



Vyšší odborná škola, Střední průmyslová škola a Obchodní akademie,
Čáslav, Přemysla Otakara II. 938

ROČNÍKOVÁ PRÁCE

Vytvoření základní konstrukce robotického pavouka včetně dokumentace a vizualizace.

Čestné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem svou ročníkovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze práce jsou shodné.

V , dne

.....
podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Františkovi Obešlu a oponentovi práce Ing. Janu Novákovi. Dále Mgr. Karlu Kvapilovi, Bc. Matěji Reichmannovi, Ing. Karlu Mlčochovi, Ing. Vlastimilovi Andrlemu a v neposlední řadě i třídnímu učiteli Ing. Davidu Němcovi MBA, a zejména svým rodičům za obětavou pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytovali.

Anotace

Cílem této práce bylo vytvořit konstrukci robotického pavouka. V průběhu práce probíhal výpočet a výběr materiálu. Práce se dále zaobírá stavbou CNC stroje, svařováním hliníku a skládáním pavouka samotného.

Klíčová slova

Robotika, pavouk, konstrukce, hliník, CNC, programování, sváření

Annotation

The main focus of this coursework was to create body of robotic spider. There was material selection and calculation. Next focus was building of the CNC machine, aluminium welding and assembly of the spider itself.

Keywords

Robotic spider, construction, aluminium, CNC, programming, welding

Obsah

1	Úvod	10
2	Prvotní konstrukce.....	11
2.1	Programování pavouka	11
2.2	Tření.....	11
2.3	Výpočty.....	11
3	Tvorba konstrukce	12
3.1	3D tisk.....	12
3.2	Konstrukce z hliníkové slitiny	12
3.2.1	Další materiály	14
4	CNC	14
4.1	Posuvný vozík na CNC frézku.....	16
4.2	Elektronika.....	16
4.2.1	Nastavení elektroniky	17
4.3	Vřeteno.....	19
4.3.1	Kably k vřetenu.....	21
4.3.2	Změna polohy řídící části CNC stroje	22
4.4	Motory	24
4.4.1	Uložení motoru	25
4.4.2	Připevnění uložení motoru k nosné desce CNC stroje	25
4.4.3	Spojení závitové tyče a motoru.....	26
4.5	Nástroje pro obrábění.....	27
4.6	Testování a kalibrace stroje	28
4.6.1	Mazaní	28
5	Ovládací CNC SW	29
5.1	Mach3	29

5.1.1	Step per	30
5.1.2	Rychlosť a zrychlení.....	31
5.1.3	Step a Dir puls.....	31
5.1.4	Problematika komunikace nových OS.....	31
5.2	Step-Four	32
6	CAM	32
6.1	Inventor CAM.....	32
6.2	LazyCam.....	33
6.3	Estlcam 11.....	33
6.3.1	První frézování.....	34
7	Chyby CNC frézky	34
7.1	Špatné rozměry	34
7.2	Vylepšení motoru.....	35
7.3	Nekolmá podložka	35
7.4	Kontrola dotáhnutí šroubů	35
7.5	Free verze Mach3.....	35
8	Sváření	36
8.1	Problematika sváření hliníku	36
8.2	Metoda TIG.....	36
8.3	Moje vybavení	37
8.4	Nastavení svářečky	37
8.4.1	DC/AC a čistění	37
8.4.2	Frekvence.....	37
8.4.3	Proudys	38
8.4.4	Zapojení pólu svářečky	38
8.4.5	Ostatní nastavení.....	38

8.5	Elektrody.....	38
8.6	Čistota a výběr materiálu	39
8.7	Moje zkušenosti se svařováním hliníku a metody TIG	39
8.8	Postup čištění a příprava na svařování.....	40
8.8.1	Chemické čištění.....	40
8.8.2	Mechanické čištění	40
8.8.3	Předehřívání	41
8.9	Potřebná ochrana.....	41
8.10	Kontrola svaru.....	41
9	Tvorba závitů.....	42
10	Komponenty a realizace pavouka	42
10.1	Servomotory.....	42
10.2	Základní deska	43
10.3	Realizace	43
11	Tvorba technické dokumentace	44
11.1	Sestava	44
11.2	Proč jsem si vybral bezvýkresovou dokumentaci	44
11.3	Princip bezvýkresové dokumentace.....	45
12	Závěr	46
13	Seznam použité literatury	47
14	Seznam grafických objektů.....	49
15	Seznam tabulek	51
16	Seznam rovnic.....	52
17	Seznam zkratek	53
18	Seznam příloh	54
18.1	Technická dokumentace	54

18.2	G-kódy	54
18.3	Textové soubory a vizualizace.....	55

1 Úvod

V dřívějších dobách, kdy jsem si hrál s RC modely, mě mrzela jedna věc a to, že ke každému modelu byl potřeba přesný ovladač. Dražší modely už měly univerzální, ale ty jsem neměl. Občas ani nebyla možnost, v případě ztráty nebo rozbití ovladače, komunikační jednotku vyměnit.

Největším paradoxem je, že dnes všichni disponujeme univerzálními ovladači, se kterými se lze připojit k internetu. Ano – telefon, tablet, nebo i počítač. Tak proč nevyužít tyto technologie?

S tímto mě vždy fascinovaly neobvyklé platformy robotů. Kreativita, projekt, mechanika a vše, co za těmito speciálními projekty stálo. Z toho důvodu jsem zvolil platformu pavouka. Vybral jsem si pavouka se čtyřma nohami, protože má menší počet servomotorů a baterie bude mít delší výdrž. Nadále jsem měl myšlenku, zda se bude můj „pavouk“ pohybovat jako pavouk (tělo je při pohybu ve stejně výšce), nebo jako klasické čtyřnohé zvíře, co svým tělem kolibá.

Celý projekt jsem pojmenoval pod názvem Rapouk. Název vznikl spojením slov robot a pavouk.

2 Prvotní konstrukce

Tento projekt jsem chtěl vytvořit již před lety. Z toho důvodu už jsem měl vytisklé 3D modely z internetu. Bohužel už nejsem schopen najít zdroj, odkud jsem v té době čerpal. V úložném boxu s různými 3D modely jsem našel tyto vytisklé součásti a použil je pro prvotní seznámení s pohybem.

2.1 Programování pavouka

První nápad mě inspiroval v přírodě. Zanalyzovat videa pavoučích pohybů a vytvořit stejné pohybové algoritmy, které nám jsou dostupné ve volné přírodě. Bohužel v přírodě neexistuje žádný pavouk se čtyřma nohami.

Vycházel jsem z videí různých pohybů těchto pavouků na internetu. Následně jsem si vytvořil vlastní algoritmy pohybů, se kterými budu vylepšovat finální model. Nechtěl jsem nejdříve modelovat a následně programovat, protože jsem nevěděl, na které problémy narazím. Tento krok mi ušetřil mnoho času a pomohl mi s vylepšením budoucí konstrukce (viz Trení). (1) (2) (3) (4) (5)

2.2 Trení

Při prvním vytváření algoritmů jsem narazil na problém se třením. Na hladkém stole, na kterém pracuji, konstrukce vysloveně klouzala. Nedokázala se hýbat, protože měla nízkou hmotnost a nevytvořilo se dostatečné tření, aby se rozpoxybovala. Při tomto testování byla konstrukce z ABS plastu.

2.3 Výpočty

V rámci této práce jsem prováděl výpočet zatížení na ohyb v MS Excel. Počítal jsem nestandardním způsobem, kdy počítám s redukovaným maximálním napětím. To znamená, že využívám určité procento maximálního napětí, čímž dochází k předimenzování. Vyšlo mi, že při 10 % maximálního napětí na ohyb servomotor udrží 12,5 N neboli 1,25 kg (viz Příloha EE). Využíval jsem data z datového listu od servomotoru SG90 9 g, který má vytvořená převodová kola z nylonu. (6) (7)

3 Tvorba konstrukce

3.1 3D tisk

Při vytváření modelů jsem se inspiroval různými konstrukcemi z internetu. Po analýze nápadů a provedení od ostatních tvůrců jsem začal modelovat svého pavouka. (1) (2) (3) (4) (5)

Modely, které jsem vymodeloval s přesným rozměrem, jsem vytiskl na 3D tiskárně a zkontoval. Zjistil jsem, že z důvodu tepelné roztažnosti, jsou rozměry jiné. U menších rozměrů (do 5 mm) byl rozdíl 0,3 mm. U větších, číselně (od 20 mm) byl rozdíl okolo 0,7 mm. Model jsem v programu Autodesk Inventor zvětšil o rozdíl, aby vytisknutá část pasovala přesně do uložení.

Po konzultaci s vedoucím práce jsem zjistil, že se model nerozšiřuje v modelovacím programu, ale ve sliceru před tiskem. Hodnoty jsem vrátil na původní a vytiskl standartním způsobem.



Obrázek 1 - 3D modely konstrukce

3.2 Konstrukce z hliníkové slitiny

Plastové konstrukce jsem tvořil již dříve. Mým hlavním záměrem bylo tento projekt vylepšit a obohatit o něco nového. Zalíbila se mi myšlenka použití kovů. Vybral jsem si hliníkovou slitinu – je levná, lehká, dostupná, však složitá na obrábění, pokud nebude chlazena správnou kapalinou.

