



## **Středoškolská technika 2024**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **STROJ NA VÝROBU FILAMENTU PRO 3D TISK**

**Martin Rachman**

**Střední průmyslová škola elektrotechnická  
Ječná 30, 120 00 Praha 2**

## **Anotace**

Tato dlouhodobá maturitní práce pojednává o procesu návrhu a konstrukce zařízení na výrobu filamentu do 3D tiskáren z plastového odpadu či průmyslově zpracovávaného plastového granulátu. Jeho cílem je poskytnout možnost každému vlastníkovi 3D tiskárny zpracovávat svůj plastový odpad na stále potřebný filament. Práce se nezabývá procesem drcení plastového odpadu. Odpad již musí být předem nadrcen, popřípadě granulován.

## **Klíčová slova:**

Filament, Odpad, Recyklace, 3D tiskárna

## Obsah

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Úvod .....                            | 7  |
| Princip činnosti .....                | 8  |
| Mechanická část .....                 | 9  |
| Plastové části .....                  | 9  |
| 3D modely .....                       | 9  |
| Tisk .....                            | 11 |
| Ostatní mechanické části .....        | 11 |
| Elektronika .....                     | 12 |
| Základní deska .....                  | 13 |
| Celkové schéma zapojení .....         | 14 |
| KiCAD .....                           | 15 |
| Metody výroby .....                   | 16 |
| Nakoupené elektronické součásti ..... | 17 |
| Software .....                        | 19 |
| Uživatelské menu .....                | 19 |
| Ovládání motorů .....                 | 19 |
| Regulace teploty .....                | 20 |
| Kompletace a testování .....          | 21 |
| Závěr .....                           | 22 |
| Rozpis nákladů .....                  | 23 |
| Přílohy a Zdroje .....                | 23 |

## Úvod

Dnes můžeme vidět, jak se technologie 3D tisku postupně dostává čím dál více do popředí. Nejen díky své praktičnosti, ale i díky čím dál větší dostupnosti. Množství výrobců kvalitních 3D tiskáren narůstá stejně jako počet modelů, což má za následek snížení ceny. Díky tomu se taková tiskárna dostává i do rukou menších firem či běžných nadšenců z řad široké veřejnosti.

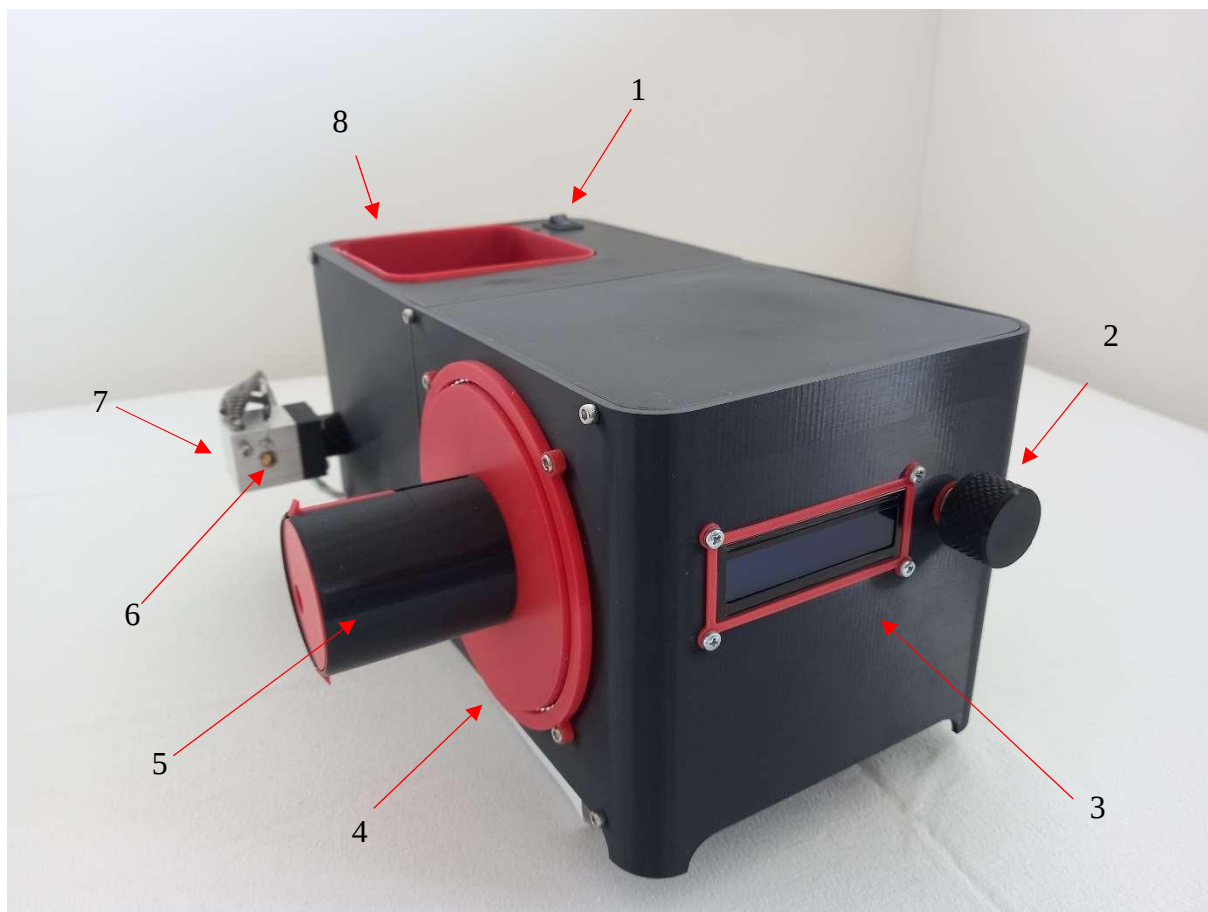
Technologie 3D tisku má však jednu nevýhodu. Při jejím používání se nedá vyhnout vytváření určitého množství plastového odpadu. Většinou v podobě nepovedených či pokusných polotovarů, které bohužel většinou končí stejně jako jiný plast na skládkách, kde se rozkládají dlouhá léta. Přitom mají potenciál téměř 100% recyklace. Po nadrcení se dají zpracovat na potřebný filament.

Recyklování filamentu v současné době není tak rozšířené jako samotný 3D tisk. Tato skutečnost se stala podnětem pro můj nápad. Co kdyby měl každý vlastník 3D tiskárny možnost pořídit si malou verzi stroje pro výrobu filamentu k sobě domů. Zařízení, které by bylo velikostně srovnatelné se samotnou 3D tiskárnou a které by umožňovalo jak výrobu vlastního filamentu z dostupného průmyslově vyráběného granulátu, tak i jeho recyklaci ze vznikajícího odpadu.

