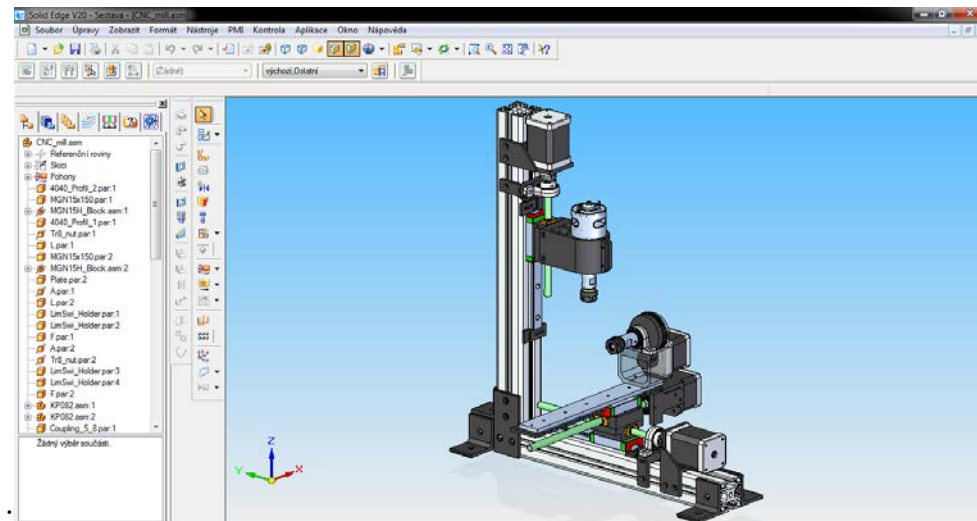


# Návrh ovládania CNC štvorosej frézovačky

Vypracoval Adam Batke

V súčasnosti sa požaduje pri výrobe rôznych súčiastok najmä v strojárskom priemysle tvarová presnosť z minimálnymi odchýlkami, vysoká efektívnosť, úspora času pri výrobe z dôrazom na zachovanie kvality. Obrábacie CNC centrá sú ideálne na riešenie tejto problematiky, poskytujú vysokú presnosť a časovú úsporu narozdiel od klasických obrábacích strojov. Toto bol jeden z hlavných dôvodov vzniku tejto práce, oboznámiť sa s princípom činnosti CNC frézovačiek a navrhnuť a skonštruovať vlastný funkčný model štvorosej CNC frézovačky. Frézovačka je okrem troch základných osí (XYZ) vybavená aj štvrtou osou (A), ktorá umožňuje otočenie súčiastky o  $360^\circ$  v osi X ktorá umožňuje obrobenie súčiastok z viacerých strán na jedno upnutie alebo obrobenie tvarovo zložitejších súčiastok.

Ako prvý krok pri realizácii CNC frézovačky bolo vytvorenie návrhu jednotlivých komponentov a následne celkového modelu frézovačky pomocou programu Solidedge V20. Výhodou CAD programov je možnosť vytvoriť 3D model, podľa ktorého sa bude postupovať pri následnej výrobe. Pri návrhu sa dbalo na jednoduchosť konštrukcie frézovačky.



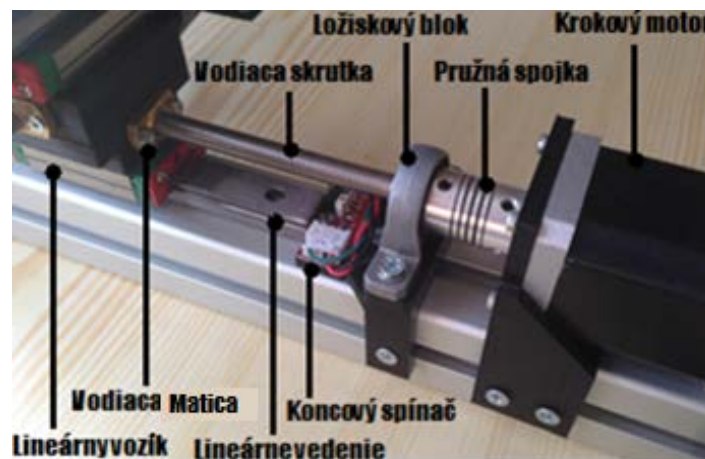
Obrázok 1: návrh CNC frézovačky v CAD programe