Původně jsem chtěl odlévat a použít hliníkové plechovky od sycených nápojů. Po zjištění komplikovanosti technické dokumentace jsem se rozhodl obrábět z normalizovaného polotovaru. Zbytečně bych ztrácel čas, protože samotné odlití by nebylo tak časově náročné jako tvorba technické dokumentace odlitků.

V domácím skladu jsem našel ploché profily o tloušťce 10 mm, 5 mm a 3 mm. Přesně ty, které jsem potřeboval. Tímto jsem mohl začít obrábět. Jedná se o materiál ENAW-6060 T6 (AlMgSi0,5). Zmíněný materiál má průměrné technologické vlastnosti a lze ho použít téměř při jakémkoliv zpracování. (8)



Obrázek 2 – Polotovary z hliníkové slitiny

Nejdříve jsem si vytvořil rýsovací jehlu, protože v dílně nebyla žádná k nalezení. Vytvořil jsem ji z kulatého pilníku. Následně jsem nalepil výkres na kovový profil pomocí klasického lepidla Herkules a začal vše obkreslovat (viz Obrázek 3 - Příprava ručního obrábění, strana 14).

Připravil jsem si přímočarou pilu s plátkem určeným na hliník a jeho slitiny. Jako první jsem začal obrábět základní rám pavouka. Ten je určen pro montáž motherboardu, akumulátoru a dalších potřebných součástí. Strávil jsem nad tím mnoho času s relativně nepřesným výsledkem. Proto nastal čas nasadit stroje!



Obrázek 3 - Příprava ručního obrábění

3.2.1 Další materiály

V rámci správné analýzy jsem se rozhodoval i nad ostatními materiály.

3.2.1.1 Ocel

Kvůli dobrému obrábění jsem mohl využít ocel. Přesněji pásové nebo plechové polotovary. Jedna z největších záporných vlastností ocelí je koroze. Proto jsem nad tímto materiálem dále neuvažoval. Sice všechny faktory splňuje, ale zde musím použít materiál, který nekoroduje.

3.2.1.2 Nerezová ocel

Ocel, která nekoroduje zní jako ideální materiál. I přes vynikající vlastnosti jsem si nerezovou ocel nevybral, protože bych ji musel nakoupit. Zatímco vybrané hliníkové polotovary jsem měl ve skladu s plným rozsahem použití a rozměrů.

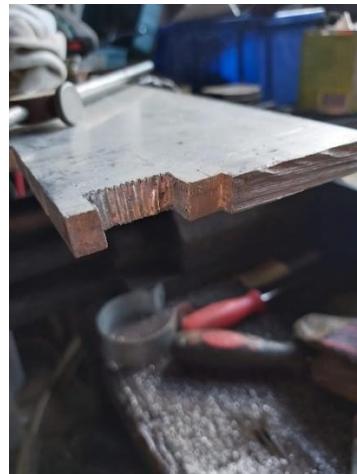
3.2.1.3 Titanzinek

Titanzinek byl pro mě absolutně neznámý materiál. První, co jsem uviděl byla cena, která byla hodně vysoká. To by mi tento projekt dost prodražilo, proto jsem tento materiál dále ani nezkoumal.

4 CNC

Přiznám se, jsem líný člověk, který si chce vše zjednodušit. Proto jsem začal s opravou staré CNC frézky, která fungovala ještě na MS-DOS. To jsou doby Windows 95, 98, až

XP. Takže tato frézka je starší, jak většina aktuálních studentů na naší škole (k roku 2023/24).



Obrázek 4 - Ruční obrábění

Začal jsem vyčistěním pomocí stlačeného vzduchu z kompresoru, následně pomocí navlhčeného kusu látky. Závity s kolejnicemi, na kterých se posouvá fréza, jsem pročistil a namazal pomocí přípravku WD40 a jeho náhražky od W5. Stroj jsem vyčistil pomocí čističe na brzdy. Též jsem musel rozebrat a očistit krokové motory, protože rotor byl přirezlý ke statoru, k čemuž jsem použil brusný papír o hrubosti 240. Následně jsem vyměnil sloupečky, na kterých je upevněn posuvný motor, ale chyběla jedna věc – u CNC stroje byla pouze jedna zubová spojka, a proto jsem je musel vyrobit. Celkově jsem potřeboval čtyři spojky. Použil jsem opět program Autodesk Inventor. Spojky vymodeloval, vytiskl na 3D tiskárně a pilníkem poupravil, aby fungovaly jako originální. Ano, mohl jsem zvolit i jiné způsoby, jsem lenošná osoba, a proto jsem nechal výrobu na dalším CNC stroji.



Obrázek 5 - Nálezový stav CNC frézky

4.1 Posuvný vozík na CNC frézku

Celý stroj jsem položil na konstrukci s kolečky, která mi tvořila velice dobrý stůl. Celou CNC frézku jsem měl v perfektní výšce na čistění a operace. Na spodek konstrukce jsem provizorně vložil sololitovou desku, abych si mohl odkládat věci.

Díky tomuto vozíku jsem se mohl s celým strojem pohybovat po dílně prakticky kamkoliv. Též jsem ocenil kolečko se zašlapávací brzdou, aby se stroj nemohl pohybovat.



Obrázek 6 – Provizorně vložená sololitová deska

4.2 Elektronika

Původní elektronika byla v plastové krabici, která v sobě měla zdroj, připojení pomocí LPT a připojení pro krokové motory pomocí sériového portu. Na neštěstí jsem nebyl schopen najít vhodné nastavení, a ani se mi ho nepodařilo vytvořit. Čekala mě výměna elektroniky. Jako řadič jsem použil čtyřosý řadič TB6560, jenž jsem připojil k 12 V zdroji, který dokázal pohánět proudem stroj až 5 A. Celkově zdroj dokázal produkovat 60 W elektrické energie. Ke zdroji jsem připojil také připojovací šnúru do zásuvky na 230 V.

Po hodinách zkoušení jsem narazil na stejný problém. Motory vydávaly zvuk, však nehýbaly se. Hledal jsem a zkoušel různé možnosti nastavení, ale nic se mi nepodařilo zprovoznit. Takže jsem vyzkoušel ostatní desky s označením TB6560. Mnoho jich nefungovalo, ale pětiosý řadič začal fungovat. Dokonce jeden řadič shořel.

Vše jsem zapojil, připojil původní ruční ovládání a vše začalo fungovat. Vyzkoušel všechny osy a nastavil motory na řadiči. Ještě jednou pročistil všechny kolejnice a matice, které byly znečištěné od dřívějšího používání.



Obrázek 7 – Ilustrační fotka ovládací desky a zdroje

4.2.1 Nastavení elektroniky

K mé ovládací desce naštěstí existoval datový list. Tím jsem zjistil nastavení daných spínačů. V komunitě lidí, kteří se věnují domácím CNC strojům je tato elektronika velice oblíbená. S hledáním dodatečných informací jsem neměl problém. Především jsem hledal v manuálu na komunitních stránkách. (9)

Celkově pro jeden krokový motor je jeden DIP spínač se šesti pozicemi.

4.2.1.1 Nastavení proudu

Prvními dvěma pozicemi se nastavuje maximální proud pro jednotlivý výstup motoru ovládací desky. Toto nastavení jsem nastavoval dle zahřívání a výkonu krokového motoru. Původní motory neměly dostatečný výkon. Při otočení se velice zahřívaly. Přesně toto nesmí nastat.

Pozice 1	Pozice 2	Maximální proud
Zapnuto	Zapnuto	100 %
Zapnuto	Vypnuto	75 %
Vypnuto	Zapnuto	50 %
Vypnuto	Vypnuto	25 %

Tabulka 1 - Nastavení proudu (9)

Se silnějšími motory jsem využíval 75 % maximálního proudu.

4.2.1.2 Nastavení mikrokrokování

Pátou a šestou pozicí se nastavuje rozložení kroku na více menších kroků, tzv. mikrokroků.

Pozice 5	Pozice 6	Rozdělení kroku
Zapnuto	Zapnuto	1
Zapnuto	Vypnuto	$\frac{1}{2}$
Vypnuto	Zapnuto	$\frac{1}{8}$
Vypnuto	Vypnuto	$\frac{1}{16}$

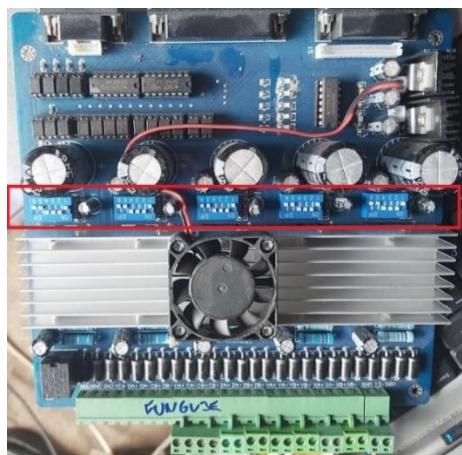
Tabulka 2 - Nastavení mikrokrokování (9)

4.2.1.3 Nastavení vybíjení

Toto nastavení jsem moc nenastavoval a nechal na základní pozici. Ovládá se třetí a čtvrtou pozicí DIP spínače.

