

Návrh navíjecího zařízení pro vytlačovací stroj

Jakub Krupka

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jakub Krupka
Osobní číslo:	T19733
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh navijecího zařízení pro vytlačovací stoj

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Navrhněte technické řešení navijecího zařízení.
3. Zhotovte výkresovou dokumentaci včetně výkresu sestavy a kusovníku.
4. Zhodnocení výsledků řešení

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. Výrobní stroje a zařízení I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 264 s. ISBN 978-80-7318-596-1.
2. ŽENÍŠEK, Josef a Milan JENKUT. Výrobní stroje a zařízení. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 276 s.
3. RUDOLF, Bedřich. Jednouúčelové stroje, automaty a výrobní systémy. Praha: ČVUT, 1984, 164 s.
4. Konstruktér: CAD - CAM - PLM - obrábění - 3D tisk - výroba - automatizace. Praha: Springwinter, 2013-. ISSN 1805-8590.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janoščík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí navíjecího zařízení pro vytlačovací stroj. Teoretická část se věnuje konstrukci jednoúčelových zařízení, navíjení délkového materiálu, technologii vytlačování, reologii polymerů, jejich problematice při zpracování technologií vytlačování a metodě 3D tisku fused deposition modeling. Praktická část se zabývá návrhem jednoúčelového stroje, jehož cílem je zajistit plynulé navíjení filamentu a jeho rovnoměrné rozložení na běžné cívce. Navržené zařízení je určeno pro navíjení filamentu o průměru 1,75 mm na cívky o široké škále rozměrů a váhových kategorií. Od nejmenších 220 g cívek až po 2 kg náviny. Kalibrace navíjení pro cívky o různých rozměrech je snadná a intuitivní. Pro dosažení vysoké přesnosti využívá zařízení krokových motorů. Je vhodné pro provoz jak v malých výrobních linkách, tak v prostředí domácím. Není třeba jej propojovat s ostatními zařízeními pomocí datových a jiných kabelů, zařízení se samo přizpůsobí výrobnímu výkonu linky. Díky kombinaci mechanické regulace s regulací elektrotechnickou vyžaduje kromě výměny cívek minimální dozor při chodu. Ovládá se pomocí čtyřech tlačítek.

Klíčová slova: Navíjecí zařízení, navíjení, jednoúčelový stroj, vytlačovací stroj, 3D tisk, vytlačování, FDM, filament.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with construction of machine for winding of plastic wire from extrusion machine. The theoretical part deals with construction of single-purpose machines, winding, technology of extrusion, rheology of polymers, their limitations during production and the fused deposition modelling method of 3D printing. The practical part deals with the design of single-purpose machine with focus on steady filament winding and its even distribution on standard spools. The machine is designed to wind up filament with diameter of 1,75mm on wide variety of spools ranging from small 220 g spools, to big, 2 kg worth of filament spools. When changing of spools of different sizes is necessary, the process of calibration is easy to understand and intuitive. Stepper motors are implemented to achieve high precision winding. It is suitable for small production lines or DIY production stations. There is no need to connect it to other machines via data cables in production line. The machine will automatically adapt its winding speed to the volume of production. Due to combination of mechanical regulation with electrotechnical regulation ensures that the machine doesn't require too much attention from its operator apart from change of spools.

Keywords: Winding equipment, winding, single-purpose machine, extrusion machine, 3D printing, extrusion, FDM, filament.

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavu Janoščíkovi, Ph.D. za trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

OBSAH	8
ÚVOD	10
I.	11
TEORETICKÁ ČÁST	11
1 JEDNOÚČELOVÉ STROJE	12
1.1 POHON.....	12
1.1.1 Elektrické pohony	12
1.1.2 Asynchronní motory.....	14
1.1.3 Stejnoseměrné motory	14
1.1.4 Krokové motory	15
1.2 RÁM	15
1.2.1 Litinové rámy	16
1.2.2 Svařované rámy.....	16
1.2.3 Stavebnicový systém.....	18
2 NAVÍJENÍ	20
2.1 TEORIE	20
2.2 PARALELNÍ VINUTÍ	21
2.3 KŘÍŽOVÉ VINUTÍ.....	22
2.3.1 Divoké vinutí.....	23
2.3.2 Přesné křížové vinutí.....	23
2.3.3 Digitální vinutí	24
2.4 MECHANISMY PARALELNÍHO VINUTÍ.....	24
3 VYTLAČOVACÍ STROJE	26
3.1 POPIS STROJE.....	26
3.2 ŠNEK	27
3.3 VYTLAČOVACÍ HLAVA.....	28
3.4 TOK POLYMERŮ A JEJICH REOLOGIE	31
3.5 NAVÍJECÍ ZAŘÍZENÍ VE VÝROBNÍCH LINKÁCH	35
4 3D TISK	36
4.1 METODA FUSED DEPOSITION MODELING – FDM	36
4.2 SOUČASNÉ VYUŽITÍ	38
5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	40
II.	41
PRAKTICKÁ ČÁST	41
6 POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ	42
7 NÁVRH ZAŘÍZENÍ	43

7.1	RÁM	43
7.2	ŘÍZENÍ	47
7.3	NAVÍJENÍ	48
7.4	ŘÁDKOVÁNÍ	52
7.5	REGULACE	56
7.6	OVLÁDÁNÍ	60
8	KONTROLNÍ VÝPOČTY	64
8.1	HŘÍDEL CÍVKY	64
8.2	VODÍCÍ TYČ ŘÁDKOVÁNÍ	65
9	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	67
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK	77
	SEZNAM PŘÍLOH	78
	ŘÍLOHA P I: MOMENTOVÁ KŘIVKA MOTORU NEMA 17 17HS15-1684S-HG10	80
	PŘÍLOHA P II: KATALOGOVÝ LIST SPOJKY OLDHAM	81

ÚVOD

3D tisk metodou FDM je v současnosti velmi populární metodou výroby prototypů tvarově složitých výrobků. Díky nízké pořizovací ceně jednoduchých tiskáren již není 3D tisk výsadou společností a vzdělávacích institucí. Pomalu se začíná uplatňovat i v domácnostech nejen jako koníček, ale také s praktickým využitím v současné době pandemie. Kvalita tisku hodně závisí na kvalitě filamentu. Poptávka po cenově dostupném a zároveň kvalitním materiálu stoupá.

Výroba filamentu se provádí ve vytlačovacích zařízeních, kdy do zařízení vstupuje materiál v podobě granulí. Ten se taví a vytlačuje otvorem tvaru a velikosti vlákna. Vytlačený materiál však není rozměrově stabilní a rozpíná se. Za tepla je však možné upravovat rozměr vlákna pomocí odtahu. Odtah působí na vlákno tahovým zatížením, což způsobuje jeho zúžení na požadovaný rozměr. Rozměr vlákna ovšem nelze ověřit hned po jeho vytlačení, nýbrž až poté, co je vlákno ochlazené. V závislosti na objemu výroby můžou zařízení sloužící k ochlazení dosahovat i několik desítek metrů. Dochází tedy k prodlevě mezi regulací průměru a odtahem. Pro dosažení přesného rozměru se musí ladit celý systém úpravou výkonu vytlačovacího zařízení, napětí odtahu a ochlazování tak, aby se výroba ustálila.

Cílem této práce je navrhnout zařízení pro navíjení vlákna z vytlačovacího stroje. Toto zařízení by mělo zajistit plynulé a rovnoměrné navíjení vytlačovaného vlákna.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JEDNOÚČELOVÉ STROJE

Jak už napovídá název, jednoúčelové stroje jsou navrženy tak, aby byl splněn jeden konkrétní úkol. Tím, že se vyžaduje po zařízení jediný úkol, se umožňuje při jeho návrhu lépe zaměřit na daný cíl a zjednodušuje návrh samotný. Když se doplní dalšími jednoúčelovými zařízeními, vzniká tak výrobní linka. [1]

1.1 Pohon

Úkolem pohonu je přeměňovat energii na užitečnou práci, případně na jinou formu energie. Existuje hned několik druhů energie, které se běžně využívají v praxi. Jedná se hlavně o energii:

- Elektrickou,
- pneumatickou,
- hydraulickou.

Dále se pohony dají dělit podle druhu pohybu který konají:

- Přímočarý,
- Rotační. [2]

1.1.1 Elektrické pohony

Elektrickým pohonem se rozumí soustava, která se skládá z vhodné kombinace elektrotechnických zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie a pro vytváření, přenos a zpracování signálů, řídících tuto elektromechanickou přeměnu. Vstupní řídicí signály se určují například interakcí obsluhy, nadřazeným řídicím, regulačním, nebo automatizačním členem. [3]

Výhody elektropohonu:

- Proveditelnost pro téměř libovolný výkon.
- Proveditelnost pro široký rozsah momentů a otáček.
- Přizpůsobitelnost různým podmínkám vnějšího prostředí.
- Nízká úroveň hluku.
- Téměř okamžitě provozuschopný.
- Jednoduchá obsluha a údržba.
- Snadná říditelnost a ovladatelnost. Charakteristika pohonu se dá lehce přizpůsobit různým požadavkům.