Ako lineárne vedenia boli zvolené MGN15, ktoré sa vyznačujú veľkou tuhosťou a robustnosťou. Výhodou je možnosť pripevnenia vodiacej kolajnice po celej jej dĺžke o konštrukciu frézovačky čím dochádza k zvýšeniu pevnosti pretože sily ktoré vznikajú pri obrábaní pohlcuje celý rám frézovačky a nie iba lineárne vedenie a nedochádza k výraznej deformácii ako pri jednoduchých vedeniach ktoré sú upené iba na koncoch.

Ako vodiace skrutky boli použité skrutky z trapézovým závitom (s priemerom 8mm a 1mm stúpaním) ktorý má väčšiu efektívnosť ako klasický metrický závit, ďalšia alternatíva bola guľôčková skrutka, ktorá má vynikajúce vlastnosti ako veľmi malá vôľa a nízke trenie matice voči skrutke, ale nevýhodou je vysoká cena.

Vodiace skrutky sú upevnené pomocou ložiskových telies, ktoré zachytávajú axiálnu silu ktorá vzniká pri pohybe v osiach frézovačky. Ložiskové telesá, ktoré boli použité, sú guľôčkové určené primárne na radiálne zaťaženie, boli zvolené z dôvodu dostupnosti a ceny. Ložiskové telesá majú dostatočnú axiálnu únosnosť aby zvládli sily, ktoré budú vznikáť v modeli frézovačky, takže sú vhodné na toto použitie.

Vodiace skrutky sú pripevnené na krokové motory pomocou pružných spojiek, ktoré kompenzujú nesúosovosť hnacieho hriadeľa motora a hnanej skrutkovice, použité motory na pohon skrutiek posúvajú maticu zaistenú proti rotácii čím vznikne priamočiary pohyb z povodného rotačného. Ako pohony lineárnych posuvových sústav boli použité krokové motory pre ich jednoduché riadenie, nepotrebujú spätnú väzbu sú cenovo dostupné, ich nevýhodou je strata záberného momentu pri vysokých posuvoch a pri preťažení okamžite dochádza k strate kroku z tohto dôvodu sú použité skrutky s nízkym súpaním čím sa zníži možnosť straty kroku, nevýhodou je zníženie rýchlosti posuvu.

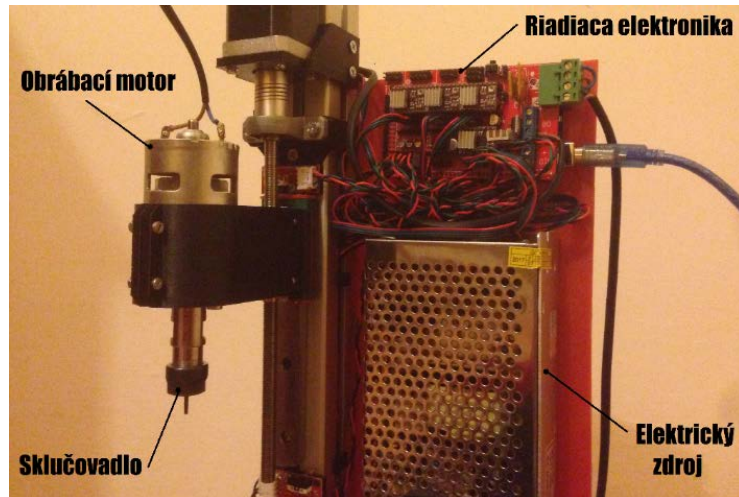


Obrázok 2: Komponenty použité na realizáciu jednej lineárnej osi

Frézovačku napája 12V zdroj (150W 12,5A), ako obrábacie vreteno je použitý motor RS-755 12V, na ktorom je upevnené skľučovadlo er11, do ktorého je možné upnúť frézu z priemerom od 1mm – 7mm.