Pozice 3	Pozice 4	Mód
Zapnuto	Zapnuto	Rychlé
Zapnuto	Vypnuto	25 %
Vypnuto	Zapnuto	50 %
Vypnuto	Vypnuto	Pomalé

Tabulka 3 - Nastavení vybíjení (9)



Obrázek 8 - Nastavení ovládací desky

4.3 Vřeteno

Originální vřeteno jsem na stroji neměl. Použil jsem tedy jiné vřeteno na 48 V. Dokonce k němu bylo i přesné uložení pro tento motor.

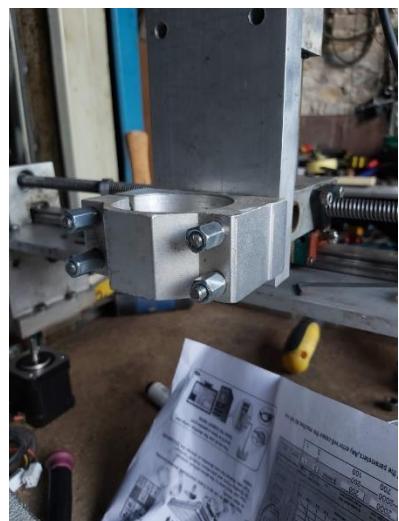
Původní uložení na frézce mělo menší rozteč děr, takže bylo potřeba vyvrtat nové díry. Z důvodu nedostatku místa ze zadní části, kde byl hlavní nosník osy Y, jsem musel vytvořit závity M6. Do těchto závitů se zašroubovala závitová tyč, která sloužila stejně jako svorník. Jednalo se o nejjednodušší řešení, protože bych musel frézovat otvory pro uložení hlavy šroubu s vnitřním šestihranem.

U oceli by to nebyla veliká problematika, ale u hliníkových profilů jsem, z důvodu nízkých zkušeností, použil tento postup. Dodnes ani nevím, zda ve výbavě mám záhlubník pro vytvoření otvorů pro hlavu šroubu.



Obrázek 9 - Závitníky

Závitové tyče jsem zlepil pomocí přípravku Loctite. Na závitové tyče jsem vložil uložení vřetena, které jsem utáhnul kuželovými maticemi. Tyto matice mi vyrobil otec. Do sklíčidel vrtačky jsme uchytily závitovou tyč, na kterou jsme našroubovali dlouhou matici. Matice byla zbroušena na kotoučové stolní brusce. Tím jsme vytvořili kuželovou charakteristiku.



Obrázek 10 - Uložení vřetena

Kuželovitost jsme využili z důvodu přesného uložení a vycentrování. Díky tomu matice držely uložení vřetena rovnoměrně.



Obrázek 11 - Výroba kuželové maticice

Následně jsem vše připravil a přišrouboval na stroj.



Obrázek 12 - Vřeteno

4.3.1 Kabely k vřetenu

O vřetenu samotném nemám moc informací a špatně se hledají. Neznám ani maximální proud, a proto musím improvizovat. Ve skladu jsem našel rozebraný podlahový mycí stroj, který fungoval na akumulátor. Využil jsem silné kabely, které byly dlouhé. Na jeden konec kabelu jsem připojil konektor pro připojení motoru. Konektor zaletoval a ochránil smršťující bužírkou vůči zkratu.

Při zkompletování kabelů jsem použil další zdroj na 48 V, ke kterému jsem připojil přívodní šnúru s ochranou. Ještě jsem použil model ochranné krytky, kterou jsem stáhl z internetu a vytiskl na 3D tiskárně. (10) Zabraňuje dotyku s 230 V. Teoreticky by zde

být nemusela, avšak z vyššího napětí jak 50 V mám obavy, a proto z důvodu bezpečnosti tuto krytku sem přidávám.



Obrázek 13 - Krytka zdroje

Bohužel při zkoušce pohybu s osami jsem zjistil, že kabely jsou, i přes jejich délku, moc krátké. Měl jsem dvě možnosti. Najít, nebo kupit jiné, anebo zmenšit vzdálenost mezi zdroji a krokovými motory s vretenem. Nejrychlejší řešením bylo zmenšení vzdálenosti.



Obrázek 14 - Krytka upevněna na zdroji

4.3.2 Změna polohy řídící části CNC stroje

Potřeboval jsem celou řídící část posunout co nejvýše. Řídící částí míním tu část, která měla sloužit pro odkládání náradí (viz Obrázek 6 – Provizorně vložená sololitová deska, strana 16). Změřil jsem si výšku zdroje, která byla 50 mm. Proto jsem zvolil jako dostatečnou mezeru 80 mm.

Mezi zbytky materiálu jsem našel L profily s podélnými dírami. Délkově měly přesah necelých 40 mm. Díry a délka profilu mi přesně vyhovoovaly.

Do konstrukce s kolečky jsem vyvrtal díry o průměru 4,8 mm. Předvrtal jsem díru o průměru 2,2 mm a následně průměr zvětšoval. Vše jsem vrtal akumulátorovou vrtačkou

od firmy Metabo. Vzdálenost od horního nosníku byla 100 mm. Profily jsem přinýtoval pomocí krátkých nýtů s širokou hlavou a použil ruční nýtovací kleště. Ruční kleště mi daly zabrat, protože drtivou většinu času jsem nýtoval s pneumatickými nýtovacími kleštěmi.



Obrázek 15 - Přinýtovaný L profil

Nejdříve jsem pracoval se špatnými nýtovačkami, které byly vyrobeny na kratší hřebíky, a proto se mi zasekávaly a nenýtovaly. Po výměně jsem mohl v nýtování pokračovat.

Bohužel po nýtování se mi hřebíky přetrhly ve špatném místě. Proto jsem vzal silné a přepákované štípací kleště, kterými jsem tuto nedokonalost vyřešil.

Následně jsem vložil původní sololitovou desku do L profilů. Ještě jsem použil vodováhu, zda profily nejsou přinýtovaný špatně, popřípadě křivě. Vodováha mi ukázala perfektní vodorovnost.



Obrázek 16 - Vodováha

Sololitovou desku jsem ještě připevnil ke konstrukci pomocí stahovacích pásků. Nejdříve jsem vyvrtal díry a následně spojil.

Vše z řídící části jsem rozebral a složil zpět, aby se mi zbytečně nekřížily kabely mezi sebou. Jako poslední krok jsem kabely seskládal a spojil opět stahovacím páskem ke konstrukci.



Obrázek 17 - Osa Y

4.4 Motory

Originálně na této frézce byly použity krokové motory Microcom SX17-0804. Na Ose Y a Z fungovaly dobře, na osu X již nestačily.

Proto bylo potřeba vylepšení s výkonnějšími motory. Použil jsem LDO-42STH47-1684AS, který disponuje dvakrát větší cívkom.

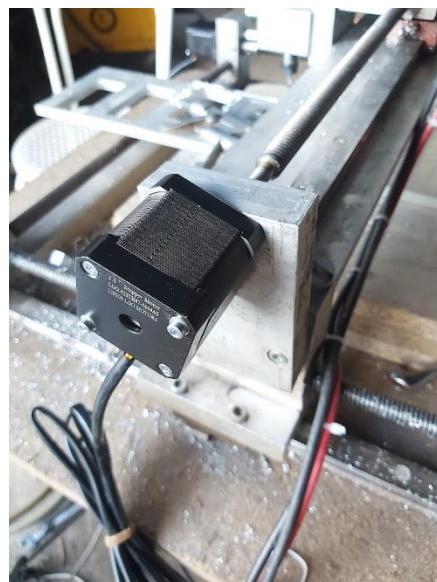


Obrázek 18 - Krokové motory

4.4.1 Uložení motoru

S větším motorem nabývá i samotná váha. Původní uložení, které bylo vytvořeno z distančních sloupků, by motor neudrželo. Distanční sloupečky jsem odmontoval a využil vytvořených závitů ve stavební kostce, kde byl původní motor. Tyto motory měly stejnou rozteč šroubů, takže zde nebyl žádný problém k vytvoření tohoto uložení.

S tímto uložením přišly první výdaje. Ve skladu jsem neměl tak dlouhé šrouby, které bych mohl použít na uložení motoru. Proto jsem si nechal objednat šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M3-60 DIN 912 ZB 8.8, které jsem následně zkrátil na 55 mm.



Obrázek 19 - Krokový motor na ose Y

Při skládání jsem pod hlavu šroubu použil podložku a vše sešrouboval k sobě.

4.4.2 Připevnění uložení motoru k nosné desce CNC stroje

Připevnit uložení motoru bylo poměrně obtížné. Nosná deska je z dřevotřísky. Jelikož o stroj nebylo staráno a bylo ve vlhkém prostředí, tak došlo k její deformaci. Naštěstí se nejedná o velké zkroucení, však o ztrátu pevnosti.

Při připevňování deska nedokázala udržet tlak hlavy šroubu. Pod tlakem hlavy šroubu se začala drolit a ztrácat pevnost. Z tohoto důvodu jsem použil podložky o velkém vnějším průměru, abych rozložil tlak při utahování. Tím by hlava šroubu nevytvářela deformace. Podložky jsem použil M8/9x28-3 mm DIN 440R A2.