Nevýhody elektropohonu:

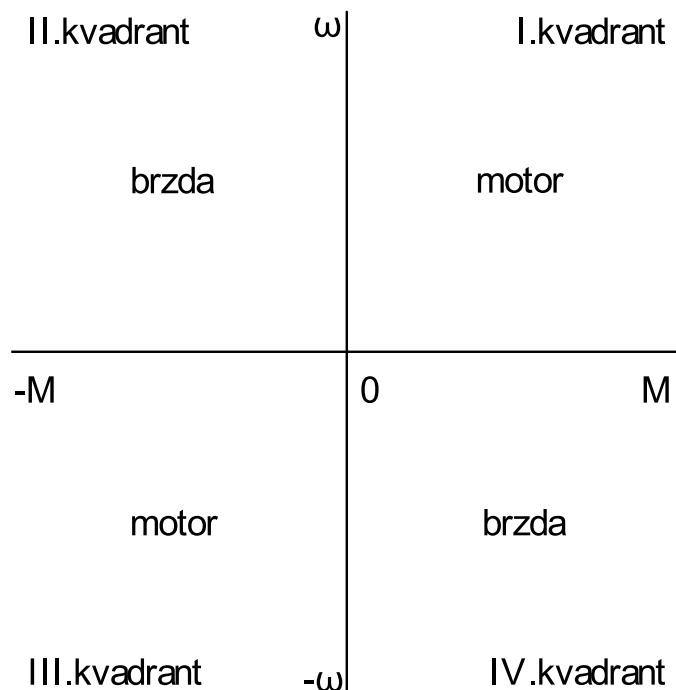
Závisí na okamžité dodávce elektrické energie ze sítě.

Nízký poměr výkon/hmotnost oproti hydraulickému pohonu.

Převážná většina pohonů vykonává pohyb točivý prostřednictvím elektrických točivých motorů. Pokud je třeba provádět pohyb přímočarý, ve valné většině případů se tento požadavek řeší v mechanické části zařízení. Existují však motory lineární, které vytvářejí přímo pohyb přímočarý. [3]

Pohyb se nejčastěji vykonává spojitě. V praxi se také můžeme setkat s pohonem nespojitým. Příkladem nespojitého pohybu jsou krokové motory, vibrátory a zařízení s kmitavým pohybem. [3]

Elektromotory se dají charakterizovat také říditelností otáčivé rychlosti ω a momentu na hřídeli M . Toto rozdělení se dá znázornit v diagramu na *Obr. 1*.



Obr. 1 Kvadranty diagramu $M - \omega$. [3]

V I. a III. kvadrantu je součin $M \cdot \omega$, který udává výkon, kladný a proto se tyto kvadranty nazývají motorické. Tyto kvadranty se liší smyslem otáčení motoru.

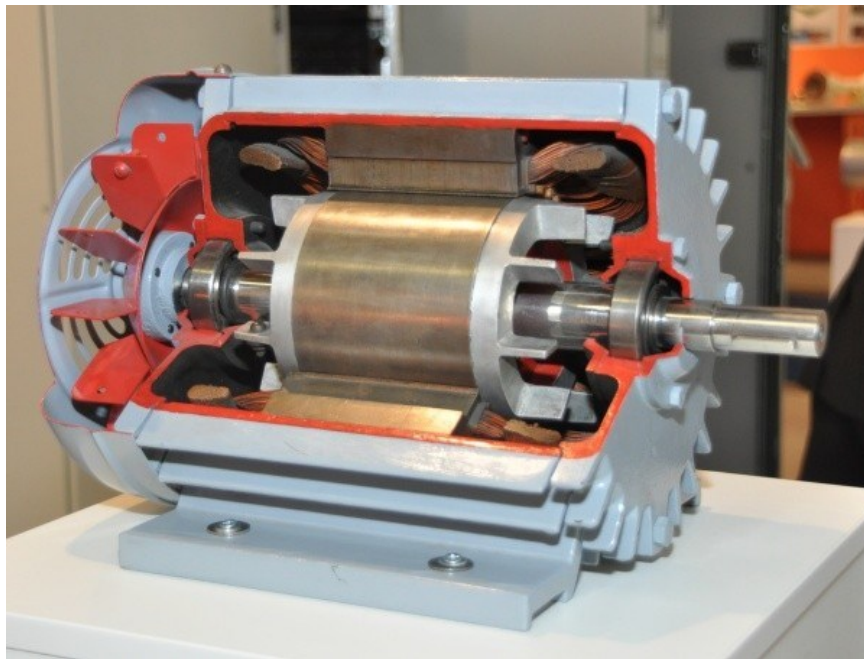
V II. a IV. Kvadrantu je součin $M \cdot \omega$ záporný. Výkony motoru jsou záporné, moment působí opačným smyslem, než je smysl otáčení hřídele motoru, a proto jsou kvadranty označeny jako brzděné. [3]

1.1.2 Asynchronní motory

Nejpoužívanější typ motoru je trojfázový asynchronní motor. Je konstrukčně jednodušší než stejnosměrný motor a má při stejném výkonu menší hmotnost. [2]

Na vinutí statoru vzniká točivé magnetické pole, které indukuje elektrický proud ve vinutí rotoru. Proud v rotoru pak vytváří magnetický tok. Magnetický tok rotoru a statoru pak vytvářejí točivý moment, který roztáčí rotor. Magnetické pole statoru se otáčí rychleji, než jsou otáčky rotoru, což umožňuje zmiňovanou indukci proudu. Proto asynchronní. Frekvence otáčení rotoru se bude přibližovat frekvenci otáčení magnetického pole. Rozdíl mezi frekvencemi se říká skluz. [2]

Uvnitř statoru nevzniká za běhu jiskření a lze jej tak využít v prostorech, kde by jiskření mohlo způsobit výbuch. Může být připojen přímo na trojfázovou síť. Podle typu rotoru se rozlišují motory s kotvou nakrátko a s kroužkovou kotvou. [2]

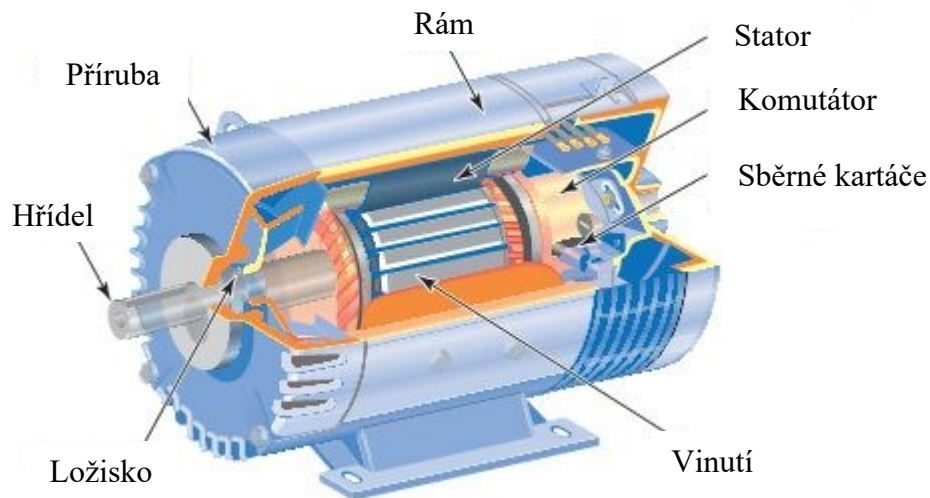


Obr. 2 Řez trojfázovým asynchronním motorem. [4]

1.1.3 Stejnosměrné motory

Stejnosměrné motory jsou opatřeny stabilním magnetickým polem vytvářené buď elektromagnety nebo permanentními magnety. Na rotoru je umístěno vinutí a na konci jsou lamely komutátoru. Na lamely je jsou přitlačeny uhlíkové kartáče (sběrače) vždy, když se vinutí pohybuje kolmo k indukčním čarám magnetického pole statoru. [2]

Podle způsobu buzení rozlišujeme mezi stejnosměrnými motory derivačními s paralelním vinutím, motory s cizím buzením, motory s buzením permanentními magnety, motory se sériovým buzením a kompaundní motory se sériově paralelním buzením. [2]



Obr. 3 Řez stejnosměrným motorem. [5]

1.1.4 Krokové motory

Stator krokového motoru je tvořen vzájemně pootočenými elektromagnety a kotvou z permanentního magnetu. Zapínáním elektromagnetů se rotor postupně, po krocích, natáčí do poloh mezi elektromagnety. Duplicitním buzením lze rotor zastavit v mezipolohách elektromagnetů, což efektivně zdvojnásobuje počet kroků na celé otočení rotoru.