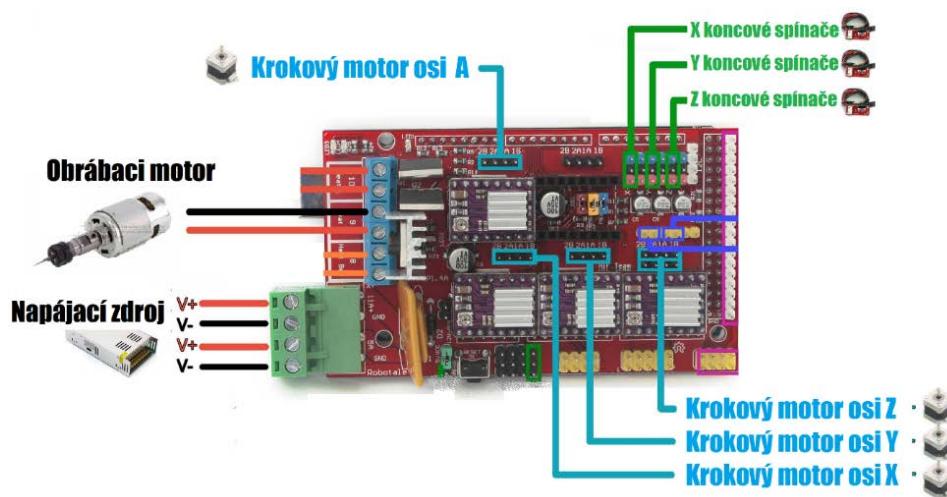
Ako rám frézovačky boli použité hliníkové profily s T drážkou, ktorých výhodou je možnosť upevnenia komponentov bez vŕtania prípadne zmenou uloženia súčiastok. Upevnenie Motorov, koncových spínačov a ďalšie komponenty sú vyrobené na 3D

tlačiarňi z PLA plastu zo 40% výplňou, ktoré boli vytlačené pomocou modelov vytvorených v CAD programe. Súbor z CAD programu boli uložené ako stl súbor, ktoré boli následne vložené do programu ktorý vygeneroval gcode pre tlačiareň, ktorá následne pomocou gcode vytvorila požadované komponenty (tento proces je podobný CNC obrábaniu).



Obrázok 3: Komponenty frézovačky

Ako riadiaca jednotka je použité arduino mega 2650, ktoré je kompatibilné s použitým firmware-om, do arduina je osadený shield Ramps 1.4, ktorý obsahuje tranzistory, ktoré sú použité na spínanie vretena ďalej možnosť osadenia driverov krokových motorov.



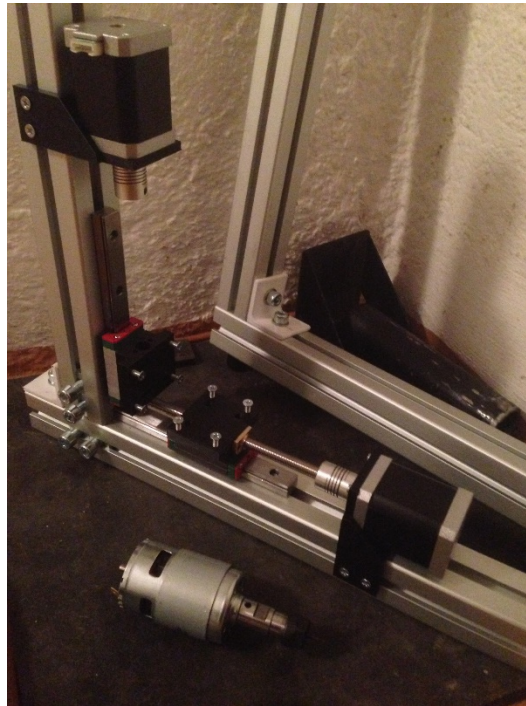
Obrázok 4: Ramps 1.4 shield zo schémou zapojenia

<https://www.hta3d.com/image/catalog/Impresoras/P3Steel/Esquemas/RAMPS-1.4-EN-alt.jpg>