Já sám jsem vlastníkem 3D tiskárny a považuji ji za velmi praktický kus vybavení, bez kterého bych vůbec nebyl schopen se věnovat projektům, jako je tento. I proto mi na tomto tématu tolik záleží a doufám, že mé zařízení pomůže k ještě většímu rozšíření této technologie.

## Princip činnosti

Zařízení je záměrně koncipováno tak, aby našlo své umístění v každé průměrné domácnosti, a to hlavně co se týče velikosti a jednoduchosti použití.



Obrázek 1 - Popis zařízení

### Legenda:

- 1 – Hlavní spínač
- 2 – Enkodér
- 3 – LCD obrazovka
- 4 – Naviják

- 5 – Zámek cívky
- 6 – Tryska
- 7 – Tavící hlavice
- 8 – Násypník



Obrázek 2 - Šnekový podavač

Stejně jako každé elektrické zařízení musí být i toto napájeno zdrojem elektrické energie. V tomto případě se jedná o zapojení napájecího kabelu pro 230 V přímo do domácí rozvodné sítě. Přístroj se uvede do činnosti hlavním spínačem, umístěným v zadní horní části boxu. Po krátké době dojde k aktivaci hlavního displeje v přední části zařízení. Pomocí jednoduchého menu může uživatel enkodérem nastavit všechny potřebné parametry. V zadní části zařízení se nachází násypník plastové drti či granulátu v rozměru fragmentu do 4 mm, ten zároveň slouží jako zásobník. Ve spodní části násypníku je umístěn šnekový podavač, který posouvá plastovou drť či granulát do nažhavené tavící hlavy. Ta je udržována při konstantní teplotě. Z ní je následně již roztavený plast vytlačen skrz trysku o konkrétním rozměru a ochlazován pro opětovné ztuhnutí. Nakonec je hotový filament navíjen na cívku za účelem uskladnění (viz obr. 1).

## **Mechanická část**

Významnou část mého projektu představuje práce na kompletním návrhu konstrukčního řešení zařízení po mechanické stránce. To se týká jak vnitřních mechanismů pro rozpohybování klíčových elementů, tak i nosné konstrukce a vnějšího krytu. Ne však všechny části jsou vyrobeny z plastu. Proto je dál budu rozdělovat na plastové části a ostatní části.

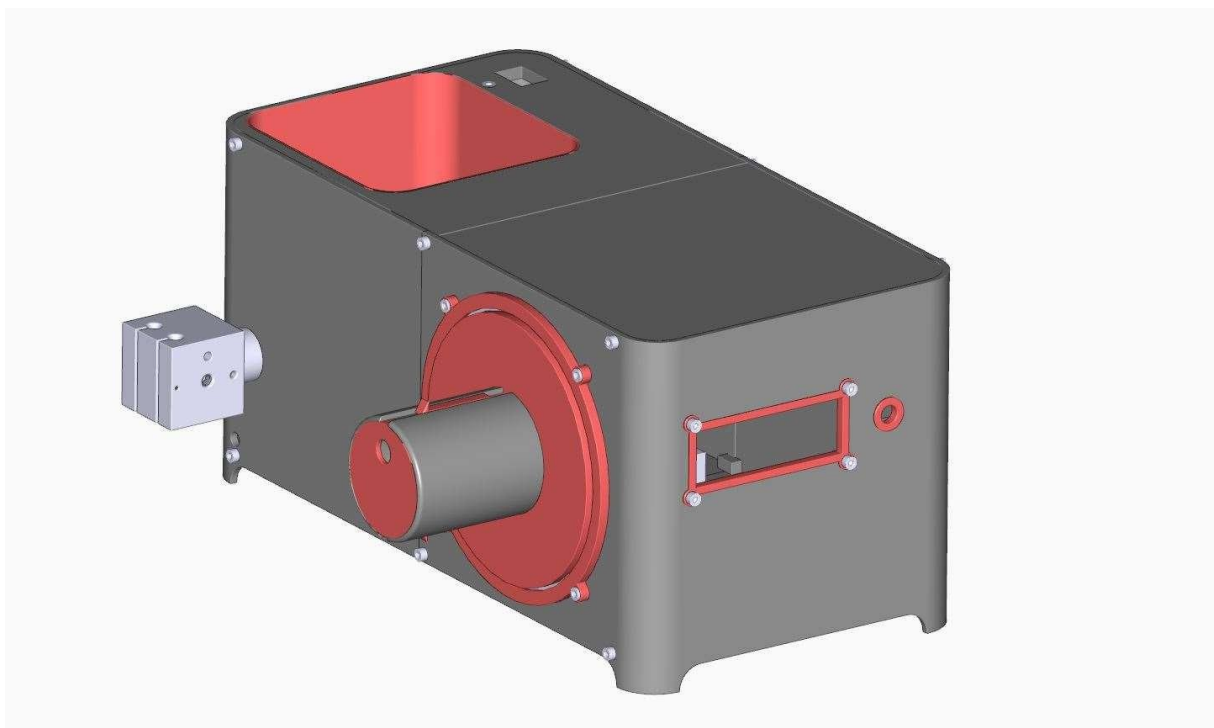
### **Plastové části**

Téměř jasnou volbou pro majoritní materiál tohoto projektu byl plast. Díky rozšířené technologii 3D tisku je snadné jakýkoli model proměnit na skutečnou součástku v řádu hodin. Přístup k této technologii jsem měl jak v rámci školy, tak i doma. Díky tomu jsem z plastu mohl vyrobit většinu potřebných dílů. Od vnějších krytů, přes okrasné prvky až po mechanické převody.

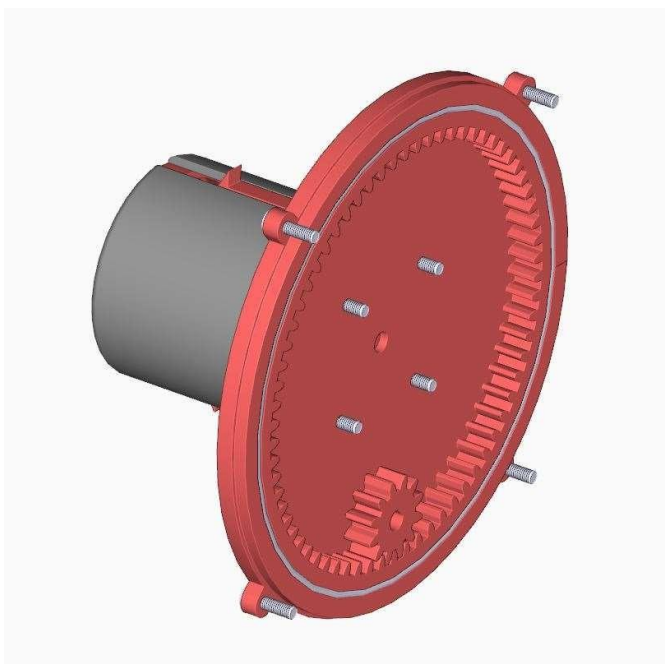
### **3D modely**

I když existuje nepřeberné množství volně dostupných modelovacích programů, já jsem se rozhodl používat program VariCAD. Hlavně kvůli tomu, že s tímto programem jsem měl již předchozí zkušenosti v průběhu nižších ročníků naší školy. VariCAD je velmi vhodným nástrojem především při modelování dílů, které vyžadují velkou míru přesnosti.

