

Stredná priemyselná škola techniky a dizajnu

Mnoheľova 828, 05846 Poprad

Šiesta os pre elektro-erozívnu rezačku FANUC

Strojár Inovátor

Dátum: 03.2021

Riešiteľ:

Timotej Maďar

1 Úvod

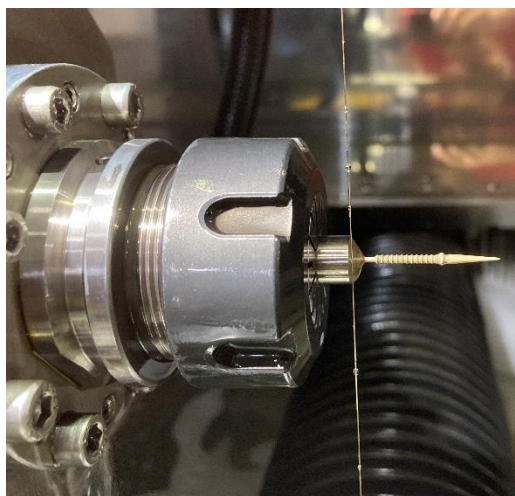
Túto prácu sme si vybrali preto, lebo nás zaujalo, ako málo je tento typ obrábania známy a používaný. A taktiež aj preto, lebo sme mali prístup k pracovisku, ktoré bolo vybavené elektro-erozívnou hlíčkou, rezačkou a vrtáčkou. Ako cieľom našej práce sme si dali vytvoriť šiestu os (rotačnú os) za lacnejšie ako komerčne predávané osi.

2 Opis, návrh a zostrojenie osi

2.1.1 Elektro-erozívne sústruženie

Je náročné presne sústružiť alebo brúsiť malé rotačné súčiastky. Je to kvôli tlaku, ktorým pôsobia nástroje alebo brúsne kotúče na súčiastky ako napríklad mikro elektróda. To môže spôsobiť poškodenie, kvôli ktorému bude náročné dosiahnuť presné rozmery. V skutočnosti je takmer nereálne vytvoriť veľmi malé súčiastky použitím konvenčných metód (napr. sústruženie, brúsenie).

Jednou z alternatív je otáčať súčiastky v rotačnej osi pripevnenej na stôl drôtovej elektro-erozívnej rezačky. Toto je výhodné pre mikro-obrábacie procesy, lebo materiál je odoberaný elektricky pomocou elektrického výboja a nie mechanicky, ako napr. pri sústružení. Šanca poškodenia nástrojom sa eliminuje, pretože obrobok a nástroj sa nikdy nedotknú.



Obrázok 1: Naša os po dorezaní súčiastky

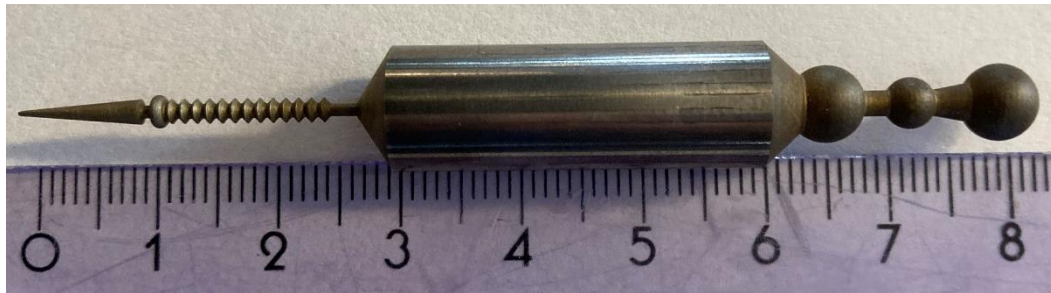
Túto metódu obrábania nazývame elektro-erozívne sústruženie. Je to jeden z najmenej známych typov obrábania v oblasti elektro-erózie.. Tento typ obrábania je iba rozšírené drôtové rezanie a pretože sme už drôtové rezanie opísali v samostatnej časti venovanej drôtovej rezačke, radi by sme len v krátkosti popísali tento spôsob obrábania.