Musel jsem vyměnit i samotné šrouby. Původní konstrukce počítala s uložením hlavy šroubu v nosné desce. Toto uložení jsem nemohl použít. S použitými podložkami šrouby byly moc krátké. Vyměnil jsem je za delší se stejným průměrem 8 mm neznámé normy. Celková cena spojovacího materiálu byla 220 Kč včetně DPH.

4.4.3 Spojení závitové tyče a motoru

Jeden z mála rozdílů těchto krokových motorů byl průměr hnací hřídele, která z motoru vycházela. Rozdíl byl u původních 5 mm a nových 6,3 mm. Původní spojení hřidelí bylo pomocí axiální spojky. Neměl jsem žádné spojky, které by se daly použít. Mohl jsem tuto spojku koupit, avšak cena těchto spojek, i na východních e-shopech, je vysoká.

S touto spojkou mi pomohl otec. Využili jsme kulatou tyč o průměru 23 mm neznámé oceli. Tyč jsme uřízli na délku 30 mm a na soustruhu provrtali vrtákem o průměru 6,3 mm a z opačné strany o průměru 8 mm. Jako pojistné šrouby jsme použili stavěcí šrouby s vnitřním šestihranem o průměru 5 mm a stoupáním 0,8 mm.



Obrázek 20 - Soustružení

Spojky jsme nainstalovali na stroj a svoji funkci plnily stoprocentně. Nejdříve jsem se obával špatného vyvážení nebo vyvrtání spojky. Kdyby spojení nebylo v ose, mohlo by dojít ke špatnému posuvu stroje.

Tímto bodem byla HW část CNC stroje hotová.



Obrázek 21 - Spojka na ose X

4.5 Nástroje pro obrábění

Fréz jsem za život měl v rukách poměrně málo, natož na hliníkové slitiny. Drtivá většina těchto fréz má průměr okolo 2 mm. Tento průměr je dost malý a to nepočítám, že toto jsou mé první zkušenosti s CNC frézkou. Bohužel i průměr sklíčidla je malý a to pouze 3,125 mm (3 a $\frac{1}{8}$ mm).

Jsem začátečník a v budoucnu nepřepokládám, že budu denně obrábět pomocí fréz. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl nakoupit levné frézy. Objednal jsem je z čínského webu www.aliexpress.com. Celkově pět fréz na hliník o zmíněném průměru.



Obrázek 22 - Fréza o průměru 3,175 mm

Cena těchto fréz byla 16,7€ (necelých 400 Kč) včetně dopravy a DPH.

4.6 Testování a kalibrace stroje

Po složení CNC stroje nezbývá nic jiného než testovat. Tato část je důležitá kvůli samotnému chodu stroje. Při testování jsem zpozoroval, že se stroj lehce zasekává. Především na ose X, kde jsou uloženy dva motory. Snažil jsem se tento problém vyřešit zvýšením maximálního proudu. Tímto krokem motory byly hlasitější a vytvářely více tepla. Proto jsem nastavení vrátil zpět na 50% maxima.



Obrázek 23 - Finální CNC frézka

4.6.1 Mazaní

Jedno z dalších řešení nízkého výkonu motorů je mazání. Mazáním lze vytvořit na film, kterým lze docílit snížení třecí síly na povrchu namazaných částí. Tímto jevem získáme nižší energetickou náročnost.

K vyčištění jsem používal přípravky WD40 a přípravek na mazání od W5. Nevýhoda těchto přípravků je v odpařování. Proto jsem pro dlouhodobé mazání použil grafitovou vazelinu. Ta se používá prakticky kdekoliv. Osobně jsem se setkal i s mazáním pásů u rypadla.



Obrázek 24 - Maznice s vazelínou

Vazelínu jsem aplikoval pomocí maznice ve vozících na kolejnicích, které vozí a podepírají osy. Na závitové tyče jsem použil též grafitovou vazelínu s Interflonem.



Obrázek 25 - Interflon

5 Ovládací CNC SW

Dnes je drtivá většina obráběcích SW s licencí. Samozřejmě výjimka potvrzuje pravidlo a jsou tu i programy, které jsou zdarma a pro "hobby" použití. Jejich největší nevýhodou je zastaralost, protože byly vytvořeny v dobách od MS-DOS až po Windows XP. Též je potřeba počítac s LPT portem, který je velikou vzácností. Tento port se dnes nevyužívá.

5.1 Mach3

Mach3 je program volně ke stažení, který lze používat na OS Windows 95 až Windows XP. Je velice jednoduchý na ovládání, přestože je lehce nepřehledný.



Obrázek 26 - Mach3 (11)

Bez dokumentace k řídící desce prakticky nelze program použít. Počítač, který skrze LPT port ovládá CNC stroj, vysílá pulzy na dané piny. Bez správného nastavení pinů nepřijde informace na určité místo a stroj nebude fungovat. (12)

Následně po nastavení komunikace se musí nastavit motory. Je zde celkově pět políček pro nastavení.

5.1.1 Step per

Step per nastavuje počet kroků krokového motoru na otáčku. Jednoduchým výpočtem si dokážeme krok na otáčku vypočítat. Tento výpočet lze aplikovat pouze na pojedech na závitových tyčích. Pokud by se pro pohyb použily řemeny, tak výpočet bude jiný.

$$\frac{\text{počet kroků na otáčku} \cdot \text{počet mezikroků}}{\text{stoupání}} = \text{step per}$$

Rovnice 1 - Výpočet step per (13)

Počet kroků na otáčku vypočítáme pomocí úhlu na krok. U mého krokového motoru je to je $1,8^\circ$.

$$\frac{360^\circ}{1,8^\circ} = \text{počet kroků na otáčku}$$

$$\frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200$$

Z rovnice lze usoudit, že pro jednu celou otočku musí motor udělat 200 kroků.

Stoupání je myšleno stoupání na závitové tyče, na které se celá osa unáší. Na mé stroji byly závitové tyče se stoupáním 5 mm.

Mezikrok nám rozděluje samotný krok na více kroků, takzvaných mezikroků. Mezikroky zvýšíme rozlišení stroje, takže bude větší přesnost a plynulost. Nevýhoda mezikroků je vyšší spotřeba energie.

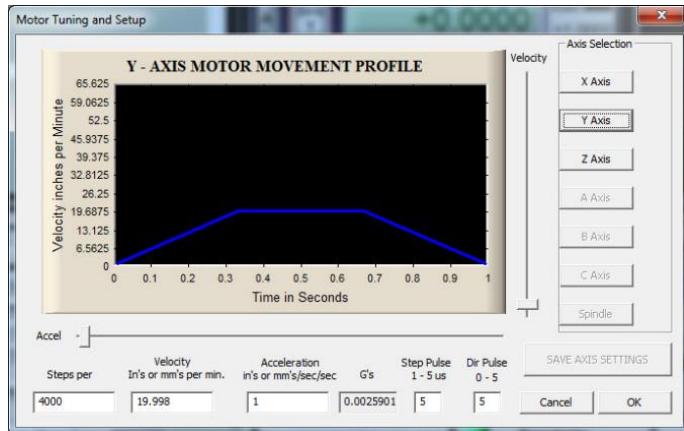
$$\frac{200 \cdot 8}{5} = 320$$

Z dosazení do vzorce vidíme, že do kolonky „Step per“ zadáme hodnotu 320. Tento vzorec jsem odzkoušel a stroj jsem nechal zkalirovat v SW. Vše vyšlo přesně dle výpočtů.

5.1.2 Rychlosť a zrychlení

Velocity je maximální rychlosť, ktorou se motor bude pohybovat. Acceleration je akcelerácia motoru. Tímto nastavujeme pohyby krokových motorov. Jednotky se udávají v $\text{mm}\times\text{s}^{-1}$ a $\text{mm}\times\text{s}^{-2}$.

V programu vidíme křivku zrychlení a zpomalení, která se jmenuje rampa. Program ještě dopočítává přetížení v jednotce G.



Obrázek 27 - Mach3 rampa (14)

Při poslechu jiných CNC strojů slyšíme identické pískání a bzučení krokových motorů. Tohoto zvuku chceme při nastavování docílit.

5.1.3 Step a Dir puls

Tyto hodnoty nám nastavují minimální puls, který dokáže řadič zachytit. Toto nastavení jsem nechal na základním nastavení.

5.1.4 Problematika komunikace nových OS

Program jsem nejdříve vyzkoušel na novějším systému Windows 7. Po nízkých desítkách hodin se mi stroj nepodařilo zprovoznit. Fungoval velice slabě na nesmyslné nastavení (viz Step per, strana 30). Po uložení nastavení se ukončila komunikace.

Celý problém byl v operačním systému. Používal jsem Windows 7, namísto XP a starších. Přesně nevím, jakou změnu Microsoft udělal s LPT porty. Kdybych chtěl používat novější OS, tak bych musel použít převodník za nízké tisíce korun. Proto byla lepší možnost přeinstalovat počítač na starší verzi Windows.

Po nainstalování Windows XP vše fungovalo. Celý stroj mi fungoval prakticky hned.

5.2 Step-Four

Step-Four je program, který se používal už na základním MS-DOS. S MS-DOS mi pomohl otec, který v DOS dříve pracoval. K jeho zprovoznění bylo potřeba přihlášení s hardwarem klíčem, který odesílal data do CNC stroje. Stejně jako Mach3 byl připojen pomocí LPT portu.