Pro lepší orientaci při práci jsem si celou dobu ukládal jak modely jednotlivých součástek do samostatných souborů, tak i postupně kompletovanou verzi do jednoho souboru. To mi pomohlo udržet si přehled o tom, co mi ještě zbývá dodělat a co je potřeba upravit.



Obrázek 3 - Kompletní 3D model



Obrázek 4 - Naviják 3D model

Nejprve jsem začal vytvořením vnější konstrukce, abych měl určité mantinely a dodržel požadavek na malou velikost. Následně jsem se zaměřil na realizaci mého nápadu udělat celý naviják jako jedno ložisko, které by z vnější strany bylo uchyceno přímo do konstrukce a z vnitřní strany mělo invertované ozubené kolo. Tím by se celý naviják otáčel (viz obr. 4). Výhodou tohoto řešení je velmi vysoká stabilita ve všech třech osách. Díky tomu snese naviják mnohem větší zátěž. Tento nápad se mi po několika pokusech podařilo úspěšně realizovat.



Obrázek 5 - Šnekový převod

Dále jsem se zaměřil na realizaci uchycení šnekového podavače. Pro dosažení potřebné síly k vytlačování plastu jsem zvolil použití šnekového převodu v poměru 1:15 mezi krokovým motorem a podavačem. Z důvodu absence kovového šnekového převodu v rozumné cenové relaci na internetu jsem se rozhodl vytisknout tuto součástku rovněž na 3D tiskárně (viz obr. 5).

V poslední řadě jsem se věnoval detailům, jako jsou otvory pro LCD a enkodér, uchycení kabeláže a elektroniky, násypníku a mnoha dalším funkčním i okrasným prvkům.

### Tisk

Výroba plastových dílů probíhala především na mé osobní 3D tiskárně Prusa mini+, i když pro ušetření tiskového času jsem nechal některé díly tisknout na tiskárnách ve škole (Prusa MK3, Prusa MK4). Díly, od kterých se neočekávalo velké fyzické či teplotní namáhání, byly tištěny z materiálu PLA, jehož hlavní výhodou je nízká cena a také nízká teplota zpracování. Pro součásti, u kterých bylo nutné zajistit větší odolnost, byl zvolen materiál PETG. Celková spotřeba pro všechny díly činí dohromady přibližně 1 kg plastu. Z estetických důvodů byly použity dvě různé barvy plastu - černá a červená.

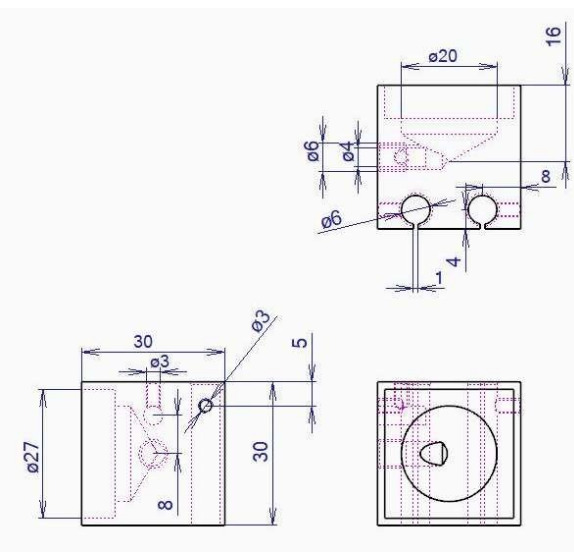
### Ostatní mechanické části

Mezi díly, které nejsou plastové, patří samotný šnekový podavač (viz obr. 2). Výroba takové kovové součásti by byla velice náročná po časové i finanční stránce. Proto jsem přistoupil k improvizované náhradě v podobě volně dostupného vrtáku do dřeva o průměru 20 mm z nástrojové oceli. Po malých úpravách, v podobě vyvrtání malé dírký do boku pro zachycení závlačky a mírném zabroušení, se stal vrták plnohodnotnou náhradou šnekového podavače.

Dílem, bez kterého by celý přístroj neměl šanci fungovat, je nahřívací hlavice (viz obr. 6). U ní byl opravdu nevyhnutelný vlastní design. V jeho rámci jsem přistoupil k rozhodnutí, že se bude plast tlačit do pravého úhlu. Toto rozhodnutí bylo velice riskantní, poněvadž v sobě ukrývalo riziko ucpání celé nahřívací hlavice. Jednalo se však o jediné řešení, jak dosáhnout požadované úspory velikosti. Po vyhotovení vlastního technického výkresu (viz obr. 7) následovala fáze frézování, za dozoru pana učitele Šimka. Zvoleným materiálem se stal dural kvůli jeho tepelným vlastnostem a nízké váze.