Při pomalých otáčkách je rotační pohyb přesný a motor dodržuje otáčení po krocích. Zvýší-li se kroková frekvence, může vlivem setrvačnosti motoru dojít k překmitu o několik kroků. To samé se může stát při rychlém rozběhu, kdy je buzení motoru příliš rychlé a kroky splynou. [2]

1.2 Rám

Rám je nedílnou součástí každého stroje. Měl by udržovat celý systém pohromadě, udržovat vzájemnou polohu jednotlivých součástí, pohlcovat nežádoucí vibrace a rušivé účinky a sloužit jako uzemnění pro elektronické zařízení. Rámy se dají rozdělit na několik druhů:

- Litinové,
- svařované,
- stavebnicové [2]

1.2.1 Litinové rámy

Rámy strojů vyrobené technologií odlévání mohou být ze široké škály materiálů. Příkladem jsou slitiny železa s uhlíkem, konkrétně litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina). Ta se běžně používá např. u obráběcích strojů. Jedním z požadavků obráběcího stroje je vysoká přesnost. Proto je zapotřebí, aby dokázal rám přenášet velké silové účinky výrobního procesu, aniž by docházelo k deformacím kritickým pro výrobní přesnost. Tvárná litina skvěle tlumí vibrace a má dobrou obrobiteľnost. Kvůli složitosti navrhování formy a její výroby musí vysokou pořizovací cenu vyrovnat velké množství vyrobených kusů. Tato technologie je vhodná především pro sériovou výrobu. Litinové rámy se také po dokončení výroby a tepelném zpracování těžko upravují v případě, že je to vůbec možné. [6]



Obr. 4 Soustruh společnosti Warco s litinovým rámem. [7]

1.2.2 Svařované rámy

Svařování je metoda spojování podobných materiálů jejich ohřevem nad teplotu tavení v místě spoje. Po ochladnutí se vytvoří nerozebíratelný spoj, který drží svařené součásti pohromadě. Svařování může provádět manuálně svářeč, kdy kvalita svaru závisí na zkušenostech, dovednosti a zručnosti každého pracovníka. Dále lze proces svařování

částečně mechanizovat nebo plně automatizovat pomocí robotů a specializovaných strojů. [8]

Svařovat se dají různé trubky, desky, nosníky, profily a plechy. Svařovat lze různé materiály se zaručenou svařitelností. Jsou to např. nerezové oceli, titanové slitiny, hořčíkové slitiny, slitiny hliníku etc. Slitiny hliníku jsou 2. nejpoužívanějším materiálem při svařování. Vděčí za to zejména kvůli své nízké hustotě a relativně dobrým mechanickým vlastnostem. Má také vyšší tepelnou vodivost a nízkou teplotu tavení. Hliníkové slitiny mají tu vlastnost, že na jeho povrchu se tvoří tenká vrstva zoxidovaného hliníku, která zabraňuje další korozi materiálu. Tato vrstva však znemožňuje správnou výrobu svaru a musí být před, nebo při svařování odstraněna. Mohla by totiž zapříčinit nevyhovující propojení svařovaných materiálů, praskání svaru, porozitu svaru nebo snížit jeho houževnatost. [8]



Obr. 5 Svařené hliníkové profily. [9]

Výroba svařovaných rámců je ekonomicky výhodná pro kusovou a malosériovou výrobu. Před svařením lze konstrukci snadno upravovat podle požadavků a účelu zařízení. Hliníkové slitiny jsou lehké s dobrou pevností, takže celková hmotnost konstrukce nebude příliš vysoká. Je však nutné brát ohled na ovlivnění mechanických vlastností v místě svaru tepelným namáháním. Vzniklé pnutí v tepelně ovlivněné oblasti lze odstranit, avšak tyto operace jsou finančně nákladné. [10]



Obr. 6 Svařený hliníkový stojan. [11]

1.2.3 Stavebnicový systém

Základním komponentem stavebnicových systémů jsou přesně vyrobené profily s podélnými drážkami a otvory pro upevnění spojovacích prvků a rozsáhlého příslušenství ze slitiny hliníku. Tyto profily jsou povrchově upraveny pro vyšší odolnost proti poškrábání a ochranu před oxidací. Profily jsou rozděleny do různých tříd podle svých rozměrů a nosných zatížení. S širokou škálou dutin a drážek dokážou plnit různé funkce. Od spojování jednotlivých profilů, jednotlivých dílů, po vedení kabelů, hřídelí, řetězů, pojezdů a valivých prvků. Výhodou je:

Nízká hmotnost.

Vysoká životnost.

Jednoduchá montáž a uvedení do provozu.

Snadná údržba

Zaměnitelnost.

Výkresová dokumentace a CAD modely dostupné online přímo od výrobce. [12]

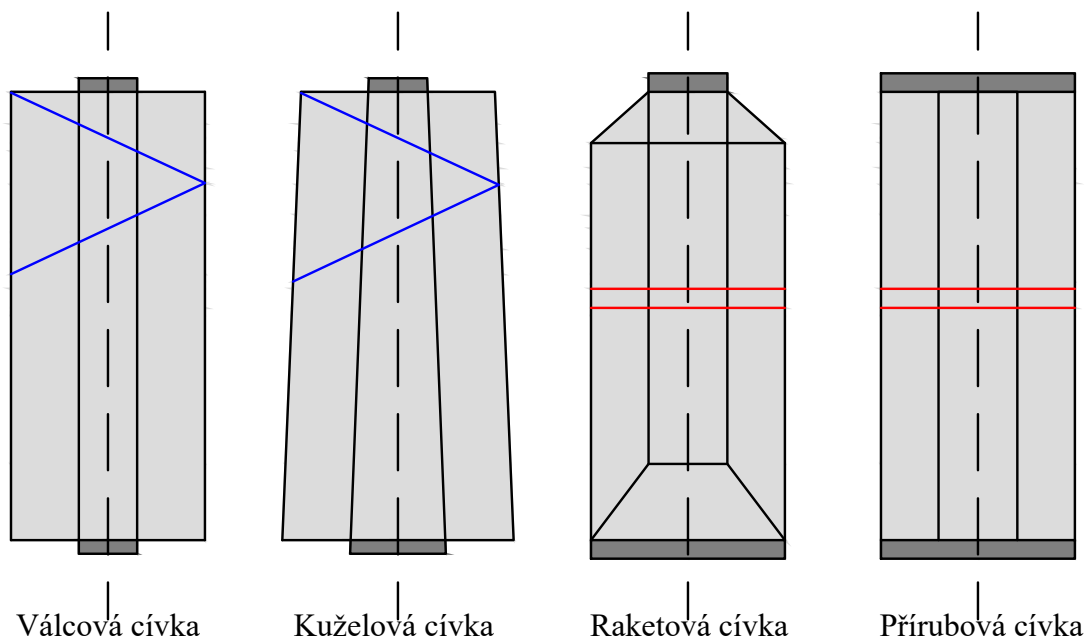
Díky těmto vlastnostem se stavebnicový systém skvěle hodí při konstrukci a navrhování jednoúčelových strojů. V České republice je také rozšířená síť dodavatelů jako jsou Haberkorn, Alutec, Alváris apod.



Obr. 7 Standardní hliníkový profil Item řady 5. [12]

2 NAVÍJENÍ

Jde o proces, s cílem navinout nebo také nasoukat délkový materiál na nosič. Příkladem délkového materiálu by byla textilní nit, hedvábí, kovový nebo plastový drát, kompozitní nebo skelná vlákna etc. Nosiče se dají rozdělit na dočasné a trvalé. Dočasné nosiče plní svoji funkci při navíjení. Po navinutí se materiál z nosiče sejme. Navinutý materiál poté drží pohromadě sám v závislosti na druhu vinutí. Trvalé nosiče si lze představit jako širokou škálu dutinek. Ty mohou dle charakteru použití nabývat různých tvarů a velikostí znázorněných na *Obr. 8*. Mohou se rozdělit na válcové, kuželové, válcové bikonické, kuželové bikonické, terčové, přírubové, raketové, bobiny, king cívky, kopsy, útkové a speciální.