Tento program jsem si moc neozkoušel, protože mi jako první začal fungovat Mach3. Každopádně prostřední S4 bylo velice retro. Typický retro kostičkováný design jako mělo logo od MS-DOS.



Obrázek 28 - MS-DOS

6 CAM

CAM je nedílná součást CNC strojů, pokud nechceme psát program ručně. Jelikož mi přijde nesmyslné, abych G-kód psal ručně, tak půjdu touto cestou. Myslím si, že do budoucí praxe mi tento postup jedině pomůže, a hlavně urychlí celý projekt.

6.1 Inventor CAM

První nápad byl Inventor a jeho vlastní CAM. Přeci jenom mám modely vymodelované právě v tomto programu a v hodinách v rámci zaměření CNC jsem se s tímto CAM programem učil. Logicky jsem si vyvodil, že by to neměl být problém.

Po různých pokusech jsem došel k závěru, že tento CAM je až moc silný nástroj na domácí CNC frézku. Má neuvěřitelné možnosti obrábění, které jsou v mém případě zbytečně složité. Proto jsem začal hledat další CAM.

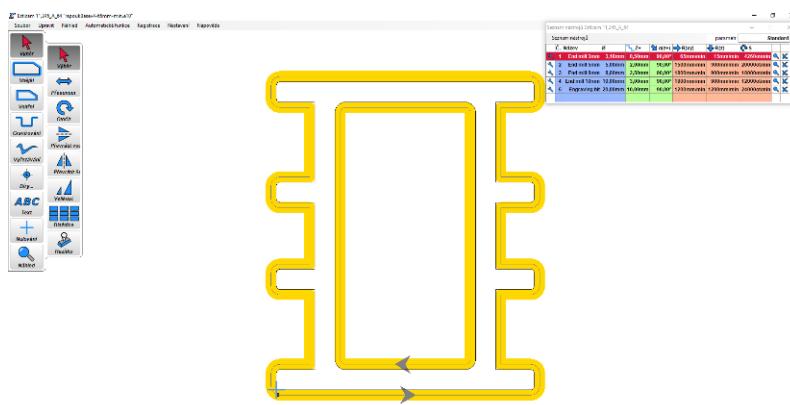
6.2 Lazycam

Jako hlavní SW k frézce používám Mach3. Od firmy Artsoft existuje Lazycam, který je prezentován právě k Mach3. Jeho hlavní výhoda je jednoduchost, protože vychází z univerzálních DXF souborů. V tomto programu je možné zadat výkres a přiřadit výšku polotovaru. Tím se vše zjednoduší.

Věřím, že mezi sebou pracují dobře, jenže jsem se nedokázal dostatečně rychle zorientovat v ovládání tohoto programu. Proto jsem zkusil mé štěstí a hledal další možný CAM s nulovými náklady.

6.3 Estlcam 11

Tento CAM jsem našel v seznamu free frézovacích CAM programů. Prostředí z fotek vypadlo natolik jednoduché, že jsem to nemohl tuto možnost nevyzkoušet. Stejně jako Lazycam podporuje formát souborů DXF. Všechny parametry včetně řezných podmínek, pohybů a samotného frézování se zadávaly jednoduše bez větších obtíží. Program je velice jednoduchý a intuitivní.



Obrázek 29 - Estlcam 11

Jediná jeho nevýhoda je počítadlo při spuštění. Dle napočítaného počítadla se zvedá čas exportu, aby si uživatel musel kupit licencovanou verzi. Tento nedostatek kompletne ignoruji, protože tento CAM je pro mé účely geniální. Proto tento program budu nadále používat pro tvorbu G-kódů.

6.3.1 První frézování

Jako testovací materiál jsem si vybral to nejsložitější, co mohu obrábět, hliníkovou slitinu. Vše jsem chladil technickým lihem. Úspěšně jsem vyfrézoval první kapsu bez zlomení nástroje. Samozřejmě jsem spočítal řezné podmínky, abych šanci tohoto neúspěchu prakticky eliminoval (viz Příloha EE). Všechny výpočty jsem počítal v MS Excel. V této situaci jsem nevěděl, co mě ještě čeká.

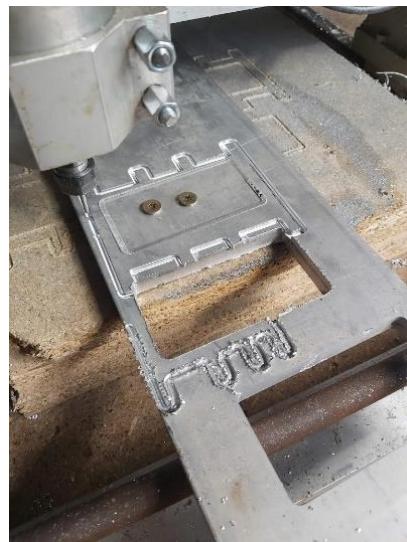
7 Chyby CNC frézky

Při každém vývoji se vždy objeví nějaké chyby, právě ty potkaly i mě.

7.1 Špatné rozměry

Když jsem vyfrézoval první kapsu v součásti, kterou jsem potřeboval na finální výrobek, tak jsem nekontroloval rozměry. Počítal jsem s tím, že Mach3 frézku ovládá správně.

Po frézování vnější části konstrukce jsem narazil na tento problém. Křivky, které byly naprogramovány, byly úplně jiné. Rozměry neodpovídaly a drážka nebyla ani rovná. Nakonec stroj vyrobil kompletní nesmysl.



Obrázek 30 - Nepovedené obrábění na CNC

Problém mohl být jak v HW, tak i v SW. Ze začátku jsem nevěděl, čím by to mohlo být. Proto jsem zkusil ten samý objekt vyfrézovat do dřeva. Výsledek byl perfektní. Tímto jsem vyloučil problém ve stránce SW a začal hledat chybu ve frézce samotné.

Jako další test jsem chtěl vyfrézovat čtvercovou kostku o 10 mm. Výsledek místo těchto rozměrů v ose X a Y byl rozdílný. Přesněji v ose X o 0,7 mm a v ose Y až o 1,5 mm. Tento test mi ukázal, že krokové motory, nemají dostatečný výkon. Zmenšil jsem řeznou rychlosť z $80 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$ na $65 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$. Bohužel tato změna nijak tento problém nevyřešila. Poslední, kde by mohl být problém jsou samotné motory.

7.2 Vylepšení motoru

Na ose Y jsem nechal přimontovaný původní krokový motor. Proto jsem použil stejný pracovní postup jako při vylepšování motorů (viz Motory, strana 24). Dle výsledků z 10 mm kostky vidíme, že i osa X, která byla vylepšena, taktéž neodpovídá. Proto jsem na řídící desce přidal maximální proud z 50 % na 100 %. Přestože se to může zdát jako velký skok, tak jsem postupoval postupně. Při 100 % se krokové motory lehce zahřívaly. Lehké zahřívání těmto motorům nijak nevadilo.

7.3 Nekolmá podložka

Při frézování jsem viděl, jak materiál zabírá do větší hloubky, když se pohybuje po ose Y. To znamená, že obrobek není kolmo k vřetenu. Tento problém nemohu vyřešit. Mohl bych vytvořit novou podložku, například stůl s drážkou ve tvaru "T", avšak to by bylo velmi časově i finančně náročné.

Jelikož jsem pracoval pouze ve 2,5D obrábění, tak jsem zvýšil nulový bod v ose Z. Tím bych zmenšil hloubku záběru v první vrstvě. Ostatní vrstvy by se frézovaly stejně. Jiné řešení jsem neměl.

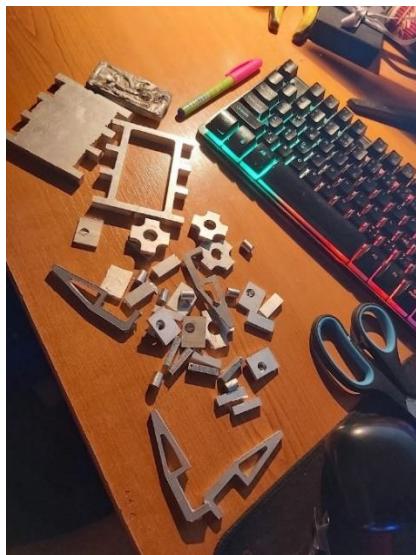
7.4 Kontrola dotáhnutí šroubů

Jelikož nekontroluji, a ani neznám správné utahovací momenty, na které se mají stavěcí šrouby dotahovat, tak občas se nějaký povolí. Toto se mi stalo uprostřed frézování kloubu. Naštěstí se nástroj nezlomil. Pouze jsem přišel o kus materiálu.

7.5 Free verze Mach3

V průběhu frézování jsem zjistil, že free verze SW dokáže pracovat s G-kódy maximální do 500 řádků. Nejdelší G-kód, který jsem naprogramoval, měl 1150 řádků. Z tohoto důvodu jsem musel G-kódy rozdělovat podle pořadí operací. Musel jsem vymazat

přebývající mezery a nepotřebné příkazy. Naštěstí se největší součást mohla vložit do dvou G-kódů.



Obrázek 31 - Vyfrézované součásti

8 Sváření

Opět jsem chtěl tento projekt posunout o krok dál. Z tohoto důvodu jsem ustoupil od klasického šroubového spoje, a vybral si sváření hliníku.