Obrázek C - Tavicí hlavice



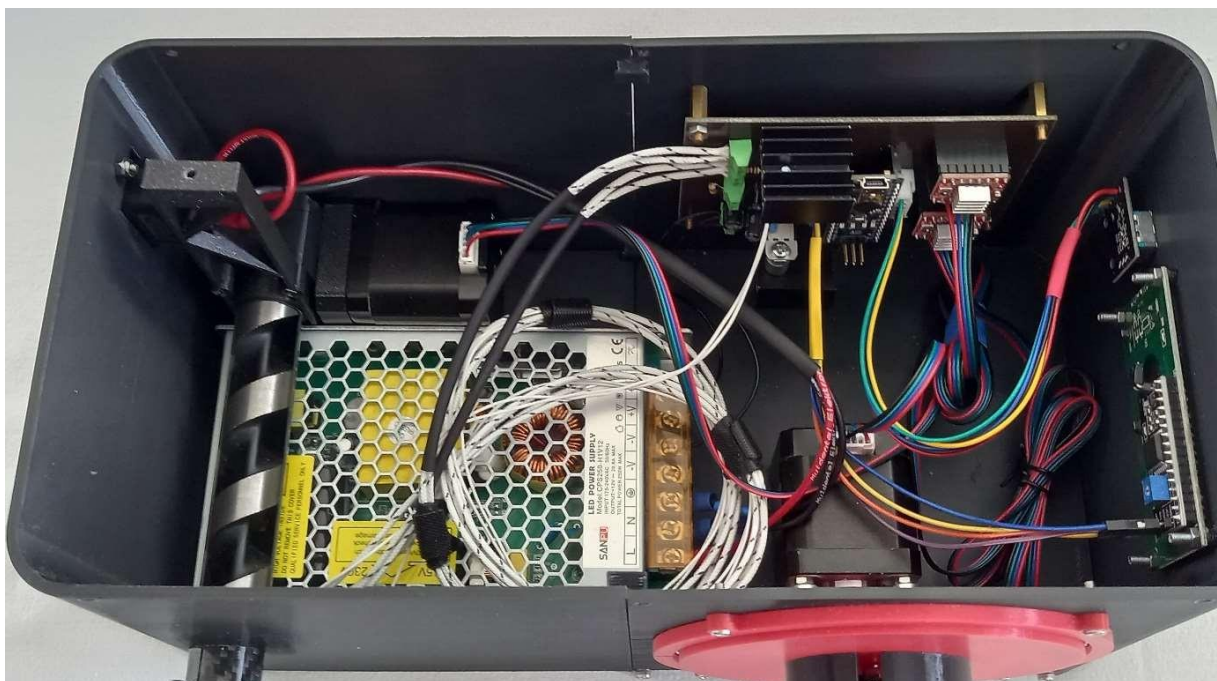
Obrázek 7 - Výkres tavicí hlavice

Pro odizolování šířícího se tepla z nahřívací hlavice bylo potřeba vytvořit podložku schopnou odolat vysokým teplotám. Trubka, na které je hlavice umístěna, je sice vyrobena z mechanicky velmi odolného karbonu, avšak její složkou je i epoxid, který by potřebným teplotám neodolal. Vybrat materiál vhodný pro tuto úlohu bylo náročné zejména proto, že bylo stále nutné brát do úvahy způsob výroby takové podložky. Pro řešení pomocí kameninové destičky by bylo nutné zakoupit velké množství nástrojů potřebných pro její správné vytvarování. Dalším řešením bylo použít odolnější druh epoxidu vylitý do formy, jenže i v tomto případě jsem byl mimo rozpočet. Nakonec jsem se rozhodl použít stejnou formu, ale s použitím šamotové pasty, která se běžně používá pro realizaci krbů. Z estetických důvodů byla podložka přetřena na černo.

## Elektronika

Druhou největší část mé práce tvoří srdce celého přístroje, a to je elektronická realizace. Vlastní návrh zahrnuje zapojení výkonových prvků (motorů, nahřívacích těles), modulů pro komunikaci s uživatelem (LCD, enkodér), napájecího zdroje a řídicího systému (viz obr. 8).

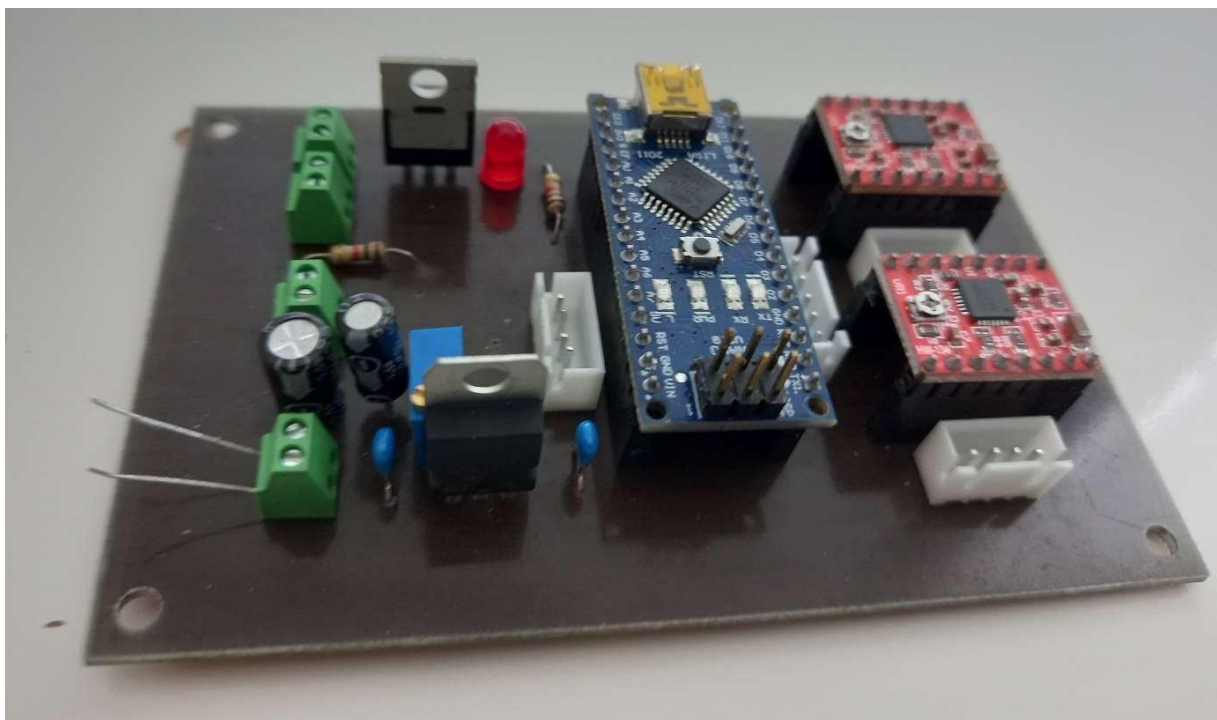
Jako řídicí systém jsem zvolil mikropočítač Arduino nano s procesorem ATmega328. Jeho hlavní výhodou jsou malé rozměry a jednoduché programování. Navíc díky velmi rozsáhlé komunitě programátorů využívající tento řídicí systém je snadné řešit jakékoliv technické poruchy. Jedinou překážkou při používání tohoto řídicího systému byla velikost jeho paměti, která v modulu nano čítá pouze 2048 MB. To mě donutilo opravdu zvažovat nutnost použití každé proměnné.



