



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE PRO ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ

CONSTRUCTION DESIGN OF ONE PURPOSE FACE MILLING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Juraj Cagáň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Štěpánek

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Juraj Cagáň**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Vojtěch Štěpánek**
Akademický rok: 2019/20

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

Návrh konstrukce jednoúčelového stroje pro čelní frézování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním ze směrů výroby stolových desek je využití spojení dřeva a barevného kompozitu. Po odlití epoxidové pryskyřice v domácích podmínkách však vznikají v povrchových vrstvách různé bubliny a vady, které je nutné odstranit. Hobby dílna však nedisponuje širokoformátovou brusku či hoblovkou. Úkolem je tedy vytvořit zařízení, které bude umožňovat čelní frézování desky stolu, za předpokladu minimalizace nákladů tak, aby bylo zařízení dostupné i pro amatérské uživatele.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní zpracování současného stavu poznání v oblasti hobby CNC strojů.
Návrh několika konceptuálních možností z pohledu kinematiky, materiálu konstrukce, použitých komponent, a j.
Definice kritérií výběru pro volbu optimální varianty.
Detailní zpracování zvoleného konceptuálního řešení doplněné o základní technické výpočty.
Výkres sestavy zkonstruovaného zařízení.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno: Vysoké učení technické, 1986.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

V úvodných kapitolách opisuje bakalárska práca široké spektrum možností pri výbere komponentov vo fáze návrhu CNC stroja, či už z hobby alebo profesionálnej oblasti. Následne uvádza 3 koncepčné varianty kinematického usporiadania a niekoľko relevantných kritérií, na základe ktorých bude zvolený ten najvhodnejší. S využitím nadobudnutých poznatkov je v praktickej časti popísaný výber jednotlivých súčastí stroja, doplnený základnými technickými výpočtami.

ABSTRACT

In introduction chapters of the bachelor's thesis there is described a wide range of options for components selection in the design phase of a CNC machine, from a hobby or a professional field. Subsequently, there are introduced 3 conceptual variants of the kinematic arrangement and several relevant criteria, on the basis of which the most suitable one will be chosen. By using the acquired knowledge, in the practical part there is described the process of machine's individual parts selection, supplemented by the basic technical calculations.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Frézka, čelné frézovanie, CNC – číslicové riadenie počítačom, obrábanie, jednoúčelový stroj

KEYWORDS

Milling machine, face milling, CNC – computer numerical control, machining, one purpose machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

CAGÁŇ, Juraj. *Návrh konstrukce jednoúčelového stroje pro čelní frézování* [online]. Brno, 2020 [cit.2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124582>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Vojtěch Štěpánek.

POĎAKOVANIE

V prvom rade by som rád poďakoval vedúcemu bakalárskej práce, Ing. Vojtěchovi Štěpánkovi, za praktické rady, ochotu, usmernenia a enormnú trpezlivosť. Nemalá vďaka patrí i mojim blízkym a členom skupiny Brawlboys za podporu počas štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Vojtěcha Štěpánka a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24.6.2020

.....

Cagáň Juraj

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SÚČASNÝ STAV POZNANIA	17
2.1	Profesionálne CNC frézovacie stroje.....	17
2.1.1	CNC frézka	17
2.1.2	CNC router	17
2.2	Nosná sústava CNC obrábacích strojov.....	18
2.2.1	Liatina.....	19
2.2.2	Oceľ	20
2.2.3	Hliník	20
2.2.4	Časticové kompozity (polymérbetón a HPC betón).....	21
2.2.5	Prírodný kameň.....	22
2.3	Elektromotory	23
2.3.1	Krokové motory.....	23
2.3.2	Servomotory	24
2.3.3	Lineárne motory	24
2.4	Prevodové mechanizmy	25
2.4.1	Ozubený remeň.....	25
2.4.2	Ozubený hrebeň a pastorok	25
2.4.3	Šnek a šnekový hrebeň	26
2.4.4	Klzná pohybová skrutka a matica.....	26
2.4.5	Valivá pohybová skrutka a matica.....	27
2.5	Lineárne vedenie.....	28
2.5.1	Klzné vedenie	29
2.5.2	Profilové valivé vedenie	29
2.5.3	Rolníckové valivé vedenie.....	30
2.6	Vreteno a nástroj.....	31
2.6.1	Vreteno	31
2.6.2	Nástroj	32
2.7	Čelné frézovanie	34
2.7.1	Typy čelného frézovania	34
2.7.2	Rezné sily a odhad ich veľkostí.....	35
2.8	Ochranné a bezpečnostné prvky	36
2.8.1	Ochranné prvky	36
2.8.2	Bezpečnostné prvky.....	38
3	NÁVRH A VÝBER KONCEPČNÝCH VARIANTOV	39
3.1	Návrh koncepčných variantov	39
3.1.1	I. variant.....	39
3.1.2	II. variant	39
3.1.3	III. variant	40
3.2	Výber koncepčného variantu	41
4	VLASTNÉ KONŠTRUKČNÉ PREVEDENIE	43
4.1	Voľba nosnej sústavy.....	43
4.2	Pracovný priestor a konštrukčné prevedenie	43
4.3	Voľba lineárneho vedenia	44
4.4	Voľba prevodových mechanizmov	45
4.5	Výpočet mernej reznej sily	46

4.6	Výpočet reznej sily	47
4.7	Voľba pohonu posuvovej sústavy v smere osi y	47
4.7.1	Dynamická sila (os y).....	47
4.7.2	Celková sila (os y).....	48
4.7.3	Požadovaný krútiaci moment elektromotora (os y)	48
4.7.4	Skutočný krútiaci moment elektromotora (os y).....	48
4.7.5	Výpočet posuvovej rýchlosti v smere osi y.....	49
4.8	Voľba pohonu posuvovej sústavy v smere osi x	50
4.8.1	Dynamická sila (os x).....	50
4.8.2	Celková sila (os x).....	51
4.8.3	Požadovaný krútiaci moment elektromotora (os x)	51
4.8.4	Skutočný krútiaci moment elektromotora (os x).....	51
4.8.5	Výpočet posuvovej rýchlosti v smere osi x.....	52
4.9	Voľba polohovacieho držiaku (os z)	52
4.10	Voľba vretena a nástroja.....	53
4.11	Odhad strojného času	55
4.12	Energetické reťaze.....	56
4.13	Bezpečnosť konštrukcie	56
5	ODHAD FINANČNÝCH PROSTRIEDKOV	59
6	ZÁVER.....	61
7	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	63
8	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK.....	69
8.1	Zoznam skratiek	69
8.2	Zoznam obrázkov	70
8.3	Zoznam tabuliek	71
9	ZOZNAM PRÍLOH.....	73
	PRÍLOHY	75

1 ÚVOD

Téma bakalárskej práce vznikla na základe žiadosti hobby modelára, ktorého cieľom je vyrobiť niekoľko epoxidových stolov pre vlastné využitie.

Výroba dosky stola začína výberom zaujímavo textúrovaného dreva s nízkou vlhkosťou. Práchnivé drevo, kôru a iné nečistoty, ktoré budú v styku s epoxidom, je nutné vopred odstrániť. Pred vyliatím živicovej zmesi sa pripraví forma. Jej bočné steny, spravidla drevené, sa odporúčajú zlepiť a utesniť tavnou lepiacou pištoľou, čím sa zabráni úniku tekutej živice. Ako podstavu formy je vhodné použiť polypropylénovú podložku, na ktorú sa živica neprilepí. Aj zvyšné plochy formy, ktoré prídu v procese zalievania do kontaktu so živicom, je potrebné pokryť páskou alebo fóliou, brániacou prilepeniu živice. Zabezpečí sa tak rozobratelnosť formy. Po vložení musí byť drevo svorkami silno pritlačené k podstave formy, aby nepodtieklo. Postup prípravy živicovej zmesi popisujú jednotliví výrobcovia rôzne, spravidla však platí, že prítomnosť vzduchových bublínok je nežiadúca. Z toho dôvodu je snaha nezvyšovať ich obsah intenzívnym miešaním, prípadne priamo ho znížiť teplovzdušnou pištoľou alebo vývevou. Po zaliatí a vytvrdnutí epoxidovej živice sa z formy vytiahne polotovár s množstvom prebytočného materiálu a nerovností. Tie sa čiastočne odstránia ručne, avšak až čelným frézovaním celej plochy sa dá dopracovať k jednému súvislému povrchu. CNC router, veľké preťahovačky alebo hobľovačky sú z finančného hľadiska menšej dielne nie príliš dostupným, prípadne zbytočne komplikovaným riešením. Na druhej strane sa ponúka možnosť použitia hornej frézy, lenže takto obrábaný povrch väčšej plochy nemusí dosahovať požadovanú kvalitu. Optimálnym riešením by bolo využitie jednoduchého CNC stroja na čelné frézovanie.

Práve za týmto účelom vzniklo pôvodné zadanie bakalárskej práce, ktoré bolo následne rozdelené do 2 samostatných prác. Prvá práca sa zaoberá riadením stroja z pohľadu programovania, softvéru a elektroniky. Druhá, naša bakalárska práca, popisuje možnosti a predkladá konkrétny návrh konštrukčného riešenia jednoúčelového stroja na čelné frézovanie.

Na rozdiel od komerčných CNC frézok s posuvmi v 3 nezávislých osiach, ktoré sú pomaly nahradzované komplexnými 5-osými obrábacími centrami, je zaujímavosťou nášho stroja jednoduchosť jeho aplikácie. Čelné frézovanie dosky epoxidového stola je principiálne technologický proces obrábania len v jednej rovine. Tým, že sú požadované nezávislé posuvy iba v 2 osiach, kladú sa nižšie požiadavky na náročnosť konštrukcie, riadenia a v neposlednom rade aj na potrebný finančný rozpočet.

Bakalárska práca sa nezaobera iba konceptuálnym návrhom stroja s cieľom znížiť finančné náklady, ale prihliada aj na dlhodobú prevádzkovateľnosť a dostatočnú bezpečnosť. Univerzálnosťou konštrukčného riešenia súčasne necháva otvorený priestor dodatočným komponentom, systémom alebo iným vylepšeniam stroja.

2 SÚČASNÝ STAV POZNANIA

Druhá kapitola bakalárskej práce popisuje CNC frézovacie stroje a najdôležitejšie komponenty v nich používané.

2.1 Profesionálne CNC frézovacie stroje

Profesionálne frézovacie stroje možno v súčasnosti považovať za výkonné, vysoko produktívne a rozšírené obrábacie stroje, určené predovšetkým k obrábaniu nielen rovinných plôch, ale aj tvarových drážok, závitov, zubov, ozubených kôl a pod. [1]

2.1.1 CNC frézka

CNC frézovacie stroje rozdeľujeme do 3 základných skupín z hľadiska konštrukčného prevedenia, ktoré potom zahŕňajú viacero možností zobrazených na nasledovnom obrázku.



Obr. 1) Rozdelenie frézovacích strojov [2]

Bližšiemu rozdeleniu na základe morfológie, typu rámu a ich materiálu sa venujeme v kapitole 2.2 Nosná sústava CNC obrábacích strojov.

2.1.2 CNC router

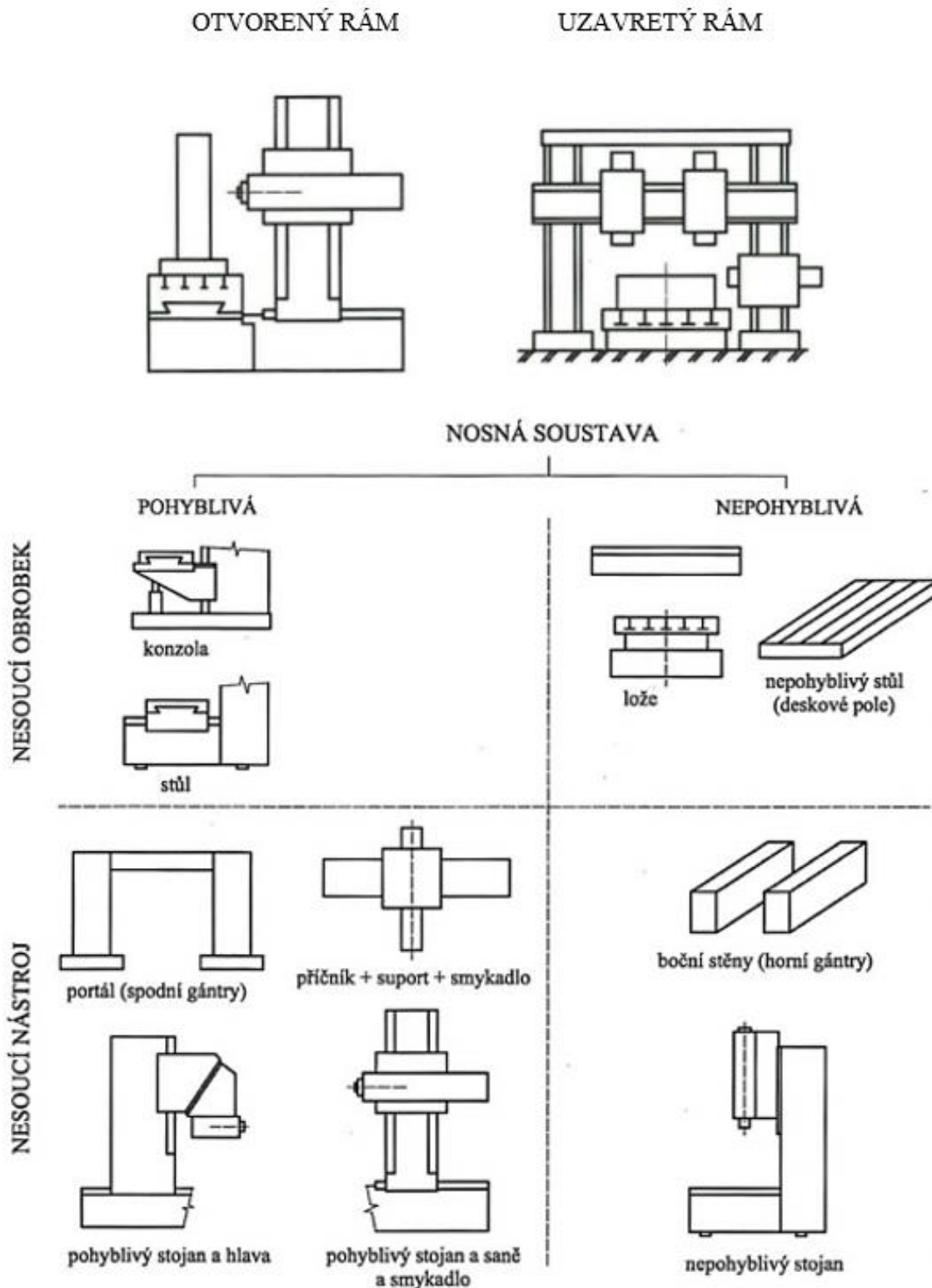
CNC routery, ako aj gravírovacie stroje, sú podobne ako stolové frézky, vybavené zvislou osou vřetena. Z hľadiska konštrukčného usporiadania sa s ohľadom na menšiu veľkosť routera používa konštrukcia s posuvným stolom a nehybným portálom. V prípade väčšej pracovnej plochy routera sa využíva častejšie variant s posuvným portálom a pevným stolom, zobrazený na Obr. 2.



Obr. 2) CNC Router Raptor Beast 30/15 [3]

2.2 Nosná sústava CNC obrábacích strojov

Nosná sústava, či ide o hobby alebo komerčný CNC stroj, sa skladá z dvoch hlavných častí, z časti nesúcej obrobok a časti nesúcej nástroj na obrábanie. Uvedené časti sa rozdeľujú aj podľa toho, či sú prvky danej sústavy pohyblivé alebo nie (Obr. 3).



Obr. 3) Morfológia nosnej sústavy CNC obrábacieho stroja [1]

Pri návrhu nosnej sústavy musí konštruktér rešpektovať mnoho hľadísk, ktoré možno zhrnúť do niektorých základných a všeobecne platných požiadaviek, ako sú:

- jednoduchá a efektívna výroba;
- použitie kvalitného materiálu rámu;
- dobrá statická tuhosť;
- vyhovujúca dynamická a tepelná stabilita;
- nízka hmotnosť;
- ľahká manipulovateľnosť;
- umožnenie dobrého odvodu triesok;
- spoľahlivé uloženie na základ. [1]

Vlastnosti jednotlivých dielov CNC obrábacích strojov sú určené predovšetkým:

- a) materiálom;
- b) topológiou – tvarovanie, rebrovanie, hrúbka stien, proporcie dielov;
- c) spojmi – množstvo, poloha a prevedenie pevných i pohyblivých spojení.

Takmer všetky spomínané vlastnosti môže ovplyvniť do istej miery konštruktér a výrobca. Stretávajú sa pri tom s mnohými obmedzeniami. Tým najtypickejším sú náklady.

Pri pohľade na stavbu rámu a dielov z hľadiska materiálového je zrejmé, že je potrebné posudzovať predovšetkým základné fyzikálne vlastnosti daného materiálu, ktoré priamo ovplyvňujú konkrétne vlastnosti stroja. Najdôležitejšou vlastnosťou je vysoká tuhosť a pevnosť materiálu, aby mal stroj dostačujúcu bezpečnosť voči trvalej deformácii. Zároveň sa vyžaduje nízka hmotnosť, ktorá ovplyvňuje statické a dynamické vlastnosti dielov. Priamy vplyv na dynamické vlastnosti stroja má aj útlm chvenia v danom materiáli. Zabudnúť nemožno na tepelnú stabilitu a preto sa volia materiály s nízkou tepelnou rozťažnosťou a vodivosťou. V neposlednom rade musí konštruktér myslieť aj na dlhodobú presnosť stroja. Z uvedeného dôvodu sa používajú materiály s nízkym vnútorným pnutím. [1] [4]

2.2.1 Liatina

Liatina je bežne používaným materiálom pre rámy obrábacích strojov, predovšetkým v sériovej výrobe, ako napríklad na Obr. 4. Nielenže má vysokú schopnosť tlmiť vibrácie, ale technológia výroby liatinových odliatkov je v súčasnosti natoľko rozšírená a ekonomicky výhodná, že z pohľadu väčšej sériovej výroby ju nemožno nahradiť.

Negatívum použitia liatiny je jej krehkosť a hmotnosť. Odliate lože či stojany sú spravidla ťažšie ako zvarané. Dôvodom je, že:

- pri požiadavke rovnakej tuhosti odliatku v porovnaní so zvaranou súčasťou je potrebné použiť hrubšie steny, nakoľko liatina má menší modul pružnosti v ťahu aj šmyku;
- prierezy namáhané krutom sa u odliatkov nedajú vyrobiť úplne uzavreté a preto sa musia voliť hrubšie steny a hustejšie rebrovanie. [1]

U odliatkov zároveň platí, že ich tvar je spravidla čo najjednoduchší a takmer vždy po konštrukčnom návrhu upravovaný na technologické zvyklosti príslušnej zlievarne. A tak sa neraz stáva, že musí dôjsť ku kompromisu medzi technológiou a konštrukciou. [1]



Obr. 4) Odliatok nohy rámu CNC routera [5]

2.2.2 Oceľ

Zvárané konštrukcie rámov obrábacích strojov využívajú oceľové profily alebo valcované plechy, u ktorých je zaručená zvariteľnosť. Počet zvarov, ich smer a veľkosť musia byť volené tak, aby nedochádzalo k vzájomnému pnutiu, ktoré by zničilo profil zvaru. Z týchto dôvodov sú volené priebežné zvary malých veľkostí. [1]

Použitie zvarencov namiesto odliatkov má z technickej a ekonomickej stránky určité výhody, ale aj nevýhody. Medzi prednosti zváraných konštrukcií patrí predovšetkým zníženie hmotnosti. Dosiagnuté úspory materiálu znížením hmotnosti, sú v priemere 30% pri náhrade odliatku zo šedej liatiny zvarencom. Tuhosť zvarenca je rovnaká alebo aj vyššia, je závislá na celkových rozmeroch rámu a na module pružnosti materiálu. Uzavreté skriňové konštrukcie majú vyššiu tuhosť, obzvlášť pri namáhaní ohybom a krutom. [6]

Odliatky zo šedej liatiny sú často z materiálového hľadiska neúsporné. Zváranie umožňuje mechanizovať a automatizovať výrobu. Skracujú sa výrobné časy a zváranie dovoľuje vyššiu variabilnosť typových modifikácií. Pri dobrom zvládnutí technológie zvárania sa u zvarencov nevyskytuje zrnitosť, ktorá je u odliatkov zo sivej liatiny mnohokrát veľká, najmä ak sa jedná o prototyp. [6]

2.2.3 Hliník

Hliníkové profily sú čím ďalej, tým populárnejšie, predovšetkým v oblasti modelárskych, či hobby CNC obrábacích strojov. V súčasnosti existuje na trhu niekoľko dodávateľov presných ťahaných hliníkových profilov, z ktorých možno vystavať doslova stavebnicu (Obr. 5). Ich vzájomné prepájanie je realizované pomocou skrutkových a tvarových spojov. Dosahujú dostatočnú tuhosť, bez použitia zvárania, čo umožňuje ich ľahkú a rýchlu montáž i demontáž. Diely sú veľmi ľahké, normalizované a zameniteľné, čím je dosiahnutá najväčšia prednosť rámov z hliníkových profilov, ich veľká variabilita. Najčastejšie využitie hliníkových dielov nájdeme preto v oblasti jednoúčelových strojov.

CNC frézy s rámom z hliníkových profilov však určite nie sú vhodné pre obrábanie kovových materiálov, pretože tuhosť ich konštrukcie ako celku nie je dostatočujúca. Zároveň náklady na sériovú výrobu sú v porovnaní s konštrukciami odliatymi, prípadne zváranými, vyššie a tak medzi výrobcami komerčných CNC obrábacích strojov nájdeme len zriedka takýto typ rámu.