Obrázok 2: Naša os po dorezaní súčiastky

Pri tomto obrábaní sa správa rezačka voči obrobku tak, akoby to bola klasická statická súčiastka upnutá na pracovnom stole. Valcová súčiastka je upnutá v klieštine rotačnej osi, ktorá je počas rezania otáčaná minimálne 300 otáčkami za minútu. Táto hodnota je odporúčaná firmou Fanuc, ale ideálna hodnota je 800-1500 ot/minútu. Malé priemery vyžadujú vyššiu rýchlosť rotácie. Aby bola dosiahnutá čo najvyššia tvarová presnosť a aby bolo možné obrábať materiál až do extrémne malých priemerov, musí mať os minimálne vibrácie a hádzavosť na úrovni menej ako 0,002 mm. Čím vyššia je hádzavosť súčiastky vo vretene, tým sa posúva hranica obrábania minimálneho priemeru. Vysoké otáčky, ktorými je rotovaná obrábaná valcová súčiastka, sa potom javí voči drôtu ako statická súčiastka a samotný proces rezania je možné doladiť tak, aby bol proces rezu stabilný bez skratov, ktoré spôsobujú cúvanie a bez zbytočného trhania drôtu. Rezaný tvar sa programuje ako polovica požadovaného tvaru od stredu osi súčiastky. Rýchlosť rezania pri elektro-erozívnom sústružení je od 0,1 mm/min až po 0,55 mm/min na priemere súčiastky 10 mm. Čím viac materiálu musí drôt odobrať, čo znamená, že čím bližšie ide drôt k stredu obrábanej súčiastky, tým viac sa znižuje

rýchlosť obrábania v porovnaní, ak sa tvar obrába ďalej od stredu súčiastky. Zníženie rýchlosti oproti tomu, ako keby rezal stroj súčiastku staticky, je spôsobený tým, že musí vybrať oveľa viac materiálu ako pri statickom obrobní. Rovnako ako pri rezaní klasickým platí aj tu, že s pribúdajúcim počtom rezov zvyšujem presnosť aj drsnosť súčiastky. Pomocou úpravy korekcie v technológii dokážeme ovplyvniť konečný rozmer tak, aby bol výsledok v tolerancii 0 až +/-0,003 mm na priemer.

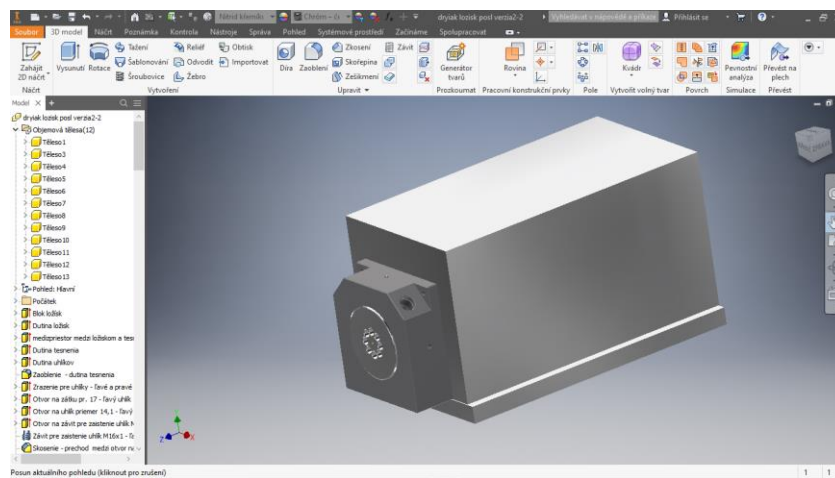


Obrázok 3: Súčiastka vytvorená na našej osi

2.2 Návrh rotačnej osi

Realizáciu nášho projektu sme začali vytvorením výkresov v 3D CAD softwari AutoCAD Inventor 2013. Navrhovanie jednotlivých dielov bolo ovplyvnené ložiskami, ktoré sme už vopred mali k dispozícii. Presné ložiská, ktoré sme mali k dispozícii, boli vymontované z elektro-erozívnej hĺbičky a bola to položka, na ktorej sa dalo ušetriť. Podľa rozmerov, ktoré sme mali k dispozícii, sme navrhli hlavu osi. Keďže na rotujúcu časť sme potrebovali priviesť reznú napätie, použili sme rovnaký princíp, aký sme mohli vidieť na osi C pri elektro-erozívnej hĺbičke. Navrhli sme dve diery so závitom, do ktorých by boli vložené uhlíky, ktoré privádzajú elektrické napätie na hriadeľ rotačnej osi. Pri návrhu hlavy sme mysleli na to, že je potrebné ochrániť gufero aj hriadeľ pred zbytočným mechanickým opotrebovaním vďaka plávajúcim mikro časticiam vyerodovaného kovu. Preto sme do priestoru pred gufero priviedli čistú vodu, ktorá okrem pretlaku, ktorý zamedzí vnikaniu špinavej vody, slúži zároveň na zabezpečenie cirkulácie čistej vody okolo uhlíkov. Následne sme navrhli hriadeľ a platničku pre upevnenie upínača klieštiny. Hriadeľ bola navrhnutá v predpísaných toleranciách od výrobcu ložísk a pred jej koncom je jemný závit pre maticu zaisťujúcu stred ložísk. Následne sme navrhli spodnú platňu, na ktorej je upevnený blok hlavy s ložiskami. Na platňu sme zakreslili keramickú platničku, ktorá slúži na izoláciu motora, aby sa napätie z rezania nedostávalo na kostru motora. Podľa danej keramickej platničky a použitého