Obr. 8 Obecné tvary cívek. [13]

2.1 Teorie

Samotný proces kladení materiálu na cívku se nazývá navíjení. Navíjení materiálu probíhá kombinací navíjecího (rotačního) pohybu a rozváděcího (translačního) pohybu. Vzniká tak na povrchu nosiče šroubovice. Navíjecí pohyb je konán nosičem kolem vlastní osy, přičemž se může pohánět osově, nebo obvodově. Rozváděcí pohyb je přímočarý vratný a provádí jej určitý rozváděcí mechanismus. Pohyby těchto dvou členů jsou podle zvoleného druhu vinutí na sebe vázány. Může to být mechanickým převodem, nebo elektronickým řízením pohonů. [13]

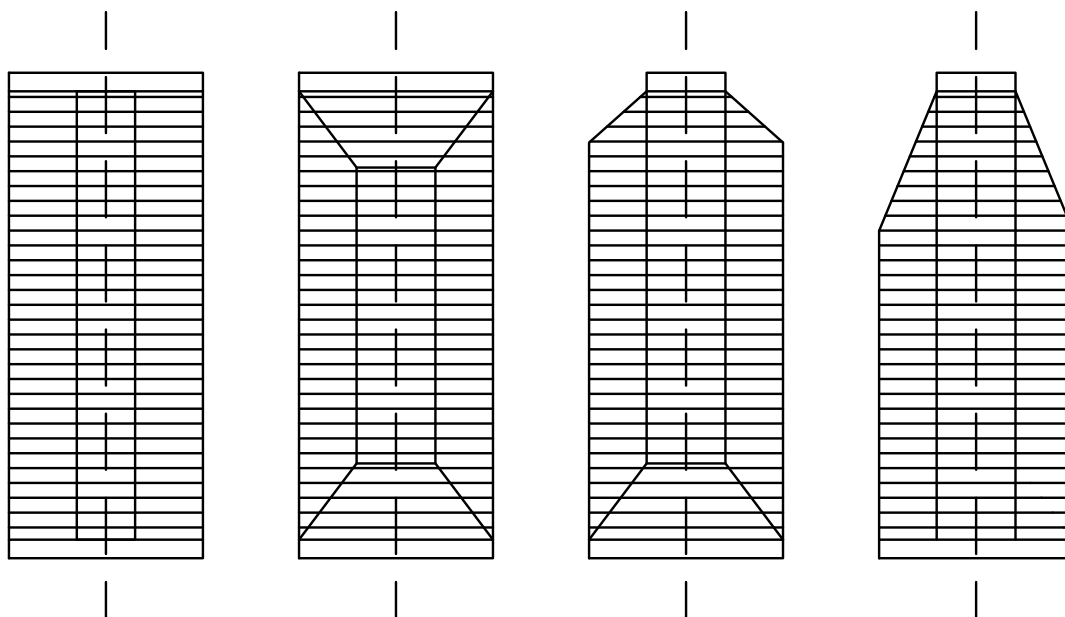
Způsob navíjení materiálu na cívku bývá ovlivněn mnoha ukazateli. Může jimi být objem navinutého materiálu, tvrdost návinu nebo hladké odvíjení. Důležitým parametrem je soukací poměr R . Ten je definován jako poměr počtu otáček nosiče ku jednomu dvojjzdvihu rozvaděče. Dvojjzdvihem rozvaděče se rozumí rozvedení navíjeného materiálu po celé šířce nosiče a zpět. Při navíjení může docházet k plynulé nebo skokové změně převodového poměru mezi otáčením nosiče a rozváděcím mechanismem. Další klíčové parametry uvedeny v *Tab. 1*. [14; 13]

Tab. 1 Parametry návinu.

Parametr	Značka	Jednotka
Soukací poměr	R	-
Malý průměr návinu	d_{min}	mm
Velký průměr návinu	d_{max}	mm
Šířka návinu	B	mm
Úhel stoupání ovinů	α	$^{\circ}$
Stoupání ovinů	s	mm
Úhel čela cívky	β	$^{\circ}$
Úhel kuželové dutinky	ϑ	$^{\circ}$
Vzdálenost sousedních navinutých nití	z	mm

2.2 Paralelní vinutí

Paralelní vinutí spočívá v tom, že jednotlivá vlákna se navíjejí rovnoběžně (paralelně) vedle sebe na nosič. Stoupání ovinů je při tom velmi malé. Dá se říct, že je totožné s tloušťkou navíjeného materiálu $z \approx 0$. Výsledkem je cívka, jejíž vlákna jsou vedle sebe umístěna velmi těsně a nedochází k otláčení vlivem křížení materiálu. Soudržnost vinutí musí být zajišťována např. zkosením nosiče, čela návinu nebo přírubou, což můžeme vidět na *Obr. 9*.



Obr. 9 Cívky s paralelním vinutím. [14]

2.3 Křížové vinutí

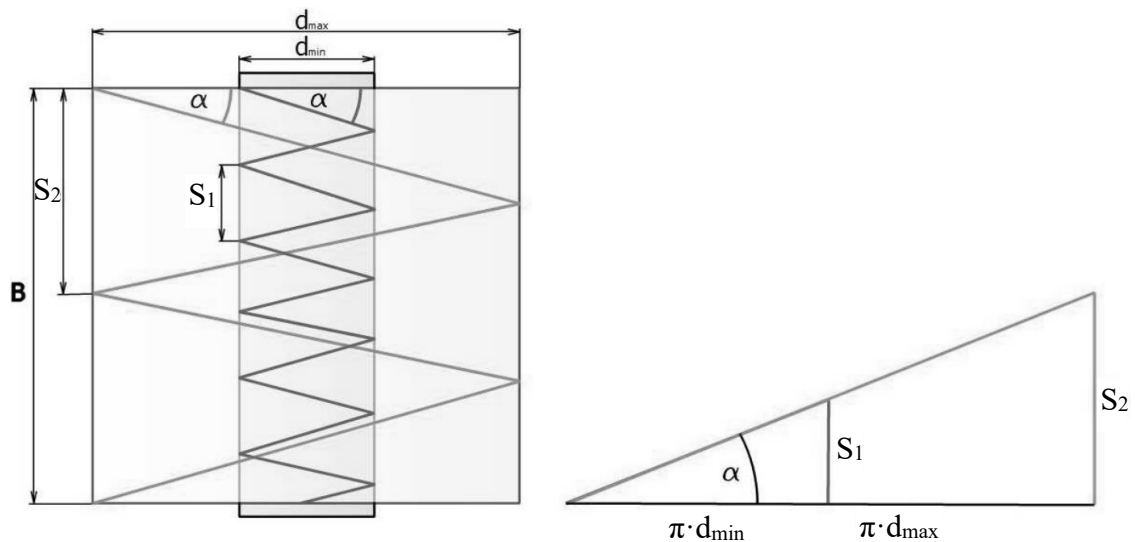
Křížové vinutí vzniká tehdy, když jsou jednotlivá vlákna skloněna od čela nosiče o úhel stoupání ovinů α . Postupným navíjením se překládají přes sebe. Dochází tak křížení materiálu. Charakteristikou tohoto vinutí je potom vysoké provázání a tím pádem i vyšší soudržnost návinu. Křížové vinutí můžeme rozdělit podle charakteru změny úhlu stoupání. Úhel stoupání může být konstantní, měnit se v průběhu navíjení plynule anebo skokově. Rozdělení křížového vinutí lze shrnout v Tab. 2.

Tab. 2 Druhy křížového vinutí.

Druh křížového vinutí	Soukací poměr R	Úhel stoupání ovinů α	Vzdálenost sousedních nití z
Divoké	Proměnný	Konstantní	Proměnný
Přesné	Konstantní	Proměnný	Proměnný
Digitální	Konstantní se skokovou změnou	Proměnný v úzkém rozsahu	Konstantní
Dokonale přesné	Konstantní	Proměnný	Konstantní

2.3.1 Divoké vinutí

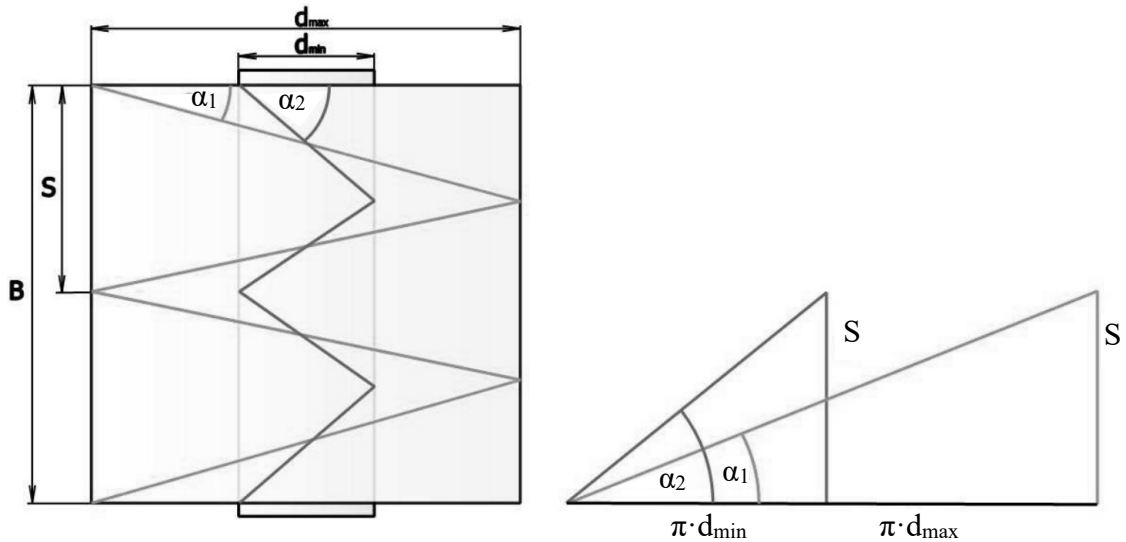
U divokého vinutí je úhel stoupání konstantní a s narůstajícím průměrem cívky se mění soukací poměr a vzdálenost sousedních vláken. Ze všech druhů vinutí je objem navinutého materiálu nejmenší. Návin má však díky konstantnímu úhlu stoupání velmi dobrou soudržnost a nízkou tvrdost. [14]