Obr. 5) Systém hliníkových profilov firmy Haberkorn [7]

2.2.4 Časticové kompozity (polymérbetón a HPC betón)

V poslednom období prichádza k rozšíreniu uplatňovania polymérbetónu ako materiálu nosných dielov nielen frézovacích, ale aj brúsnych strojov. Využitie polymérbetónu pre konštrukciu rámu obrábacích strojov prináša jedinečné vlastnosti a požiadavky, ako napríklad:

- k zlepšeniu tuhosti a stability stroja sa používa princíp "vyliatia" vnútorného priestoru oceľového alebo liatinového dielu spodnej časti rámu zmesou polymérbetónu;
- princíp "vyliatia" tenkostennej konštrukcie rámu polymérbetónom ponúka ďalšie možnosti použitia - vonkajší tvar vrátane pripojovacích prvkov nahrádza formu, pričom nie je potrebné pracne a drahé rebrovanie, nakoľko vnútro sa vyplní polymérbetónom;
- pri práci s polymérbetónom je dôležité rešpektovať určité pravidlá. Všetky plochy oceľovej konštrukcie sa musia vopred očistiť, odmastiť a vysušiť. Potrebné je dodržiavať minimálnu hrúbku steny 80 mm a pokiaľ je to možné, plniace otvory sa nachádzajú iba z jednej strany;
- pri výrobe rámu stroja z polymérbetónu sa používa technológia odlievania do kovových alebo drevených foriem. Pre sériovú výrobu sú vhodnejšie kovové formy (liatina, oceľ) s vysokou životnosťou (až 1000 odliatí) a presnosťou (cca $\pm 0,05$ mm) Drevené formy majú menšiu životnosť (cca 20 odliatí) a presnosť (cca ± 1 mm), ale na druhej strane sú lacné;
- väčšinu funkčných a pripojovacích plôch (lineárne vedenie, závitové otvory, plochy pre manipuláciu) je potrebné zaliť do rámu z polymérbetónu s požadovanou pevnosťou spojenia. Materiál musí prenášať silové účinky len v relatívne veľkých plochách z dôvodu horších parametrov pevnosti. Vhodne tvarované kovové prvky musia byť vložené a zaliate do základného materiálu, pretože v opačnom prípade sily koncentrované na malé plochy by mohli spôsobiť miestne poškodenia štruktúry polymérbetónu. Tvar a rozmery vstavaných prvkov je dôležité voliť tak, aby bola

styková plocha s polymérbetónom čo najväčšia a pre prenos daného zaťaženia bol vytvorený vhodný "záмок" (T-drážka, špirála a pod.). Problém často spôsobuje nedostatočná adhézia medzi polymérbetónom a kovom samotným. V takom prípade sa používajú profily tvaru kotvy, ktoré zlepšujú spojenie medzi polymérbetónom a kovovými komponentami. [1]

Vysokopevnostný betón (HPC), nový inovatívny materiál v strojárstve, je typický svojou nízkou tepelnou vodivosťou, vďaka ktorej reaguje na teplotné výkyvy v porovnaní s kovovým materiálom veľmi pomaly. Nakoľko má výborné tlmiace vlastnosti, používa sa v prípadoch požadujúcich zachytávanie vibrácií. Tekutá konzistencia vysokopevnostného betónu pri izbovej teplote súčasne umožňuje vyrábať rôzne tvary bez nutnosti materiál taviť. Do komponentov pritom nie je problém zalievať iné vstavané časti vo forme dutých rúrok alebo oceľových prvkov. Dodatočným pridaním prednapätia možno zabrániť tvorbe trhlin, korigovať deformácie, či dokonca minimalizovať priehyb. HPC betón sa zároveň vyznačuje vysokou hustotou a pevnosťou štruktúry v tlaku, čo je spôsobené pridaním mikrosilikátu. Hlavný rozdiel od bežného betónu však spočíva v tepelnom spracovaní a v presne riadenom ochladzovaní. V procese tepelného spracovania vysokopevnostný betón umelo zostarne a prirodzené zmršťovanie pri tuhnutí sa minimalizuje takmer na nulu. [1] [6]

2.2.5 Prírodný kameň

Ďalším z materiálov používaných pre veľmi presné stroje na mikrofrézovanie a brúsenie je prírodná žula, resp. granit (Obr. 6). Prírodná žula nemá takmer žiadne vnútorné pnutie, čoho následkom je dokonalá rozmerová stálosť. Materiálové tlmenie je na úrovni šedej liatiny a hodnota súčiniteľa dĺžkovej teplotnej rozťažnosti je v porovnaní s liatinou ešte nižšia. Na druhej strane, výroba presných dielov je veľmi náročná a nákladná z dôvodu nutnosti brúsenia všetkých plôch. Ďalšie komplikácie sú nielen pri spájaní s ostatnými dielmi konštrukcie, ale aj pri dodatočných úpravách hotovej konštrukcie (nemožno vyrezať závit, ľahko vyvrtáť otvor a pod.). [2]



Obr. 6) CNC router s rámom z prírodnej žuly [8]

Pri konštruovaní je potrebné zohľadniť nielen všetky výhody a nevýhody vyššie spomínaných materiálov. V praxi musí konštruktér brať do úvahy aj pripomienky zákazníka, či iné požiadavky:

- akceptovanie prevedenia rámu stroja zákazníkom jedno z hlavných hľadísk, nakoľko zákazník sa v mnohých prípadoch spolupodieľa na konštrukčnom prevedení samotného obrábacieho stroja;

- zohľadnenie výrobo-technického a ekonomického hľadiska, s čím priamo súvisí cena materiálu, hospodárnosť vo výrobe a taktiež obrobiteľnosť;
- čas dodania zákazky. [6]

2.3 Elektromotory

Elektromotory ako elektrické zariadenia premieňajúce elektrickú energiu na mechanickú prácu sú neoddeliteľnou súčasťou všetkých CNC strojov.

2.3.1 Krokové motory

Krokové motory sú najbežnejšie využívané elektromotory v hobby sfére, určené pre aplikácie, kde je vyžadované polohovanie. Z názvu je zrejmé, že vykonávajú vlastný pohyb skladaním jednotlivých krokov, ktoré vo výsledku tvoria rotačný pohyb. Typické sú značným počtom pólov. Princíp fungovania spočíva v prechode prúdu cievkou statora, ktorý vytvorí magnetické pole okolo cievky a natočí protipól rotora. Vhodným prívodom prúdu na jednotlivé cievky sa vytvára rotujúce magnetické pole, ktoré následne unáša rotor. Medzi jednotlivými pólmi motora je tak vykonávaný nesúvislý pohyb. Príklad krokového elektromotora je zobrazený na Obr. 7. [9]

Výhody krokových motorov:

- uhol natočenia hriadeľa je priamo úmerný počtu vstupných impulzov;
- rýchlosť otáčania je úmerná frekvencii vstupných impulzov;
- riadenie bez nutnosti polohovej spätnej väzby;
- rýchla a presná reakcia na zrýchlenie, spomalenie a zmenu smeru otáčania;
- neakumulovateľná chyba polohovania ($\pm 5\%$ z kroku uhla);
- veľký krútiaci moment pri nízkych rýchlostiach otáčania;
- veľký statický moment;
- aretácia v nehybnom stave;
- obojsmerná prevádzka;
- krokový motor môže byť preťažený a zatavený bez poškodenia;
- rotor je u väčšiny motorov uložený v presných guľôčkových ložiskách;
- ľahká dostupnosť, nižšia cena v porovnaní so servomotorom. [10]

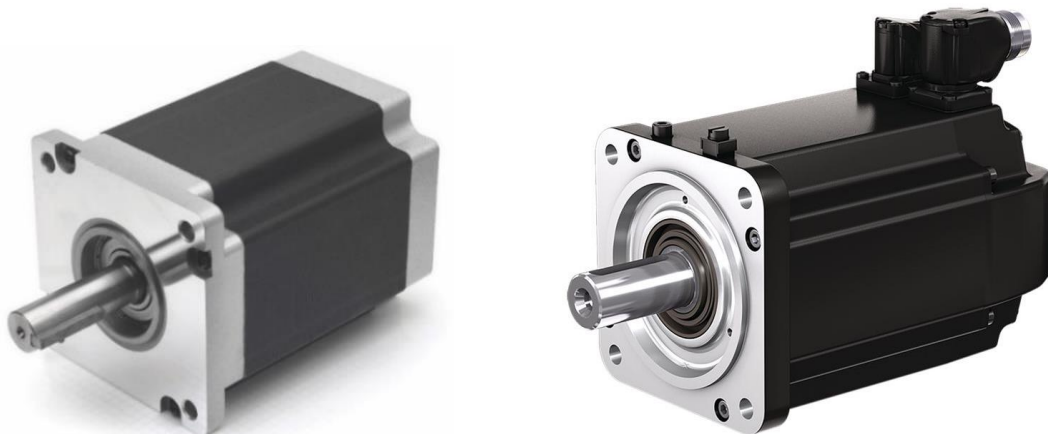
Nevýhody krokových motorov:

- pri určitých rýchlostiach otáčania sú náchylné k rezonanciám;
- štandardne nie sú určené k prevádzke nad 500 ot/min. Dôvodom je ich krútiaci moment, ktorý so zvyšujúcimi sa otáčkami prudko klesá;
- ak dôjde k strate kroku, je stratená poloha poháňaného stroja a systém musí byť znovu inicializovaný;
- absencia spätého regulačného obvodu. Riešenie poskytuje tzv. enkóder, ktorý plní funkciu spätnej väzby. Môže byť integrovaný alebo externe pripojený ku krokovému elektromotoru;
- rovnaká spotreba elektrického prúdu v klúde ako aj pri rotácii, čoho následkom je vytvorené nežiadúce teplo. [10]

2.3.2 Servomotory

Servomotor je typ motora, ktorý umožňuje kontrolovať presnú polohu hriadeľa motora, otáčky a zrýchlenie (Obr. 8). Keďže v súčasnosti už nie je problém riadiť aj synchronne servomotory, častokrát sa stretávame v praxi s prípadmi, že nahrádzajú krokové motory, ktoré sa používali predovšetkým pre jednoduché riadenie. Zatiaľ čo vyššie spomínané krokové motory boli zapojené v takzvanom otvorenom regulačnom obvode, t.j. bez spätnej väzby, tak servomotory musia byť vždy zapojené v uzavretom regulačnom obvode, teda so spätnou väzbou. Pri výbere servomotoru pre určitú aplikáciu má najväčší význam práve presnosť a rýchlosť regulačného obvodu. [11] [12]

Pre aplikácie, kde je potrebná vysoká rýchlosť a vysoký krútiaci moment, volíme prednostne servomotory. Krokové motory dosahujú najvyššie otáčky približne 2000 ot/min, zatiaľ čo servomotory sú dostupné mnohokrát rýchlejšie. Servomotory sú zároveň schopné udržiavať konštantnú hodnotu ich krútiaceho momentu aj pri vysokých otáčkach. Taktiež sú efektívnejšie ako krokové motory s účinnosťou medzi 80-90%. Okrem toho nemajú tendenciu vibrovať a nedochádza u nich k problémom spojených s rezonanciou. Záporným aspektom sú oveľa zložitejšie obvodové jednotky zahrňujúce polohovú spätnú väzbu. Často vyžadujú prevodové skrine, najmä pre nižšie otáčky a ich cena je v porovnaní s krokovými elektromotormi pochopiteľne vyššia. [13]



Obr. 7) Krokový motor ST11018-Nema 42 [14] Obr. 8) Servomotor IndraDyn MS2N [15]

2.3.3 Lineárne motory

Lineárny motor je riešenie pohonu, ktoré sa značne líši od rotujúcich motorov. Na rozdiel od rotačného elektromotora negeneruje lineárny motor krútiaci pohyb u poháňaného objektu, ale pohybuje ním priamočiaro alebo po zakrivenej dráhe. Lineárny motor sa používa vtedy, keď dynamika, ktorú dosahuje rotujúci elektromotor nie je dostačujúca a potrebujeme realizovať priamy translačný (lineárny) pohyb. Kým rotujúce motory vyžadujú prenášacie prvky ako remene, reťaze a podobne, aby z rotačného pohybu nepriamo vyrobili translačný pohyb, umožňujú lineárne motory realizovať pohyb priamo. Z uvedeného dôvodu sú lineárne motory označované aj ako priame pohony. Lineárne motory môžu dosahovať veľmi vysoké zrýchlenia (cca 6g) a rýchlosti jazdy až 13 m/s (48 km/h). Nevýhodou lineárnych motorov je, že v prípadoch, kedy jazdec nie je tvorený permanentnými magnetmi, musí byť k nemu privádzaný kábel, snímač polohy a prípadne aj chladenie. Za čiastočnú nevýhodu možno považovať aj vznik magnetického poľa a jeho šírenie i mimo priestoru samotného motora. Na to, aby sa tomu zabránilo, používajú sa rôzne formy tienenia. [16] [17] [18]

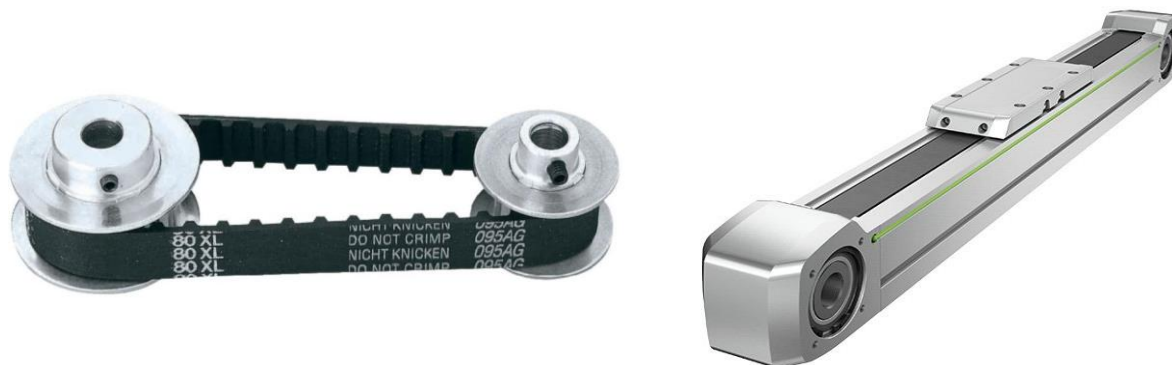
2.4 Prevodové mechanizmy

Za predpokladu, že CNC obrábací stroj pracuje v troch vzájomne kolmých lineárnych smeroch (osiach), musíme do zostavy zvoliť prevod, ktorý uskutoční zmenu rotačného pohybu elektromotora na pohyb priamočiary. Priamočiary pohyb u obrábacieho stroja je buď hlavný rezný pohyb, ktorý koná nástroj, prípadne obrobok alebo je to pohyb pomocný, napr. pohyb nástroja rýchloposuvom k obrobku, pohyb nástroja do referenčných bodov stroja a podobne. Ako bolo uvedené v predošlej kapitole, pri voľbe lineárneho elektromotora žiaden prevod neuvažujeme, nakoľko motor sám generuje pohyb priamočiary.

2.4.1 Ozubený remeň

Prvým variantom je využitie ozubeného remeňa poháňaného motorom s remenicou ako je uvedené na Obr. 9. Ozubené remene fungujú na princípe hnacej a pomocnej kladky, medzi nimi je natiahnutý remeň, ktorý je zvyčajne pripevnený z oboch jeho koncov k pojazdnej časti, ktorá slúži ako spojovací člen. Otáčaním hnacej kladky sa pojazdná časť presúva zvyčajne po nejakom lineárnom vedení, ktorému sa budeme venovať neskôr. Uvedeným spôsobom je zabezpečený pohyb nástroja alebo obrobku, ktoré sú k tejto časti pripevnené. Prevádzka remeňov je tichá, remene zároveň tlmia nárazy a sú takmer bezúdržbové, ale nie sú zďaleka tak tuhé. Ich tuhosť sa prudko mení s meniacou sa dĺžkou, predopnutie výrazne zaťažuje ložiská remeníc a preto nie sú vhodné pre silové aplikácie. [1] [2]

Pre jednoduchšie obrábacie stroje ponúkajú výrobcovia v súčasnosti aj priamo kombináciu lineárnej osi s ozubeným remeňom v jednom prvku (Obr. 10). Ich hlavnou výhodou je nižšia obstarávacía cena a absencia mazania. Na druhej strane majú nízku presnosť polohovania, tuhosť remeňa a malé posuvové sily. [19]

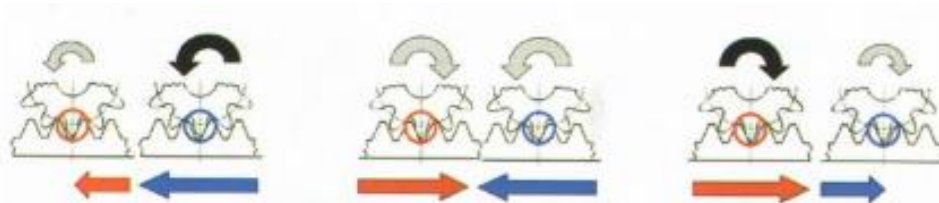


Obr. 9) Ozubený remeň a remenica Modelcraft [20] Obr. 10) Lineárna os HIWIN HM-B [21]

2.4.2 Ozubený hrebeň a pastorok

Druhým typom prevodu rotačného pohybu na priamočiary je ozubený hrebeň a pastorok. Tento typ je vhodný pre prenos väčších síl. Hrebeň teoreticky reprezentuje rozťahnuté ozubené koleso. Viacero hrebeňov možno ľahko napájať za sebou, pričom ozubenie môže byť so zubmi priamymi, šikmými i šípovými. Šikmé ozubenie sa využíva z dôvodu plynulejšieho prechodu a tichšieho chodu, avšak vznikajúce axiálne sily namáhajú hriadeľ motora i ložiská. Výhodou pastorka s hrebeňom je možnosť použiť neobmedzené dĺžky zdvihov, vyvedenie vysokej posuvnej sily a jednoduchá možnosť predopnutia. Nevýhodou sú zvýšené zotrvačné hmoty od motora a prevodovky umiestnené na pohyblivých častiach stroja, ďalej nutnosť mazania a väčšie zástavbové rozmery. Keďže tu nie je zaistená samosvornosť, musí byť prevod vybavený brzdou pri zvislých osiach, ako aj pre prípad výpadku pohonu. [2]

Jedným zo spôsobov vymedzenia vôľí v pastorkoch a hrebeňoch, je metóda Master-Slave. Vymedzovacia sila je tvorená dvojicou motorov. Každý motor má vlastný pastorok a sú riadené tak, aby vymedzovali možnú vôľu. Princíp je možné vysvetliť zjednodušene tak, akoby jeden motor pretlačoval druhý. Pokiaľ sú momenty oboch motorov v rovnováhe, mechanizmus sa nehýbe. Ak je jeden väčší, mechanizmus zrýchľuje, ako je znázornené na Obr. 11. Nevýhodou je nutnosť dvoch motorov. [1]



Obr. 11) Pohon pastorkom a hrebeňom – Master Slave [1]

2.4.3 Šnek a šnekový hrebeň

Šnek (Obr. 12) so šnekovým hrebeňom (Obr. 13) nájdeme zvyčajne u veľkých obrábacích strojov ako posuv pracovných stolov. Výhody tohto prevodu spočívajú hlavne vo vyššom prevodovom pomere, veľmi vysokej tuhosti a nízkom trení. Priamočiary pohyb je realizovaný prevodom rotačného pohybu šneku pomocou šnekového hrebeňa. Hydrostatický šnekový hrebeň funguje na princípe ozubenej šnekovej tyče. Tyč je vybavená olejovými kapsami, do ktorých je postupne privádzaný tlakový olej vždy len do tej časti kapsí, ktoré sú v zábere so šnekom.[1] [22]



Obr. 12) Šnek Maedler [23]



Obr. 13) Šnekový hrebeň s olejovými kapsami [24]

2.4.4 Klzná pohybová skrutka a matica

Pri tomto mechanizme sa rozlišujú dva prípady používané pri konštrukcii obrábacích strojov: skrutka sa otáča, zatiaľ čo matica je držaná proti otáčaniu a posúva sa, alebo sa matica aj otáča aj posúva zároveň a skrutka je nehybná. Funkčnou časťou klznej skrutky je rovnoramenný lichobežníkový závit, a preto sa zvyčajne označuje ako trapézová skrutka (Obr. 14). Matica je delená na dve časti, aby bola jej predopnutím vymedzená vôľa v mechanizme. Skrutky sa vyrábajú z ocele a matice bývajú zvyčajne bronzové, liatinové len výnimočne, pretože majú sklon k zadieraniu sa. Na zaistenie správneho chodu musí mať závit určitú vôľu, ktorá má potom vplyv na presnosť polohy. Ďalšou nevýhodou je trenie v klzných plochách a následný rast teplôt týchto plôch. Z uvedeného dôvodu je zaistenie ich čistoty a správneho mazania veľmi dôležité. Trapézové skrutky a matice sú vhodnejšie pre menšie posuvové rýchlosti a využívajú sa najmä pre krátke a menej dôležité posuvy. V náročnejších prevádzkach sú klzné skrutky na

ústupe a nahradzujú ich zvyčajne skrutky s valivým trením. V hobby sfére, kde nie sú kladené tak vysoké nároky, však stále nachádzajú svoje využitie. [25] [26]

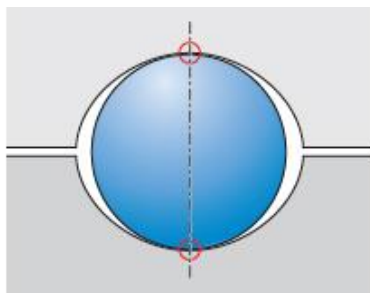


Obr. 14) Trapézová skrutka a matica [27]

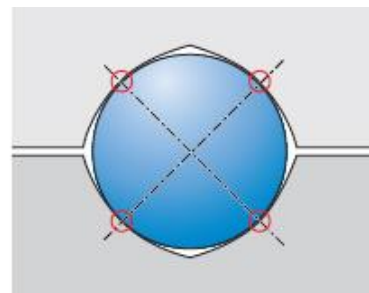
2.4.5 Valivá pohybová skrutka a matica

Guličková skrutka s maticou sa nazýva valivou, pretože druh trenia, ktoré v takomto mechanizme vzniká je valivé. Guličkové skrutky sú najčastejšie používaným typom prevodu rotačného pohybu na priamočiary. Hlavnou výhodou je ich účinnosť okolo 90%. Vhodnou voľbou maziva a stúpania, dosahujú účinnosti až 97%. To je možné práve vďaka nízkemu valivému treniu, ktoré vzniká odvalovaním guličiek obiehajúcich medzi maticou a skrutkou. [1] [28]

Profil závitú skrutky môže byť kruhový (Obr. 15) alebo gotický (Obr. 16). Kruhový je jednoduchší, čo sa výroby týka. Má však horšiu účinnosť, pretože guličky sú z dôvodu len jedného bodu styku viac namáhané. Používa sa tak pri aplikáciách s menším zaťažením. Gotický profil má vyššiu presnosť a lepšie možnosti vymedzenia vôle vďaka štvorbodovému dotyku, čo spôsobuje menšie zaťaženie guličiek. [1]



Obr. 15) Kruhový závit [29]

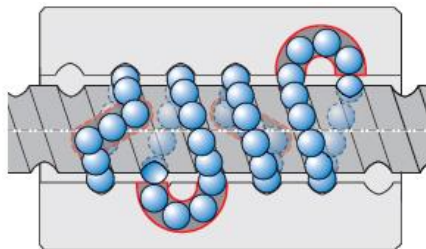


Obr. 16) Gotický závit [29]

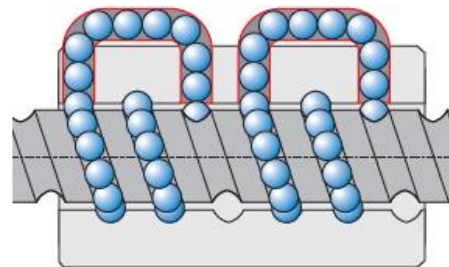
Na maticu guličkovej skrutky sú kladené viaceré nároky, nakoľko sa cez ňu prenášajú axiálne sily, ktoré pri pohybe generuje motor. Pre presnosť a tuhosť mechanizmu je dôležité vymedzenie vôle medzi maticou a skrutkou, ktoré sa realizuje niekoľkými spôsobmi:

- predpätie je nastavené medzi dvoma maticami pomocou vymedzovacej podložky. Používaný spôsob pri dlhších maticiach s výbornou tuhosťou;
- predopnutie zabezpečené tanierovou pružinou. Z dôvodu menšej tuhosti sa tento spôsob využíva pri dlhších maticiach s menším zaťažením;
- predopnutie dosiahnuté nabrúsením rozdielneho stúpania v matici;
- predpätie dané vhodným výberom guličiek nájdeme u krátkych matic s menšou tuhosťou;
- predopnutie generované smerovým spojmom častí delenej matice možno nájsť u krátkych matic s menšou tuhosťou. [1]

Maticice zvyčajne disponujú mazacími kanálkami pre prívod maziva a tiež tesnením, ktoré nielen udržuje mazivo, ale tiež slúži ako upchávka proti vniknutiu nečistôt. Prevod guľiek počas pohybu sa uskutočňuje interne alebo externe. Štandardný spôsob interného prevodu v tzv. prevádzacom lôžku v rámci stúpania jedného závitu je zobrazený na Obr. 17. Neštandardné maticice sú vybavené externým prevodom guľôčok, ktorý realizuje prevod v rámci niekoľkých stúpaní závitu ako je znázornené na Obr. 18. [1]



Obr. 17) Interný prevod s prevádzacím lôžkom [30]



Obr. 18) Externý prevod [30]

Výhodou guľickej skrutky a maticice je, že vďaka malému treniu dochádza k minimálnemu otepľovaniu, a teda aj zvýšeniu účinnosti. Ďalšou výhodou je veľmi plynulý pohyb, možnosť veľkých axiálnych síl a vďaka veľkej škále produktov aj cenová dostupnosť, hoci nejde o najlacnejšie riešenie. [25] [31]

Nevýhodou guľicových skrutiek a matic je obmedzený zdvih, pri vyšších posuvových rýchlostiach nutnosť správneho mazania maticice a chladenia skrutky, prípadne nepresnosť skrutky pri tepelnej dilatácii, na ktorú nemožno zabudnúť. Negatívom je aj obmedzenie otáčok, nakoľko skrutka pri prekročení kritickej hodnoty otáčok sa môže rozkmitať. Príklad guľicovej skrutky s prírubovou maticou je zobrazený na Obr. 19. [25] [31]



Obr. 19) Guľicová skrutka s prírubovou maticou výrobcu HIWIN [32]

2.5 Lineárne vedenie

Neodmysliteľnú časť konštrukcie každého CNC obrábacieho stroja tvorí lineárne vedenie, ktorého úlohou je zabezpečiť priamočiary pohyb polohových súčastí. So zreteľom na súčasné obrábacie stroje sa zvyšujú nároky na dokonalú plynulosť posuvových pohybov a u používateľov vznikajú požiadavky na dosiahnutie čo najmenšieho rozptylu veľkosti dráhy pri nájazde na požadovaný rozmer. Splniť tieto mimoriadne vysoké požiadavky použitím klzných vedení nie je jednoduché, preto zástupcov tejto kategórie uvedieme v nasledujúcej kapitole iba okrajovo. Z technického hľadiska je efektívnejším typom valivé vedenie, ktoré ponúka niekoľko konštrukčných prevedení. V práci sa venujeme profilovému a rolničkovému valivému vedeniu, nakoľko sa častokrát využívajú, a to nielen pri hobby CNC strojoch. [1] [4]

2.5.1 Klzné vedenie

Klzné vedenie delíme buď podľa trecích pomerov, ktoré v ňom dominujú, na hydrostatické a hydrodynamické, alebo podľa typu vodiacej plochy na valcové, ploché, prizmatické a rybinové.