motora z elektrickej kosačky sme navrhli držiak motora. Motor z kosačky sme si vybrali pre jeho nízku cenu a z dôvodu jeho veľkého krútiaceho momentu. Veľký krútiaci moment nám umožnil priame upevnenie motora na hriadeľ cez spojku bez nutnosti použitia prevodu. Potom sme zakreslili aj motor a pokračovali sme návrhom bočných platní osi ako aj jej vrchnou platňou. Neskôr sme ešte nakreslili platničku upínača klieštiny, ktorá slúži na pripevnenie klieštinového upínača k osi a tiež umožňuje nastavenie upínača. Pomocou skrutiek je možné nastaviť kolmosť upínač voči osi rotácie a korigovať hádzavosť upínanej súčiastky.



Obrázok 41: Nákres našej osi v AutoCAD Inventor

2.3 Zostrojenie osi

Táto časť kapitoly sa bude zaoberať zostrojením osi, jej následným otestovaním a riešením problémov zistených pri testovaní.

2.3.1 Výber materiálu a výroba súčiastok osi

Pred samotným zostrojením osi sme si museli zvoliť materiál, z ktorého bude os vytvorená. Rozhodli sme sa pre nerez, keďže celá os bude ponorená vo destilovanej vode. Z bloku nereze nám vo firme Penta Slovensko s.r.o. vyrezali platne osi, hlavu osi, držiak na motor a platničku klieštiny. Všetky súčiastky osi museli byť vytvorené čo najpresnejšie. Hriadeľ a platnička pre upevnenie upínača klieštiny boli vysústružené vo

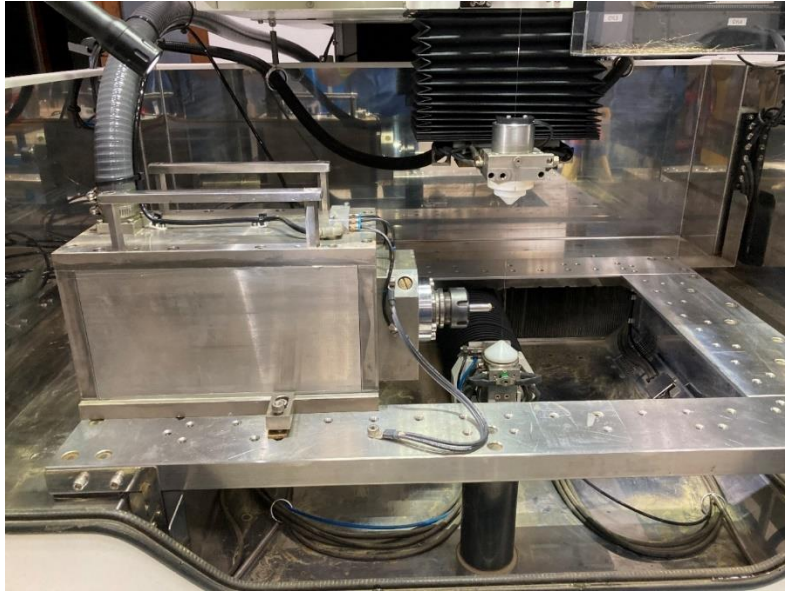
firme Q-PRODUCTS a.s., pretože vyžadovali vysokú toleranciu, na ktorú sme nemali k dispozícii technológiu. Hlava bola dokončovaná frézovaním vo firme PS Tools, s.r.o.. Platne boli dokončované brúsením vo firme Nástrojárske služby, s.r.o.. Práve pri brúsení platní sa zistilo, že zvolený materiál nebol na tento projekt zvolený úplne ideálne, pretože bol veľmi náchylný na teplo. To spôsobilo veľký problém pri brúsení. Platne sa extrémne krútili po zahriatí a tak pre stabilizáciu bolo nutné brúsiť postupne a s dlhými prestávkami, aby materiál vychladol. Platne boli nakoniec vybrúsené v tolerancii 0,02 mm. Do už vybrúsených platní sa vo firme Penta Slovensko, s.r.o. na elektro-erozívnej hľbičke navrtali diery pre skrutky a kolíkové otvory. Diery boli následne zväčšené na stolovej vŕtačke a urobili sa závit a zrazenie hrán. Diery, ktoré sa nachádzali na boku platní boli vytvorené na elektro-erozívnej hľbičke. Držiak motora bol vytvorený tak, aby jeho diery na upevnenie k izolačnej podložky boli väčšie ako priemer skrutky, čo umožňovalo nastavenie držiaku tak, aby bol presne v rovine s hriadeľou. Rovnako boli navŕtané aj jeho diery, na ktoré sa upevňoval motor. Diery na hriadeľi, platničke na upevnenie upínača klieštiny boli vyrobené na CNC sústruhu. Otvory na upínači klieštiny boli tiež vyrobené pomocou EDM hľbenia rezania a to z dôvodu presnosti a náročného prístupu k nim.