Na koncoch lineárnych vedení sú umiestnené koncové spínače, ktoré vyšlú signál

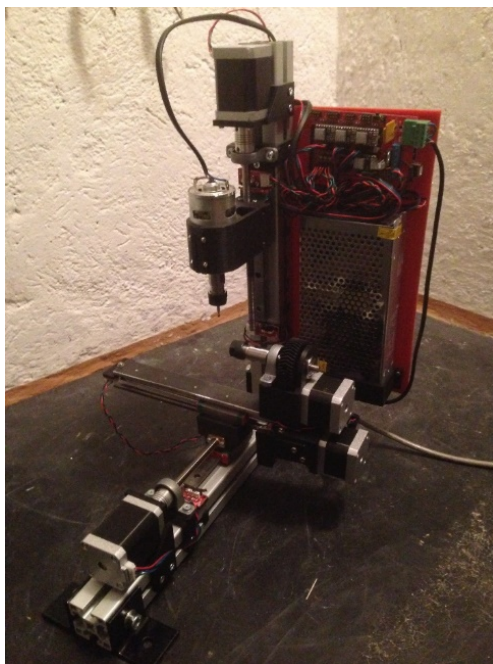
riadiacej jednotke, ktorá zastaví pohyb frézovačky v danej osi, ktorá dosiahne koncovú polohu a predídze sa tým kolízii, koncové spínače sa používajú aj na zistenie nulovej pozície stroja.

Súčiastky vytvorené v CAD programe boli uložené ako stl súbor a vložené do programu Simplify3D v ktorom boli pripravené na 3D tlač. Na výrobu týchto súčiastok bola použitá FDM technológia 3D tlače. Vytlačené súčiastky sa osadia na rám spolu s ďalšími komponentami.



**Obrázok 5: Osadzovanie súčiastok na konštrukciu**

Po dokončení konštrukcie sa zapojila elektronika pozostávajúca z arduina mega 2560, ramps 1.4 shield-u, driverov DRV8825 a prepojili sa so súčiastkami na konštrukcii ako krokové motory, koncové spínače a obrábací motor. Na riadiacu jednotku sa následne nahral upravený riadiaci program Marlin. Program Pronterface je použitý na odosielanie príkazov z počítača do CNC frézovačky.

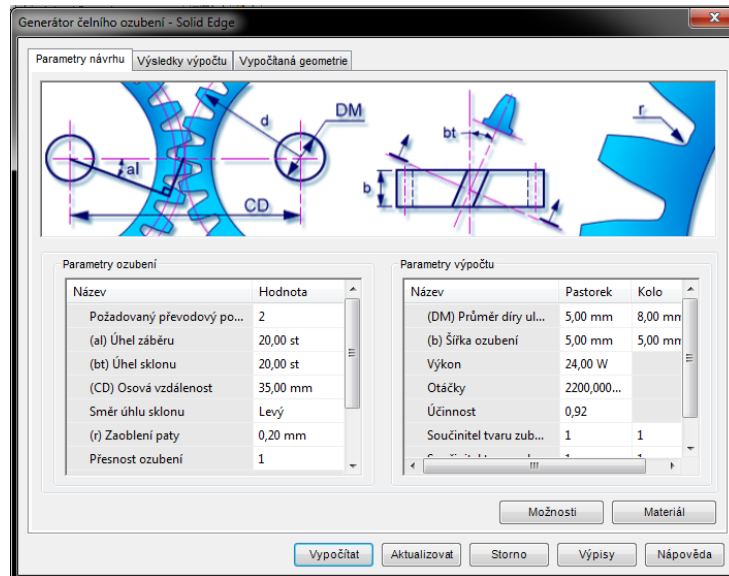


**Obrázok 6: Zrealizovaný model frézovačky**

Použité sú krokové motory NEMA17. Na osi Y a Z sú použité 65N.cm motory s dĺžkou 60mm a na osi X a A sú použité 40N.cm s dĺžkou 40mm, ktoré majú nižšiu hmotnosť a sú upevnené na pohyblivej osi X z tohto dôvodu sú použité ľahšie motory, aby celá pohyblivá konštrukcia mala čo najnižšiu hmotnosť. Motory dosahujú maximálne 6 otáčok za sekundu pri vyšších otáčkach dochádzalo k strate krokov motora pri súpaní vodiacej skrutky 1mm dosiahneme maximálnu rýchlosť 6mm/s.