Hydrodynamické vedenie, privádza mazací olej medzi pohyblivé časti vedenia až pri pohybe. Dobré prevedenie závisí od vhodnej voľby materiálu, kvality opracovania a tvaru vodiacich plôch.

Pri hydrostatickom vedení je olej privádzaný medzi vodiace plochy pod tlakom, čo vedie k zníženiu súčiniteľa trenia aj pri vyšších rýchlostiach. Ďalej sa vyznačuje vysokou tuhosťou vedenia, vysokou tlmiacou schopnosťou v smere kolmom na vodiace plochy a prakticky nulovým opotrebením. Na druhej strane je potrebné zabezpečiť veľkú tuhosť častí vedenia, aby hrúbka filmu bola konštantná. Klzné vedenie s prepracovaným mazacím systémom sa preto využíva skôr u komerčných CNC strojov. Jeho veľká nosnosť a tuhosť je popri modelárskych nárokoch zbytočne predimenzovaná a naopak, stráca sa požadovaná dynamika. [1]

2.5.2 Profilové valivé vedenie

Profilové lineárne vedenie je najčastejším druhom valivého vedenia (Obr. 20). Po koľajnici uchytenej prostredníctvom skrutiek k rámu stroja, sa pohybuje vozík, ktorý kopíruje tvar profilu koľajnice. Valivé elementy obiehajú vnútri vozíku, pričom sa môže jednať o guľôčky alebo valčeky. [1]

Pri guľôčkovom lineárnom vedení dochádza k bodovému kontaktu medzi guľôčkami a koľajnicou. Ako koľajnice sa používajú kruhové tyče uchytené na koncoch, kruhové tyče podopreté po celej dĺžke, alebo tyče špeciálnych profilov. Vedenie je možné prevádzkovať ako bezvôľové, s predopnutím, alebo s vôľou. Veľkosť predopnutia je vyvedená z rôznych rozmerov guľôčiek a väčšina výrobcov ponúka tri stupne, nízke, stredné a vysoké. Vozík môže byť vybavený väčším počtom guľôčiek, kedy sa guľôčky dotýkajú alebo guľôčkovou klietkou, ktorá znižuje hodnotu hluku a trenia. [33]

Na rozdiel od guľôčiek vzniká pri vedení s obehovými valčekmi medzi valčekom a koľajnicou čiarový styk a tak je možné prenášať vyššie sily a zároveň doceliť väčšiu trvanlivosť. Používajú sa prevažne vozíky so štyrmi obehovými radmi valčekov, zvierajúce medzi sebou uhol 45°, aby bolo možné prenášať zaťaženie vo všetkých smeroch. Pre vodiace tyče sa používajú tyče špeciálneho prierezu. Rovnako, ako u guľôčkového vedenia, je možné použiť vozíky s plným počtom valčekov, alebo s klietkou. [33]

Druh valivého elementu, ako aj počet vozíkov a ich usporiadanie, závisia od zaťažovacích prevádzkových podmienok. Pre mazanie vedenia sa používajú špeciálne mazivá v tuhej alebo kvapalnej forme. Tieto mazivá ponúkajú zvyčajne samotní výrobcovia vedenia. Niektorí majú rôzne typy mazív podľa podmienok, v ktorých sa vedenie používa. Mazanie sa vykonáva na vozíku pomocou maznice pre mazanie tuhými mazivami, alebo existujú vozíky vybavené zásobníkom na olej. Mazanie je možné automatizovať pomocou centrálného mazania, ku ktorému sa vozíky pripoja hadicou. [33]

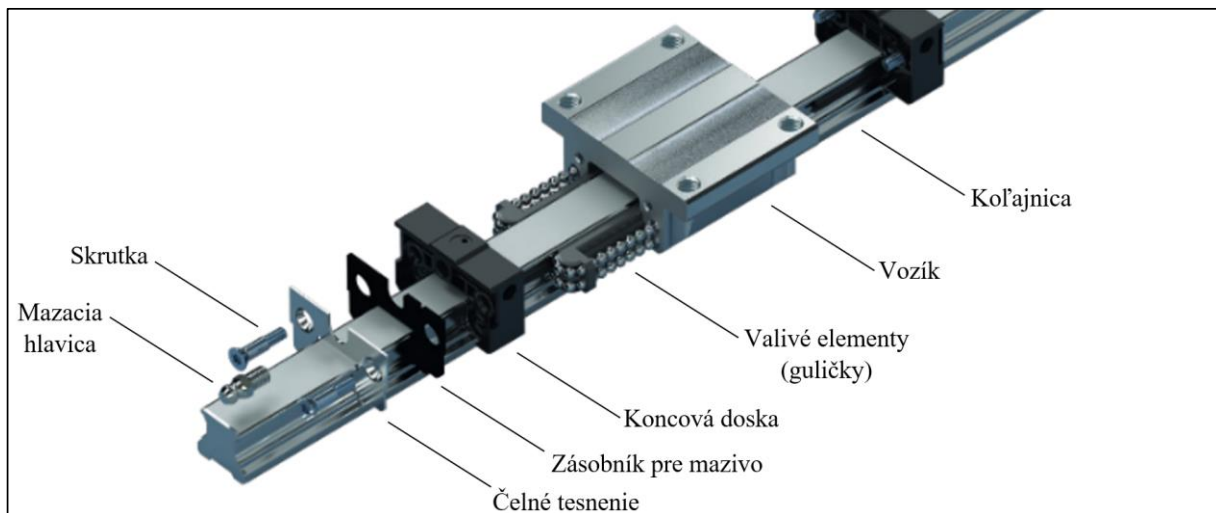
Zhrnutie výhod profilového valivého vedenia:

- bezvôľový chod;
- minimálne opotrebenie;
- dobrá presnosť vedenia;

- ľahká inštalácia;
- jednoduché napájanie koľajníc;
- vysoké posuvové rýchlosti;
- správne dimenzované vedenie vykazuje minimálne pružné deformácie a možnosť vysokého zaťaženia;
- nenáročná údržba;
- absencia stick-slip efektu, typického pre klzné vedenie;
- pri návrhu dodávateľskou firmou pomerne presný výpočet životnosti. [2]

Okrem výhod, profilové valivé vedenie má i svoje nevýhody:

- veľká náročnosť na presnosť výroby;
- vyššia cena;
- väčšie rozmery ako pri klzných vedeniach;
- menšia schopnosť útlmu chvenia;
- potreba dokonalej ochrany zabráňujúcej vniknutiu nečistôt. [2]



Obr. 20) Časti profilového valivého vedenia [34]

2.5.3 Rolníčkové valivé vedenie

Rolníčkové vedenie sa skladá z troch častí. Statický člen, ktorý je uchytený k rámu stroja, tvoria vodiace koľajnice. Valivým členom možno označiť rolny, ktoré sú uchytené na tretom člene. Tým tretím členom je vozík, ktorý jazdí pomocou rolien po koľajniciach a prostredníctvom ktorého je priečnik, gántry alebo iné časti stroja spojené s valivým vedením.

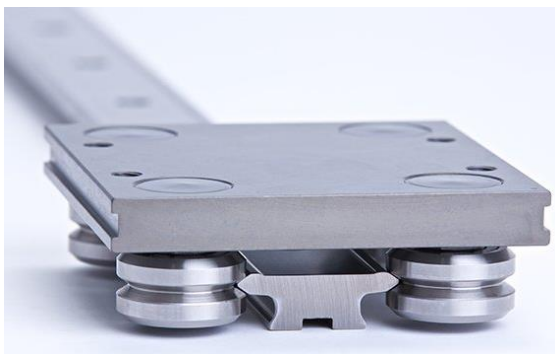
Tvar vrchnej časti koľajníc, ktorý dochádza do styku s rolnami, je možno predstaviť ako obrátené písmeno U, prípadne písmeno V s vrcholovým uhlom zvyčajne 70°, 90° alebo 120°. Táto plocha je častokrát z tvrdšieho a kvalitnejšieho materiálu, pričom zvyšok môže byť mäkkší a o to lacnejší. Pri malých zaťaženiach sa používa hliník, pri stredných a vysokých skôr oceľ. Koľajnice môžu byť jedno alebo obojstranné, ako je zobrazené na Obr. 21 a Obr. 22. [35]

Vodiace rolny vyzerajú ako radiálne ložiská s vonkajším krúžkom, ktorých tvar je negatívom k profilu koľajníc. Spojenie rolien a vozíku zabezpečujú čapy. Tie sa dodávajú

centrické a excentrické, ktoré umožňujú vymedziť vôľu medzi rolnami a koľajnicami pootáčaním i bez použitia pružiny.

Rolníčkové vedenie nachádza svoje využitie skôr pri náročných aplikáciách v extrémnejších podmienkach, ako napríklad v drevospracujúcom priemysle, pri spracovaní kameňa a mramoru, dopravných a zásobovacích systémoch, či dokonca v zlievarenstve a hutníctve. V hobby sfére však nie je úplnou raritou, nakoľko v súčasnosti je k dispozícii v rôznych prevedeniach, menších veľkostiach, aj cenových kategóriách. [35] [36]

Nehľadiac na obstarávaciu cenu, jeho hlavnými výhodami je tichý chod, variabilita predopnutia, uzavreté bezúdržbové samomazacie rolly, vysoká odolnosť proti rázom a taktiež vhodnosť i do prašného prostredia. [35] [36]



Obr. 21) Rolníčkové vedenie s obojstrannou koľajnicou [37]



Obr. 22) Centrické a excentrické rolly s dvoma jednostrannými koľajnicami [35]

2.6 Vreteno a nástroj

Úlohou vretena frézovacieho stroja je zaručiť presný otáčavý pohyb, t.j. taký, pri ktorom sa dráhy jednotlivých bodov nástroja líšia od kružníc len v prípustných medziach. [2]

2.6.1 Vreteno

Vreteno predstavuje veľmi dôležitý prvok v skladbe obrábacích strojov, a preto sú na konštrukčné prevedenie kladené náročné požiadavky:

- vysoká presnosť chodu;
- dokonalé vedenie - vreteno nesmie meniť polohu v priestore pri zmene smeru zaťaženia;
- straty v uložení vretena musia byť čo najmenšie (účinnosť, otepľovanie a tepelná dilatácia, zmena polohy a funkcia);
- vreteno musí byť tuhé (predopnuté), pretože jeho deformácie spolu s presnosťou chodu majú rozhodujúci vplyv na presnosť práce obrábacieho stroja;
- v uložení vretena musí byť možné vymedziť vôľu vzniknutú opotrebením;
- dlhodobá životnosť a prevádzková spoľahlivosť. [2]

Do úvahy je potrebné zohľadniť i požiadavku, že vreteno (nezaťažené obrábaním) nesmie byť zdrojom periodického budenia, ani iných nežiaducich vplyvov. Vedenie vretena musí byť navrhnuté tak, aby bolo schopné absorbovať prípadný gyroskopický moment, či

coriolisovú silu, ktorá môže vzniknúť pri súčasnom translačnom pohybe a rotácii hmoty vretena. [2]

V hobby sfére CNC obrábacích strojov je v súčasnej dobe na trhu široký sortiment frézovacích vretien s menším, ako aj celkom vysokým výkonom. Vretená hobby frézok zvyčajne predstavujú priame frézky, menšie ručné frézky alebo horné frézky. Pochopiteľne výkon takýchto vretien nie je dostačujúci na obrábanie kovov a ich zliatin, preto sa používajú skôr pri obrábaní dreva, plastov, nanajvýš hliníku. Prichytenie sa realizuje pomocou príslušného držiaku, do ktorého zapadá upínacia časť vretena. Držiak spolu s vretenom sa následne jednoducho primontuje k vretenníku. Pri kvalitnejších modeloch sa bežne stretáme so špeciálnou ochranou vinutia proti vniknutiu prachu, uzamknutím hriadeľa pre jednoduchú výmenu nástroja, systémom umožňujúcim odstavenie motora po opotrebení uhlíkov, či systémom vzduchového alebo vodového chladenia. Nežiadúcou súčasťou vzduchom chladených vretien je ich hlučná prevádzka pri vyšších otáčkach, avšak omnoho menej inštaláčnych a bezpečnostných komplikácii v porovnaní s vodou chladenými vretenami. Príklad vzduchom chladeného vretena s výkonom 1050 W, je uvedený na Obr. 23. [38]



Obr. 23) Vreteno KRESS AMB FME 1050-1 [38]

2.6.2 Nástroj

Nástroj sa zvyčajne vníma ako celok, teda časť, ktorá sa upína do stroja, spoločne s časťou, ktorá je v kontakte s obrobkom – obrába. Časť, ktorá je upnutá vo vretene, sa nazýva nástrojová stopka (valcová, kužeľová, iná), časť, ktorá obrába, sa označuje ako brit a medzi stopkou a britom je potom telo nástroja. [1]

Nástroj pre trieskové obrábanie môže byť vyrobený z jedného materiálu, ktorý je výrazne pevnejší, húževnatejší a má väčšiu odolnosť voči opotrebeniu ako obrábaný materiál. Súhrnne sa takéto materiály nazývajú nástrojové ocele. Typickým príkladom sú skrutkovicové vrtáky, alebo monolitické frézy používané pri obrábaní dreva, hliníku a uhlíkových ocelí. [1]

Časti, ktoré dochádzajú do kontaktu s obrobkom, môžu byť však vyrobené aj z iných materiálov, ktorých vlastnosti sú výrazne lepšie v porovnaní s nástrojovými ocelami. Rozmery takýchto súčastí sú malé, pretože tvoria iba brit a ich cena je vysoká. Nazývajú sa britové doštičky a do nosnej časti nástroja sú buď letované, priskrutkované alebo prichytené pomocou upínačov. [1]

Najdôležitejšie požiadavky týkajúce sa nástroja, ako aj mechanizmu, ktorý drží nástroj v stroji sú nasledovné:

- presnosť polohy nástroja v zmysle zachovania vysokej presnosti upínania aj po mnohonásobnej výmene nástroja;
- vysoká statická aj dynamická tuhosť, hlavne pri obrábaní veľkými silami;

- spoľahlivé zaistenie upínacieho mechanizmu pre bezpečné upnutie nástroja;
- samosvornosť upínacieho systému;
- možná zmena typu a rozmeru reznej časti pri zachovaní základného držiaku;
- malé rozmery nosiča rezného nástroja (aby bolo možné dostať sa aj do ťažko prístupných miest obrobkov);
- maximálna možná symetrickosť nástrojovej jednotky (minimálna statická a dynamická nevyváženosť pri rotácii nástroja);
- možnosť prívodu reznej kvapaliny;
- rýchlosť a spoľahlivosť výmeny;
- možnosť ručnej, poloautomatickej alebo plne automatizovanej výmeny. [1]

Mechanizmus držiaci nástroj vo vretene sa označuje ako nástrojový držiak, upínač (Obr. 24). Podľa dutiny vretena sa používajú u komerčných obrábacích strojov nasledovné držiaky. Kužeľová stopka ISO, krátka kužeľová stopka HSK, valcová stopka, BIG Plus alebo špeciálne profily ako napríklad trojuholníkový Sandvik Coromant Capto, či iné. Rozdiel týchto profilov nie je len v ich tvare, ale aj v počte kontaktných plôch. ISO stopka má pri upnutí medzi čelom vretena a stopkou vól'u, ide o jednoplochý kontakt. Stopky upínačov ako HSK, BIG Plus a Coromant Capto sú v kontakte s dutinou vretena nielen prostredníctvom kužeľovej plochy, ale zároveň dosadajú na čelo, čo umožňuje priaznivejšie rozloženie tlakového napätia. [2]

Samotný nástroj je uchytený v nástrojovom držiaku zvyčajne pomocou klieštiny a upínacej matice (Obr. 25), ktorej utiahnutím dôjde k vymedzeniu vólí a tuhému spojeniu nástroja s upínačom. Pri hobby CNC frézkach sa častokrát upínač nepoužíva a nástroj – fréza je priamo cez klieštinu uchytená vo vretene.

Moderný spôsob veľmi presného, vyváženého upínacieho systému poskytujú tepelné držiaky. Fungujú na princípe ohrevu upínacej časti držiaku, ktorá sa ohriatím roztiahne a umožní vloženie nástroja. Po vložení nástroja do držiaku upínacia časť vychladne a zmrští sa. Pri výmene nástrojov musí byť držiak opäť ohriaty, tým sa však ohrieva a zväčšuje svoj objem aj stopka nástroja. Z uvedeného dôvodu musí byť rozoberanie realizované indukčným ohrevom, kedy sa stopka upínaču nahreje v priebehu sekúnd a k vytiahnutiu dôjde skôr, ako teplo prestúpi až do nástroja. Riešiť tento problém možno aj rozdielnou tepelnou rozťažnosťou materiálov upínača a nástroja. [39]



Obr. 24) Klieštinový upínač SECO C10 [40]



Obr. 25) Upínacia matica s klieštinou [41]

Parametre, ako aj obrábací nástroj, vždy sa volia, okrem iného, i s ohľadom na materiál obrobku. Drevo je zlý vodič tepla, preto sa nástroj s tupými zubami, alebo nástroj použitý pri príliš nízkych rýchlostiach posuvu veľmi rýchlo zahreje, v dôsledku čoho buď drevo sčernie alebo sa rozpáli. Používanie nesprávnych rezných rýchlostí je ľahká cesta k otupeniu aj tých najdrahších fréz v rekordne krátkom čase. Mäkké drevo ihličnatých stromov je nutné frézovať miernymi reznými rýchlosťami pomocou ostrých nástrojov a vysokých posuvových rýchlostí. Pre taký typ dreva je ideálny nástroj s jedným alebo dvoma žliabkami pomáhajúcimi odstraňovať odpadový materiál z miesta rezu a ak je to možné, používame frézovanie zhora. Tvrdé drevo, ako sú napríklad dub, breza alebo platan, je pevnejšie a pružnejšie ako drevo mäkké. Tvrdé drevo je potrebné frézovať strednými reznými rýchlosťami a pri vyšších rýchlostiach posuvu než mäkké, ale vo všeobecnosti sa s ním pracuje ľahšie. Dobré výsledky možno dosiahnuť napríklad celokarbidovými nástrojmi alebo nástrojmi s ostrím zo slinutých karbidov (Obr. 26). [42]



Obr. 26) Fréza do dreva, sukovník s SK plátkami [43]

2.7 Čelné frézovanie

Frézovanie je obrábacia metóda, pri ktorej je materiál obrobku odoberaný britmi rotujúceho nástroja. Rezný proces je prerušovaný, každý zub frézy odrezáva krátke triesky premenlivej hrúbky. Z technologického hľadiska možno konštatovať, že v našom prípade, v závislosti na aplikovanom nástroji, ide o čelné frézovanie. [44]

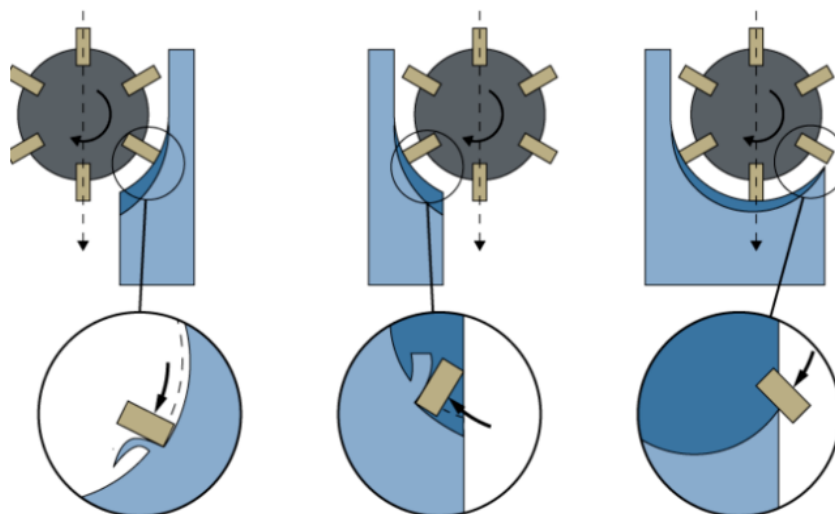
2.7.1 Typy čelného frézovania

Čelné frézovanie sa uplatňuje pri práci s čelnými frézami, ktoré majú ostrie na obvode i čele nástroja. Podľa polohy osi frézy, vzhľadom k frézovanej ploche, rozlišujeme symetrické (os nástroja prechádza stredom frézovanej plochy) a nesymetrické frézovanie (os nástroja je mimo stred frézovanej plochy). Pri čelnom frézovaní pracuje fréza častokrát protibežne (Obr. 27 vľavo) aj súbežne (Obr. 27 stred) zároveň, ako je vyobrazené na Obr. 27 vpravo. [44]

Pri protibežnom frézovaní je zmysel rotácie nástroja proti smeru posuvu obrobku, resp. nástroja. Obrobená plocha vzniká pri vnikaní nástroja do obrobku. Hrúbka triesky sa postupne mení z nulovej hodnoty, na hodnotu maximálnu. K oddelovaniu triesky nedochádza v okamihu jej nulovej hrúbky, ale po určitom sklze ostria po ploche vytvorenej predchádzajúcim zubom. Vznikajú pritom silové účinky a deformácie spôsobujúce zvýšené opotrebenie ostria. Rezná sila u protibežného frézovania má zložku, ktorá pôsobí smerom nahor a má tendenciu odťahovať obrobok od stola stroja. [44]