Obr. 10 Struktura cívky navinuté divokým vinutím. [13]

2.3.2 Přesné křížové vinutí

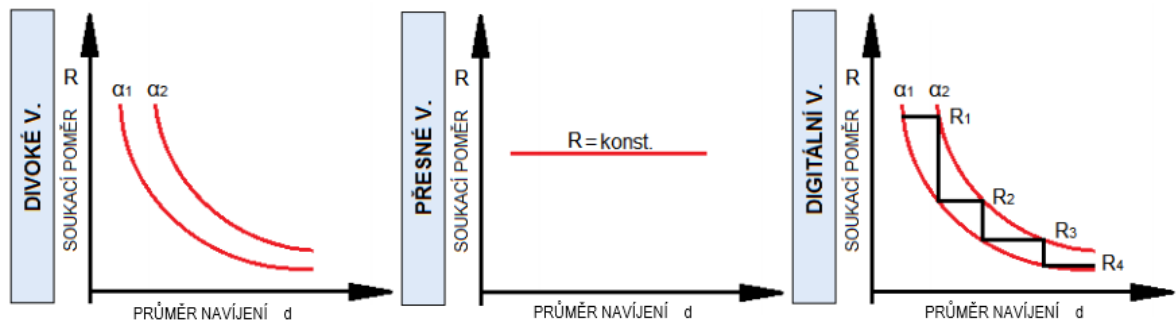
U PKV je konstantní soukací poměr a zároveň i konstantní stoupání ovinů. S rostoucím průměrem cívky se ovšem mění úhel stoupání ovinů a vzdálenost sousedních nití. V průběhu navíjení se otáčky nosiče nemění a zůstávají po celou dobu konstantní. Tento způsob vinutí by měl zabezpečit dokonalou strukturu návinu, s lepším množstvím navinutého objemu materiálu.



Obr. 11 Struktura cívky navinuté přesným křížovým vinutím. [13]

2.3.3 Digitální vinutí

Digitální vinutí v průběhu navíjení kombinuje vinutí divoké s vinutím přesným. Řízení je zajištěno elektronicky. [14]



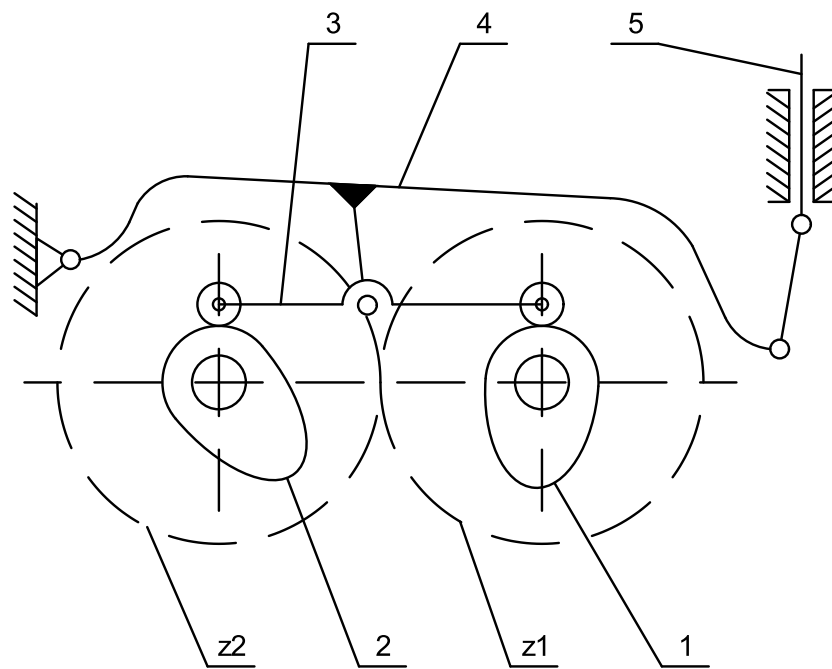
Obr. 12 Závislost soukacího poměru R na průměru navíjení d a typu vinutí. [14]

2.4 Mechanismy paralelního vinutí

Pro rozvádění materiálu se používá vačkový mechanismus. Univerzální provedení lze vidět na Obr. 13. Jde o dvě vačky spojené ozubenými koly v převodovém poměru:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{60}{65} \text{ zubů} = \frac{12}{13}$$

Vačka 2 se bude zpožďovat za vačkou 1. Zapříčiňuje to tak zpočátku menší výkyv ramena, a tím také rozváděcí tyče. Minimální zdvih nastane po 12 otáčkách. Poté se začne zase výkyv zvětšovat. Vzniká tak návin s kuželovými kraji. Pokud se nahradí jedna z vaček kruhovým kotoučem, vznikne návin stejnoměrný. [15]



Obr. 13 Univerzální vačkový mechanismus. [15]

3 VYTLAČOVACÍ STROJE

Vytlačování je jednou z nejdominantnějších výrobních technologií s velkou škálou polymerních materiálů. Každý kilogram vyrobeného polymeru musí aspoň jedenkrát během své životnosti projít vytlačovacím strojem. [16]

Tato technologie využívá vytlačovacího stroje (extrudéru). Polymer do něj vstupuje ve formě granulí, prášku, nebo vloček. Vytlačovaný výrobek může následně nabývat nejrůznějších tvarů a velikostí. Nejčastěji se tímto způsobem vyrábí trubky, desky, profily plné nebo duté, okenní rámy, fólie, pytel apod. Výroba může být kontinuální nebo diskontinuální. [17; 16]

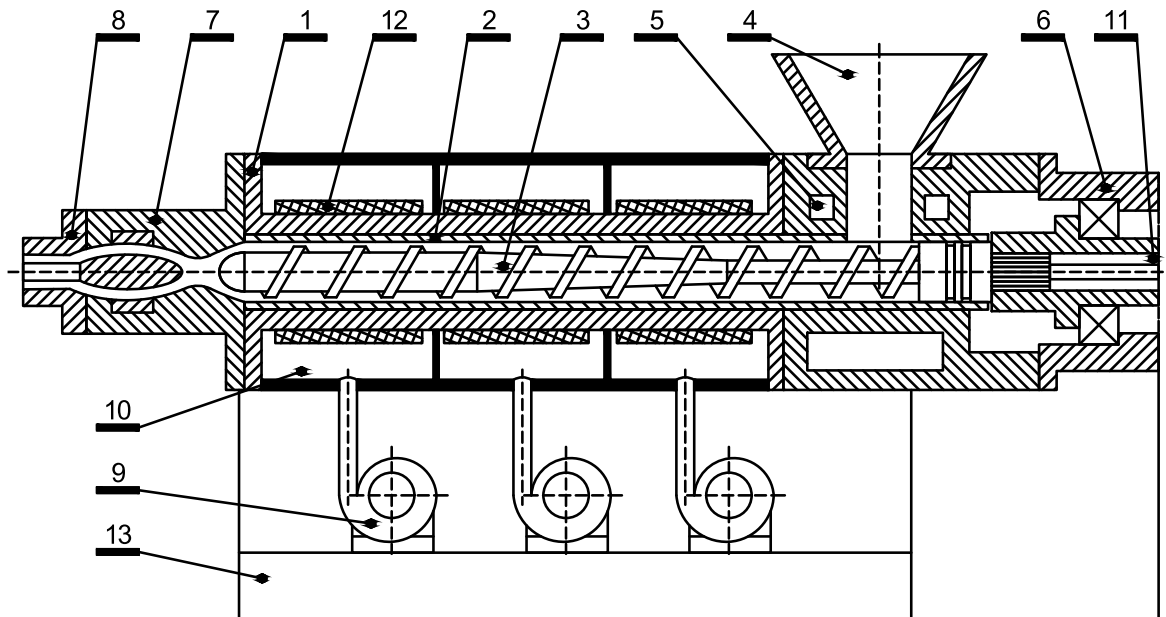


Obr. 14 Vytlačovací zařízení firmy COLLIN Lab & Pilot Solutions GmbH. [18]

