=CRZP-detail-kniha>. Diplomová práca. TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vedoucí práce Ján Svoreň.
- [32] MENŠÍK, Martin. KONSTRUKČNÍ NÁVRH MALÉ STOLNÍ KOTOUČOVÉ PÍLY [online]. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY, 2016 [cit. 2020-08-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127964. Bakalárska práca. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
- [33] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. BRNO: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [34] HOZA, Jiří. Obrobitelnost materiálů: oceli třídy 11 až 19 [online]. Brno, září 1994 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_tecnologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf
- [35] FERONA: Materiálové normy: 12 050 [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- [36] PILOUS pásová pila na kov ARG 300 PLUS F [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.karas.cz/sk/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/gravitacni-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-300-plus-f-arg_300_plus_f
- [37] STROJOVÝ PARK [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <http://hiprotech.sk/sk/strojovy-park>
- [38] QT-COMPACT 200M [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/qt-compact-200m/>
- [39] Mikron VCE 800 Pro [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.gfms.com/country_CZ/cs/Products/Milling/standard-machining-centers/vce-machine-line/mikron-vce-800-pro.html
- [40] ROSCAMAT SHARK (M2-M36) [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://rezstech.sk/obsah/roscamat-shark-m2-m36>
- [41] QS-PCLNR 2020-12C: Stopkové nástroje T-Max® P QS pro soustružení [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=QS-PCLNR%202020-12C>
-

-
- [55] Horizontální páčkový úchylkoměr 0,8mm, 0,01mm, 8mm Stem: Popis [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.04.05/Horizontal%C3%A1ln%C3%AD%20p%C3%A1%C4%8Dkov%C3%BD%20%C3%BAchylkom%C4%9Br/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/513-404-10E/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.04.05/Horizontal%C3%A1ln%C3%AD%20p%C3%A1%C4%8Dkov%C3%BD%20%C3%BAchylkom%C4%9Br/$catalogue/mitutoyoData/PR/513-404-10E/index.xhtml)
- [56] Mitutoyo digitální mikrometer 293.233 [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <http://www.loziska-naradie.sk/e-1880-mitutoyo-digitalny-mikrometer-293233>
- [57] QM Height w/o Air Floating, Metric 0-600mm, 0,001/0,005mm: Popis [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05.034/QM%20Height%20w-o%20Air%20Floating%2C%20Metric/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/518-242/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05.034/QM%20Height%20w-o%20Air%20Floating%2C%20Metric/$catalogue/mitutoyoData/PR/518-242/index.xhtml)
- [58] Závitové kalibre a krůžky „M“ [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <https://zavitovekalibre.sk/kalibre/zavitove-kalibre-a-kruzky-m/>
- [59] Drsnoměr Surfrest SJ-210 [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/sk/260-drsnomer-surfrest-sj-210.html>
- [60] Základní měrky, Johansonky - 0,5-100 mm, ČSN 253310.2 S12 - 103 ks [online]. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.i-nastroje.cz/Zakladni-merky-Johansonky-0-5-100-mm-CSN-253310-2-S12-103-ks-d10091.htm?tab=description#anch1>
- [61] Cooling Lubricants: ZET-cut 4100 [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <https://www.zet-chemie.de/en/products/cooling-lubricants/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

Skratka	Popis
APT	Automatically Programmed Tool
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CNC	Computer numerical control
HSS	Rýchlorezná oceľ (high speed steel)
HSC	High Speed Cutting
NC	Numerical control
PLC	Multiprocesorové mikropočítačové štruktúry
SK	Spekaný karbid
VRD	Vymeniteľná rezná doštička

ZOZNAM PRÍLOH

Výrobný program pre CNC sústruh – ľavá strana.

Výrobný program pre CNC sústruh – pravá strana.

Výrobný program pre CNC frézku.

ĎALŠIE PRÍLOHY

Druh dokumentu	Názov dokumentu	Číslo dokumentu
Výkres zostavy	Mechanizmus pily	A1 - ÚST - 2020
Výkres súčiastky	Hriadel'	A2 - ÚST - 2020
Zoznam položiek	Mechanizmus pily	A4 - ÚST - 2020