Pri súbežnom frézovaní je zmysel rotácie v smere posuvu nástroja. Maximálna hrúbka triesky vzniká pri vnikaní zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha sa vytvára, keď zub vychádza zo záberu. Rezné sily pôsobia zvyčajne smerom nadol, proti stolu stroja. Súbežné

frézovanie môže prebiehať iba na prispôsobenom stroji pri vymedzenej vôli a predopnutí medzi posuvovou skrutkou a maticou stola frézky. V opačnom prípade spôsobuje vôľa nerovnomerný posuv, pri ktorom môže dôjsť k poškodeniu nástroja, poprípade i stroja. [44]



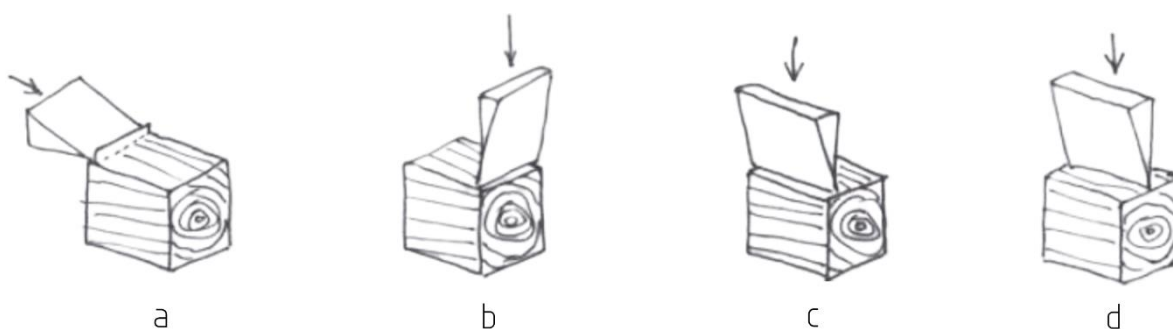
Obr. 27) Súbežné, protibežné a kombinované frézovanie [45]

2.7.2 Rezné sily a odhad ich veľkostí

Pri obrábaní dreva je nutné zohľadniť viacero faktorov ovplyvňujúcich mernú reznú silu (merný rezný odpor). Z dôvodu svojej vlákniatej štruktúry má drevo v rôznych smeroch rôzne vlastnosti. Inak povedané, ide o anizotropný materiál. Vlákna rastú približne rovnobežne, axiálne orientované s osou kmeňa. Veľa fyzikálnych, ale aj iných vlastností dreva (navlhavosť, vysychavosť, mechanické vlastnosti, tepelná a akustická vodivosť, vzhľad dreva, spracovateľnosť ...) sa v závislosti od smeru k vláknam líšia. [46]

Z hľadiska rezania rozlišujeme štyri hlavné smery rezania dreva:

- pozdĺžne rezanie - pozdĺž vlákien i letokruhov; (Obr. 28 a)
- priečne rezanie - kolmo na vlákna aj letokruhy; (Obr. 28 b)
- tangenciálne - kolmo na dĺžku vlákien a dotyčnicovo k letokruhom; (Obr. 28 c)
- radiálne rezanie - pozdĺž vlákien, kolmo na letokruhy. (Obr. 28 d) [47]



Obr. 28) Hlavné smery rezania dreva [48]

Obrábanie frézovaním však spočíva v rotačnom pohybe nástroja voči obrobku, a preto výsledný smer rezu bude vždy kombináciou viacerých hlavných smerov rezania.

Okrem smeru vlákien vzhľadom k pohybu britu, existuje niekoľko ďalších faktorov ovplyvňujúcich veľkosť mernej reznej sily. Najvýznamnejšími faktormi sú druh dreva (jeho

mechanické vlastnosti a vlhkosť), rezný nástroj (geometria a konštrukcia nástroja, stupeň otupenia) a rezné podmienky (hrúbka triesky, rezná a posuvová rýchlosť). Pri obrábaní sa značná časť energie vynaloženej na prekonanie rezného odporu mení vplyvom trenia na teplo, ktoré zahrieva nielen materiál, ale aj nástroj. So zvyšovaním reznej rýchlosti sa zväčšuje množstvo vzniknutého tepla, dochádza k prehrievaniu a rýchlejšiemu otupovaniu britu. Súčasne nadmerne rastie merná rezná sila. Z uvedeného dôvodu je dodržiavanie rezných podmienok je z hľadiska kvality obrobenej plochy a životnosti nástroja veľmi dôležité. [47]

Sila, akou pôsobí nástroj na obrobok je rovnako veľká ako sila, ktorou pôsobí obrobok na nástroj, pretože platí zákon akcie-reakcie. Na to, aby však došlo k oddeľovaniu triesky materiálu, musí byť veľkosť napätia v mieste kontaktu väčšia, ako veľkosť mernej reznej sily.

Z dôvodu existencie mnohých, vyššie spomenutých faktorov ovplyvňujúcich hodnotu mernej reznej sily sa určuje jej veľkosť spravidla pokusom.

Odhad veľkosti potrebnej reznej sily F_{ci} [N] možno vypočítať pomocou rovnice (1), pričom predpokladáme známu hodnotu spomínanej mernej reznej sily k_{ci} [MPa] a prierezu triesky A_{Di} [mm²]. Prierez triesky sa určí jednoducho ako súčin šírky záberu ostria a_p [mm] a posuvu na zub f_z [mm], ktoré sa vopred stanovujú.

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \quad [N] \quad (1)$$

Celková rezná sila sa všeobecne skladá z viacerých zložiek. V našom prípade rovinného čelného frézovania má však na jej veľkosť zásadný vplyv tangenciálna zložka F_{tan} [N]. Maximálnu reznú silu na reznej hrane nástroja, tentokrát vyvedenú vretenom, možno určiť zo známej hodnoty výkonu vretena P_v [W], pri známych otáčkach n [ot/s] a priemeru použitej frézy $d_{fréza}$ [m]. Najskôr sa vyčíslí krútiaci moment $M_{k,v}$ [N.m] z parametrov vretena a následne možno určiť silu samotnú pomocou rovníc (2) a (3).

$$M_{k,v} = \frac{P_v}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad [N \cdot m] \quad (2)$$

$$F_{tan} = \frac{2 \cdot M_{k,v}}{d_{fréza}} \quad [N] \quad (3)$$

Výkon používaných a bežne dostupných vretien v hobby sfére je obmedzený. Pri výbere sa ponúkajú vretená s veľkosťami výkonu, ako napríklad 0,8; 1,5; 2,2; 3; 4,5 prípadne 6 kW. Porovnaním reznej sily F_{ci} a tangenciálnej sily F_{tan} , ktorá predstavuje reznú silu od vretena, možno následne zvoliť vhodné vreteno s požadovaným výkonom tak, aby platilo $F_{tan} > F_{ci}$.

2.8 Ochranné a bezpečnostné prvky

Nielen profesionálny, ale každý obrábací stroj musí obsahovať ochranné a bezpečnostné prvky, ktorých úlohou je chrániť obsluhu, stroj a jeho súčasti, ako aj životné prostredie.

2.8.1 Ochranné prvky

Najčastejšími ochrannými prvkami sú rôzne typy krytov. Medzi činitele, kvôli ktorým sú stroje vybavené krytmi, sú triesky, vymrštenie nesprávne upnutého obrobku, časť nástroja pri jeho ulomení, procesná kvapalina alebo hluk. Ochranné kryty funkčných častí sú z prevádzkového hľadiska jednou z najdôležitejších mechanických častí profesionálneho stroja. Konštrukcia tých

častí krytov, ktoré chránia samotný stroj, častokrát najviac obmedzuje a zároveň komplikuje konštrukčné riešenie častí, ktoré majú byť týmito krytmi chránené. [1]

Najúčinnejším variantom ochrany priestoru stroja, kde sú vo vzájomnom pohybe jeho časti ako prevodové mechanizmy a vedenia, sú teleskopické kryty. Ide o niekoľko oceľových alebo nerezových plechov, ktoré sú zasunuté do seba a zvyčajne prepojené nožnicovým systémom (Obr. 29). Alternatívou u menej náročných strojov môžu byť krycie vaky. Tie sú aj vzhľadom k svojej nepatrnej hmotnosti vhodné na ochranu častí pohybujúcich sa vyššími rýchlosťami. Vyrábajú sa z viacvrstvových umelých tkanín alebo gumených. Tvar týchto krytov pripomína ťahaciu harmoniku, ako je znázornené na Obr. 30. [1] [49]



Obr. 29) Teleskopický kryt s nožnicovým mechanizmom [50]



Obr. 30) Krycí vak [51]

Ďalším ochranným a zároveň funkčným prvkom, ktorý priamo súvisí s kategóriou pohybových mechanizmov, sú energetické reťaze (Obr. 31). Energetické reťaze sa zvyčajne vyrábajú z rôznych plastov, vystužené môžu byť sklenenými vláknami. Ich funkciou je chrániť a viesť káble aj hadice, pričom sú neustále v pohybe. Využitie nachádzajú v širokej škále aplikácií a vyznačujú sa nasledujúcimi prednosťami:

- vedenie energetických, ovládacích, dátových a optických káblov, hydraulických a pneumatických hadíc, hadíc s chladivom alebo mazivom;
- použitie pre rôzne typy a veľkosti pojazdov;
- možnosť jednoducho predĺžiť, skrátiť a zmeniť polomer ohybu výmenou niekoľkých článkov reťaze;
- vhodné aj pre dvojrozmerné, trojrozmerné (Obr. 32) a kruhové pohyby;
- dlhá životnosť aj pri vysokých zaťaženiach a v náročných podmienkach;
- hladký chod v širokom rozsahu prostredia a klimatických podmienok. [52] [53]



Obr. 31) Energetická reťaz Kolibri [54]



Obr. 32) Energetická reťaz pre 2D a 3D pohyby [52]

2.8.2 Bezpečnostné prvky

V poslednej dobe sa celkovo kladie stále väčší dôraz na bezpečnosť práce. Z hľadiska funkcie sú bezpečnostné prvky súčasťou obrábacieho stroja zodpovedné za ochranu zdravia človeka, pohybujúceho sa v jeho blízkosti. Každá montáž, zapnutie stroja, upnutie obrobku, obrábanie, vypnutie alebo čistenie stroja predstavuje potenciálny proces, počas ktorého môže dôjsť k nežiadúcim chybám. Každá nežiadúca chyba je spôsobená nejakou príčinou a má možné dôsledky. Chybám možno predísť kontrolou a preventívnymi opatreniami.

Ako príklad bude uvedený obrábací proces v automatickom režime. Nežiadúcou chybou je odlietavanie triesok mimo pracovného priestoru. Príčina tejto nežiadúcej chyby je nedostatočné, alebo nesprávne umiestnenie krytov a možným následkom je ohrozenie operátora, predovšetkým jeho zraku. Preventívne opatrenie predstavuje v prvom rade prítomnosť bezpečnostných krytov a v druhom rade využitie ochranných pomôcok obsluhy, ako sú okuliare a rukavice.

Nesprávny spôsob, prípadne absencia odsávania prachových častíc počas obrábania, je príčinou prašnosti v okolí stroja. Následkom je zhoršenie pracovných podmienok operátora, čo sa môže prejaviť dýchacími ťažkosťami. Predísť takémuto problému umožňujú výkonné odsávače s dostatočným prítokom vzduchu a schopnosťou separácie pilín od prachu.

Uvoľnenie nástroja je veľmi nebezpečnou chybou zapríčinenou nedostatočnou upínacou silou klieštiny. Následkom môže byť kolízia nástroja s obrobkom, ich poškodenie, v najhoršom prípade zranenie operátora. Správne krytovanie môže znovu ochrániť zdravie človeka, avšak predísť takejto kolízii umožňuje správne utiahnutie klieštiny pomocou momentového kľúča na požadovanú hodnotu.

Nežiadúcich chýb, ktoré sa vyskytujú pri prevádzke obrábacích strojov, je veľké množstvo. Uviedli sme len niekoľko z tých najbežnejších chýb, patria sem však aj prípady, kedy dôjde k nečakanému roztočeniu vretena, nečakanému pohybu časti stroja, ulomeniu reznej hrany nástroja, nadmernému otupeniu reznej hrany nástroja, vzniku hluku, úniku procesnej kvapaliny a podobne.

Typickým bezpečnostným prvkom väčšiny automatických systémov splňujúcich základné štandardy je tzv. tlačidlo núdzového zastavenia. Núdzové tlačidlo, spínač zaisťuje bezpečnosť nielen stroja, ale aj osôb stroj obsluhujúcich. Jeho účelom je rýchle zastavenie stroja v prípade, ak existuje riziko zranenia, alebo si to vyžaduje nesprávny pracovný postup, ktorý môže viesť k havárii. Tlačidlá sú podľa štandardu červené, častokrát so žltým pozadím (Obr. 33). Existujú tri typy núdzových tlačidiel a vypínačov. Push-pull (po slovensky tlačíť-ťahať), je tlačené do polohy stop a uvoľnené potiahnutím naspäť. Twist release (po slovensky uvoľnenie otočením) stlačením stroj zastaví a uvoľní sa pootočením. Key release (po slovensky uvoľnenie kľúčom) sa rovnako dostane stlačením do polohy stop, avšak k uvoľneniu je treba kľúč. Pri každom type sa vyžaduje, aby bolo tlačidlo viditeľne a dostupne umiestnené. [55]



Obr. 33) Núdzové tlačidlo Twist release [56]

3 NÁVRH A VÝBER KONCEPČNÝCH VARIANTOV

Tretia kapitola sa venuje úvodnej fáze konštrukcie CNC obrábacieho stroja. Ide o výber najvhodnejšieho usporiadania kinematického reťazca stroja.

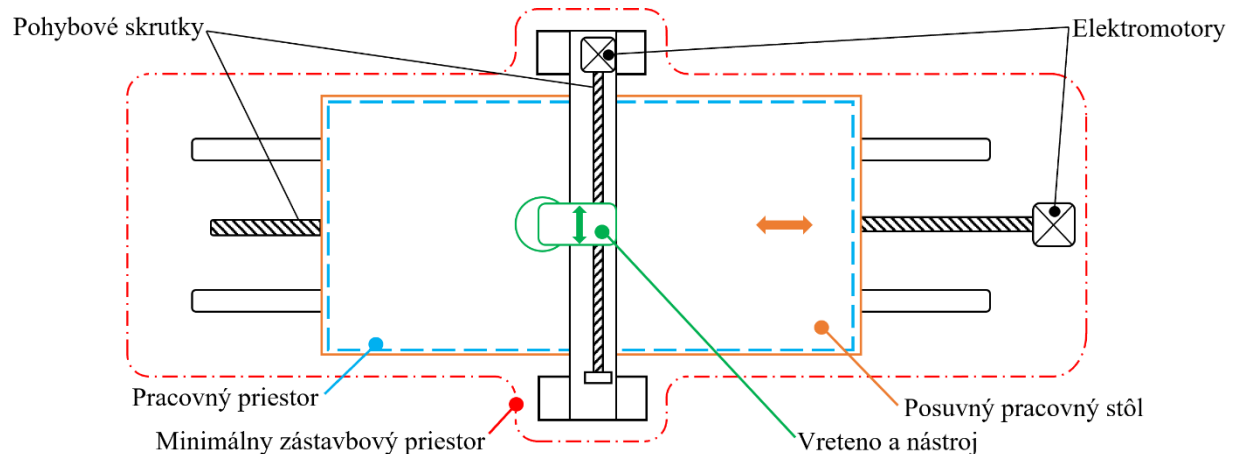
3.1 Návrh koncepčných variantov

Teoreticky existuje veľa možností vzájomného pohybu častí nesúcich obrobok a častí nesúcich nástroj. Mnohé z nich boli spomenuté v kapitolách 2.1 a 2.2. Tu sa bližšie venujeme len niekoľkým, ktoré dávajú najväčší zmysel s ohľadom na našu aplikáciu a rozmery obrobku. Zároveň všetky varianty pracujú len s prípadom dvojrozmerného pohybu v rovine XY. Súradnica Z, ako relatívna výška nástroja voči obrobku, bude ručne nastaviteľná pomocou príslušného držiaku vretena a bude konštantná počas procesu obrábania.

3.1.1 I. variant

Prvý variant predstavuje portálová frézka s uzavretým rámom, kde posuvný stôl koná pohyb v osi x a vreteno sa pohybuje po pevnom priečniku v smere osi y, ako je zobrazené na Obr. 34.

Z konštrukčného hľadiska ide o jednoduchú možnosť využívajúcu dva pohonné systémy. Jeden zabezpečujúci pohyb stola s obrobkom a druhý zabezpečujúci pohyb vretena s nástrojom. Hlavnou nevýhodou je potreba veľkého zástavbového priestoru, umožňujúceho pohyb pracovného stola až do krajných polôh. Tiež elektromotory pohonných systémov musia mať primeraný výkon s ohľadom na hmotnosť obrobku, ktorá priamoúmerne súvisí s jeho rozmermi. Takýto typ frézok sa preto využíva zvyčajne pri ľahších a menších obrobkoch. Výhodou je veľká tuhosť sústavy nesúcej nástroj, nakoľko rám je uzavretý a nepohyblivý.



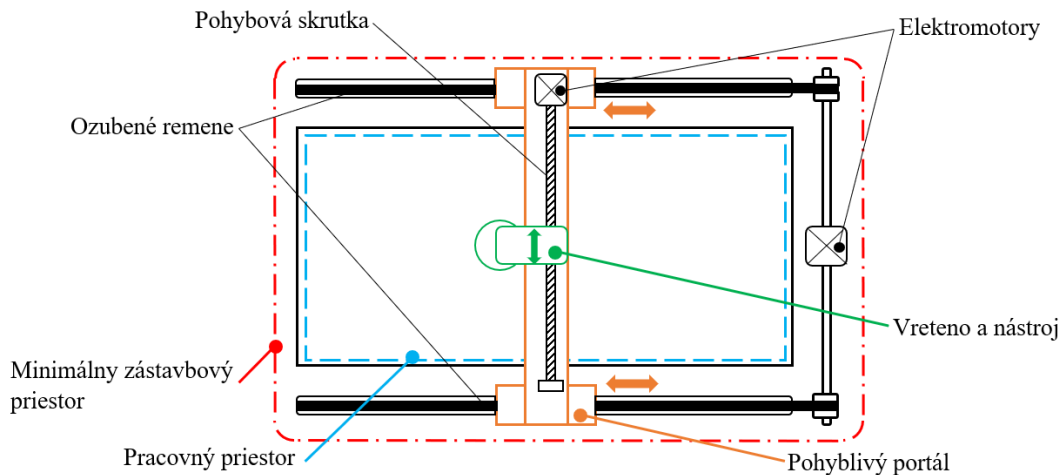
Obr. 34) Jednoduchá schéma I. variantu

3.1.2 II. variant

Druhý variant je bežne používaná portálová frézka typu 'spodné gántry'. Ide o frézku s uzavretým rámom a pohyblivou nosnou sústavou nesúcou nástroj. Nosná sústava nesúca obrobok je nepohyblivá. V praxi to znamená, že pracovný stôl je pevný, stojany s priečnikom sa pohybujú v smere osi x a vreteno jazdí po priečniku v smere osi y (Obr. 35).

Hlavným pozitívom je možnosť obrábať ťažšie obrobky, efektívnejšie využitie pracovného priestoru a menšia hmotnosť pracovného stola v porovnaní s predošlým prípadom. Nevýhodou je zložitejšia konštrukcia nosnej sústavy nesúcej nástroj, pričom k zabezpečeniu jej

pohybu v dvoch osiach opäť je potrebné využiť dva pohonné systémy. Zatiaľ čo v predošlom variante stačila jedna pohybová skrutka umožňujúca translačný pohyb stola v smere osi y, v tomto prípade je potrebné brať do úvahy dve pohybové skrutky, respektíve ozubené remene. Ak by každá noha stojana nemala vlastnú skrutku, mohlo by dôjsť k skríženiu. Tuhosť sústavy nesúcej nástroj bude zároveň v porovnaní s predošlým variantom nižšia, vzhľadom k tomu, že je pohyblivá. Naopak tuhosť stola bude vyššia.

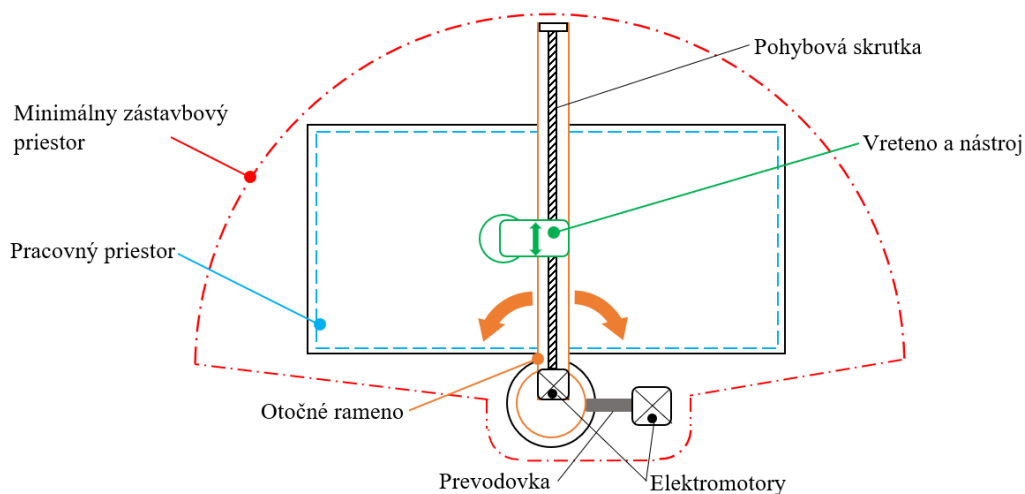


Obr. 35) Jednoduchá schéma II. variantu

3.1.3 III. variant

Posledný variant zahŕňa pevný pracovný stôl a stojan s otočným ramenom. Ide preto o frézku s otvoreným typom rámu, kde výsledný pohyb vretena s nástrojom sa skladá z rotačného pohybu ramena okolo osi otočného stojanu a translačného pohybu vretena po ramene.

Negatívnou stránkou konštrukcie je v prvom rade značne nižšia tuhosť otvoreného rámu, čo by bolo možné riešiť použitím vhodných materiálov, avšak za cenu vysokých nákladov. Z hľadiska samotného procesu obrábania prináša tiež komplikácie ohľadom algoritmu riadiaceho pohybu vretena, ktorý musí pracovať s polárnym súradným systémom. Ďalšou nevýhodou, ak berieme do úvahy obdĺžnikový pracovný stôl je priestor, ktorý zostane nevyužitý, pretože rozsah ramena je v princípe medzikruhovú výseč a tento obdĺžnik musí byť do nej vpísaný (Obr. 36). Podobne ako pri II. variante, výhodou je opäť vyššia tuhosť pracovného stola.



Obr. 36) Jednoduchá schéma III. variantu

3.2 Výber koncepčného variantu

K výberu najvhodnejšieho variantu bude použitá multikriteriálna analýza. Každý navrhnutý variant z predchádzajúcej kapitoly bude ohodnotený z pohľadu viacerých kritérií, pričom každé kritérium má svoju relevanciu. Relevancia jednotlivých kritérií je daná subjektívnymi požiadavkami objednávateľa a vyjadruje dôležitosť kritéria. Pri každom kritériu dostanú varianty počet bodov 1 – najnevhodnejší až 3 – najvhodnejší z pohľadu uvažovaného kritéria. Na záver sa body jednotlivých variantov sčítajú v rovniciach (4), (5), (6) a variant s najväčším súčtom bude zvolený. Všetky kritériá, ako aj body sú uvedené v Tabuľka 1. Najrelevantnejšie budú v krátkosti spomenuté a zdôvodní sa aj hodnotenie jednotlivých variantov z ich pohľadu.