Obrázek 8 – Elektronická realizace

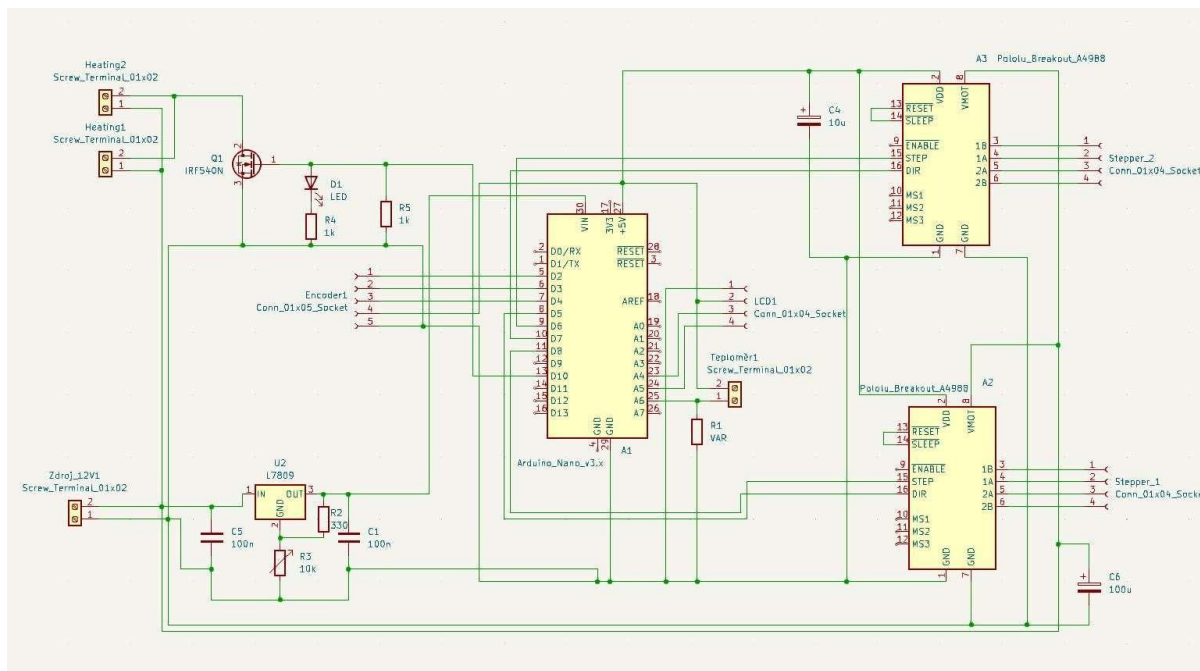
### Základní deska

Už při kreslení prvotních náčrtků schématu zapojení mi bylo jasné, že se tento projekt neobejde bez plošného spoje (viz obr. 9). Ten nahrazuje obrovské množství jinak potřebných kabelů pro propojování jednotlivých modulů a diskretních součástek. Tento plošný spoj zastává funkci základní desky celého stroje.



Obrázek 9 – Kompletní řešení plošného spoje (základní deska)

## Celkové schéma zapojení



Obrázek 10 - Celkové schéma zapojení

Při návrhu zapojení jsem začal tou relativně jednodušší částí. Nejprve jsem řešil využití digitálních a analogových pinů na řídicím systému Arduino nano. Potřeboval jsem si ověřit, že mám vůbec potřebný počet pinů. Po rozkreslení připojení jednotlivých už hotových modulů (jako například kontrolérů krokových motorů nebo LCD) jsem se zaměřil na napájení.

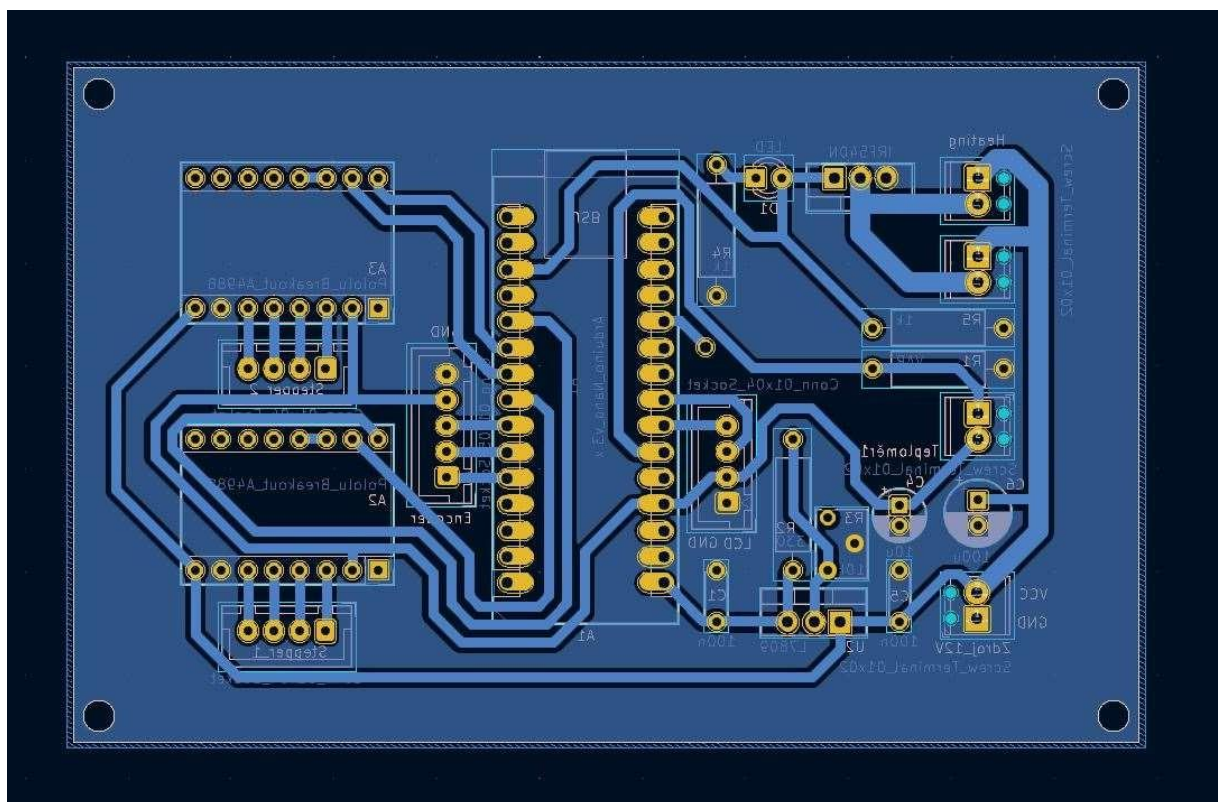
Spínaný zdroj, který jsem zvolil, byl dimenzován na maximální zátěž 250 W při výstupním napětí 12 V. S maximální zátěží problém nebyl, protože v součtu všechny spotřebiče nečinily více než 120 W. Problém však byl s hladinou napětí. Nahřívací hlavice jsem sice schválně nakoupil pro pracovní napětí 12 V (pro zajištění menšího proudu), ale pro Arduino již tato hladina nebyla ideální. Jeho výrobce udává rozsah vstupního napětí jako 7–12 V. Nacházet se na úplném okraji tohoto rozsahu by nebylo moudré. Při jakémkoliv zakolísání by mohlo dojít ke spálení vnitřního stabilizátoru řídicího systému. I kdyby k překročení nedošlo, docházelo by ke zbytečným ztrátám právě na tomto vnitřním stabilizátoru. Proto jsem se rozhodl předradit vlastní stabilizátor na 9 V. Použil jsem široce používaný troj nožičkový stabilizátor 7809 v kombinaci se dvěma filtračními kondenzátory o hodnotě 100 nF.