3.1 Popis stroje

Běžný jednošnekový vytlačovací stroj můžeme vidět na Obr. 15. Základem stroje je mechanicky pevný rám. V něm je uložen pohonný elektromotor s plynule regulovatelnými otáčkami. Motor je pomocí převodovky spojen s pracovním šnekem. Šnek se otáčí v

ocelovém válci. Na začátku válce je umístěna násypka, kudy vstupuje materiál. Otáčením šneku se materiál posouvá dopředu, mísí a stlačuje. Vlivem tření dochází k disipaci energie a granulát se zahřívá. Dochází k plastikaci materiálu. Tření také zajišťuje homogenizaci taveniny. [16]



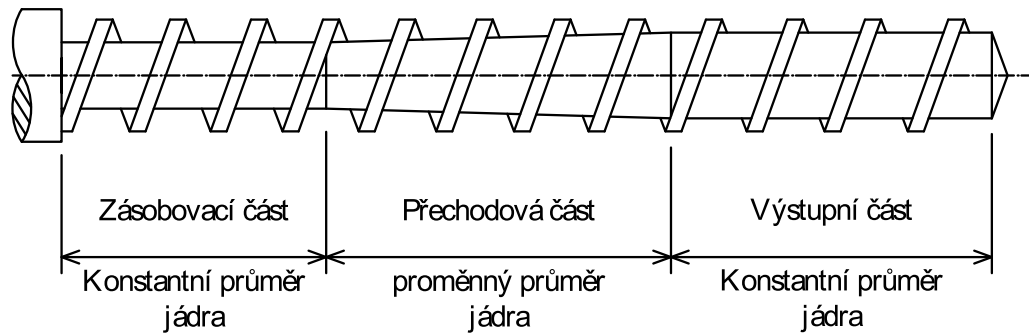
Obr. 15 Vytlačovací stroj. [16]

1 – Pracovní válec, 2 – vložka pracovního válce, 3 – šnek, 4 – násypka, 5 – chlazení pod násypkou, 6 – ložiska, 7 – vytlačovací válce, 8 – vytlačovací hubice, 9 – chladicí ventilátory, 10 – chladicí kanály, 11 – temperace šneku, 12 – topné pásy, 13 – rám.

Požadovanou teplotu udržují topné pásy a chladný vzduch proudící okolo válce v chladicích kanálech. Na konci válce je tavenina vytlačována skrze vytlačovací hlavu, která dává profilu jeho tvar. Mimo vytlačovací stroj je pak profil kalibrována a ochlazováním fixován jeho tvar. Profil je dále dělen na potřebnou délku nebo velikost. [16; 17]

3.2 Šnek

Šnek je jednou z nejdůležitějších a nejnamáhanější částí vytlačovacího stroje. Standardní šnek vytlačovacího stroje lze také rozdělit na 3 části podle tvaru. Ty můžeme vidět na Obr. 16. Dále se lze setkat se stroji, které používají dva nebo i více šneků najednou. Hovoříme tak o dvoušnekových nebo čtyřšnekových vytlačovacích strojích.



Obr. 16 Standardní šnek vytlačovacího stroje. [16]

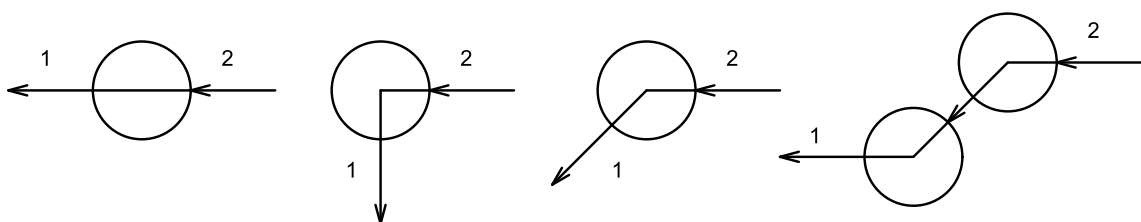
Důležitým parametrem šneku je kompresní poměr. Ten může být definován jako poměr objemu jednoho stoupání závitu šneku na začátku a objemu stoupání jednoho závitu na konci šneku, nebo jako velikost mezery mezi šnekem a válcem na začátku a velikost mezery mezi šnekem a válcem na konci. Změny kompresního poměru se dá dosáhnout změnou hloubky šnekového profilu nebo změnou stoupání šroubovice. [16; 19]

Pro zajištění dopravy pevných granulí nebo prášku směrem dopředu je třeba, aby tření na válci bylo větší než na šneku. Znamená to tedy, že vnitřní povrch válce musí být drsný, zatímco povrch šneku hladký. Bez dostatečného tření na stěně válce nebude docházet k pohybu tuhého materiálu dopředu. Z tohoto důvodu jsou šneky leštěny. Válce bývají někdy pod násypkou drážkovány. Na vyhřívaném válci se vytváří vrstva taveniny, která je tlačnou částí křídla šneku sbírána. [16]

3.3 Vytlačovací hlava

Vytlačovací hlavy jsou připojeny k pracovnímu válci různými způsoby. Spojení musí být pevné a těsné ale zároveň musí umožňovat snadnou a rychlou montáž a demontáž. U menších vytlačovacích strojů se může používat prosté šroubové spojení. U většiny vytlačovacích strojů se hlava připojuje přírubovými spoji. Pro velmi rychlou výměnu se také používají spoje objímkové a bajonetové. [19]

V souvislosti s rozmanitostí tvarů a velikostí vytlačovaných výrobků se také můžeme setkat se širokou škálou konstrukcí vytlačovacích hlav. Vytlačovací hlavy můžeme rozdělit podle polohy osy šneku a osy vytlačovací hlavy na Obr. 17. [19]

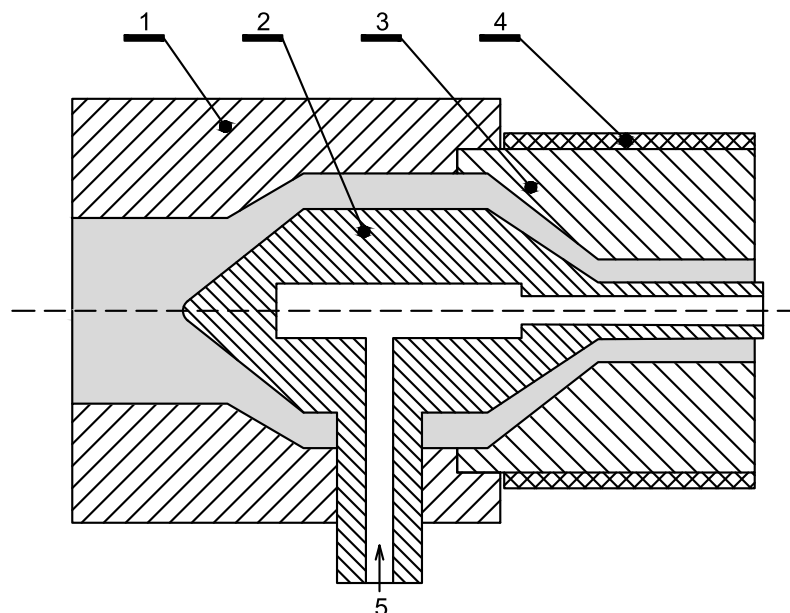


Obr. 17 Rozdělení vytlačovacích hlav. [19]

1 – Osa vytlačovací hubice, 2 – osa šneku.