Technologickosť konštrukcie a kinematika

Ide o najkomplexnejšie kritérium, pretože technologickosť konštrukcie zahŕňa okrem iného efektívnosť a prácnosť výroby, elimináciu nedostatkov predchádzajúcich výrobných operácií, ekonomické náklady alebo čas výroby.

Z uvedeného pohľadu je I. variant najmenej vyhovujúci, pretože pohyb stolu spolu s ťažkým a rozmerným obrobkom je neefektívny a náročný pre pohonný systém. Najlepšou možnosťou je II. variant, pretože má nehybný stôl a zároveň uzavretý rám poskytuje dostatočnú tuhosť vretena s nástrojom.

Pomer pracovného a zástavbového priestoru

Tento parameter poukazuje na využitie priestoru, ktorý je nutný k prevádzke CNC stroja, k samotnému obrábaniu. Veľkosť pracovného priestoru je vo všetkých prípadoch približne rovnaká, avšak zástavbový priestor sa značne líši.

Najmenej výhodný pomer medzi plochou obrobku a zástavbovou plochou je v III. variante. Naopak najefektívnejšie využitie ponúka určite II. variant, kde dominantnú časť zástavbového priestoru tvorí pracovný stôl.

Náklady na stavbu a prevádzku stroja

Pri jednoúčelových hobby CNC strojoch je toto kritérium častokrát tým najdôležitejším, nakoľko rozpočet je výrazne limitovaný.

Najväčšie náklady sa predpokladajú pri III. variante, nakoľko konštrukcia vyžaduje použitie pevnejších materiálov a robustnejších súčastí na zachovanie dostatočnej tuhosti otvoreného rámu a zároveň kvalitný prevod pre pohon otočného ramena, hlavne z hľadiska eliminácie vôľí a presnosti polohovania. Pri I. a II. variante možno vychádzať z porovnaní ich odlišností. Hoci lacnejší je pracovný stôl v II. variante, pri pohonných systémoch je to inak. I. variant umožňuje využitie len jednej pohybovej skrutky bez použitia ďalších prevodov ako je spomenuté pri ich popise a preto je z pohľadu nákladov najvhodnejší.

Tabuľka 1) Výber koncepčného variantu

<i>i</i>	Kritérium	Relevancia kritéria <i>R_i</i>	Variant <i>V_{ji}</i>		
			I.	II.	III.
1	Technologickosť konštrukcie a kinematika	10	1	3	2
2	Pomer pracovného a zástavbového priestoru	9	2	3	1
3	Náklady na stavbu a prevádzku stroja	8	3	2	1
4	Tuhosť konštrukcie	5	3	2	1
5	Jednoduchosť riadenia	4	2	3	1
6	Bezpečnosť konštrukcie	3	2	3	1
7	Odvod triesok a rozvod energetických reťazí	2	3	2	1
8	Hmotnosť konštrukcie	1	2	3	1

$$S_I = \sum_{i=1}^8 (R_i \cdot V_{Ii}) = 10 \cdot 1 + 9 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 5 \cdot 3 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 1 \cdot 2 = 89 \quad (4)$$

$$S_{II} = \sum_{i=1}^8 (R_i \cdot V_{IIi}) = 10 \cdot 3 + 9 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 111 \quad (5)$$

$$S_{III} = \sum_{i=1}^8 (R_i \cdot V_{IIIi}) = 10 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 52 \quad (6)$$

Z multikriteriálnej analýzy je po sčítaní bodov zrejmé, že II. variant je pre našu aplikáciu najvhodnejší, a preto v nasledujúcich kapitolách sa pracuje už iba s II. variantom.

4 VLASTNÉ KONŠTRUKČNÉ PREVEDENIE

Štvrtá kapitola bakalárskej práce sa zaoberá voľbou parametrov a výberom súčastí jednoúčelového obrábacieho CNC stroja, ktorého kinematické usporiadanie je už známe a bude sa riadiť konštrukčnou koncepciou II. variantu. Niektoré parametre budú zvolené na základe vlastného uváženia a dostupných informácií, iné budú podložené technickými výpočtami.

V teoretickej časti bakalárskej práce sme detailne spracovali súčasnú ponuku možností prevedenia jednotlivých komponentov CNC strojov. Následne sa venujeme výberu najvhodnejšej možnosti niektorých súčastí pre našu aplikáciu.

Podobne ako v teoretickej časti, začíname konštrukciou a pracovným priestorom stroja. V prvom kroku sa určí materiál, od čoho závisí montáž nosnej sústavy a voľba spojovacích prvkov. Nasledujú pohybové systémy pozostávajúce z lineárneho vedenia, elektromotorov a prevodových mechanizmov. Tým sa dostávame k jadru technologického procesu obrábania, a teda voľbe vretena s nástrojom.

4.1 Voľba nosnej sústavy

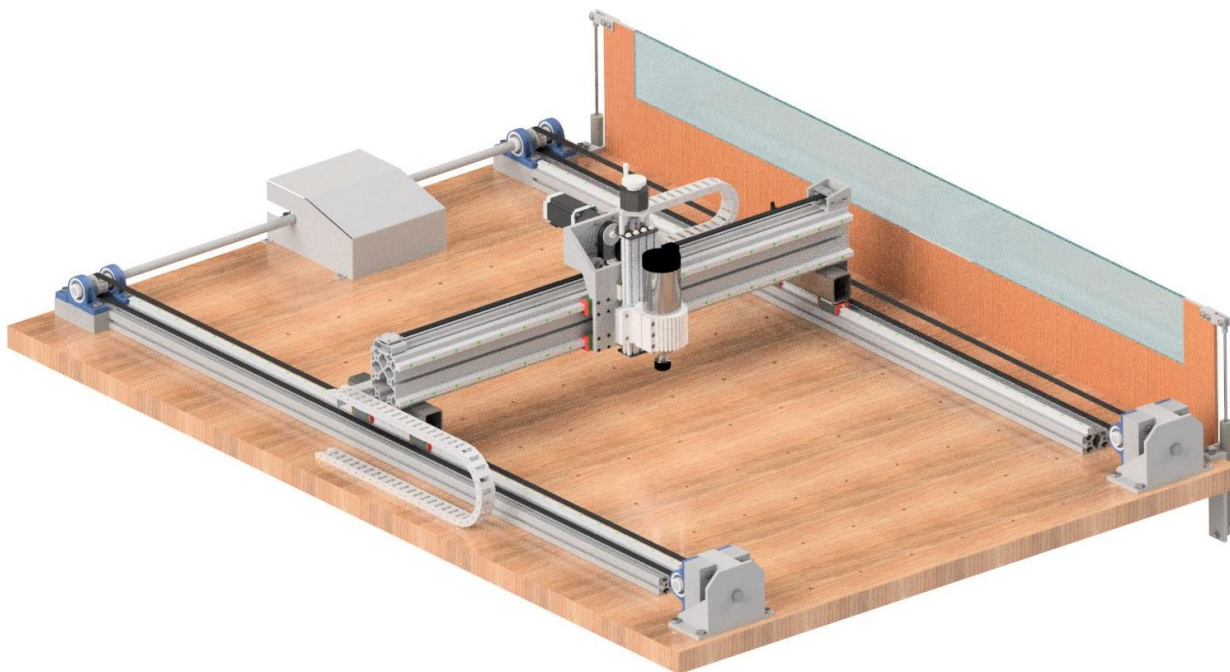
Pri voľbe nosnej sústavy sme sa zaoberali škálou dostupných materiálov ako je liatina, oceľ, hliník, polymérbetón, prírodný kameň a im prislúchajúcim možnostiam prevedenia nosnej konštrukcie. Po zvážení pozitívnych a negatívnych stránok každej z možností, bolo jednoznačne rozhodnuté v prospech využitia hliníku. Hliníkové profily nadpriemerne spĺňajú požiadavky objednávateľa nielen z hľadiska požadovanej presnosti a hmotnosti, ale pri vhodnom výbere veľkosti a tvaru profilu, aj z hľadiska tuhosti a pevnosti. Spojovacie prvky v podobe skrutkových a tvarových spojov umožňujú realizovať pravouhlé, rôznobežné, čelné, paralelné, kĺbové a rôzne iné prepojenia jednotlivých profilov. Splnená je tak ďalšia významná požiadavka, modularita. Posledným, veľmi významným aspektom, je cena. Jej výška zvyčajne priamoúmerne súvisí s kvalitou, avšak zároveň je individuálne závislá na dodávateľovi. Nemožno tvrdiť, že cena hliníkových profilov by bola v porovnaní s ostatnými materiálmi významne nižšia, ale v prípade stavby jediného stroja sú náklady porovnateľné.

4.2 Pracovný priestor a konštrukčné prevedenie

Koncepcia konštrukcie II. variantu je známa pod názvom portálová frézka typu 'spodné gántry'. Pohyblivý portál pozostáva z dvoch zvislých stojanov a priečniku, po ktorom sa pohybuje vreteno s nástrojom. Priamočiary pohyb portálu umožňuje lineárne vedenie, ktorého koľajnice sú upevnené po bokoch pracovného stola.

V predloženom návrhu stroja tvorí podstavu drevená základová doska dlhá 2200 mm (ďalej označovaná ako os x) a široká 1500 mm (ďalej os y) zobrazená na Obr. 37. Tá sa upevní na kovový rám, prípadne iný stôl, podľa možností dielne. Koľajnice lineárneho vedenia, po ktorých sa pohybuje portál v smere osi x, sú uchytené na dvoch hliníkových profiloch 80x40 mm, dlhých 1800 mm. Tie sú symetricky umiestnené pri krajoch dlhšej strany základnej dosky. Stojany portálu tvoria dva oceľové jaklové profily s rozmermi 60x50x4 mm, dlhé 250 mm a sú priamo uchytené na vozíkoch lineárneho vedenia. Ďalšia časť portálu, priečnik v podobne tvarového hliníkového profilu 120x80 mm s dĺžkou 1200 mm, je užšou stranou primontovaný na jakloch. Druhý pár koľajníc je následne uchytený na širšej strane tohto priečnika. Tie sú

súčasťou lineárneho vedenia, ktoré umožňuje pohyb vretena s nástrojom v smere osi y. Zmenu výšky vo vertikálnom smere (smere osi z) umožňuje manuálne polohovateľný držiak s funkciou aretácie pozície v rámci svojho rozsahu. Takýto návrh usporiadania poskytuje pracovný priestor 1500x900x100 mm.



Obr. 37) 3D model konštrukčného návrhu

Upnutie obrobku bude zabezpečené upínkami. Do pripravenej mriežky predvrtaných dier sa umiestnia samorezné kovové závitové vložky s vnútorným závitom M8. Do tých sa budú uchytávať skrutky upínok. Najskôr však bude potrebné pripraviť po bokoch obrobku malé zárezy, hlboké len pár milimetrov. O takto vzniknuté hrany sa obrobok upne a dotiahnutím skrutky upínky sa vyvolá dostatočná sila zovretia. Nežiadúce hrany sa neskôr odstránia pri orezávaní a brúsení bokov.

4.3 Voľba lineárneho vedenia

So zreteľom na zvolené prevedenie nosnej konštrukcie a možnosti uchytenia koľajníc vedenia sme sa rozhodli pre profilové valivé vedenie. Valivé vedenie vysokej kvality sa vyznačuje nízkym trením, stratami a vysokou efektívnosťou. Na druhej strane tomu zodpovedá jeho cena. Nakoľko zakúpenie lineárneho vedenia od prémiových výrobcov, ako napríklad HIWIN, nie je vždy v hobby sfére finančne prípustné, ponúka sa možnosť vybrať si z online katalógov vhodný typ valivého vedenia na základe požadovanej únosnosti a potom na internetových e-shopoch nájsť ekvivalentný variant s trochu horšími technickými parametrami, avšak za výrazne nižšiu cenu.

Vybrané profilové koľajnice majú šírku 15 mm, v prípade portálu (os x) ide o dĺžky 2 x 1800 mm a v prípade vretenníku (os y) 2 x 1200 mm. Požadované dĺžky je možné doceliť aj napojením viacerých 600 mm dlhých koľajníc za sebou. Uchytenie bude realizované zápustnými skrutkami M3x10 a drážkovými maticami, ktoré zapadajú do drážok hliníkových profilov. Vretenník aj portál sú podopreté na každej koľajnici dvojicou príslušných vozíkov. Takéto usporiadanie dvoch štvoric vozíkov MGN 15C (Obr. 38), kde dynamická únosnosť

každého vozíku je vyše 4600 N, bez problémov spĺňa technické požiadavky, hoci ide o lacnejší variant od predajcu [57].

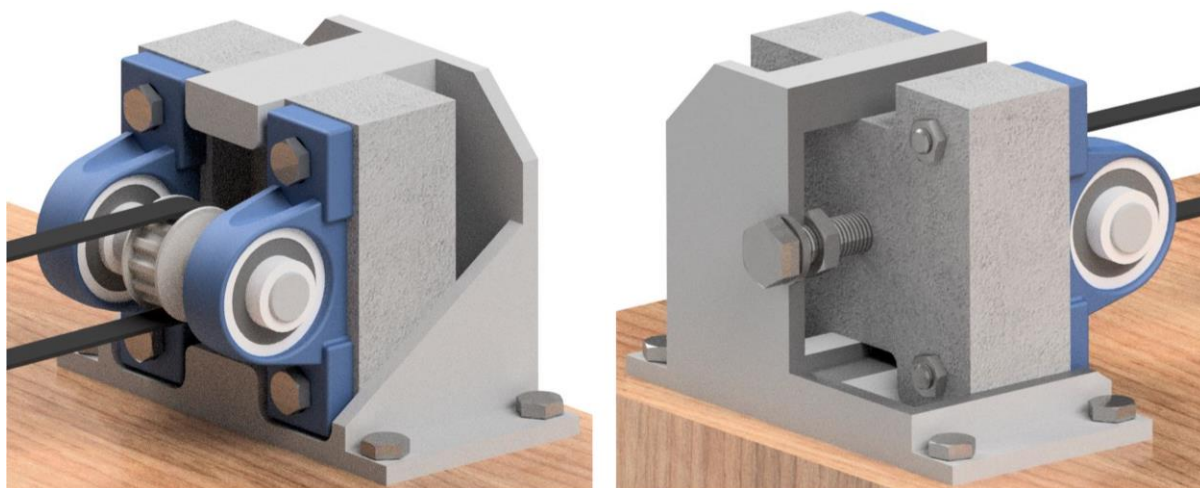


Obr. 38) Profilové valivé vedenie MGN 15C [57]

4.4 Voľba prevodových mechanizmov

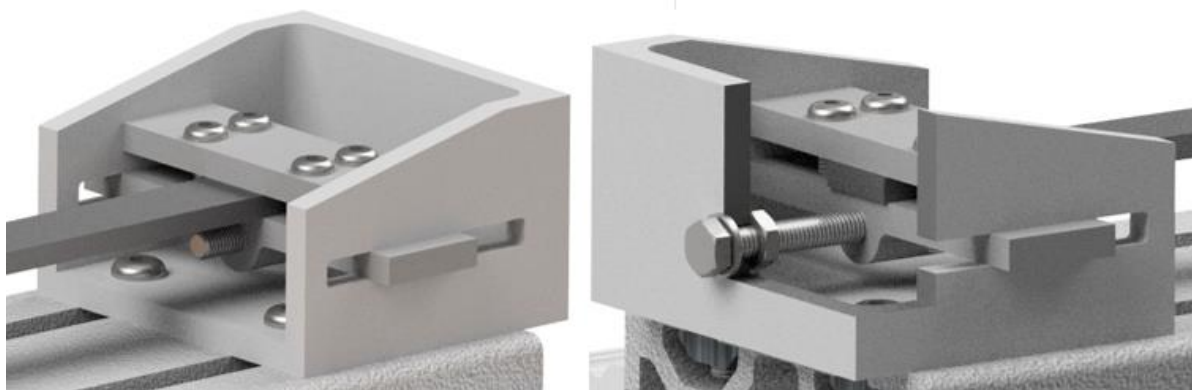
K uskutočneniu prevodu rotačného pohybu elektromotorov na priamočiary posuv portálu, či vretenníku je nutné doplniť lineárne vedenie vhodným typom prevodového mechanizmu. V tomto prípade bolo rozhodnuté o využití ozubených remeňov a remenic. Pri výbere prevodového mechanizmu bol v prvom rade zohľadnený účel stroja. Počas čelného frézovania stolovej dosky prechádza nástroj po celom povrchu obrobku, a preto nároky na presnosť polohovania nie sú príliš vysoké. Zohľadnené boli aj väčšie rozmery pracovného priestoru a veľkosť posuvových síl, ktoré budú kvôli bezpečnosti relatívne nízke. Použitie synchronných remeňov pri takejto aplikácii sa javí ako optimálna možnosť.

Posuv portálu (os x) bude sprostredkovaný dvojicou remeňov s oblými zubami, označovaných skratkou HTD. Požadovaná dĺžka remeňov je 4100, zvolená rozteč 5 mm. Neznáma hodnota šírky remeňov bola určená pomocou online kalkulatoru na remene [58] a činí 15 mm. Použitie remene HTD 5M-4000-15 sú z polyuretánu a sú vystužené oceľovými drôtni. Oba remene sú poháňané remenicami s 20 zubami, ktoré sú umiestnené na krajoch spoločného hriadeľa. Ten bude poháňaný remenicou uprostred, ktorá bude spojená remeňom HTD 5M-400-15 priamo s remenicou na výstupnom hriadeľi elektromotora – hnacom. Šponovanie dlhších remeňov bude realizované pomocou jednoduchého mechanizmu, ako je znázornené na Obr. 39. Pootočením napínacej skrutky nastane posun medzičlánku držiaceho ložiská i remenicu smerom k, respektíve od statického členu, ktorý je pevne uchytený k základovej doske stroja. Tým sa remeň našponuje alebo naopak povolí. Umiestnením skrutky presne do osi remeňa súčasne eliminujeme vznik momentu.



Obr. 39) Mechanizmus na šponovanie remeňov (os x)

V prípade posuvu vretenníku po portáli (os y) pôjde o využitie jedného otvoreného remeňa s dĺžkou 1300 mm a roztečou zubov 5 mm. Z výpočtu neznámej hodnoty šírky pomocou online kalkúlátoru [58] je zrejmé, že aj tentokrát bude šírka 15 mm postačujúca. Remeň HTD 5M-1300-15 bude na jednom konci pevne uchytený a povedie cez 3 remenice, z ktorých 2 sú hladké a budú v kontakte s remeňom z vonkajšej strany. Tretia remenica je hnacia a nachádza sa na hnacom hriadeli elektromotora, pevne spojeného a pohybujúceho sa spolu s vretenníkom (Obr. 41). Druhý koniec remeňa je uchytený v šponovacom mechanizme (Obr. 40), ktorý funguje na relatívne podobnom princípe ako v prípade osi x. Remeň je zovretý medzi dvoma kovovými doštičkami pohybujúcimi sa v drážkach nehybného člena, ktorý je pevne uchytený k priečniku portálu. Pomocou napínacej skrutky je možné remeň napínať alebo uvoľňovať podľa potreby a následne dotiahnutím matice skrutku predopnúť, čím dôjde k aretácii v danej polohe.



Obr. 40) Mechanizmus na šponovanie remeňa (os y)

4.5 Výpočet mernej reznej sily

Merná rezná sila sa odhadne pomocou vzťahu (7), ktorý upravuje jednotkový merný rezný odpor prenasobením opravnými súčinitel'mi. [59]

Pri určovaní opravných koeficientov vychádzame aj z informácii zadávateľa, a teda že obrábať sa bude dubové, prípadne orechové drevo vyschnuté na vzduchu. Predpokladáme použitie frézy s priemerom 20 mm, hrúbku triesky 0,2 mm a pracovný čas asi 2 hodiny. Zároveň je veľmi dôležité uviesť predpoklad, že vlastnosti stuhnutej živice budú z hľadiska obrábania aspoň zhodné, ak nie lepšie, ako vlastnosti obrábanej dreveniny.

$$k_{Ci} = K_{\varphi 2 \delta}^1 \cdot k_d \cdot k_v \cdot k_h \cdot k_w \cdot k_p \quad [MPa] \quad (7)$$

$$k_{Ci} = 53 \cdot 1,55 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 0,95 \cdot 1,3 \doteq 172,5 \text{ MPa}$$

k_{Ci}	[MPa]	merná rezná sila	
$K_{\varphi 2 \delta}^1$	[N/mm ²]	jednotkový merný rezný odpor	(Príloha 1 – Tab 1)
k_d	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu dreveniny	(Príloha 1 – Tab 2)
k_v	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu reznej rýchlosti	(Príloha 1 – Tab 3)
k_h	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu hrúbky triesky	(Príloha 1 – Tab 4)
k_w	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu vlhkosti	(Príloha 1 – Tab 5)
k_p	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu otupenia	(Príloha 1 – Tab 6)

4.6 Výpočet reznéj sily

Ako je opísané v kapitole 2.7 Čelné frézovanie, celková rezná sila pri obrábaní sa všeobecne skladá z reznéj, pasívnej a posuvovej zložky. Pri čelnom frézovaní je zvyčajne rezná sila dominantná. Z uvedeného dôvodu je vplyv zvyšných zložiek zanedbaný. Reznú silu sa dá vypočítať už zo známej rovnice (8). Po analýze postupu výroby epoxidového stola bola hodnota šírky záberu hlavného ostria stanovená odhadom $a_p = 2 \text{ mm}$ a hodnota posuvu na zub $f_z = 0,2 \text{ mm}$. V praxi je posuv na zub závislý na iných premenných a možno ho ovplyvniť zmenou posuvovej rýchlosti, otáčok vretena a použitím frézy s iným počtom zubov. Vo výpočtoch je jeho hodnota zámerne zvolená o niečo vyššia.

$$F_{Ci} = k_{Ci} \cdot A_{Di} = k_{Ci} \cdot a_p \cdot f_z \quad [N] \quad (8)$$

$$F_{Ci} = 172,5 \cdot 2 \cdot 0,2 = 69 \text{ N}$$

F_{Ci} [N] rezná sila

4.7 Voľba pohonu posuvovej sústavy v smere osi y

V tejto kapitole a jej podkapitolách sú uvedené základné technické výpočty, na základe ktorých sa venujeme výberu vhodných elektromotorov a prevodoviek pre pohyb vretenníku po portáli.