8.1 Problematika sváření hliníku

Problém není v samotném materiálu, ale v jeho oxidační vrstvě Al_2O_3 . Ta má teplotu tavení okolo 2000°C , přičemž samotný hliník má $660,3^\circ\text{C}$. Při zahřátí čistého hliníku na teplotu, při které se oxid hliníku taví, by se okamžitě vypařil. Proto využíváme střídavého napětí (viz Nastavení svářecky, strana 37), který nám TIG nabízí. Též je možné použít MIG se střídavým napětím a další technologie, ale těch jsem nevyužil.

8.2 Metoda TIG

U hliníku není tolik možností sváření jako u oceli, ale stále nějaké existují. Vybral jsem si nejrozšířenější metodu TIG. Zkratka TIG znamená Tungsten inert gas. Jedná se o elektrodu v inertním plynu, kterým je argon. Při sváření ocelí se může kombinovat s CO_2 .

U hliníku musí být vždy vše čisté. Proto se používá plyn s obsahem 99 % argonu neboli téměř čistý argon.

8.3 Moje vybavení

Používám svářečku TIG200PAC/DC od firmy Jasic. Jedná se o analogovou svářečku, která místo displeje používá potenciometry. Díky větší velikosti zvládne vyšší zátěž. Též má vyšší frekvenci. Je možnost svářečku přepnout do metody MMA.



Obrázek 32 - TIG svářečka

8.4 Nastavení svářečky

Zde popisují každé nastavení, se kterým jsem se setkal. Používal jsem dvoutaktní sváření. Během svařování je tlačítko stisknuté, dokud nedokončíme svar.

8.4.1 DC/AC a čistění

Metoda TIG nám umožňuje sváření se střídavým (AC) a stejnosměrným (DC) napětím, které dále může být s pulzem nebo bez pulzu. U hliníku jsem využil AC napětí, ale viděl jsem i nastavení na DC s pulzem. Dále je důležité čištění, jinak označeno jako AC Balance. Tento údaj udává, v jakém poměru bude kladný pól se záporným. Přesně toto zajistí poškození oxidační vrstvy a svařuje jádro materiálu dohromady. (15) (viz Problematika sváření hliníku, strana 36). Většinou se používá 20-30 % intervalu na kladném pólu elektrody. Svařil jsem s nastavením 50/50. Nedokázal jsem moc poznat rozdíl. Z toho důvodu mi nastavení 50/50 připadalo jako nejlepší.

8.4.2 Frekvence

Další z pojmu, se kterými jsem se setkal, byla frekvence. Ze samotného názvu lez odvodit, jakou funkci bude zastupovat. Jedná se o počet opakování střídání polarity

napětí. Udává se v jednotce 1 Hz. Pro pochopení lze frekvenci přirovnat k nástrojům. „Vysoká frekvence je jako skalpel, nízká jako kladivo“. (15) Přesně tohoto přirovnání jsem se držel a doopravdy to takto funguje. Pokud budu svařovat hliníkové plechovky, použiji vysokou frekvenci. Když budu svářet široký materiál (nad 5 mm), použiji nižší okolo 60 Hz. Zajímavost je ta, že rozdílná frekvence lze i slyšet.

Rozsah na mé svářečce je 0-300 Hz. Profesionálové používají svářečky, které mají maximální frekvenci 250 Hz. To opět ukazuje na vysokou kvalitu vybavení, které jsem měl k dispozici.

8.4.3 Proudý

U sváření se nastavuje maximální proud. Čím vyšší proud, tím více dodáváme tepla do svařenice. Začínal jsem na 120 A, kdy jsem postupně snižoval až na 55 A.

Jsou zde dvě nastavení. Základní a maximální proud. Základní je proud, který bude na začátku svaru. Následně se svářečka řídí podle základního proudu, dokud nepřestaneme svářet. I toto je důležité pro správný průnik skrz oxidovou vrstvu.

8.4.4 Zapojení pólu svářečky

U metody TIG je toto přesně naopak. Většinou kostra je na záporném pólu svářečky a svářecí pistole na kladném. Toto je zde přesně naopak. Zkoušel jsem standartní zapojení, bohužel se mi začala tavit elektroda.

8.4.5 Ostatní nastavení

Nesmíme zapomenout na doběh proudu. Při vypnutí svařování se proud postupně snižuje. Díky tomuto opatření nevznikají krátery na konci svaru, které svar zeslabují. Nastavuje se časově. Většinou se tato hodnota nastaví mezi 3 až 5 sekundami.

Dofukování/ochlazování po svařování nám ochlazuje elektrodu. To eliminuje oxidaci samotné elektrody, když je ve vysokých teplotách.

8.5 Elektrody

Elektrod k metodě TIG je nespočet. Především se rozdělují na AC, DC napětí a univerzální. Následně dle materiálu. Jsou rozděleny dle barev, kdy zelená je určena pro hliník.

Ze začátku jsem použil používanou elektrodu a natolik poškrabanou, že jsem nedokázal rozeznat její určení. Myslel jsem si, že je univerzální, jenže původně byla červená. Ta se používá na ocel. Ve spojení se špatným nastavením svářečky a neočištěným materiélem mi hliník nešel svařit. Avšak po splnění všech těchto bodů jsem úspěšně začal svářet.

Ozn.el.	Barva	Použití	Proud	Legování
WP	zelená	Hliník	~	čistý wolfram 99,8%
WT 10	žlutá	Nerez	=	thorium 1% ThO ₂
WT 20	červená	Nerez	=	thorium 2% ThO ₂
WT 30	fialová	Nerez	=	thorium 3% ThO ₂
WT 40	oranžová	Nerez	=	thorium 4% ThO ₂
WC 20	šedá	Univerzální	= / ~	cerium 2,0% CeO ₂
WL 10	černá	Univerzální	= / ~	lanthan 1,0% LaO ₂
WL 15	zlatá	Univerzální	= / ~	lanthan 1,5 % LaO ₂
WL 20	modrá	Univerzální	= / ~	lanthan 2,0% LaO ₂
WZ 08	bílá	Univerzální	~	zirkon 0,8% ZrO ₂

Obrázek 33 - Wolframové elektrod (16)

8.6 Čistota a výběr materiálu

Jak jsem zmínil v předchozích bodech, hliník potřebuje vysokou čistotu. Pokud se i drobná nečistota dostane do svaru, dojde k vysoké oxidaci. Největší problém je v nečistotách svařovací pistole. Mnoho začátečníků tuto podmínu přehlíží. Po mnoha hodinách svařování jsem nevyčistil pistoli ani jednou. Následně se mi vše vrátilo a mohl jsem svařovanou součást přidat do sbírky nepovedených svařenců. Když se mi do svaru dostalo velké množství nečistot, tak jsem nebyl schopen svar ani ohřát.

S přibývající teplotou se ohřívá i okolní materiál, který se následně roztaví. Jakmile se tento jev stane, tak není jiná možnost než odstranit nečistoty nebo svařit další součást z nových kusů materiálu. Na odstranění nečistot jsem používal pilník nebo brusný papír, ale i tato metoda není 100% úspěšná.

Existuje nespočet různých druhů slitin přídavného materiálu, přičemž jsem používal pouze AlSi₅. Zmíněný přídavný materiál je nejuniverzálnější. Tuto informaci jsem dostal od prodejce svařovací techniky.

8.7 Moje zkušenosti se svařováním hliníku a metody TIG

Chtěl bych zde zdůraznit, že se rozhodně nejedná o profesionální svařování. Nemám svářecí zkoušky (svářel jsem pouze pod dohledem způsobilé osoby) a učím se především z internetu. Před začátkem této práce jsem s metodou TIG pracoval asi třikrát. Přičemž jsem především zkoušel nerezovou ocel. Hliník jsem si poprvé zkusil až v této

práci. Z toho důvodu některé svary nevypadají, jak by měly správně vypadat. O těchto nedostatcích vím. Věřím, že s přibývající praxí se bude moje svařovací technika zlepšovat.

8.8 Postup čištění a příprava na svařování

Nechtěl jsem nic podcenit, a proto jsem po vyčištění pistole postupoval dalším čištěním.

8.8.1 Chemické čištění

Svařované součásti jsem čistil acetonem. Ze začátku jsem je čistil isopropylalkoholem. Avšak po zkoušení a doporučení jsem zjistil, že aceton je lepší.



Obrázek 34 - Nečistoty z čištění

8.8.2 Mechanické čištění

Na mechanické čištění jsem použil drátěný kartáč. Následně i brusný papír o hrubosti 240. Jednoduše jsem doopravdy nechtěl nic podcenit.

Ještě jednou jsem otřel celý povrch látkou nebo vatovým polštářkem napuštěnou acetonom.



Obrázek 35 - Součásti po vybroušení

8.8.3 Předehřívání

Hliník se může před svářením předehřát okolo 200 °C. To nám zajistí lepší svařovatelnost hliníku. Tento postup jsem vyzkoušel, přestože jsem nesvařoval natolik objemné součásti, aby tento postup byl potřeba. Elektrický oblouk ohřál svařované součásti velice rychle.