Přímé vytlačovací hlavy se nejčastěji používají při výrobě tyčí, trubek, profilů a fólií. Příčné vytlačovací hlavy se zase využívají k výrobě fólií a oplášt'ování. Šikmé pro výrobu tenkých fólií. Přesazené vytlačovací hlavy najdou využití při výrobě trubek s vnitřní kalibrací. [19]

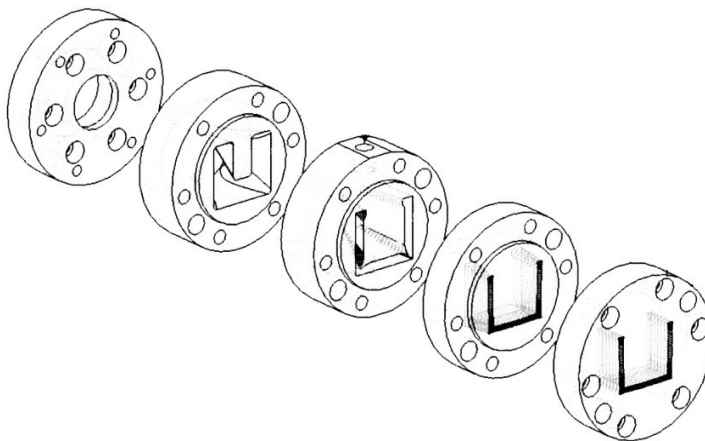
K výrobě trubek se obvykle používá PVC, HDPE, LDPE, PP, PA, POM, PTB. Profily se vyrábějí z PVC, PS a jejich kopolymerů, PMMA, PC, POM, etc. Vytlačovací hlava je vybavena jádrem umístěným jednobodově, nebo vícebodově v ose. Vzniká tak kruhový průřez profilu. Středem jádra je přiváděn stlačený vzduch, který zabraňuje kolapsu profilu a pomáhá dále při kalibraci a chlazení. [17]



Obr. 18 Řez vytlačovací hlavou na trubky. [17]

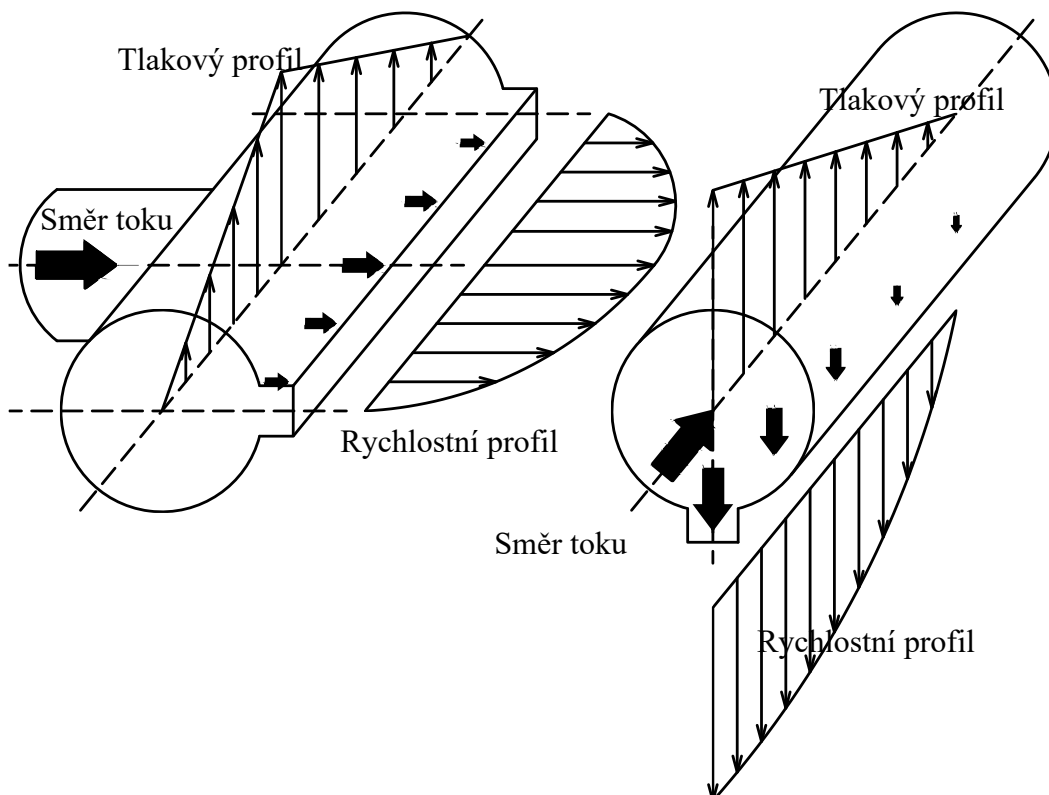
1 – Vytlačovací hlava, 2 – jádro, 3 – vnější prstenec, 4 – topné pásy, 5 – přívod stlačeného vzduchu.

Pro vytlačování složitějších profilů se používají segmentové vytlačovací hlavy. Ty se dělí na jednotlivé části (segmenty), které postupně přecházejí do tvaru požadovaného profilu. Příkladem může být segmentová vytlačovací hlava U profilu na *Obr. 19*.



Obr. 19 Segmentová vytlačovací hlava. [17]

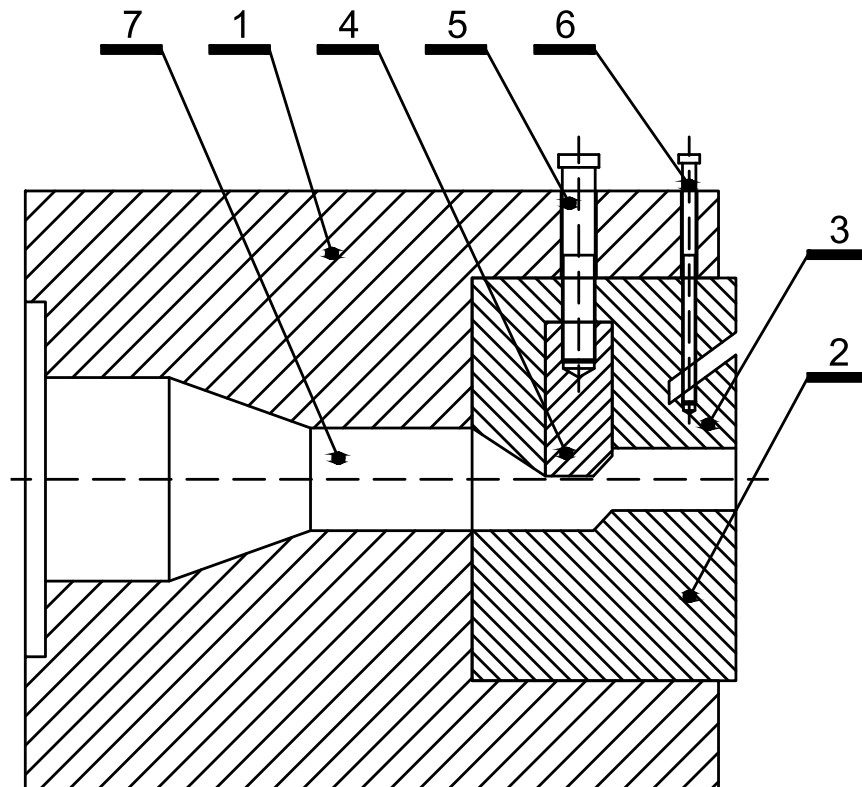
Pro vytlačování pásů, desek a fólií se používají širokoštěrbinové hlavy. Ty bývají většinou přímé nebo šikmé s radiálním nebo axiálním vtokem. Na obrázku *Obr. 20* můžeme vidět, že rychlostní profil taveniny není po celé délce vytlačovací štěrbině stejný. To by zapříčinilo nerovnoměrný tok taveniny z širokoštěrbinové hlavy, tudíž i nestejně rozměry vytlačovaného výrobku. Proto jsou čelisti hlavy rozděleny na pevnou čelist a stavitelnou čelist. Na stavitelné čelisti jsou umístěny šrouby, kterými lze lokálně upravovat rozměr štěrbině a tím zajistit rovnoměrný tok. Hlava je zobrazena na *Obr. 21*. [19]



Obr. 20 Širokoštěrbinové hlavy. [19]

vlevo – radiální tok, vpravo – axiální vtok

Mezi pracovní válec a vytlačovací hlavu je často umístěn lamač, o který se opírá řada sítí. Lamač zajišťuje homogenitu taveniny a zachycuje případné nečistoty. Lamač je zejména důležitý při výrobě tenkých výrobků s požadavkem na nepropustnost plynů či kapalin. Lamač ovšem zvyšuje odpor taveniny a nesmí vytvářet mrtvá místa. Při zpracování odpadu se síta rychle zanášejí. Je možné hlavu upravit tak, aby se síta dala rychle vyměnit bez demontáže hlavy. [19]



Obr. 21 Konstrukce širokoštěrbinové hlavy. [19]

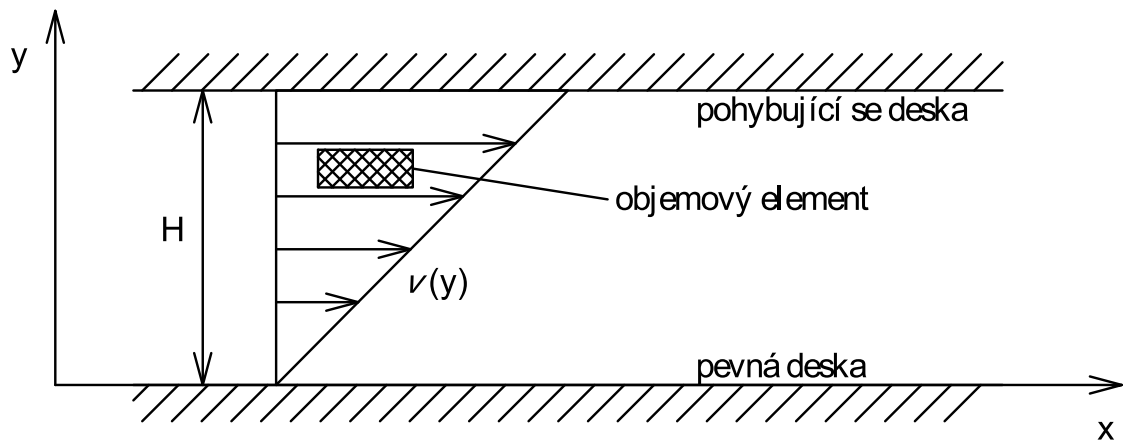
1 – Těleso vytlačovací hlavy, 2 – pevná čelist, 3 – stavitelná čelist, 4 – rozdělovací můstek,
5, 6 – stavěcí šrouby, 7 – rozvodný kanál.