4.7.1 Dynamická sila (os y)

Výpočet veľkosti dynamickej sily vychádza z 2. Newtonovho pohybového zákona, ako je uvedené v rovnici (10). K získaniu dynamickej sily je však nutné ako prvé určiť hmotnosť celej sústavy, ktorá sa po priečniku bude pohybovať. Jej veľkosť sa približne vypočíta pomocou rovnice (9), teda ako suma hmotností jednotlivých súčastí tejto sústavy, ktorých hodnoty dokáže odhadnúť samotný software na základe modelu, prípadne sa dajú určiť z dostupných online katalógov. Výpočet zahŕňa predpokladanú hmotnosť použitého vretena, držiaku vretena s kovovou doskou, polohovateľnej osi z, zvarenej súčasti pre uchytenie polohovateľnej osi a krokového motora k vozíkom, 4 vozíkov, krokového motora s prevodovkou a zvyšných súčastí, ako sú napríklad remenice, skrutky a podobne.

$$m_y = \sum_{i=1}^{n_y} m_{yi} \quad [kg] \quad (9)$$

$$m_y = 9 + 1,35 + 2,1 + 5 + 4 \cdot 0,18 + 2 + 0,51 \doteq 20,7 \text{ kg}$$

m_y [kg] hmotnosť sústavy pohybujúcej sa po priečniku

m_{yi} [kg] hmotnosť i -tej súčasti, pohybujúcej sa po priečniku

Po dohode s vedúcim práce bolo požadované zrýchlenie vretenníku (v smere osi y) vopred stanovené na $a_y = 3 \text{ m/s}^2$.

$$F_{dyn,y} = m_y \cdot a_y \quad [N] \quad (10)$$

$$F_{dyn,y} = 20,7 \cdot 3 = 62,1 \text{ N}$$

$F_{dyn,y}$ [N] dynamická sila (os y)

4.7.2 Celková sila (os y)

Hoci sú v predošlých výpočtoch s ohľadom na bezpečnosť vypočítané hodnoty zaokrúhľované nahor, zanedbáva sa viacero veličín, ktorými sú napríklad pasívna a posuvová zložka celkovej reznej sily, vplyv statických a dynamických trecích síl, momenty zotrvačnosti rotačných súčastí a iné. Zároveň by bolo nesprávne tvrdiť, že vzorce na výpočet rezných síl sú presné, pretože vyžadujú experimentálne určenie jednotlivých koeficientov, závislých na testovanom vzorku, okolitých podmienkach, atď.

Celkovú silu v smere osi y, ktorú bude musieť elektromotor prekonať, preto netvorí iba súčet reznej a dynamickej sily. Ich súčet je v rovnici (11) ešte vynásobený koeficientom bezpečnosti, ktorý kompenzuje spomenuté zanedbané veličiny a zároveň stanovuje teoretickú bezpečnosť stroja vo fáze návrhu. Koeficient bezpečnosti predstavuje nami stanovená bezrozmerná konštanta $k_b = 2$.

$$F_{celk,y} = (F_{ci} + F_{dyn,y}) \cdot k_b \quad [N] \quad (11)$$

$$F_{celk,y} = (69 + 62,1) \cdot 2 = 262,2 \text{ N}$$

$F_{celk,y}$ [N] celková sila (os y)

4.7.3 Požadovaný krútiaci moment elektromotora (os y)

Minimálny požadovaný moment, ktorý musí elektromotor prekonať, je rovný súčinu celkovej sily a ramena, na ktorom táto sila pôsobí, teda polomeru remenice. Zvolená remenica s 20 zubami a roztečou 5 mm má priemer $d_{rem,y} = 30,69 \text{ mm}$ [60]. Hodnota momentu sa po úprave na základné jednotky vypočíta nasledovne:

$$M_{y,min} = F_{celk,y} \cdot \frac{d_{rem,y}}{2} \quad [N \cdot m] \quad (12)$$

$$M_{y,min} = 262,2 \cdot \frac{0,03069}{2} \doteq 4,02 \text{ N} \cdot m$$

$M_{y,min}$ [N · m] minimálny krútiaci moment krokového elektromotora (os y)

4.7.4 Skutočný krútiaci moment elektromotora (os y)

S ohľadom na cenovú dostupnosť, ale i jednoduchosť aplikácie, bolo rozhodnuté pre pohon vretenníku po priechniku využiť krokový elektromotor. Vyberať možno zo širokej ponuky podľa výkonu, momentu, typu príruby, či veľkosti samotného motora. Na základe kratších výpočtov bol zvolený 2-fázový krokový elektromotor s krútiacim momentom 2,2 N.m a štandardnou prírubou NEMA23. Vzhľadom k tomu, že krokové motory sú typické značným poklesom krútiaceho momentu s narastajúcou hodnotou uhlovej rýchlosti, je nutné sa dopredu pozrieť na ich momentovú charakteristiku (Príloha 2). Z Prílohy 2 je zrejmé, že motor možno prevádzkovať približne do 300 ot/min, inak dochádza k prudkému zníženiu krútiaceho momentu. Aj z tohto dôvodu je v nasledujúcich výpočtoch uvažovaný moment len $M_k = 1,5 \text{ N} \cdot m$ pri najvyššej rýchlosti $n_{max} = 300 \text{ ot/min}$. Pri nižších otáčkach sa navyše eliminuje riziko straty kroku, ktoré je pri takomto type elektromotora potrebné zohľadniť. Teoretický výkon motora sa spočíta zo známych hodnôt krútiaceho momentu a veľkosti otáčok pomocou rovnice (13).

$$P = M_k \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{max}}{60} \quad [W] \quad (13)$$

$$P = 1,5 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 300}{60} = 15 \cdot \pi \doteq 47,1 W$$

P [W] výkon krokového elektromotora

Planétová prevodovka umožní zvýšenie krútiaceho momentu za cenu zníženia výstupných otáčok, pretože výkon sa musí zachovať. Pri použitej prevodovke s prevodovým pomerom $k_{pp} = 5$, skutočný krútiaci moment sa vypočíta podľa rovnice (14).

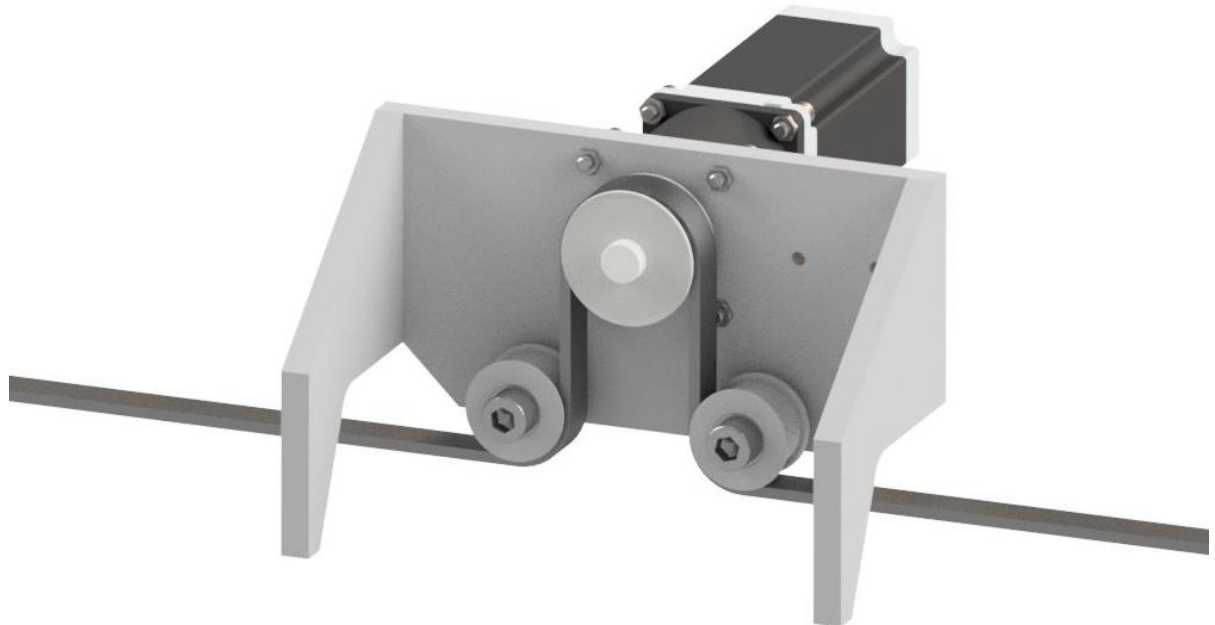
$$M_{y,sk} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{max}}{60 \cdot k_{pp}}} \quad [N \cdot m] \quad (14)$$

$$M_{y,sk} = \frac{(15 \cdot \pi)}{2 \cdot \pi \cdot \frac{300}{60 \cdot 5}} = 7,5 N \cdot m$$

$M_{y,sk}$ [N · m] skutočný krútiaci moment krokového elektromotora (os y)

Z uvedenej rovnice je zrejmé, že skutočný moment na výstupnom hriadeli prevodovky sa zvýši podľa toho, aký je prevodový pomer planétovej prevodovky. Napriek tomu, že sme zámerne pracovali s nižšou hodnotou krútiaceho momentu, ukázalo sa, že použitím krokového motora v kombinácii s vhodnou prevodovkou bude podmienka $M_{y,sk} > M_{y,min}$ splnená.

Model uchytenia krokového motora s planétovou prevodovkou a hnacou remenicou je čiastočne zobrazený na Obr. 41.



Obr. 41) Pohon posuvovej sústavy v smere osi y

4.7.5 Výpočet posuvovej rýchlosti v smere osi y

Posuvová rýchlosť vretenníku po portáli sa spočíta použitím základných princípov dynamiky. V nasledujúcich rovniciach je vyčíslená jej maximálna teoretická hodnota pri najvyšších

otáčkach, keď sú ešte zaistené mechanické vlastnosti krokového elektromotora – 300 ot/min. Najskôr sa vypočíta uhlová rýchlosť výstupného hriadeľa motora s prevodovkou.

$$\omega_y = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{max}}{k_{pp}}}{60} \quad [rad/s] \quad (15)$$

$$\omega_y = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{300}{5}}{60} = 2\pi \text{ rad/s}$$

ω_y [rad/s] uhlová rýchlosť hnacieho hriadeľa (os y)

Z uhlovej rýchlosti hnacieho hriadeľa sa vypočíta maximálna posuvová rýchlosť v smere osi y pomocou rovnice (16), v ktorej sú už hodnoty jednotlivých veličín známe.

$$v_{f,y} = \omega_y \cdot \frac{d_{rem,y}}{2} \cdot 60 \quad [mm/min] \quad (16)$$

$$v_{f,y} = 2\pi \cdot \frac{30,69}{2} \cdot 60 \doteq 5785 \text{ mm/min}$$

$v_{f,y}$ [mm/min] maximálna posuvová rýchlosť v smere osi y

4.8 Voľba pohonu posuvovej sústavy v smere osi x

Pohyb portálu ako celku, je realizovaný pozdĺž dlhšej osi, osi x. Táto kapitola a jej podkapitoly sa venujú výberu vhodného elektromotora, prípadne prevodovky opierajúc sa o jednoduché technické výpočty.

4.8.1 Dynamická sila (os x)

Podobne, ako pri výpočte dynamickej sily týkajúcej sa osi y, jej veľkosť sa tentokrát určí pre pohyb celého portálu v smere osi x pomocou rovnice (18). Najskôr sa vypočíta z rovnice (17) hmotnosť celého portálu, ktorá okrem hmotnosti m_y [kg], zahŕňa aj hmotnosť hliníkového profilu, 2 jaklových profilov, 4 vozíkov, 2 koľajníc, uchytenia a napínacieho mechanizmu remeňa osi y, ale aj iných súčastí, ako sú spojovacie prvky, energetická reťaz a podobne.

$$m_x = m_y + \sum_{j=1}^{n_x} m_{xj} \quad [kg] \quad (17)$$

$$m_x = 20,7 + 13,2 + 2 \cdot 0,9 + 4 \cdot 0,18 + 2 \cdot 1,5 + 0,74 + 0,5 \doteq 40,7 \text{ kg}$$

m_x [kg] hmotnosť celého portálu

m_{xj} [kg] hmotnosť j -tej súčasti portálu

Požadované zrýchlenie portálu je opäť stanovené $a_x = 3m/s^2$.

$$F_{dyn,x} = m_x \cdot a_x \quad [N] \quad (18)$$

$$F_{dyn,x} = 40,7 \cdot 3 = 122,1 \text{ N}$$

$F_{dyn,x}$ [N] dynamická sila (os x)

4.8.2 Celková síla (os x)

Rovnako, ako v prípade osi y, rovnica (19) zahrňa súčiniteľ bezpečnosti $k_b = 2$.

$$F_{celk,x} = (F_{Ci} + F_{dyn,x}) \cdot k_b \quad [N] \quad (19)$$

$$F_{celk,x} = (69 + 122,1) \cdot 2 = 382,2 \text{ N}$$

$F_{celk,x}$ [N] celková síla (os x)

4.8.3 Požadovaný krútiaci moment elektromotora (os x)

Sila pohybujúca portálom, prenášaná prostredníctvom ozubených remeňov, je výsledkom točivého momentu na remeniach, ktorých priemer je $d_{rem,x2} = 30,69 \text{ mm}$ [60]. Požadovaná minimálna hodnota momentu sa vypočíta dosadením v základných jednotkách do rovnice (20).

$$M_{x,min} = F_{celk,x} \cdot \frac{d_{rem,x2}}{2} \quad [N \cdot m] \quad (20)$$

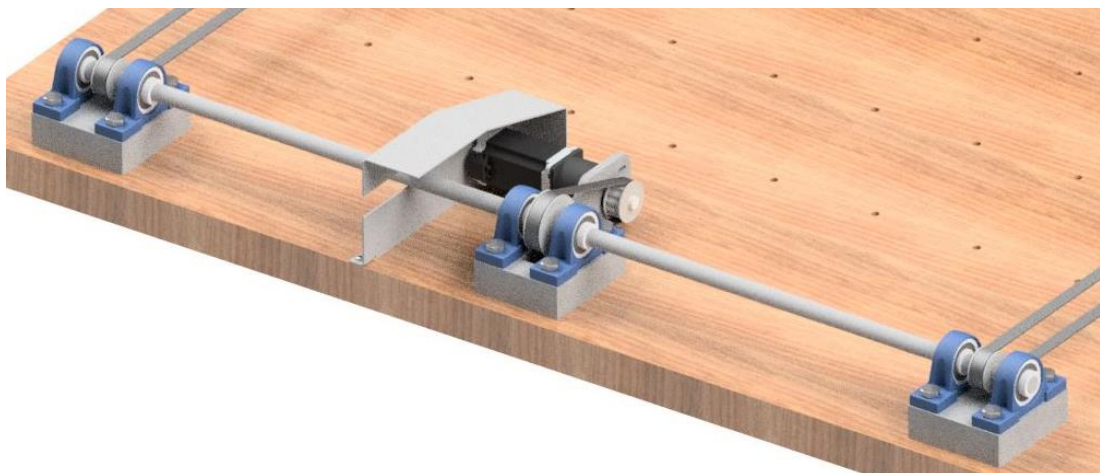
$$M_{x,min} = 382,2 \cdot \frac{0,03069}{2} \doteq 5,86 \text{ N} \cdot m$$

$M_{x,min}$ [N · m] minimálny krútiaci moment krokového elektromotora (os x)

4.8.4 Skutočný krútiaci moment elektromotora (os x)

V kapitole 4.7.4 Skutočný krútiaci moment elektromotora (os y) je vyčíslený výstupný moment 2-fázového krokového elektromotora s uvažovaným krútiacim momentom 1,5 N.m, použitého spolu s planétovou prevodovkou s prevodovým pomerom 5. Bez ďalších výpočtov je preto možné uviesť, že pokiaľ bude použitý zhodný krokový elektromotor, tak $M_{x,sk} = 7,5 \text{ N} \cdot m$.

V prípade osi x je však konfigurácia zložitejšia (Obr. 42), pretože točivý moment sa najskôr prenáša z výstupného hriadeľa prevodovky cez remeň na druhý hriadeľ – hnaný, ktorý je spoločný pre 2 remenice na jeho koncoch. Tieto remenice následne prenášajú celkovú silu v remeňoch, ktoré sú spojené s portálom. Platí však, že priemer remenice na hnacom hriadeľi je zhodný s priemerom remenic na koncoch hnaného hriadeľa. Z rovnice momentovej rovnováhy prevodu medzi hnacou remenicou a remenicou uprostred hnaného hriadeľa vyplýva, že pri takomto usporiadaní bude moment na hnacej remenici rovný momentu na remeniach hnaných, ktorý je už vyčíslený v rovnici (20). Z toho vyplýva, že aj v tomto prípade je postačujúce použiť rovnaký motor a prevodovku, pretože podmienka $M_{x,sk} > M_{x,min}$ bude opäť splnená.



Obr. 42) Náhon posuvovej sústavy v smere osi x

4.8.5 Výpočet posuvovej rýchlosti v smere osi x

Priemery použitých remeníc majú priamy vplyv nielen na veľkosť momentov, ale aj veľkosť posuvových rýchlostí. Hnacia remenica a remenice na koncoch hriadeľa sú zhodné, majú 20 zubov a priemer $d_{rem,x} = d_{rem,x2} = 30,69 \text{ mm}$, remenica v strede s 30 zubami má priemer $D_{rem,x} = 46,61 \text{ mm}$ [60].

Nakoľko hodnota maximálnych otáčok motora a prevodový pomer prevodovky sú rovnaké, ako v prípade osi y, uhlová rýchlosť hnacieho hriadeľa je $\omega_x = \omega_y = 2\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Uhlová rýchlosť hnaného hriadeľa sa určí z rovnice kinematickej väzby medzi hnacou a hnanou remenicou, ako je uvedené v nasledujúcej rovnici:

$$\omega_2 = \omega_x \cdot \frac{\frac{d_{rem,x}}{2}}{\frac{D_{rem,x}}{2}} = \omega_x \cdot \frac{d_{rem,x}}{D_{rem,x}} \text{ [rad/s]} \quad (21)$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot \frac{30,69}{46,61} \doteq 4,14 \text{ rad/s}$$

ω_2 [rad/s] uhlová rýchlosť hnaného hriadeľa

Maximálna posuvová rýchlosť v smere osi x sa vypočíta dosadením do rovnice (22).

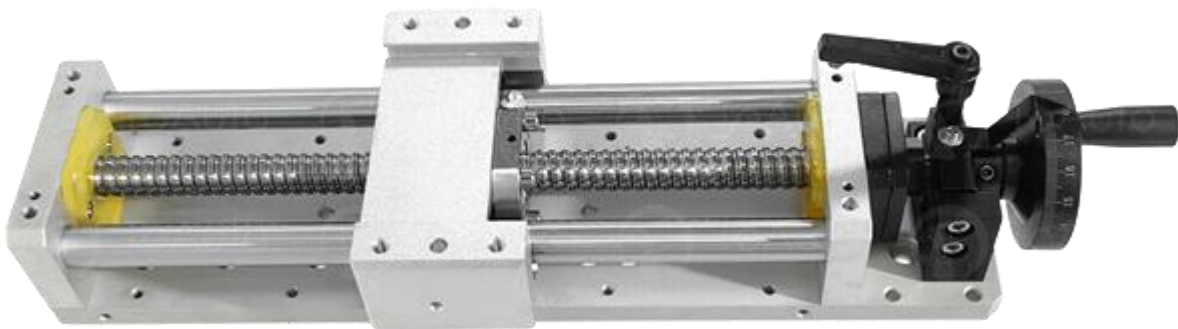
$$v_{f,x} = \omega_2 \cdot \frac{d_{rem,x2}}{2} \cdot 60 \text{ [mm/min]} \quad (22)$$

$$v_{f,x} = 4,14 \cdot \frac{30,69}{2} \cdot 60 \doteq 3812 \text{ mm/min}$$

$v_{f,x}$ [mm/min] maximálna posuvová rýchlosť v smere osi x

4.9 Voľba polohovacieho držiaku (os z)

Ako už bolo v bakalárskej práci uvedené, poloha vretena v osi z bude v priebehu obrábania stolovej dosky konštantná. Súradnicu v osi z bude možné nastaviť ručne a to v prípade, že stroj bude v kľude. V princípe pôjde o určitý spôsob 2D obrábania, v rôznych konštantných polohách nástroja voči obrobku. K tomu bude slúžiť manuálne polohovací držiak s vlastným lineárnym vedením, ktorý je zobrazený na Obr. 43.



Obr. 43) Manuálne polohovací držiak (os z) [61]

Polohovanie umožňuje guľičková skrutka so stúpaním 5 mm, ktorá sa otáča ručne. Vďaka stupnici so 180 dielikmi na kolese rukoväte je teoreticky možné nastaviť polohu s presnosťou na 0,03 mm. Nastavená poloha sa jednoducho zafixuje kontrolnou pákou. Rozsah posuvu zvoleného držiaku s ohľadom na výšku pracovného priestoru je 100 mm. Takáto možnosť nastavenia polohy od predajcu [61] je finančne prijateľná a zároveň s ohľadom na tvar obrobku úplne postačujúca, pretože v prípade stolovej dosky nie je podstatné, či jej výška po obrobení bude o stotiny milimetra väčšia alebo menšia.

4.10 Voľba vretena a nástroja

Najdôležitejším prvkom obrábacieho stroja je vreteno, nakoľko spolu s nástrojom priamo ovplyvňuje kvalitu obrobenej plochy. Lacné vreteno nízkej kvality nielenže môže ohroziť obsluhu stroja, ale častokrát býva príčinou vzniku nežiadúceho kmitania. Pri voľbe vretena je však okrem kvality rozhodujúcim parametrom výkon, nakoľko ovplyvňuje veľkosť tangenciálnej zložky reznej sily od vretena. Na to, aby nastalo oddelenie triesky, musí platiť, že veľkosť tangenciálnej zložky bude väčšia, ako rezná sila daného materiálu.

Po zvážení viacerých parametrov, ako sú výkon, otáčky, hmotnosť, rozmery, napájacie napätie a podobne, bolo zvolené vodou chladené vreteno s výkonom 2,2 kW. Vodou chladené vretená sú podstatne tichšie, menej víria okolitý prach, avšak vyžadujú chladiaci okruh. Napríklad, na zahraničnom portáli ebay [62], je možné takéto vreteno zakúpiť spolu s frekvenčným meničom v rozsahu 0-400 Hz, hliníkovým držiakom, so sadou 15 klieštín typu ER20 a obehovým čerpadlom, vrátane hadičiek chladiaceho systému (Obr. 44).

Ako chladivo sa odporúča použiť destilovanú alebo demineralizovanú vodu riedenú vo vhodnom pomere s chladiacou kvapalinou, prípadne inhibítormi korózie. Okrem odvodu tepla to pomáha znižovať penivosť čerpadla, bráni vzniku rias, korózie, a teda predlžuje životnosť samotného vretena.



Obr. 44) 2,2 kW vreteno s príslušenstvom [62]

Použitý nástroj má v konečnom dôsledku vplyv nielen na akosť obrobenej plochy, ale ovplyvňuje tiež pracovný čas. Frézy slúžiace výlučne na čelné frézovanie sa nevyrábajú bežne. Z uvedeného dôvodu bola zvolená stopková fréza drážkovacia CMT s navareným plátkom zo spekaného karbidu (Obr. 45). Takéto frézy sa vyznačujú kvalitným ostrím s dlhou životnosťou a sú vhodné na frézovanie materiálov od mäkkého dreva, cez tvrdé alebo lepené drevo, až po umelý kameň. Zvolená fréza [63] s priemerom stopky 8 mm má pracovný priemer 20 mm.