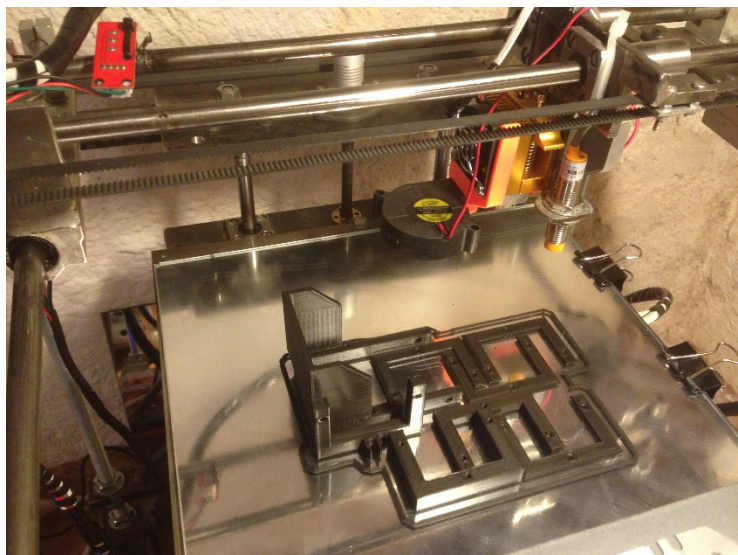
Štvrtá rotačná os ako celá frézovačka je navrhnutá v programe Solid Edge V20. Os pozostáva z krokového motora, na ktorého hriadeli je osadený pastorok, ktorý má 22 zubov. Spoluzaberajúce koleso má 43 zubov čím dosiahneme prevodový pomer 1,955. Koleso je upevnené na hriadeli ktorý je uložený do ložiskového bloku a ložiska umiestneného priamo do hlavnej konštrukcie. Súkolesie bolo vygenerované pomocou generátoru ozubených kolies

v programe Solid Edge V20 do ktorého boli zadané hodnoty ako požadovaný prevodový pomer, osová vzdialenosť, šírka ozubenia a ďalšie hodnoty.



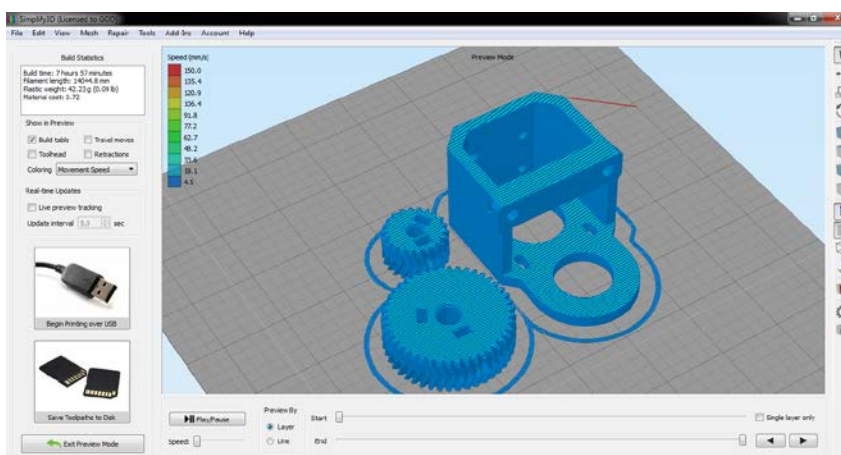
**Obrázok 7: Prostredie generátoru ozubených kolies v programe Solid Edge V20**

Otáčanie súčiastky nie je poháňané priamo, ale cez prevod do pomala z dôvodu zväčšenia krútiaceho momentu aby nedošlo k strate krokov motora, čím sa ale zníži aj maximálna rýchlosť otáčania. Model ozubených kolies a konštrukcia štvrtej osi boli vložené do programu Simplify3d je to program, ktorý slúži na vytvorenie kódu pre tlačiareň ktorý obsahuje informácie o pohybe a iných činnostiach potrebných pre vytvorenie požadovanej súčiastky. V programe boli nastavené parametre ako výplň súčiastok, pre pastorek bola zvolená 100% výplň s tromi vonkajšími obvodovými vrstvami stien (perimeter) z dôvodu najvyššej možnej pevnosti súčiastky. Taktiež bola teplota trysky pri ktorej sa taví filament nastavená na vyššiu teplotu 210°C, čím dôjde k lepšiemu prepojeniu jednotlivých vrstiev a zvyšuje mechanickú odolnosť. Tryska extruderu mala priemer 0,4mm výška vrstvy bola nastavená na 0,2mm.