2.3.2 Čiastočné poskladanie osi a prvé testovanie

Na spodnú platňu boli vložené kolíky, na ktoré bola následne osadená hlava osi. Hlava bola upevnená skrutkami zo spodnej strany spodnej platne. Následne bola na spodnú platňu pripevnená keramická platnička spolu s držiakom na motor. Tri ložiská boli osadené do hlavy spolu s dvoma guferami za sebou, ktoré mali zabrániť vode, aby sa dostala k ložiskám a následne do osi. Následne sme platničku pre upevnenie klieštinového upínača priskrutkovali k hriadeľu a z prednej strany vložili cez guferá a ložiské do bloku hlavy osi. Motor a hriadeľ bol spojený elastomerovou spojkou. Os sme následne otestovali a zistili sme, že sa veľmi zahrieva, čo by mohlo mať dosť veľký vplyv na presnosť obrábania, ktorú sme si vytýčili. Nadmerné zahrievanie by spôsobilo rozťahovanie materiálu a tiež jeho krútenie. Rozhodli sme sa teda odobrať jedno gufero. Teplota hlavy sa síce znížila, ale stále nie dostatočne a preto sme pristúpili k zmene typu použitých ložisk. Kúpili sme lacnejšie ložiská, s ktorými sme to chceli vyskúšať. Problém bol v tom, že pôvodné ložiská mali atypický rozmer a všetky dutiny v bloku hlavy už boli vyfrézované na tento rozmer.

2.3.3 Úprava osi a finálne poskladanie

Pre problémy s prehrievaním boli zakúpené lacnejšie štandardné ložiská a v nerezovom prevedení. Pretože blok hlavy bol vyrobený pre pôvodný atypický rozmer ložísk, museli sme vyrobiť puzdrá, ktoré mali rozmer pôvodných ložísk a do ktorých boli vsadené nové ložiská. Pre úsporu sme použili pôvodné ložiská, do ktorých sme nechali vyrezať presné otvory na nový rozmer ložísk a ich stredové krúžky sme použili na vymedzenie priestoru medzi predným a zadným párom ložísk hriadele. Pôvodné ložiská tvorili pár v spoločnom puzdre, čo sme využili a tiež sme do jedného upraveného puzdra z pôvodného ložiska vsadili dve nové ložiská. Dve ložiská boli teda v prednej časti, potom nasledovalo prázdne puzdro bez ložísk iba s vymedzovacími stredovými krúžkami a za ním nasledovalo opäť puzdro s dvomi ložiskami. Os sme znovu poskladali do stavu, z ktorého sme ju rozobrali a opäť sme ju vyskúšali. Os sa síce ešte trochu hriala, ale zhodnotili sme, že keďže bude ponorená v kvapaline so stálou teplotou, tá ju bude chladieť. Problém ale nastal v spojke. Spojka a motor totiž vytvárali veľké vibrácie na hriadele a nebolo to možné odstrániť ani presným nastavením osi motora voči osi hriadele. Preto sme namiesto elastomerovej spojky hľadali náhradu, ktorá by dokázala pohltiť vibrácie a neprenášať ich na hriadeľ ani na obal osi. Zvolili sme hardy spojku, pre ktorú sme vyrobili z duralu segment pre hriadeľ osi a hriadeľ motora, medzi ktorými bola guma. Tento typ sme zvolili nielen kvôli vibráciám, ale aj kvôli nutnosti odizolovať hriadeľ motora od kostry osi, tak ako sme to urobili s pomocou keramickej platničky v prípade uchytenia motora. Bočné steny boli následne namontované a vytesnené silikónom na spodnú platňu. Na vrchnú platňu bola vyvrtaná diera na káble a následne tam bola pripevnená trubka, cez ktorú mali byť privedené káble z osi do riadiacej skrine. Dovrtali sme aj diery na držiak, aby sa s osou lepšie manipulovalo, a zároveň slúžili aj na zdvihnutie vrchnej platne a jej odlepenia v prípade nutnosti údržby alebo opravy vo vnútra osi. Do osi sa ešte pripevnil držiak na malú USB kameru, USB kameru, LED pásik ako osvetlenie pre inštalovanú kameru, otáčkomer a záplavový senzor. Všetko bolo následne pripojené do svoriek a vrchná platňa sa pripevnila a vytesnila silikónom na bočné platne. Káble z osi prechádzajú cez vystuženú hadicu, ktorá je zakončená konektorom na pripojenie k riadiacej skrini. Tým, že hadica je vystužená, okrem ochrany káblov slúži ako ochrana pred zaplavením osi okolo káblov. Os bola potom prvý krát upevnená na stôl elektro-erozívnej rezačky FANUC C600iB následne bolo pri testovaní vyrobených niekoľko výrobkov.