Obr. 45) CMT Fréza drážkovacia 20x20 L70 S=8 HM [63]

V nasledujúcich rovnicach budú uvedené výpočty a vzápätí aj porovnanie tangenciálnej zložky reznej sily vretena s reznou silou dreveniny, ktorá už bola vypočítaná v rovnici (8). Otáčky zvoleného vretena s výkonom $P_v = 2,2 \text{ kW}$ sa pri obrábaní zvyčajne pohybujú v rozmedzí 15 000 až 24 000 ot/min, pričom z rovnice (23) vyplýva, že krútiaci moment by mal byť minimálny práve v prípade najvyšších otáčok. Z pohľadu bezpečnosti sú v rovnicach uvažované maximálne otáčky $n_{v,max} = 24\,000 \text{ ot/min}$, nakoľko v praxi sú pracovné otáčky vretena nižšie, a teda moment je vyšší.

$$M_{k,v,min} = \frac{P_v}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{v,max}}{60}} \quad [N \cdot m] \quad (23)$$

$$M_{k,v,min} = \frac{2200}{2 \cdot \pi \cdot \frac{24000}{60}} \doteq 0,875 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$M_{k,v,min}$ [N · m] minimálny krútiaci moment vretena

Tangenciálna zložka reznej sily vretena za predpokladu použitia frézy $d_{fréza} = 20 \text{ mm}$ sa po úprave na základné jednotky vyčíslí pomocou nasledujúcej rovnice:

$$F_{tan} = \frac{2 \cdot M_{k,v,min}}{d_{fréza}} \quad [N] \quad (24)$$

$$F_{tan} = \frac{2 \cdot 0,875}{0,02} = 87,5 \text{ N}$$

F_{tan} [N] tangenciálna sila od vretena

Keďže $F_{ci} = 69 \text{ N}$, tak na základe výsledku rovnice (24) možno tvrdiť, že v rozmedzí pracovných otáčok vretena bude platiť, že $F_{tan} > F_{ci}$.

4.11 Odhad strojného času

Fiktívny obrobok bude mať najväčšie prípustné rozmery – $L_x = 1500 \text{ mm}$ a $L_y = 900 \text{ mm}$. Po každom prejazde nástroj vyjde zo záberu, hodnoty nábehu a priebehu sú vopred stanovené $l_n = l_p = 5 \text{ mm}$.

Pohyb v smere osi x prebieha po krokoch. Pri obrábaní dreva predpokladáme, že v zábere je asi 75% priemeru frézy. V prípade, že použijeme $d_{fréza} = 20 \text{ mm}$ to bude 15 mm, pričom táto hodnota súčasne predstavuje veľkosť kroku. Počet potrebných krokov musí byť celé číslo a vypočíta sa pomocou nasledujúcej rovnice:

$$n_{krok} = \frac{L_x}{0,75 * d_{fréza}} \quad [-] \quad (25)$$

$$n_{krok} = \frac{1500}{0,75 * 20} = 100$$

n_{krok} [-] počet krokov

Otáčky krokového motora, zabezpečujúceho pohyb vretenníku (os y), stanovujeme 150 ot/min, aby nehrozila strata kroku. Teoretická posuvová rýchlosť vretenníku pri takýchto otáčkach je $v_{f,y,150} = 2892,5 \text{ ot/min}$. Graf rýchlosti vretenníku v závislosti na čase má všeobecne lichobežníkový priebeh. K rozbehu potrebuje vretenník krátku dráhu, rovnako dlhú ako je tá, na ktorej bude brzdiť. Keďže krokové motory boli dimenzované na zrýchlenie 3 m/s^2 , čas rozbehu na konštantnú posuvovú rýchlosť 2892,5 mm/min, ako aj čas brzdenia, budú zanedbateľne krátke. V rovnici (26), vyjadrujúcej čas frézovania jednej šírky obrobku, ich preto neuvažujeme.

$$t_y = \frac{l_n + L_y + l_p + d_{fréza}}{v_{f,y,150}} \quad [min] \quad (26)$$

$$t_y = \frac{5 + 900 + 5 + 20}{2892,5} \doteq 0,322 \text{ min}$$

t_y [min] čas frézovania jednej šírky obrobku

V prípade osi x nastáva pohyb portálu len po krokoch dĺžky 15 mm. V tej chvíli nástroj nie je v zábere a portál sa pohybuje maximálnou rýchlosťou $v_{f,x} = 3800 \text{ mm/min}$. Graf rýchlosti bude mať lichobežníkový priebeh, avšak čas rozbiehania, respektíve brzdenia, bude opäť zanedbateľný. Následne, ak zahrnieme čas návratu vretenníku do pôvodnej polohy, tak celkový strojný čas možno približne odhadnúť dosadením do rovnice (27), v ktorej sú už hodnoty jednotlivých veličín známe.

$$t_s = n_{krok} \cdot t_y + 2 \cdot \left(\frac{l_p + L_x + 0,25 \cdot d_{fréza}}{v_{f,x}} \right) \quad [min] \quad (27)$$

$$t_s = 100 \cdot 0,322 + 2 \cdot \left(\frac{5 + 1500 + 0,25 \cdot 20}{3800} \right) \doteq 33 \text{ min}$$

t_s [min] strojný čas frézovania obrobku maximálnych rozmerov

Odhad strojného času frézovania obrobku maximálnych rozmerov je asi 33 minút. Výsledok platí pri opísaných rezných podmienkach, je približný a bez testovania reálne postaveného stroja je len teoretický. Optimalizovať strojný čas možno niekoľkými spôsobmi, ako napríklad priamo zväčšením časti nástroja v zábere, alebo použitím väčšieho nástroja. Zvýšením otáčok krokových motorov možno dosiahnuť nárast posuvových rýchlostí. Nakoľko však nejde o sériovú výrobu, nie vždy je primárnym cieľom ušetriť niekoľko minút. Potrebné je dbať na odporúčania výrobcov jednotlivých komponentov, držať sa v daných medziach a hlavne nezabúdať na bezpečnosť.

4.12 Energetické reťaze

Rozvod riadiacich a energetických káblov, spolu s hadicami chladiaceho okruhu, bude zabezpečený dvojicou energetických reťazí. Na základe prvotných odhadov bola zvolená reťaz s vnútornými rozmermi 15x30 mm. Podopretie a vedenie reťaze bude realizované držiakmi (Obr. 46), ktoré sa drážkovými maticami uchytiť k hliníkovému profilu priečniku. Vlastným návrhom držiakov, jednoducho vyrobiteľných pomocou FDM 3D tlačiarne, sa znížia náklady a súčasne sa umožní prípadná úprava ich rozmerov. Otvor v spodnej časti držiaku umožní vedenie káblov koncových snímačov z jednej strany priečniku na opačnú stranu i mimo energetickú reťaz.



Obr. 46) Návrh držiakov energetickej reťaze

4.13 Bezpečnosť konštrukcie

Pri konštrukčnom prevedení neriešime len náklady a jednoduchosť, ale snažíme sa dbať i na bezpečnosť. Odlietavajúce triesky pri čelnom frézovaní sú najväčším rizikom nielen z pohľadu bezpečnosti, ale aj z pohľadu funkcie viacerých komponentov, ako napríklad z pohľadu lineárneho vedenia. Hlavnou komplikáciou pri drevených trieskach je ich napúčanie, teda zväčšovanie objemu vplyvom vlhkosti. Vozíky vedenia nie sú stopercentne izolované a postupné ukladanie drevených triesok v kombinácii s mazacím olejom môže viesť až k ich zadretiu.

Kryt vretena s odsávaním pilín (Obr. 47) výrazne zníži prašnosť v okolí stroja a zároveň bráni odlietavaniu pilín a ich hromadeniu v pracovnom priestore. Odsávací systém možné vyrobiť aj v podmienkach menšej dielne. Na adaptér odsávacieho krytu sa hadicovou sponou uchytiť potrubie, ktoré vedie zvyčajne do nejakého plastového vedra, zbernej nádoby. Tá má vyrezaný ešte jeden otvor spájajúci zbernú nádobu s priemyselným vysávačom, ktorý v nej vytvára podtlak potrebný na efektívne odsávanie pilín. Objem nádoby môže byť tak podľa potreby väčší než objem vysávača, a jej vyprázdenie je jednoduché, ak sú obe potrubia

privádzané na odpojiteľný poklop nádoby. Ten môže zároveň fungovať na princípe cyklónového odlučovača, ako je zobrazené na Obr. 48.



Obr. 47) Štetinový kryt vretena s otvorom na odsávanie [64]

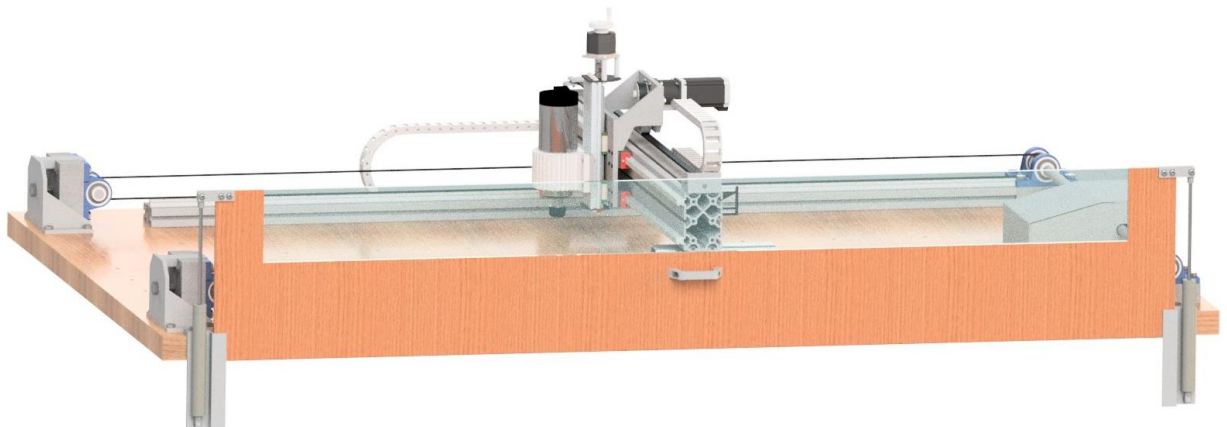


Obr. 48) Princíp systému odsávania pilín [65]

Výsuvný kryt pozdĺž dlhšej hrany stroja plní výhradne bezpečnostnú funkciu. Jeho úlohou je brániť prístupu do pracovného priestoru počas obrábania a v prípade nehody tvorí prvotnú prekážku medzi letiacimi úlomkami a obsluhou stroja.

Hlavná časť krytu tvorí 12 mm hrubá drevená doska s výrezom na tabuľu plexiskla v hornej časti, aby kryt nebránil vizuálnemu kontaktu. Vhodné je použitie bezpečnostného plexiskla, skladajúceho sa z viacerých vrstiev vrátane húževnatých fólií, ktoré bránia roztriešteniu a držia sklo pohromade aj v prípade prasknutia.

Kryt sa počas pohybu opiera o bočnú stenu základovej dosky a kovové profily po stranách. Do hornej polohy sa dostane v prípade úplného vytlačenia pneumatických pružín na oboch krajoch. Keďže sila pružín je väčšia ako tiaž krytu, do hornej polohy sa vysúva v podstate automaticky, bez pomoci väčšej sily zvonku. Počas manipulácie s obrobkom bude kryt stiahnutý a pružiny plne stlačené. Zaistenie v spodnej polohe možno realizovať najjednoduchšie nejakým západkovým mechanizmom. Druhou možnosťou by bolo využitie priameho zablokovania plynových pružín typu „Click & Go“ od výrobcu [66]. Uvedené pružiny sú vhodné na aplikácie ako táto, kedy po uvoľnení má dôjsť k úplnému vytlačeniu pružiny. Výrobca ponúka aj variant vodiaceho stĺpiku s integrovanou plynovou pružinou, čo je síce drahší, avšak elegantný spôsob riešenia zaistenia polohy aj lineárneho vedenia.



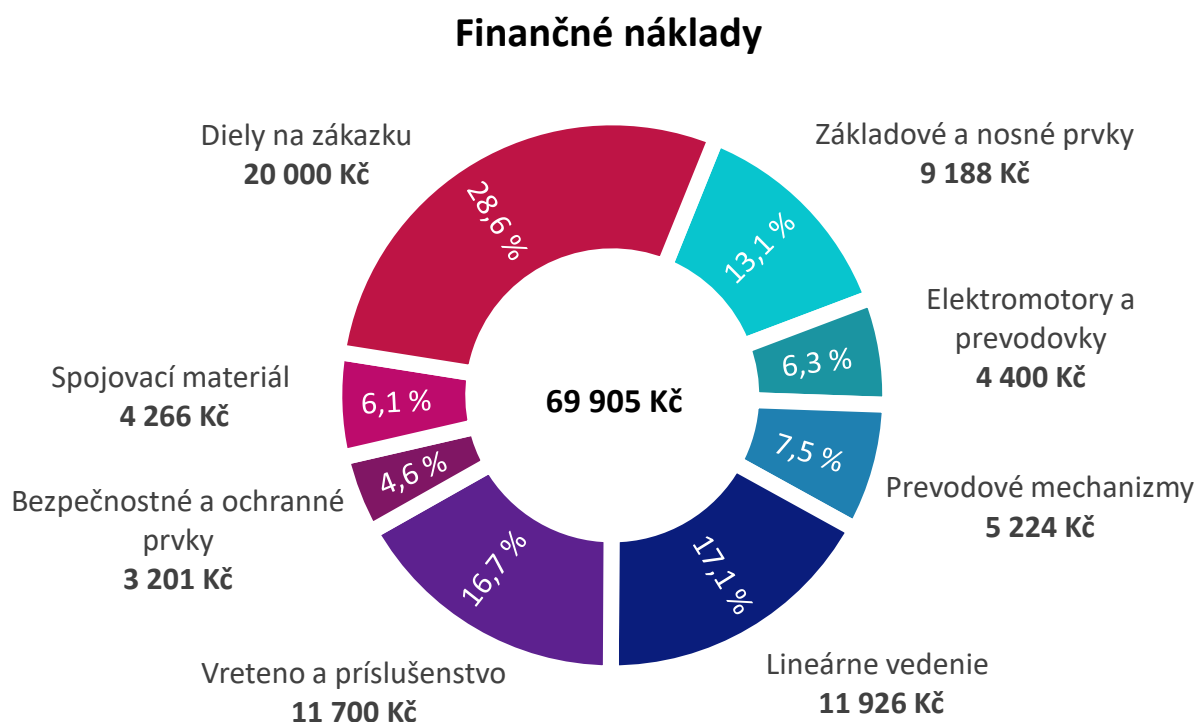
Obr. 49) Pohľad zo strany výsuvného krytu

5 ODHAD FINANČNÝCH PROSTRIEDKOV

Odhad potrebných finančných prostriedkov je neoddeliteľnou súčasťou návrhovej fázy obrábacích strojov. Nami navrhnutý stroj sa skladá z desiatok rôznych komponentov, ktoré boli rozdelené do viacerých skupín na základe ich významu a funkcie:

- Základové a nosné komponenty – základová doska stroja a hliníkové profily;
- Krokové elektromotory a planétové prevodovky;
- Prevodové mechanizmy – HTD remene, ozubené a hladké remenice;
- Lineárne vedenie – koľajnice, vozíky a polohovací držiak;
- Vreteno a príslušenstvo – vreteno, frekvenčný menič, chladiaci systém, držiak vretena;
- Bezpečnostné a ochranné prvky – drevená doska krytu, bezpečnostné plexisklo, pneumatické pružiny, energetické reťaze;
- Spojovací materiál – skrutky, drážkové matice, závitové vložky;
- Diely na zákazku – zvarok - úchyt vretenníku, hriadele, šponovacie mechanizmy a iné.

Odhad finančných nákladov na výrobu nami navrhnutého stroja je uvedený v Grafe 1.



Graf 1) Odhad finančných nákladov

Celková suma, približne 70 000 Kč, je len hrubým odhadom celkových nákladov na stavbu konštrukcie stroja. Netreba zabúdať, že samotný stroj musí byť doplnený o elektroinštaláciu, riadiacu elektroniku a ako celok umiestnený na ráme alebo stole.

Napriek tomu, že pri dieloch vyrábaných na zákazku sme cenu dopredu len odhadli, ich podiel na celkovej sume stroja je jednoznačne najväčší.

Ceny ďalších, rozmerovo väčších komponentov, boli stanovené na základe cien slovenských a českých internetových obchodov, nakoľko dovoz by cenu daných položiek výrazne predražil.

Pri hobby frézkach býva zvykom, že najväčšiu časť nákladov tvorí lineárne vedenie a vreteno. I preto bolo snahou ušetriť finančné prostriedky práve pri týchto položkách, a to nákupom v zahraničných e-shopoch. Nevýhodou je, že ide o produkty z kategórie nižšej kvality, kedy sa kupujúci musí riadiť iba recenziami predošlých zákazníkov. Už spomínané profilové valivé vedenie MGN 15 bolo zvolené pre jeho dobré vlastnosti z hľadiska dynamickej únosnosti, navyše po namazaní valivých elementov vo vozíkoch možno výrazne znížiť i jeho pasívne účinky. V praktickej časti, ako aj pri odhade nákladov sa predpokladá kúpa vodou chladeného vretena spolu s frekvenčným meničom a chladiacim systémom. Takýto set je cenovo výhodný, ale na druhej strane prináša viaceré riziká. Tie sa môžu objaviť nielen v podobe akosti obrobenej plochy, ale i životnosti samotného vretena, či kvality riadenia otáčok pomocou daného frekvenčného meniča.

Spomedzi zvyšných položiek je podiel spojovacieho materiálu na výslednej čiastke nákladov nezanedbateľný. To je spôsobené tým, že zahrňa aj závitové vložky, ktoré slúžia k uchyteniu obrobku a súčasne je tu množstvo drážkových matíc, ktoré sú v porovnaní s klasickými x-násobne drahšie.

6 ZÁVER

Kombináciou dreva a epoxidovej živice vznikajú výnimočné časti nábytku, pri výrobe ktorých je možné uplatniť vedomosti z viacerých oblastí strojného inžinierstva. Výsledný kompozit, ktorý zvyrazňuje jedinečnú štruktúru použitého dreva, je nielen zaujímavý z estetického hľadiska, ale ponúka i širokú škálu možností a modifikácií prevedenia.

Cieľom bakalárskej práce je návrh konštrukcie jednocelového stroja na čelné frézovanie. V prvých kapitolách je opísaný súčasný stav poznania v oblasti CNC obrábacích strojov predovšetkým z pohľadu jednotlivých materiálov a konštrukčných uzlov, nie príliš z pohľadu strojov, ako celku. Následne sú porovnávané komponenty používané v amatérskych, ako aj v profesionálnych strojoch.

Praktická časť práce sa do veľkej miery opiera o poznatky uvedené v časti teoretickej. S informáciami o množstve možností prevedenia jednotlivých súčastí stroja sú v prvej fáze návrhu stroja opísané 3 teoretické možnosti kinematického usporiadania. S ohľadom na technologickosť konštrukcie, jednoduchosť, bezpečnosť a iné kritériá zohľadnené vo výsledkoch multikriteriálnej analýzy, bol zvolený II. variant – CNC frézka typu 'spodné gántry'.

Zohľadňujúc montáž stroja, je pri výbere jednotlivých súčastí snaha postupovať chronologicky. Možno nezvyčajne, avšak so zreteľom na aplikáciu a účel stroja, sme už na začiatku zvolili typ prevodového mechanizmu – ozubené remene. Od toho sa totiž odvíja konštrukčné prevedenie a základné technické výpočty pri voľbe zvyšných komponentov. Po dohode s vedúcim práce boli vopred stanovené niektoré rezné podmienky. Z odhadu reznej sily a výpočtov dynamických síl v jednotlivých osiach sme dospeli k požadovaným hodnotám minimálnych krútiacich momentov. Následne, využitím krokových elektromotorov a planétových prevodoviek s vhodným prevodovým pomerom, bolo možné tieto teoretické požiadavky splniť. V ďalšej časti boli vyčíslené hodnoty maximálnych posuvových rýchlostí. Pre lepšiu predstavu bol uvedený aj odhad strojného času pri obrobku najväčších rozmerov. Pri niektorých výpočtoch sme vedome použili viacero zjednodušení a zaokrúhlení.

Bez ohľadu na to, že stroj nie je postavený, zostáva nemalý priestor a množstvo vecí na zlepšenie, ktoré sú nad rámec zadania tejto práce. S cieľom znížiť finančné náklady, navrhujeme najskôr vypracovať dôkladný odhad pozostávajúci z najvýhodnejších cien jednotlivých položiek od rôznych dodávateľov. Napriek tomu, že uvádzame v niektorých prípadoch odkazy na konkrétnych zahraničných i tuzemských predajcov pri viacerých konštrukčných uzloch, ako napríklad systém napnutia a uchytenia remeňov, je v práci opísané využitie vlastného konštrukčného riešenia, vrátane úchyty vreteníku, ktorého výkres na zváranie a obrábanie je v Prílohe 4.

Značná časť finančných nákladov by sa ušetrila, ak by sa podarilo nahradiť diely vyrábané na zákazku normalizovanými komponentami. Priestor na zlepšenie je nielen v nosnej konštrukcii, ale tiež v elektronike a riadení, preto ušetrené finančné prostriedky možno vynaložiť i do tejto oblasti. Napríklad použitím kvalitného frekvenčného meniča je možné na základe prúdu počítať sklz asynchrónneho motora vretena a následne určiť, či sa vreteno točí alebo došlo k prekročeniu kritickej hodnoty sklzu. Bráni sa tým jeho poškodeniu a súčasne sa zvýši bezpečnosť, na ktorú počas návrhu kladieme veľký dôraz.

Modularita zvoleného typu konštrukcie síce umožňuje jednoduchú montáž potrebných radiacích prvkov a snímačov, avšak do budúcnosti by bolo určite vhodné premýšľať a riešiť ich polohu vzhľadom k stroju už počas konštrukčného návrhu a prípadne tomu vopred jednotlivé komponenty prispôbiť.