8.9 Potřebná ochrana

Jako před každým svářením se musí svářec dostatečně chránit. Svařovací kukla je základ, stejně jako rukavice, oblečení a kožené boty. U hliníku je navíc potřeba odvětrávaná kukla, která stojí nemalé peníze. Jelikož tuto kuklu jsem neměl k dispozici, tak jsem použil respirátor FFP2. Bez ochrany dýchacích cest jsem se okamžitě začal dusit.

Kdybych věděl, kolik hodin strávím čistým svářením, tak bych použil dýchací masku od 3M. Každopádně respirátor fungoval a masku bych použil pouze pro zlepšení komfortu.

8.10 Kontrola svaru

Na mé pracovišti nemám k dispozici žádnou nedestruktivní metodu kontroly svaru. Proto mi pouze zbývala destruktivní hrubá síla mých rukou. U každého svaru jsem použil pář kombinovaných kleští a vyzkoušel, zda svar je dostatečně pevný především na ohyb a krut. Svary, které jsem dělal jako první, praskly téměř okamžitě. Materiál jsem dostatečně neprohřál a následně hodně obrousil. Po tomto zjištění jsem opět součásti očistil a svařil znova a lépe. Následná kontrola dopadla dobře.



Obrázek 36 – Kontrola svaru pomocí zraku

9 Tvorba závitů

Vybral jsem šroubové spoje s vnitřní šestihrannou hlavou o průměru závitu 2 mm. Šrouby jsem koupil na čínském webu v sadě s různými délками těla šroubu. Jedná se o metrické šrouby se standartním stoupáním 0,4 mm.

Díry jsem si označil automatickým důlkovačem a předvratal vrtákem o průměru 1 mm na stojanové vrtačce. Řezné podmínky jsem nebral v potaz. Na chlazení jsem použil technický líh.

Dle následujícího výpočtu jsem použil vrták o průměru:

$$\text{Průměr závitu} \times 0,8 = \text{Průměr díry}$$

$$2 \times 0,8 = 1,6 \text{ mm}$$

Rovnice 2 - Výpočet průměru vrtáku

Samozřejmě pokud bych si tento výpočet nepamatoval, anebo jsem o tomto výpočtu nevěděl, hledal bych ve strojnických tabulkách.

Dále jsem postupoval vyříznutím závitu pomocí strojního závitníku do děr, který jsem koupil na webu eshop.nastrojecz.cz. K závitníku jsem přikoupil olej na vyřezávání závitů do hliníku a jeho slitin. Hlavní rozdíl oproti standartnímu řeznému oleji byl v hustotě. Závity jsem ručně vyřízl pomocí vratidla. Zaoblil hrany pomocí kuželového záhlubníku a vytvořený závit odzkoušel.

10 Komponenty a realizace pavouka

10.1 Servomotory

Na začátku projektu jsem počítal se servomotory s převodem z nylonu. Jakmile jsem použil kokovou konstrukci, tak jsem musel použít i převod z kovu v servomotorech. Přestože výpočtově bych mohl použít nylonové převody (viz Výpočty, strana 11), tak mi nepřijde logické mít kokovou konstrukci a kombinovat ji s plastovými převody. Místo servomotoru SG90 9 g jsem použil EMAX ES08MA II 12 g.



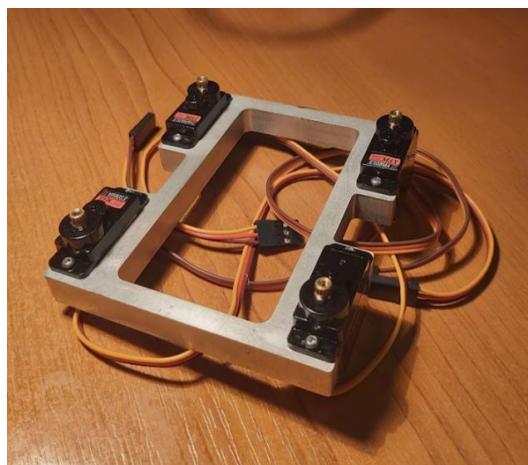
Obrázek 37 - Servomotor EMAX ES08MA II

10.2 Základní deska

Pro testování pohybu používám klon Arduino UNO. Ve finálním provedení počítám s ESP8266 Amica nebo Lua. Obě desky podporují komunikaci pomocí Wi-Fi, kterou v tomto projektu potřebuji.

10.3 Realizace

Po dokončení všech potřebných úprav vyfrézovaných součástí jsem začal konstrukci skládat dohromady. Nejdříve jsem začal se základním rámem a připojení servomotoru (viz Obrázek 38 - Základní rám). Následně jsem přišrouboval servomotory k nohám a vše spojil klouby.



Obrázek 38 - Základní rám

Po složení jsem si všiml velkých vůlí v uložení servomotorů. Proto do kloubu, ve kterém držela i páka servomotoru, jsem vyvrtal díry. Jedním šroubem jsem spojil osu servomotoru s konstrukcí. Druhým vrutem, o průměru 1 mm, jsem zajistil nepřesnosti otvoru pro páku (viz Příloha N).

Tímto opatřením jsem vymezil všechny vůle a stále jsem udržel rozebíratelnost robota.



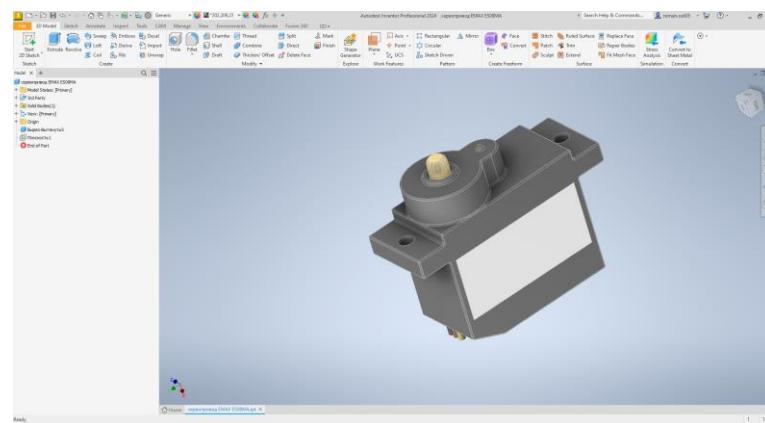
Obrázek 39 - Finální konstrukce pavouka

11 Tvorba technické dokumentace

11.1 Sestava

Sestavy mě fascinovaly už od útlého věku, kdy jsem viděl různé animace skládajících se částí. Před touto ročníkovou prací jsem neměl tušení, jak se sestavami pracuje. Během výuky jsem se naučil celý průběh sestavy a využívání správných funkcí (viz Příloha A).

Na internetu jsem našel model servomotoru, který používám na pavoukovi. Z důvodu časové náročnosti jsem zvolil použít tento model. Model byl vyexportován ve formátu SLDPR (SolidWorks part) (17)



Obrázek 40 - Model servomotoru

11.2 Proč jsem si vybral bezvýkresovou dokumentaci

Ze začátku jsem počítal s klasickou výkresovou dokumentací. V průběhu třetího ročníku jsem objevil bezvýkresovou dokumentaci, kterou mi ukázal můj vedoucí práce. Byla to

pro mě kompletně nová věc. Z logiky věci mi přišla tato metoda technické dokumentace rychlejší a jednodušší. Jelikož cíl této práce bylo si vyzkoušet mé schopnosti a dobré se naučit nové věci, tak jsem okamžitě začal pracovat na bezvýkresové dokumentaci.

11.3 Princip bezvýkresové dokumentace

V bezvýkresové dokumentaci nemusíme vytvářet výkres, protože všechny důležité informace a kóty zapíšeme do modelu, který potřebujeme vyrobit.

Výhoda této metody je v jednoduchosti a uspořádání souborů. Není potřeba párovat k sobě dva dokumenty a držet je při sobě, protože vše je obsaženo v jednom dokumentu. Samozřejmě je zde i jedna veliká nevýhoda. Bezvýkresová dokumentace se obtížně tiskne – je určena na 3D prohlížení v PC.

Jelikož se snažím nejvíce využívat i ostatní jazyky, tak všechn software, který jsem potřeboval k tvorbě technické dokumentace, mám nastavený v anglickém jazyce. Proto kóty jsou v anglickém jazyce.

12 Závěr

Naplnění zadání tématu bylo splněno. Na začátku projektu jsem si myslел, že práce nebude tak časově náročná. Můj časový odhad byl okolo 80 hodin práce. Odhad nebyl nejpřesnější, protože projekt byl téměř 3krát delší (viz Příloha EE). Než jsem vytvořil základní konstrukci pavouka, která byla plně funkční, a splnil další nutné operace, zabralo mi to hodně času. Pouze sváření jsem se nezvládl naučit na 100 %. Největší problém u sváření je, že je potřeba mnoho času a zkušeností. Bohužel ani 40 hodin, strávených svářením, mi nestačilo na vizuálně perfektní svary. Naopak svary jsou pevné, nepraskají a nelámou se.

Osobním cílem především bylo odzkoušet a rozšířit si zkušenosti v oblasti robotiky a CNC strojů. Jednoznačně mohu potvrdit, že ke zlepšení došlo. Též jsem pochopil účel sestavy. Během modelování jsem udělal chybu z důvodu špatného měření, ale kdybych si celou sestavu udělal před frézováním, tak bych ji objevil dříve. Tento poznatek je největším přínosem této práce. Pokud bych tuto práci vypracovával znova, tak bych si zvolil větší přídavky na obrábění, abych mohl finální konstrukci lépe vybrouosit.