Dál jsem se věnoval části, která má za úkol regulovat proud nahřívacími tělesy. Zvolil jsem jednoduché řešení v podobě unipolárního tranzistoru MOSFET v spínacím zapojení, řízený pulzně šířkovou modulací z řídicího systému. Jediným problémem zde bylo zvolit správný model tranzistoru. Pulzy z Arduina totiž dosahují pouze hladiny 5 V. To je pro některé tranzistory moc nízká hladina pro plné otevření. Zbytečně bych se tak omezil na výstupním výkonu nahřívacích těles. Po krátkém pátrání jsem zvolil tranzistor IRF530N.

## KiCAD

Pro návrh plošného spoje jsem zvolil program KiCAD. Jedná se o bezplatný software s širokou komunitou umožňující návrh vlastních plošných spojů, jak pro technologii THT, tak i SMD. Je uživatelsky přívětivý a obsahuje nepřeberné množství vlastních knihoven s většinou potřebných součástek. Pokud v něm nějaká součástka chybí, není problém ji dokreslit a takto si postupně rozvíjet vlastní knihovny na míru navržených komponentů.

Prvním krokem při návrhu vlastního plošného spoje bylo překreslit schématické zapojení do prostředí KiCAD (viz obr. 10). Díky tomu je program schopný v dalším kroku přesně tvůrci radit s propojováním jednotlivých součástek. Tím dalším krokem je rozvržení samotných součástek na plochu desky tak, aby se vzájemně nepřekrývaly a zároveň je bylo možné propojit co nejmenším počtem měděných cest (viz obr. 11). V této části vývoje jsem vystřídal celkově přes 6 různých variant uspořádání, než jsem našel vyhovující rozložení.



Obrázek 11 - Návrh plošného spoje

Aby nemuselo dojít k pájení Arduina a dalších cennějších modulů přímo k plošnému spoji, využil jsem praktických dutinkových lišt. Moduly lze tedy kdykoli vyjmout a případně nahradit při poruše. Pro připojení externích modulů, jako je LCD, enkodér a krokové motory, jsem použil konektorů typu JST XH. Pro napojení zdroje senzoru teploty a nahřívacích těles jsem použil šroubovací svorkovnice.

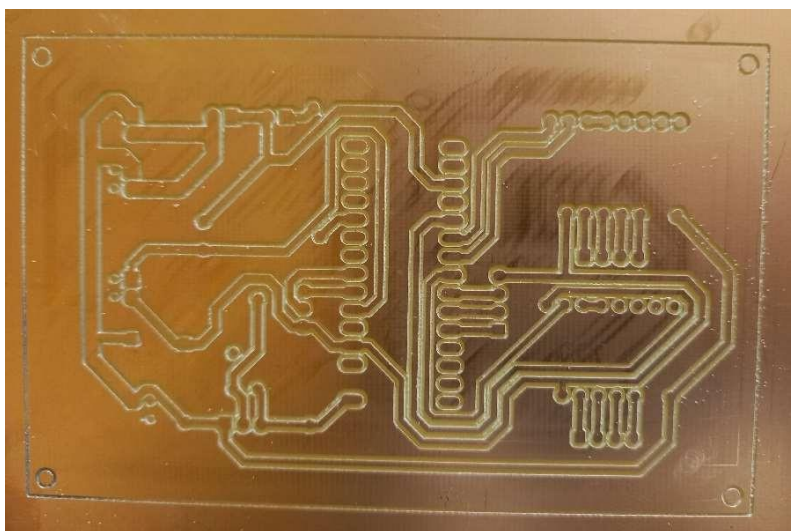
## Metody výroby

Mezi elektrotechnickými kутily je známo, že se dnes dá jakýkoli soukromý návrh plošného spoje či integrovaného čipu vyrobit v Číně na zakázku. Já jsem však od tohoto řešení upustil z několika důvodů. Jedním z nich byla skutečnost, že je tato metoda časově náročná. V případě potřeby jakýchkoli průběžných úprav plošného spoje by kromě zvýšeného rozpočtu hrála úlohu také doba doručení objednané změny. Proto jsem hledal alternativní metody výroby.

Jednou z možností bylo použít metodu leptání. Při této metodě se návrh plošného spoje vytiskne v reálném měřítku na speciální papír, který se následně „nažehlí“ na měděnou vrstvu prázdného plošného spoje. Inkoust se odlepí od speciálního papíru

a udrží se na mědi. Poté se destička ponoří do kyseliny a všechnu měď, která není přikrytá inkoustem, odleptá. Posledním krokem je vyvrtání děr. Nevýhodou této metody je nutnost práce s chemikáliemi nebezpečnými pro zdraví.

Další metodou, kterou jsem nakonec zvolil, je mechanické frézování návrhu do prázdného plošného spoje. Frézovací hlava o průměru do 0.5 mm projede obvod všech cest a tím je od sebe oddělí (viz obr. 12). Naše škola naštěstí disponuje speciální frézou potřebnou k této metodě. Pro mě je velkou výhodou možnost zanechání takzvaného výlevu (z angličtiny pour), což znamená využití zbytku volné plochy jako jeden z kontaktů (v mém případě GND).



Obrázek 12 – Polotovár plošného spoje



Obrázek 12a – Vrtání plošného spoje

## Nakoupené elektronické součásti

Je samozřejmé, že ne všechny části takto složitého přístroje je možné vyrobit v domácím prostředí. Mezi hlavní nakoupené součásti patří:

### a) Krokové motory

Při výběru pohonu pro mé zařízení zde byla i úvaha použít DC motory místo krokových motorů, a to hlavně kvůli snazšímu zapojení. Toto řešení by však představovalo i velkou nevýhodu. S DC motory bych nebyl schopen dosáhnout menších kontrolovaných pohybů, které by v případě zaseknutí či kalibraci stroje mohli být nutné. Konečným výběrem se tedy staly dva krokové motory NEMA 17 17HS8401 s tahem 0,5Nm. Jeden pro pohánění navijáku a jeden pro pohon šnekového podavače. Zároveň pro jejich ovládání bylo potřeba objednat kontroléry krokových motorů. Vybrán byl modul A4988.