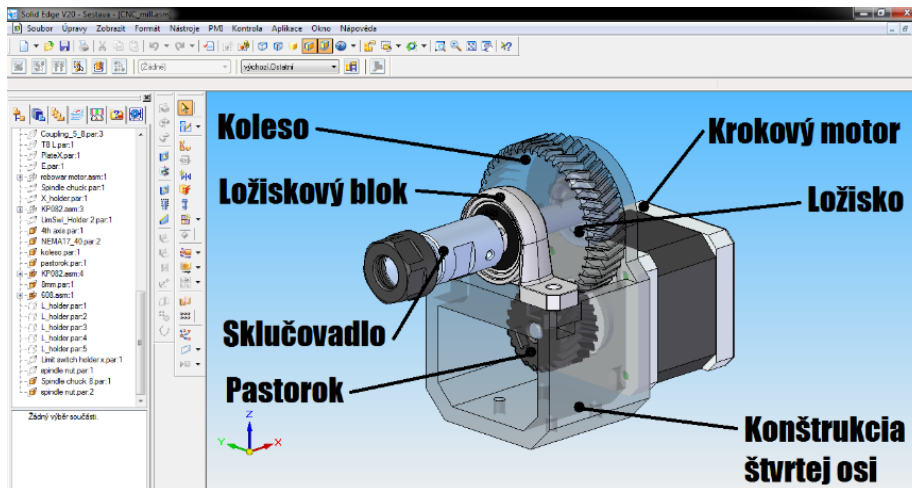
**Obrázok 8: Vytlačené súčiastky na 3D tlačiarne**

Na tlač bol zvolený PLA filament ktorý má dobré vlastnosti pre tvarovo presnejšie súčiastky pretože nedochádza k tak výraznému zmršteniu súčiastky pri chladnutí filamentu ako napr. pri použití ABS, nevýhodou PLA je nižšia pevnosť súčiastky. Hlavná konštrukcia štvrtej osi a koleso majú rovnaké parametre tlače ako pastorok z rozdielom 50% výplne z dôvodu menších nárokov na pevnosť a skrátenie celkového času tlače.

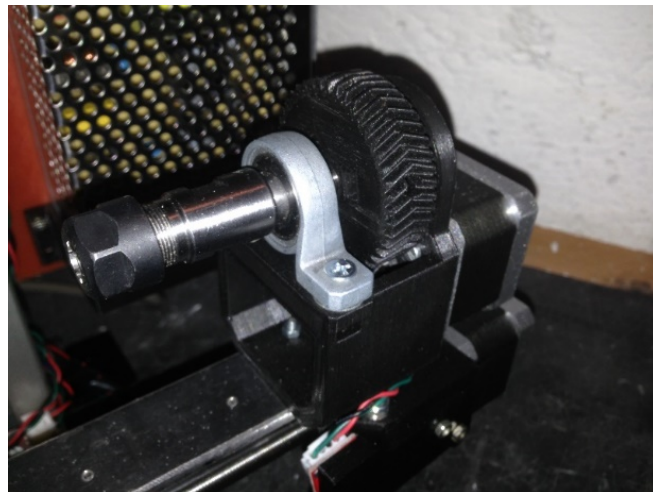


**Obrázok 9 Súčiastky štvrtej osi pripravné na tlač v programe Simplify3D**

Koleso a pastorok sú k hriadelu pripevnené pomocou poistnej skrutky, ktorá je dotiahnutá voči matici uloženej v presne tvarovanej drážke pre tvar matice z boku kolesa a pastorku. Matica je použitá pretože závit v súčiastke z PLA by nemal dostatočnú pevnosť.