Pavouk funguje na jednoduchých čtyřech nohách z hliníkové slitiny, které jsou osazeny servomotory EMAX ES08MA II. Každá noha disponuje dvěma těmito servomotorami, s jejichž pomocí a rychlou dynamikou se dokáže pohybovat do všech směrů. Tělo se hýbe po jakési „hranaté sinusoidě“, tím pádem se tělo mého pavouka nikdy nebude pohybovat ve stejně výšce. V této části práce jsem se zaobíral výrobou konstrukce na vlastní CNC frézce a v druhé části budu vytvářet software a motherboard.

Závěrem bych chtěl doplnit, že nezáleží na obtížnosti projektu, nýbrž na faktoru zábavy, který mi pomohl zvládnout toto téma a vypracovat jej bez zbytečné prokrastinace.

13 Seznam použité literatury

1. **DFROBOTCN.** SpiderBot ! This is TOO CUTE lol. *Youtube*. [Online] 5. Listopad 2019. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/shorts/3u1M04DwSdE>.
2. **DIY Builder.** How To Make A Spider Robot. *YouTube*. [Online] 30. Leden 2020. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=8LSOoVZbfFM>.
3. **Zaxtruder.** Autonomous 3D Printed QuadSpider Robot. *YouTube*. [Online] 18. Červen 2020. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=04VkpGuIz30>.
4. **Maker 101.** How to make Quadruped Spider Robot (using Arduino and 3D parts). *YouTube*. [Online] 31. Říjen 2022. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=sDuzb-I00-4>.
5. **STEM Education.** Spider robot with Arduino DIY ,wifi robot running test. *YouTube*. [Online] 12. Červenec 2020. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=YmWVJWwuqLI>.
6. **Ullis Roboter Seite.** SG90 9 g Micro Sevo. *Ullis Roboter Seite*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://ullisroboterseite.de/projekte-teeipper/SG90%209%20g%20Micro%20Servo.pdf>.
7. **Tech Plasty.** PA6 - extrudovaný polyamid. *Tech Plasty*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa6-extrudovany-polyamid>.
8. **IMC Slovakia s.r.o.** Vlastnosti a normy hliníkových zliatin. *hlinik.sk*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.hlinik.sk/vlastnosti-a-normy-hlinikovych-zliatin/>.
9. **Reprap přispěvatelé.** 4 Axis TB6560 CNC Stepper Motor Driver Board Controller. *Reprap*. [Online] 29. Listopad 2014. [Citace: 2. Únor 2024.] https://reprap.org/wiki/4_Axis_TB6560_CNC_Stepper_Motor_Driver_Board_Controller.
10. **Beekeeper.** 12 Volt Power Supply Cover. *Thingiverse*. [Online] 5. Leden 2013. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.thingiverse.com/thing:40377>.
11. **ARTSOFT STUDIOS.** Mach3. *MachSupport*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.machsupport.com/shop/mach3/>.

12. **PavelZ.** Uživatelská příručka pro instalaci, konfiguraci a používání Mach3. *cnc1*. [Online] Listopad 2008. [Citace: 2. Únor 2024.] http://www.cnc1.eu/files/images/stories/mach3/Mach3Mill_CZ.pdf.
13. **Build Your CNC.** Question #: 554. *Build Your CNC*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://buildyourcnc.com/FAQ/554>.
14. **Yosquad.** Konfiguracja mach3 motor tuning. *cnc.onfo.pl*. [Online] 16. Červen 2016. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.cnc.info.pl/konfiguracja-mach3-motor-tuning-t77610.html>.
15. **Solík SK, s.r.o.** Ako zvárať hliník - nastavenie parametrov zváračky na hliník. *YouTube*. [Online] 25. Září 2020. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=d9h5MNtsRcs>.
16. **Svářecí kukla.** Wolframové elektrody. *Svářecí kukla*. [Online] [Citace: 2. Únor 2024.] <https://www.svarecikukla.cz/wolframove-elektrody/>.
17. **Alexandr Poluyan.** Servo EMAX ES08MA. *GrabCAD*. [Online] 1. Prosinec 2023. [Citace: 2. Únor 2024.] <https://grabcad.com/library/servo-emax-es08ma-1>.

14 Seznam grafických objektů

Obrázek 1 - 3D modely konstrukce	12
Obrázek 2 – Polotovary z hliníkové slitiny	13
Obrázek 3 - Příprava ručního obrábění	14
Obrázek 4 - Ruční obrábění	15
Obrázek 5 - Nálezový stav CNC frézky	15
Obrázek 6 – Provizorně vložená sololitová deska	16
Obrázek 7 – Ilustrační fotka ovládací desky a zdroje	17
Obrázek 8 - Nastavení ovládací desky	19
Obrázek 9 - Závitníky	20
Obrázek 10 - Uložení vřetena	20
Obrázek 11 - Výroba kuželové matice	21
Obrázek 12 - Vřeteno	21
Obrázek 13 - Krytka zdroje	22
Obrázek 14 - Krytka upevněna na zdroji	22
Obrázek 15 - Přinýtovaný L profil	23
Obrázek 16 - Vodováha	23
Obrázek 17 - Osa Y	24
Obrázek 18 - Krokové motory	24
Obrázek 19 - Krokový motor na ose Y	25
Obrázek 20 - Soustružení	26
Obrázek 21 - Spojka na ose X	27
Obrázek 22 - Fréza o průměru 3,175 mm	27
Obrázek 23 - Finální CNC frézka	28
Obrázek 24 - Maznice s vazelinou	28

Obrázek 25 - Interflon.....	29
Obrázek 26 - Mach3 (11).....	29
Obrázek 27 - Mach3 rampa (14).....	31
Obrázek 28 - MS-DOS	32
Obrázek 29 - Estlcam 11.....	33
Obrázek 30 - Nepovedené obrábění na CNC.....	34
Obrázek 31 - Vyfrézované součásti	36
Obrázek 32 - TIG svářečka.....	37
Obrázek 33 - Wolframové elektrod (16).....	39
Obrázek 34 - Nečistoty z čištění	40
Obrázek 35 - Součásti po vybroušení	40
Obrázek 36 – Kontrola svaru pomocí zraku	41
Obrázek 37 - Servomotor EMAX ES08MA II	43
Obrázek 38 - Základní rám	43
Obrázek 39 - Finální konstrukce pavouka	44
Obrázek 40 - Model servomotoru	44

15 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Nastavení proudu (9)	18
Tabulka 2 - Nastavení mikrokrokování (9).....	18
Tabulka 3 - Nastavení vybíjení (9)	19

16 Seznam rovnic

Rovnice 1 - Výpočet step per (13)	30
Rovnice 2 - Výpočet průměru vrtáku	42

17 Seznam zkratek

Zkratka	Původní slovo	Význam
RC	Remote control	Dálkové ovládání
MS	Microsoft	Název
MS-DOS	Microsoft – Disk Operating System	Microsoft – Diskový Operační Systém
DOS	Disk Operating System	Diskový Operační Systém
S4	Step-four	Název
SW	Software	Program
HW	Hardware	Fyzické komponenty výpočetní techniky
CAM	Computer aided manufacturing	Výroba podporovaná počítačem
CNC	Computer Numerical Control	Výpočetové ovládání pomocí počítače

18 Seznam příloh

18.1 Technická dokumentace

- Příloha A rapoukAssemblyv2.iam
- Příloha B rapoukBaseAssemblyv1.iam
- Příloha C rapoukLegAssemblyv0.iam
- Příloha D rapoukMiddleLegAssemblyv0.iam
- Příloha E rapoukBasev5.ckpt
- Příloha F rapoukLegBasev3.ckpt
- Příloha G rapoukLegPinv1.ckpt
- Příloha H rapoukLegSupportv1.ckpt
- Příloha I rapoukLegSupportv2.ckpt
- Příloha J rapoukLegv9.ckpt
- Příloha K rapoukMiddleLeg0v3.ckpt
- Příloha L rapoukMiddleLeg1v3.ckpt
- Příloha M rapoukMiddleLeg2v3.ckpt
- Příloha N rapoukServoLegv0.ckpt
- Příloha O rapoukHexagonScrewM2,5v0.ckpt
- Příloha P rapoukHexagonScrewM2v0.ckpt
- Příloha Q сервопривод EMAX ES08MA.ckpt
- Příloha R сервопривод EMAX ES08MA.SLDPRT

18.2 G-kódy

- Příloha S rapoukBasev5
- Příloha T rapoukLegBasev3
- Příloha U rapoukLegPinv1
- Příloha V rapoukLegSupport5mm
- Příloha W rapoukLegSupport10mm
- Příloha X rapoukLegv9X
- Příloha Y rapoukLegv9Y
- Příloha Z rapoukMiddleLeg0v3
- Příloha AA rapoukMiddleLeg1v3

Příloha BB rapoukMiddleLeg2v3

18.3 Textové soubory a vizualizace

Příloha CC Rapouk.docx

Příloha DD Rapouk.pdf

Příloha EE Rapouk.xlsx

Příloha FF IMG_0446.jpg

Příloha GG IMG_0458.jpg

Příloha HH Vizualizace.png