Obrázok 5: Os prvý krát pripevnená na stôl rezačky pripravená na rezanie

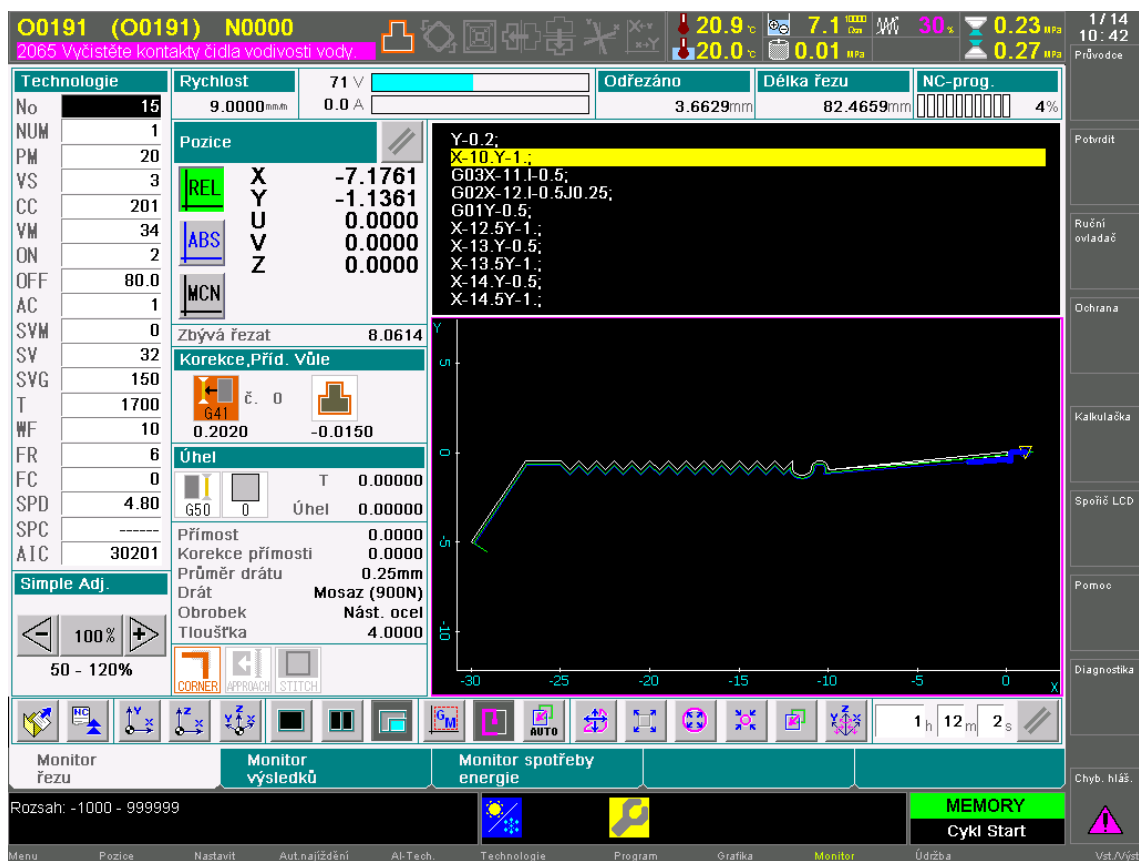
2.3.4 Riadiaca skriňa a riadenie osi

V zadaní bolo požadované, aby os bola riadená cez stroj. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli, že os budeme riadiť pomocou M príkazov. FANUC rezačka ma dva typy M príkazov, ktorými je možné ovládať externé zariadenia.