Až prvé testy zariadenia odhalia prípadné nedostatky zvoleného riešenia. Našou snahou však bolo v rámci návrhu konštrukcie stroja vziať do úvahy čo najviac faktorov a vybrať spoľahlivý koncept pri zohľadnení limitu nákladovosti. Pri obrábacích strojoch je cieľom skracovať strojný čas, zvyšovať tuhosť, hľadať vyhovujúci nástroj pre obrábaný materiál alebo pridávať bezpečnostné prvky. Vzhľadom k tomu, že epoxidový stôl je potrebné po frézovaní ešte brúsiť a leštiť, bolo by vhodné zvážiť i možnosť využitia brúsneho nástroja a hľadať pre neho optimálne pracovné podmienky, a to aj z dôvodu, že ide o netypický materiál, akým je práve epoxidová živica.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III.* 3. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN isbn978-80-260-6780-1.
- [2] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů.* Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN isbn978-80-254-7980-3.
- [3] Raptor Beast 30/15 - vzorová nabídka. In: Raptor Technologies [online]. Tábor: Raptor Technologies, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.raptor-cnc.com/cnc-plazma.html>
- [4] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů.* Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN isbn80-214-0361-6.
- [5] Stone CNC Router stroj. In: *Fanchcnc* [online]. Beijing FANCH Machinery Co. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://cz.fanchcnc-laser.com/cnc-router/stone-cnc-router/stone-cnc-router-machine.html>
- [6] MAREK, Jiří. Materiály pro nosnou soustavu CNC obráběcího stroje: Vývoj obráběcích strojů. Blog - www.cnckonstrukce.cz [online]. 2011, 19.1.2011, 2011, 6 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/download/file.php?id=37565>
- [7] Systém hliníkových profilů. In: *Haberkorn* [online]. Haberkorn [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/sk/systemy-hlinikovych-profilov/>
- [8] Granite CNC Router. In: *Indiamart* [online]. IndiaMART InterMESH [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/granite-cnc-router-6685405455.html>
- [9] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony.* Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN isbn978-80-01-03730-0.
- [10] KROKOVÉ MOTORY. *Hobbyrobot* [online]. 2013, , 8 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://profirobot.cz/wp-content/uploads/2018/03/Krokov%C3%A9-motory.pdf>
- [11] Servomotory. Sew-eurodrive [online]. SEW-EURODRIVE CZ [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/motory/servomotory/servomotoren_3.html#bild_video_text_kombination
- [12] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické servopohony* [online]. Brno [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=33400. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky.
- [13] Základní rozdíly mezi stepper a servo motory. *TTmotor* [online]. TT Motor (Shenzhen) Industrial Co. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://cz.usattmotor.com/news/stepper-motors-vs-servo-motors-selecting-a-8388629.html>
- [14] ST11018 - NEMA 42. In: Mbm technik [online]. M B M Technik [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.mbmtechnik.cz/elektromotory/krokovy-motory/hybridni-krokovy-motory/st11018-nema-42#parametry>
- [15] IndraDyn S – servomotors MS2N. In: Bosch Rexroth [online]. Bosch Rexroth, spol. s r.o. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/us/products/product-groups/linear-motion-technology/linear-motion-systems/motors-and-controllers/indradyn-s-ms2n>

- [16] Lineární motory. Moog Brno [online]. Moog Brno [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.moogbrno.cz/vues-servomotory-cz-2/>
- [17] Lineární motory, lineární pohyb. *Sew-eurodrive* [online]. SEW-EURODRIVE CZ [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/motory/linearni_pohyb/linearmotoren.html
- [18] Polohovací systémy lineární osy: Lineární motory. *Hiwin* [online]. HIWIN [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: www.hiwin.cz/media/files/05_Polohovaci_systemy_Linearni_osy.pdf
- [19] Ready made lineární osy s ozubeným řemenem. MM spektrum [online]. MM publishing [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ready-made-linearni-osy-s-ozubenym-remenem.html>
- [20] OZUBENÝ ŘEMEN MODEL CRAFT, 380 ZUBŮ, 950 MM. In: Fonetip [online]. Fonetip [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.fonetip.sk/ozubeny-remen-modelcraft-380-zubu-950-mm/dC6249932>
- [21] Lineární osa HM-B. In: Hiwin [online]. HIWIN [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-osy/osy-s-ozubenym-remenem/linearni-osy-hx-b/266_linearni-osa-hm-b
- [22] F-3 Hydrostatic Feed Drive and Assembly Technologies for Ultra Large-Sized Machine Tools: Principle of hydrostatic worm rack. *Toshiba Machine* [online]. TOSHIBA MACHINE CO. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.toshiba-machine.co.jp/en/technology/tech_catalog/f3.html
- [23] Worm Shafts. In: Indiamart [online]. IndiaMART InterMESH [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/worm-shafts-steel-single-thread-right-hand-module-3-to-5-20401591888.html>
- [24] WORM RACK AND PINION. In: *Direct industry* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/licat-srl/product-68451-557403.html>
- [25] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů* [online]. 1. Západočeská univerzita v Plzni, 2012 [cit. 2019-11-25]. ISBN 978-80-261-0126-0. Dostupné z: https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Zaklady_stavby.pdf
- [26] Trapézové šrouby a matice. *Pab* [online]. PaB spol. s r.o. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://www.pab.cz/trapezove-srouby-matice-pdf>
- [27] Pohon pohybovým šroubem a maticí. In: *Apex dynamics czech* [online]. APEX DYNAMICS CZECH [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.apexdynaczech.cz/linearni-jednotky-8-vyhod-ozubeneho-hrebenu-pastorku/>
- [28] Standardní polohovací kuličkové šrouby. *KSK precise motion* [online]. KSK Precise Motion [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://www.ksk-kurim.cz/kulickove-srouby/standardni-polohovaci-ks/>
- [29] Slovníček terminologie lineárních vedení. In: *E-konstrukter* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/slovnicek-terminologie-linearnich-vedeni>
- [30] Common ball screw terms explained. In: *Linear motion tips* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/common-ball-screw-terms-explained/>
- [31] Co jsou a jak fungují kuličkové šrouby. *Technické zajímavosti* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://technicke-zajimavosti.blogspot.com/2014/08/co-jsou-jak-funguji-kulickove-srouby.html>

- [32] Jednoduchá matice přírubová FSC/FSI dle DIN 69051. In: *Hiwin* [online]. HIWIN [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/valcovane-srouby/53_jednoducha-matice-prirubova-fsc-fsi-dle-din-69051
- [33] *Lineární vedení - katalog* [online]. HIWIN [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download>
- [34] *Ball rail systems BSCL* [online]. Bosch Rexroth, spol. s r.o. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.linearni-vedeni.com/data/web/aktualizace-katalogy-2017/kulickove-vedeni/kul-vedeni-rexroth-bscl.pdf>
- [35] LINEÁRNÍ VEDENÍ LINTREK. T.E.A. *Technik s.r.o. Lineární pohony a vedení* [online]. T.E.A. TECHNIK [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/lintrek/>
- [36] Rolnová a rolničková lineární vedení. *Bibus* [online]. BIBUS [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/linearni-technika/rolnova-a-rolnickova-linearni-vedeni/>
- [37] SL2 – Stainless Steel Linear Guide. In: *HepcoMotion - Advanced Linear Solutions* [online]. HepcoMotion [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.hepcotion.com/product/linear-guides/sl2-stainless-steel-linear-guide/>
- [38] KRESS AMB FME 1050-1 - vysokootáčková frézka 1050W. In: CNCshop [online]. CNC shop [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/kress-fme1050-1-vysokootackova-frezka-1050w>
- [39] Nová koncepce tepelného upínání nástrojů. *MM spektrum* [online]. MM publishing [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nova-koncepce-tepelneho-upinani-nastroju.html>
- [40] E341456723270. In: *Seco* [online]. Seco Tools SK [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_02827253
- [41] 31778 - ER16 Collet Nut. In: *Tormach* [online]. Tormach [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.tormach.com/store/index.php?app=ecom&ns=prodshow&ref=31778>
- [42] 2D frézování. *Abetec* [online]. ABE.TEC [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/cs/cnc-frezky/2d-frezovani/>
- [43] Fréza čelní do dřeva, sukovník s SK plátky 40mm. *Priemyselny Dom* [online]. CONTAX [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: https://www.priemyselnydom.sk/extol/freza-celni-do-dreva-sukovnik-s-sk-platky-40mm_g66298.html?gCmp=
- [44] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1. část* [online]. Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [45] Conventional milling and climb milling. In: *Manufacturingguide* [online]. Manufacturing Guide Sweden AB [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/sv/ordlista/motfrasing-och-medfrasing>
- [46] SOUČEK, Jiří. O dřevu: Dřevo - přehled základních vlastností. *Bronteus* [online]. Česká Lípa: Bronteus [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: http://www.bronteus.cz/o_drevu.html
- [47] VINTER, Bohuslav. Teorie obrábění dřeva. *Slideplayer* [online]. SlidePlayer.cz [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2960834/>

- [48] PERŠIN, Michal. Technologie ručního opracování a spojování dřeva. In: *Slideserve* [online]. 2012 [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/petula/technologie-powerpoint-ppt-presentation>
- [49] Parametry krytů vedení obráběcích strojů. *MM spektrum* [online]. MM publishing [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/parametry-krytu-vedeni-obrabecich-stroju.html>
- [50] Mechanizmy pro vázaný pohyb teleskopických krytů. In: *MM spektrum* [online]. MM publishing [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mechanizmy-pro-vazany-pohyb-teleskopickyh-krytu.html>
- [51] Krycie Vaky - spoľahlivá ochrana vášho zariadenia. In: *Krycie vaky* [online]. ALLDONE [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.krycievaky.sk/>
- [52] Energetické reťaze. *Hennlich* [online]. HENNLICH [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.hennlich.sk/produkty/flexibilne-privody-energii-medii-a-dat-energeticke-retaze-51.html>
- [53] Energetické reťaze. *Power belt* [online]. POWER BELT Pohonné mechanizmy [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <http://powerbelt.sk/category/energeticke-retaze>
- [54] Kolibri Cable Energy Chain. In: *Buttkereit* [online]. M.Buttkereit [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://buttkereit.co.uk/products/standard-cable-chain-1>
- [55] Emergency Stop Push Buttons. *RS Components* [online]. RS Components [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/c/automation-control-gear/machine-guarding-safety/emergency-stop-push-buttons/>
- [56] APEM Emergency Button. In: *RS Components* [online]. RS Components [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/emergency-stop-push-buttons/4175401/>
- [57] MGN15 Linear Rail Guide. In: *EBay* [online]. eBay [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/1-Set-15mm-Linear-Guide-MGN15-550mm-linear-rail-MGN15C-Long/163173809076?hash=item25fdeabb4:g:XT0AAOSwDRxbXBAU>
- [58] ContiTech. Continental [online]. Continental [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.conti-professional.com/>
- [59] VANČURA, Tomáš. Návrh nového upínání VBD pro frézovací nástroje na obrábění dřeva [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/100657>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
- [60] Timing Belt Pulley Synchronous Wheel Gear Pitch 5mm. *EBay* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/5M12-60T-Timing-Belt-Pulley-Synchronous-Wheel-Gear-Pitch-5mm-Tooth-Width-16-21mm/264342503984?hash=item3d8c0a8230:m:m-zXOzMxHL6XkSs-_YIMxpg
- [61] Manual Sliding Table L100mm. In: *EBay* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/Manual-Sliding-Table-L100mm-Cross-Linear-Stage-Module-SFU1605-Ballscrew-XYZ-Axis/192177274873?hash=item2cbea87ff9:g:AmwAAOSw5v9dykv2>
- [62] 2.2KW CNC Spindle Motor ER20 Water Cooled 400Hz+VFD Inverter & Bracket Pump/Pipe. In: *EBay* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/2->

2KW-CNC-Spindle-Motor-ER20-Water-Cooled-400Hz-VFD-Inverter-Bracket-Pump-Pipe/163318473169?hash=item26068a21d1:m:mu6KSZ60QXHv4bGiEWcbuJA

[63] CMT Fréza drážkovacia závrtaná 20x20 L70 S=8 HM. Pilanka [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: http://pilanka.sk/index.php?route=product/product&path=3_1775_1776_1783&product_id=362

[64] 80mm Dust Cover Brush For CNC Spindle Motor Milling E2I4. In: EBay [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/80mm-Diameter-Dust-Collector-Dust-Cover-Brush-For-CNC-Spindle-Motor-Milling-E2I4/383581757014?_trkparms=aid%3D1110006%26algo%3DHOMESPLICE.SIM%26ao%3D1%26asc%3D20200520130830%26meid%3D51eb244be48c4616b59b43994a377ab9%26pid%3D101195%26rk%3D2%26rkt%3D12%26mehot%3Dco%26sd%3D293392412065%26itm%3D383581757014%26pmt%3D1%26noa%3D0%26pg%3D2047675%26algv%3DSimplAMLv5PairwiseWebWithBBEV2bDemotion&_trksid=p2047675.c101195.m1851

[65] Cyclone dust separator. In: *Make:Community* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://makezine.com/projects/cyclone-dust-collector/>

[66] Plynová pružina „Click & Go“. Bibus [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/prumyslove-plynove-pruziny/plynova-pruzina-click-go/>

[67] 57HS22 - krokový 2-fázový motor 2,2Nm. *CNCshop* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://cncshop.cz/57hs22-krokovy-2-fazovy-motor-2-2nm>

8 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam skratiek

Symbol	Jednotka	Význam
k_{Ci}	[MPa]	merná rezná sila
F_{Ci}	[N]	rezná sila
A_{Di}	[mm ²]	prierez triesky
a_p	[mm]	šírka záberu hlavného ostria
f_z	[mm]	posuv na zub
$M_{k,v}$	[N · m]	krútiaci moment vretena
P_v	[W]	výkon vretena
n	[ot/min]	otáčky vretena
F_{tan}	[N]	tangenciálna sila od vretena
$d_{fréza}$	[m]	priemer frézy
$K_{\varphi 2 \delta}^1$	[N/mm ²]	jednotkový merný rezný odpor
k_d	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu dreveniny
k_v	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu reznej rýchlosti
k_h	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu hrúbky triesky
k_w	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu vlhkosti
k_ρ	[-]	opravný súčiniteľ vplyvu otupenia
m_y	[kg]	hmotnosť sústavy pohybujúcej sa po priečniku
m_{yi}	[kg]	hmotnosť i -tej súčasti, pohybujúcej sa po priečniku
a_y	[m/s ²]	zrýchlenie vretenníku (v smere osi y)
$F_{dyn,y}$	[N]	dynamická sila (os y)
k_b	[-]	koeficient bezpečnosti
$F_{celk,y}$	[N]	celková sila (os y)
$M_{y,min}$	[N · m]	minimálny krútiaci moment krokového elektromotora (os y)
$d_{rem,y}$	[m]	priemer hnacej remenice (os y)
P	[W]	výkon krokového elektromotora
M_k	[N · m]	krútiaci moment krokového elektromotora
$M_{y,sk}$	[N · m]	skutočný krútiaci moment krokového elektromotora (os y)
n_{max}	[ot/min]	maximálne otáčky krokového elektromotora
k_{pp}	[-]	prevodový pomer planétovej prevodovky

ω_y	[rad/s]	uhlová rýchlosť hnacieho hriadeľa (os y)
$v_{f,y}$	[mm/min]	maximálna posuvová rýchlosť v smere osi y
m_x	[kg]	hmotnosť celého portálu
m_{xj}	[kg]	hmotnosť j -tej súčasti portálu
a_x	[m/s ²]	zrýchlenie portálu (v smere osi x)
$F_{dyn,x}$	[N]	dynamická sila (os x)
$F_{celk,x}$	[N]	celková sila (os x)
$M_{x,min}$	[N · m]	minimálny krútiaci moment krokového elektromotora (os x)
$d_{rem,x2}$	[mm]	priemer remeníc na koncoch hnaného hriadeľa (os x)
$M_{x,sk}$	[N · m]	skutočný krútiaci moment krokového elektromotora (os x)
ω_2	[rad/s]	uhlová rýchlosť hnaného hriadeľa
ω_x	[rad/s]	uhlová rýchlosť hnacieho hriadeľa (os x)
$v_{f,x}$	[mm/min]	maximálna posuvová rýchlosť v smere osi x
$d_{rem,x}$	[mm]	priemer hnacej remenice (os x)
$D_{rem,x}$	[mm]	priemer hnanej remenice (os x)
$M_{k,v,min}$	[N · m]	minimálny krútiaci moment vretena
$n_{v,max}$	[ot/min]	maximálne otáčky vretena
n_{krok}	[-]	počet krokov
L_x	[mm]	dĺžka obrobku
l_p	[mm]	dĺžka prebehu
$v_{f,y,150}$	[mm/min]	posuvová rýchlosť v osi y (pri 150 ot/min)
t_s	[min]	strojný čas frézovania obrobku maximálnych rozmerov
t_y	[min]	čas frézovania jednej šírky obrobku
l_n	[mm]	dĺžka nábehu
L_y	[mm]	šírka obrobku

8.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Rozdelenie frézovacích strojov [2]	17
Obr. 2) CNC Router Raptor Beast 30/15 [3]	17
Obr. 3) Morfológia nosnej sústavy CNC obrábacieho stroja [1]	18
Obr. 4) Odliatok nohy rámu CNC routera [5]	20
Obr. 5) Systém hliníkových profilov firmy Haberkorn [7]	21
Obr. 6) CNC router s rámom z prírodnej žuly [8]	22
Obr. 7) Krokový motor ST11018-Nema 42 [14]	24
Obr. 8) Servomotor IndraDyn MS2N [15]	24
Obr. 9) Ozubený remeň a remenica Modelcraft [20]	25
Obr. 10) Lineárna os HIWIN HM-B [21]	25
Obr. 11) Pohon pastorkom a hrebeňom – Master Slave [1]	26

Obr. 12) Šnek Maedler [23]	26
Obr. 13) Šnekový hrebeň s olejovými kapsami [24].....	26
Obr. 14) Trapézová skrutka a matica [27]	27
Obr. 15) Kruhový závit [29].....	27
Obr. 16) Gotický závit [29].....	27
Obr. 17) Interný prevod s prevádzacím lôžkom [30].....	28
Obr. 18) Externý prevod [30].....	28
Obr. 19) Guličková skrutka s prírubovou maticou výrobcu HIWIN [32].....	28
Obr. 20) Časti profilového valivého vedenia [34]	30
Obr. 21) Rolníčkové vedenie s obojstrannou koľajnicou [37].....	31
Obr. 22) Centrické a excentrické rolny s dvoma jednostrannými koľajnicami [35]...	31
Obr. 23) Vreteno KRESS AMB FME 1050-1 [38].....	32
Obr. 24) Klieštinový upínač SECO C10 [40]	33
Obr. 25) Upínacia matica s klieštinou [41]	33
Obr. 26) Fréza do dreva, sukovník s SK plátkami [43]	34
Obr. 27) Súbežné, protibežné a kombinované frézovanie [45].....	35
Obr. 28) Hlavné smery rezania dreva [48].....	35
Obr. 29) Teleskopický kryt s nožnicovým mechanizmom [50].....	37
Obr. 30) Krycí vak [51].....	37
Obr. 31) Energetická reťaz Kolibri [54].....	37
Obr. 32) Energetická reťaz pre 2D a 3D pohyby [52]	37
Obr. 33) Núdzové tlačidlo Twist release [56].....	38
Obr. 34) Jednoduchá schéma I. variantu	39
Obr. 35) Jednoduchá schéma II. variantu.....	40
Obr. 36) Jednoduchá schéma III. variantu	40
Obr. 37) 3D model konštrukčného návrhu.....	44
Obr. 38) Profilové valivé vedenie MGN 15C [57]	45
Obr. 39) Mechanizmus na šponovanie remeňov (os x).....	45
Obr. 40) Mechanizmus na šponovanie remeňa (os y).....	46
Obr. 41) Pohon posuvovej sústavy v smere osi y	49
Obr. 42) Náhon posuvovej sústavy v smere osi x	51
Obr. 43) Manuálne polohovací držiak (os z) [61].....	52
Obr. 44) 2,2 kW vreteno s príslušenstvom [62]	53
Obr. 45) CMT Fréza drážkovacia 20x20 L70 S=8 HM [63]	54
Obr. 46) Návrh držiakov energetickej reťaze.....	56
Obr. 47) Štetinový kryt vretena s otvorom na odsávanie [64]	57
Obr. 48) Princíp systému odsávania pilín [65].....	57
Obr. 49) Pohľad zo strany výsuvného krytu	57

8.3 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1) Výber koncepčného variantu.....	42
--------------------------------------------	----

9 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Tabuľky pre výpočet mernej reznej sily dreveniny [59].....	75
Príloha 2 – Momentová charakteristika krokového elektromotora 57HS22 2,2Nm [67].....	77
Príloha 3 – VÝKRES ZOSTAVY Frézka P3-19/20-A0	priložené externe
Príloha 4 – VÝKRES ZVARKU Úchyt – vretenník P4-19/20-A2	priložené externe
Príloha 5 – VÝKRES SÚČASTI Doska – vretenník P5-19/20-A4	priložené externe
Príloha 6 – VÝKRES SÚČASTI Doska – motor P6-19/20-A4	priložené externe
Príloha 7 – VÝKRES SÚČASTI Bočnica P7-19/20-A4	priložené externe

PRÍLOHY

Príloha 1 – Tabuľky pre výpočet mernej reznej sily dreveny [59]

Tab 1) Jednotkový merný rezný odpor - $K_{\varphi_2 \delta}^1$ [N/mm^2]

$\varphi_1=0^\circ$ $\varphi_2=0^\circ$ $\varphi_3=90^\circ$		Hodnoty $K_{\varphi_2 \delta}^1$ [Nmm^{-2}] BOROVICE Model řezání: tangenciálně - čelní									\perp $\varphi_1=90^\circ$ $\varphi_2=90^\circ$ $\varphi_3=90^\circ$
		Úhel řezu δ [$^\circ$]									
Úhel φ_2 [$^\circ$]	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
0	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0	5,4	5,7	6,0	
5	4,0	4,2	4,4	4,6	5,0	5,4	5,8	6,5	7,5	8,0	
10	4,7	5,3	6,0	6,8	7,5	8,2	8,8	9,5	10,5	11,3	
15	5,7	6,7	7,5	8,4	9,1	10,2	11,2	12,0	13,3	14,8	
20	6,5	7,6	8,8	10,2	11,3	12,5	14,0	15,5	16,8	18,3	
25	7,6	8,5	10,8	12,0	13,7	15,2	16,8	18,3	20,0	22,0	
30	8,7	10,7	12,3	13,8	15,8	17,5	19,2	21,2	23,5	26,0	
35	10,0	12,0	14,0	16,2	18,2	20,5	22,5	25,0	27,5	30,0	
40	11,0	13,0	15,7	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,5	33,3	
45	11,8	14,5	16,8	19,2	21,8	24,5	27,5	30,0	33,5	36,3	
50	12,6	16,0	18,0	20,0	23,8	26,3	30,0	32,3	36,7	39,5	
55	13,6	16,5	19,2	22,5	25,5	28,7	32,0	35,0	39,0	42,5	
60	14,5	17,5	20,5	23,5	26,6	30,0	33,7	37,0	41,2	45,5	
65	15,4	18,5	21,8	25,0	28,0	31,3	35,5	39,0	43,0	47,5	
70	16,0	19,0	22,5	26,0	29,0	32,7	36,8	40,5	45,0	49,5	
75	16,5	19,5	23,0	26,5	30,0	34,0	37,5	42,0	46,8	51,2	
80	17,0	20,0	23,5	27,0	30,7	35,0	38,5	43,0	47,5	52,3	
90	17,5	21,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	44,5	48,5	53,0	

Tab 2) Opravný súčiniteľ vplyvu dreveny - k_d [-]

Dřevina	k_d	Dřevina	k_d
Borovice	1,00	Modřín	1,10
Lipa	0,80	Bříza	1,25
Smrk	0,90	Buk	1,40
Osika	0,95	Dub	1,55
Jedle	0,95	Habr	1,60
Olše	1,05	Jasan	1,75

Tab 3) Opravný súčiniteľ vplyvu reznej rýchlosti - k_v [-]

v [ms ⁻¹]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_v	1,00	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,20	1,25	1,35	1,40	1,45	1,50

Tab 4) Opravný súčiniteľ vplyvu hrúbky triesky - k_h [-]

Dřevina	Tloušťka třísky h [mm]													
	1,00	0,70	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
Hodnoty opravného součinitele k_h														
měkká	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,7	1,9	2,2	2,6	2,9	3,1	3,3	3,6	4,2
tvrdá	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,7	2,0	2,5	3,0	3,5	3,9	4,4	5,1	7,0

Tab 5) Opravný súčiniteľ vplyvu vlhkosti - k_w [-]

Vlhkostní stav dřeva	vlhkost w [%]	Součinitel k_w	
		volné řezání	řezání ve spáře
Velmi suché dřevo	5 - 8	1,10	0,90
Suché	10-15	1,00	1,00
Na vzduchu vyschnuté	20-30	0,95	1,05
Čerstvě poražené	50-70	0,90	1,10
Plavené	nad 70	0,80	1,12

Tab 6) Opravný súčiniteľ vplyvu otupenia - k_p [-]

Čas řezání T[h ⁻¹]	Součinitel k_p							
	Řezání				Frézování	Soustružení a vrtání	Dlabání řetězovou dlabáčkou	
	rámová pila	pásová pila	kotoučová - podélně	kotoučová - příčně			při osovém posuvu	při bočním posuvu
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1,17	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,24	1,30
2	1,32	1,40	1,50	1,15	1,30	1,30	1,40	1,50
3	1,42	1,60	1,80	1,20	1,42	1,35	1,55	1,73
4	1,50	1,80	2,20	1,30	1,50	1,40	1,65	1,88
5	-	2,00	2,50	1,40	1,57	1,45	1,78	2,00
6	-	2,20	2,80	1,50	1,60	1,50	1,86	2,10

Príloha 2 – Momentová charakteristika krokového elektromotora 57HS22 2,2Nm [67]