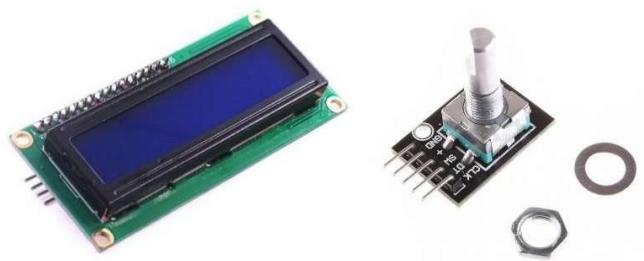


Obrázek 13 – Krokový motor NEMA17

### b) Uživatelské prvky (LCD, enkodér)

Při nákupu LCD bylo potřeba vybrat takový modul, který v sobě zahrnuje komunikační modul pro I2C bus. Bez něj by musel modul LCD komunikovat přes 16 samostatných datových pinů, což by bylo mimo kapacitu mého řídicího systému. Praktický přídavný modul zakóduje všech 16 datových pinů do jednoho datového toku typu komunikace I2C. Zůstává pouze nutnost pinu řídicích pulzů a napájení. Jedná se o dvouřádkový display s 16 znaky na řádek, modré podsvícení.

Výběr enkodéru nebyl obzvlášť složitý. Stačilo se ujistit, že disponuje funkcí centrálního tlačítka. Také z praktických důvodů jsem zvolil enkodér s již připravenými odpory mezi komunikačními kanály. Vybrán tedy byl rotační enkodér s tlačítkem Keyes KY-040.



Obrázek 14 a 15 - LCD a Enkodér

### c) Nahřívací tělesa –

Výběr nahřívacích těles jsem měl rozmyšlen už předem. Dopředu jsem věděl, že chci použít stejná tělesa, která se používají v 3D tiskárnách. Jsou lehce sehnatelná v rozumné cenové relaci a s jistotou zvládnou požadované teploty. Pro ujištění, že bude tavící hlavice rozžhavana dostatečně rychle, rozhodl jsem se použít dvě tato tělesa. Zároveň pro snížení pracovního proudu jsem pro stejný výkon zvolil vyšší 12 V hladinu pracovního napětí. Jedná se konkrétně o topné těleso BIQU 12 V, 40 W.



Obrázek 1C - Nahřívací těleso BIQU

Pro měření aktuální hodnoty teploty tavící hlavice jsem původně zvolil široce používaný senzor tp100, avšak s tímto modulem se na poslední chvíli objevily problémy. Proto ve finální verzi byl nahrazen termistorem NTC 3950.

### d) Zdroj

Při výběru zdroje jsem musel vzít do úvahy maximální předpokládaný výkon celého zařízení. Ten při prvním sčítání činil 85 W. Pro jistotu však byl zvolen zdroj s vyšším maximálním výkonem, aby při případných úpravách nedošlo k přetížení. To se ukázalo jako správný krok, neboť nakonec byl součet maximálního výkonu vyšší. Zvolen byl spínaný zdroj SANPU CPS250-H1V12 s maximálním výkonem 250 W, výstupním napětím 12 V a maximálním výstupním proudem 20,8 A.



Obrázek 17 - Spínaný zdroj SANPU

## Software

Pro naprogramování softwaru mého zařízení jsem použil prostředí přímo určené k řídicímu systému Arduino. Při programování jsem čerpal syntaxi z několika fór (viz Zdroje), které jsem sám skládal dohromady a upravoval podle své potřeby.

```
44
45 void loop() {
46     button.loop(); // MUST call the loop() function first
47     CLK_state = digitalRead(CLK_PIN); // read the current state of the rotary encoder's CLK pin
48
49     // If the state of CLK is changed, then pulse occurred
50     // React to only the rising edge (from LOW to HIGH) to avoid double count
51     if (CLK_state != prev_CLK_state && CLK_state == HIGH) {
52         if (digitalRead(DT_PIN) == HIGH) counter--;
53         else counter++;
54     }
55     // print to LCD
56     if (CLK_state != prev_CLK_state && CLK_state == HIGH) {
57         lcd.clear();
58         lcd.setCursor(1,0);
59         lcd.print("Loader motor");
60         lcd.print(counter);
61
62         lcd.setCursor(1,1);
63         lcd.print("Spool motor");
64         if (!in_menu) {
65             lcd.setCursor(0,menu);
66             lcd.print(">");
67         }
68     }
```

Obrázek 18 - Ukázka kódu

## Uživatelské menu

První důležitější část kódu představuje menu, s jehož pomocí je uživatel schopen ovládat klíčové parametry zařízení. Menu je členěno po řádcích na jednotlivé nastavitelné parametry, mezi kterými uživatel může vybírat pomocí šipky po straně. Stisknutím tlačítka enkodéru potvrdí výběr konkrétního parametru a následně mění jeho hodnotu. Opětovným stisknutím tlačítka enkodéru se hodnota parametru potvrdí a uživatel může přejít na jiný parametr. Mezi nastavitelné parametry patří cílová teplota tavící hlavičky, rychlost výroby v % a manuální nastavení rychlosti jednotlivých motorů pro synchronizaci. Pro jednodušší realizaci a práci s LCD a enkodérem jsem používal knihovny ezButton

a LiquidCrystal\_I2C.

## Ovládání motorů

Pro zjednodušení ovládání motorů jsem se rozhodl využívat již existující knihovny jménem AccelStepper. Ta generuje pulzy pro řízení samotných krokových motorů. Mohl jsem tak ovládat rychlost krokových motorů pomocí konkrétních hodnot rychlosti bez nutnosti generovat vlastní pulzy. Bylo však potřeba vzít do úvahy nastavení motorů, lépe řečeno, kolik kroků mají na jednu otáčku. Nejdříve jsem chtěl použít základní nastavení 200 kroků na otáčku, ale při prvním pokusu jsem byl nucen přistoupit ke změně. Při nízkých rychlostech s tímto nastavením se celý stroj velice rozvibroval a vyluzoval hlasité zvuky. Proto jsem přenastavil kroky na nejmenší možné nastavení, a to 3200 kroků na otáčku.