Obrázok 10: Výsledná konštrukcia štvrtej osi v CAD programe



Obrázok 11: Reálna podoba štvrtej osi

Ako riadiaci program bol zvolený Marlin. Je to firmware s otvoreným zdrojovým kódom, ktorý umožňuje ovládanie piatich krokových motorov nezávislých od seba je primárne používaný pre riadenie 3d tlačiarň. Zdrojový kód bolo potrebné upraviť ako nastavenie počtu krokov potrebných na jednu otáčku krokového motoru ktorý má 200 krokov na otáčku a na riadenie motorov sú použité drivers, ktoré budú nastavené na mikrokrokovanie ktoré rozdelí každý krok motora na ďalších 32 krokov (čím sa zvýši presnosť) čím získame 6400 krokov na jednu otáčku, keďže vodiaca skrutka má stúpanie 1mm na otáčku jeden krok sa bude rovnať 0,00015625mm. Pre štvrtú os bol postup rovnaký s rozdielom použitia stupňov namiesto milimetrov, keďže sa nejedná o lineárny ale rotačný pohyb. Vo výpočte nahradíme počet krokov na otáčku za stupne a vynásobíme to prevodovým pomerom súkolesia čo je 1,955, výpočtom bolo stanovených 23040 krokov motora na otočenie osi o 360°. Použitá prevodovka



pre os A obsahuje dve ozubené kolesá čím sa mení smer otáčania, v programe je nastavená táto zmena a nedochádza k nesprávnemu smeru otáčania.



```
Marlin - Configuration.h | Arduino 1.8.2
Súbor Editovať Projekt Nástroje Pomoc

Marlin Conditionals.h Conditionals_LCD.h Conditionals_posth Configuration.h$ Configura

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 6400, 6400, 6400, 23040 }

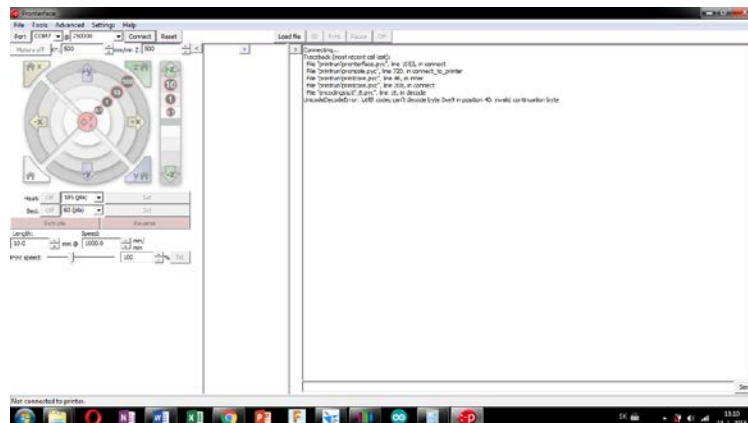
/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 5, 5, 5, 5 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 1000, 1000 }

/**
 * Default Acceleration (change/s) change = mm/s
 * Override with M204
 *
 *
 */
```

Obrázok 12: Nastavenie počtu krokov, rýchlosť a zrýchlenie v marlin firmware

Ďalej bolo potrebné deaktivovať tepelnú ochranu keďže sa jedná o program na riadenie 3d tlačiarne, teplota, ktorá je meraná na taviacej tryske tlačiarne. Po určitom čase došlo k zresetovaniu riadiacej jednotky ak sa nameraná teplota nezhodovala s požadovanou z bezpečnostných dôvodov. Na odosielanie riadiacich príkazov z počítača do riadiacej jednotky je použitý program Pronterface, ktorý obsahuje príkazový riadok, do ktorého sa zadá požadovaný príkaz na ovládanie stroja alebo je možné použiť možnosť na nahratie súboru gcodu vo forme textového súboru ktorý obsahuje príkazy o pohybe stroja a prídavné funkcie (napr. zapnutie a vypnutie vretena) ktorý je generovaný pomocou CAM programu



Obrázok 13 Prostredie programu Pronterface

Na zapínanie vretena je použitý príkaz M106 a na vypnutie M107 ktorý privedie 12V na pin D9 na Ramps doske na ktorý je zapojený obrábací motor, tento príkaz taktiež poskytuje možnosť ovládať rýchlosť otáčok pridaním za príkaz M106 písmeno S s hodnotou 0 až 255 pričom 0 sa rovná 0% a 255 sa rovná 100%, takže ak chceme zapnúť obrábací motor na 25% výkonu príkaz bude vyzerat' M106 s64