- Prvý typ M kódu – aktivuje výstupný signál na 1 sekundu a následne ho vypne (Štandard).

- Druhý typ M kódu – aktivuje výstupný signál, a ten je aktívny, kým stroj nedostane signál na jeho zrušenie.

Rozhodli sme sa pre druhú variantu a navrhli schému zapojenia tak, aby sme mali tri prednastavené rýchlosti a štvrtú manuálne nastaviteľnú. Celé zapojenie bolo realizované pomocou ôsmich relátok. Všetko sme pozapájali a uložili do riadiacej skrine, v ktorej sa nachádzajú aj tri zdroje (12V, 24V a 36V) ako aj otáčkomer, vývod záplavového senzora, maják, potenciometer a odporové trimre, ktoré pomocou invertora napätia regulujú otáčky.



Obrázok 6: Záznam obrazovky z rezačky FANUC

3 Výsledky práce a diskusia

Rotačnú os sa nám podarilo zostrojiť. Je schopná pracovať pripojená k elektroeróziínej rezačke FANUC. Avšak v prípade, že by sme túto os mali vyrobiť ešte raz, v niektorých prípadoch by sme postupovali iným spôsobom. Zvolený typ antikoru nie je ideálny pre jeho reakciu na zvýšenú teplotu. Pri ďalšom prototypy by sme určite použili prevod cez ozubený remeň, ktorý by nám pomohol úplne eliminovať vibrácie na hriadeľi, slúžil by ako izolačný prvok medzi hriadeľou motora a hriadeľou osi, a prevod by umožnil použiť aj slabší motor. V súčasnosti máme pripojenú hriadeľ osi k hriadeľi motora priamo pomocou hardy spojky. Je to výhodné, z toho dôvodu, že nepotrebujeme prevod a napriek tomu dosiahneme požadované otáčky. Pri ďalšom prototypy by sme použili iné ložiská. Aktuálne riešenie je síce funkčné, ale nie najlepšie. Komerčne predávané osi majú v sebe ložiská, ktoré majú veľký vonkajší aj vnútorný priemer, kde medzi vonkajším a vnútorným krúžkom je iba 10 mm. Väčší priemer hriadele, ktorý je blízko k priemeru vonkajšieho ložiska by pomohlo, aby os bola presnejšia, pevnejšia, kde váha na konci hriadele by nemala vplyv na presnosť a hádzavosť.

4 Záver

V našej práci bolo úlohou vytvoriť funkčný model rotačnej osi pre elektroerozívnu rezačku FANUC. Začali sme 3D návrhom osi a pokračovali sme výrobou súčiastok na os. V tomto procese nám pomohlo niekoľko firiem, ktoré nám dané súčiastky vytvorili tak, aby boli dodržané požadované tolerancie. Najviac nám pomohla firma Penta Slovensko, s.r.o., ktorá nám vyrezala väčšinu súčiastok a poskytla priestory na skladanie tejto osi a zároveň stroj na jej následné testovanie. Os sme následne poskladali a otestovali. Nasledovalo niekoľko pokusov, kde sme os doladili, nakoniec sme ju upevnili na stôl stroja a vyrobili niekoľko výrobkov. Počas testovania sme doladili technológiu a korekciu tak, aby sme dosiahli stabilitu procesu rezania a presnosť vyrezaných tvarov. Našu prácu sme zdokonalili zostrojením riadiacej skrine, ktorá nám umožňuje priame ovládanie osi zo stroja pomocou M kódov. Cieľ, ktorý sme si vytýčili na začiatku sa nám napriek mnohým technickým problémom počas výroby osi podarilo naplniť nad naše pôvodné očakávanie. Presnosť vyrobených súčiastok po doladení bola $+0,004\text{mm}$. Napriek úspechu by sme v budúcnosti zvolili inú konštrukciu osi.