## Regulace teploty

Další nevyhnutelnou částí byla regulace teploty. Při neregulované teplotě by velice pravděpodobně došlo k překročení kritické teploty zpracovávaného plastu, který by se začal pálit a uvolňoval by nebezpečné výpary. Proto bylo nutné regulovat výkon do nahřívacích hlavíc v závislosti na naměřené teplotě.

Nejobtížnější částí regulace bylo samotné měření teploty. Většina aplikací totiž používá lineární aproximaci teplotní závislosti konkrétního senzoru. Tím, že se však pohybují v teplotách mimo doporučený rozsah, tato aproximace je velmi nepřesná. Proto jsem se rozhodl ji nahradit přesnějším logaritmickým vyjádřením teplotní závislosti. Sice mi to ubralo trochu již tak limitovaného výpočetního výkonu mého řídicího systému, avšak považoval jsem to za nezbytný ústupek (viz obr. 19).

```
9 void loop() {  
10     /*Read analog output of NTC module,  
11     | i.e the voltage across the thermistor */  
12     float Vi = analogRead(A6) * (5.0 / 1023.0);  
13     //Convert voltage measured to resistance value  
14     //All Resistance are in kilo ohms.  
15     float R = (Vi * Rseries) / (5 - Vi);  
16     /*Use R value in steinhart and hart equation  
17     | calculate temperature value in kelvin*/  
18     float T = 1 / ((1 / To) + ((log(R / Ro)) / B));  
19     float Tc = T - 273.15; // Converting kelvin to celsius
```

Obrázek 1S - Kód pro měření teploty

Omezení výkonu do nahřívacích těles už byla ta jednodušší část. Pouze ovládám šířku pulzu, kterým se otevírá spínací tranzistor v závislosti na naměřené teplotě, čímž měním tzv. střidu.

## Kompletace a testování

Před kompletací bylo nejprve nutné vytisknout všechny modely na 3D tiskárně, vyfrézovat a spájet plošný spoj, nakoupit všechny potřebné díly a napsat první verzi programu. Podle očekávání se všechno nepodařilo na poprvé. Některé díly k sobě nepasovaly a bylo je tedy nutné přemodelovat a znovu vytisknout. Při výrobě prvního plošného spoje se mi nepodařilo správně vyvrtat vývody a bylo tedy nutné vyfrézovat nový. Při pájení jsem odhalil vadnou součástku z výroby a musel jsem ji tedy nahradit. Zkrátka nic nešlo tak hladce, jak jsem doufal, ale po třech plošných spojích, čtyřech verzích programu a nespočtu plastových polotovárů se mi nakonec podařilo uvést zařízení do přijatelného stavu.



Obrázek 20 - Zkompletovaný stroj

## **Závěr**

Myslím si, že když se ohlédnu zpět, s jakou myšlenkou jsem tento projekt začínal, nepředpokládal jsem, že se dopracuji k takovému výsledku. Z prvotního nápadu, o jehož úspěšné realizaci jsem nebyl zcela přesvědčen, se stal smysluplný projekt, který je nejenom realizovatelný, ale i prakticky využitelný. Neříkám, že je všechno dokonalé. Nicméně s přihlédnutím k rozpočtu a dostupnému prostředí si myslím, že projekt dopadl úspěšně.

Jako první věc, kterou budu do budoucna vylepšovat, je určité řídicí systém. Až při náročnější práci se systémem Arduino jsem si potvrdil to, co my většina tvrdila od začátku. Systém je praktický pro malé pokusy a rychlé projekty, ale pro větší zařízení je tento systém velice neefektivní. Cenou za uživatelskou přístupnost je snížení efektivity jak ve využití paměti, tak i výpočetního výkonu. Rád bych se pokusil ho v budoucnu nahradit efektivnějším systémem, jako je například Raspberry pi nebo jiným ještě jednodušším mikrokontrolerem.

Celý projekt byl pro mě velice zajímavou zkušeností, na kterou budu vzpomínat. Naučil jsem se řadu nových věcí, hlavně co se týče organizace takového projektu, ale získal jsem i zkušenosti technického charakteru. Práce na tomto projektu mi rovněž pomohla utřídit si znalosti získané v rámci školy či je dokonce obohatit.

## Rozpis nákladů

| Název                                  | počet kusů | cena za kus v Kč |
|----------------------------------------|------------|------------------|
| Filament PLA červený + černý [kg]      | 1          | 299              |
| Arduino nano V3.0 ATmega328            | 1          | 259              |
| Spínaný zdroj SANPU CPS250-H1V12       | 1          | 549              |
| Kontrolér krokových motorů A4988       | 2          | 69               |
| Krokový motor NEMA 17HS8401 0.5 Nm     | 2          | 348              |
| LCD display 16x2 znaků + I2C převodník | 1          | 98               |
| Rotační enkodér Keyes KY-040           | 1          | 38               |
| Topné těleso BIQU 12 V, 50 W           | 2          | 70               |
| Termistor NTC 3950                     | 1          | 50               |
| Kuličkové ložisko 625RS                | 3          | 28               |
| Kuličkové ložisko FAG 61802-HLC2       | 2          | 155              |
| Tryska E3D 1,2mm                       | 1          | 30               |
| Diskrétní součástky                    |            | 300              |
| Spojovací materiál                     |            | 500              |
| <b>Celkově v Kč</b>                    |            | <b>3491</b>      |

Tabulka 1 - Rozpis nákladů

## Přílohy a zdroje

Ovládání krokových motorů: [How to Control Stepper Motor with A4988 Driver C Arduino \(how2electronics.com\)](http://how2electronics.com)

Práce s LCD: [Arduino - LCD I2C | Arduino Tutorial \(arduinogetstarted.com\)](http://arduinogetstarted.com)

Práce s enkodérem: [Arduino Nano - Rotary Encoder | Arduino Nano Tutorial \(newbiely.com\)](http://newbiely.com) Měření teploty: [Measure temperature using Arduino and NTC thermistor \(mechatroface.com\)](http://mechatroface.com) Obrázky:

Krokový motor NEMA17: [7206-1 7206-1-krokovy-motor-nema-17-17hs8401-0-5nm.jpg \(1024×768\) \(myshoptet.com\)](http://myshoptet.com)

LCD: [281-1 16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik.jpg \(1024×768\) \(myshoptet.com\)](http://myshoptet.com)

Enkodér: [176 176-keyes-ky-040-rotacni-encoder-s-tlacitkem.jpg \(1024×768\) \(myshoptet.com\)](http://myshoptet.com)

Nahřívací těleso BIQU: [2031-1 heater2.png \(1024×768\) \(myshoptet.com\)](http://myshoptet.com)

Spínaný zdroj SANPU: <https://dratek.cz/photos/produkty/f/174/174763.jpg?m=1689681446>