3.4 Tok polymerů a jejich reologie

Reologie je věda zabývající se deformací a tokem materiálu. Zkoumá chování jak polymerních roztoků, tak i polymerních tavenin. Výzkum je přínosný zejména v oblasti navrhování výrobních procesů a kontroly kvality výrobků. Důležitým výsledkem zkoumání polymerních tavenin spočívá v nalezené souvislosti viskoelastického chování s distribucí molekulární hmotnosti. [20]

Viskózní vlastnosti kapaliny lze charakterizovat viskozitou. Viskozita je definována jako vnitřní odpor proti toku. Aby látka tekla, je potřeba na ni působit hnací silou. Velikost hnací

síly se odvíjí zejména od velikosti makromolekul, od molekulové hmotnosti a dalších parametrů. [16]



Obr. 22 Dvoudeskový model laminárního smykového toku. [16]

Síla potřebná pro pohyb horní desky rychlostí v je:

$$F = \frac{S \cdot v}{H} \quad (1)$$

Veličina F/S známe také jako smykové napětí τ a veličina v/H představuje gradient rychlosti dv/dy . Proto lze psát:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2)$$

kde η je smyková viskozita. Jednotkou v soustavě SI má jednotku Pa.s. [16]

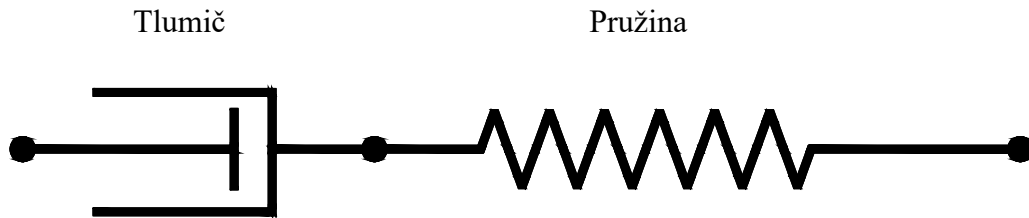
Je dokázáno, že jakákoliv látka, ať kapalná nebo pevná, vystavená silovému působení dříve či později podléhá jejím účinkům. U vody se tyto účinky projevují bezprostředně. Měření okenních tabulí v evropských katedrálách ukázalo, že jejich spodní část má větší tloušťku než horní. Znamená to tedy, že sklo skutečně teklo, jen to trvalo přibližně 100 let. Bylo tedy zavedeno Debořino číslo, které je definováno jako:

$$De = \frac{\lambda}{\theta} \quad (3)$$

kde λ je časová konstanta materiálu, θ je doba zpracování. Časová konstanta vody je (dle odhadů) $\lambda=10^{-12}$ s. Časová konstanta skla je $\lambda=100$ let. Časová konstanta polymerních tavenin se pohybuje okolo $\lambda=10^{-2}-10^2$ s.

Pokud je tedy doba zpracování dlouhá ($\theta \rightarrow \infty$), $De \rightarrow 0$ a materiál se chová jako kapalina. V případě rychlého zpracování ($\theta \rightarrow 0$) je $De \rightarrow \infty$ a materiál se chová jako tuhá látka. Příkladem může být průchod vytlačovaného materiálu vytlačovací hlavicí. Ten může trvat 0,1 – 1 s. Z toho vyplývá, že teče jako (viskózní) kapalina, ale zároveň se roztahuje a smršťuje

v závislosti na zatěžování (elasticky) jako pružina. Popisujeme ho tedy Maxwellovým modelem pro viskoelastické materiály, který je znázorněn na Obr. 23. [16]



Obr. 23 Maxwellův model. [16]

Maxwellův model spojuje chování viskózních kapalin tlumičem, a elastické chování tuhé látky pružinou. Pro samotný tlumič můžeme psát:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (4)$$

kde $\dot{\gamma}$ je rychlost smykové deformace. Samotnou pružinu popisujeme:

$$\tau = E \cdot \gamma \quad (5)$$

kde E je tuhost pružiny a γ je protažení pružiny. Rychlost smykové deformace bude při kombinaci těchto dvou modelů rovna jejich součtu. Po úpravě vzorce získáme:

$$\tau + \lambda \cdot \dot{\tau} = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (6)$$

Vzorec představuje maxwellův model tekutosti. V případě, kdy natáhneme a podržíme model v určité poloze, protažení bude konstantní $\gamma = \text{const}$ a rychlost smykové deformace bude nulová $\dot{\gamma} = 0$. Po dosazení do vzorce (6) získáme:

$$\tau = -\lambda \cdot \dot{\tau} \quad (7)$$

Po úpravě a řešení diferenciální rovnice získáváme:

$$\tau = C \cdot e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad (8)$$

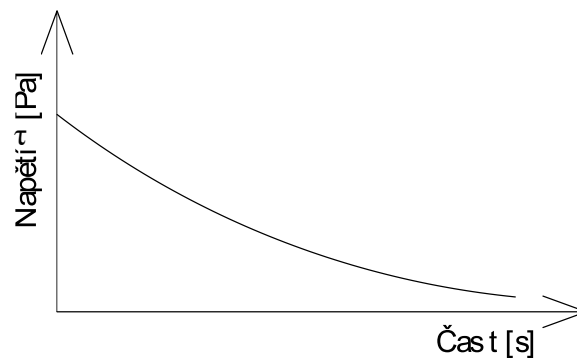
kdy $\tau = S$ pro čas $t = 0$.

$$\tau = S \cdot e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad (9)$$

Pro čas $t = \lambda$ vychází:

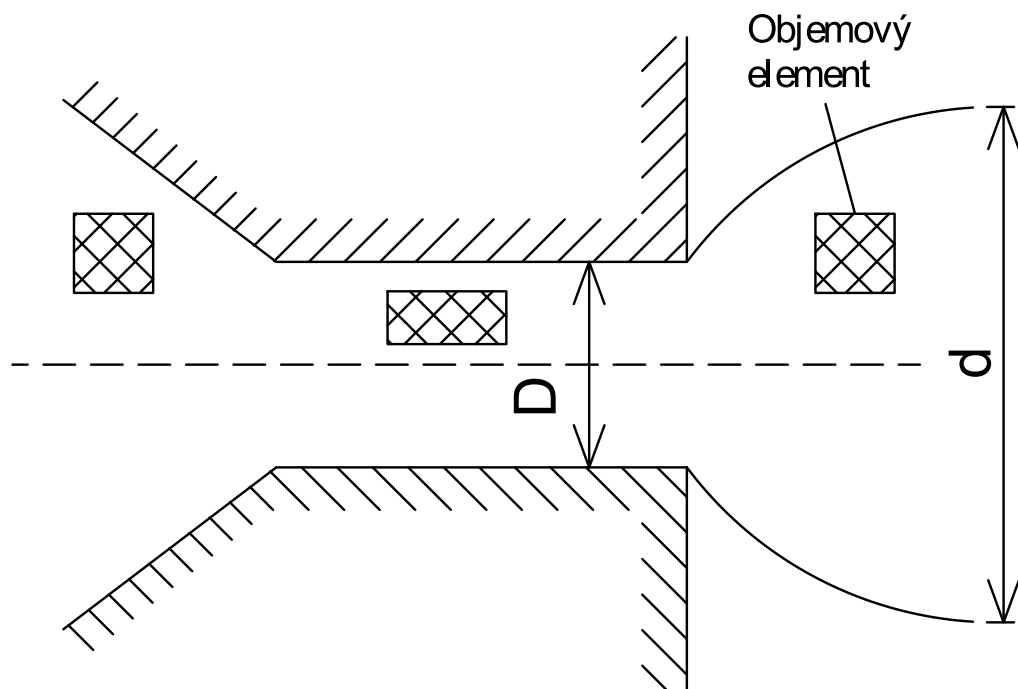
$$\tau = S \cdot \frac{1}{e} \quad (10)$$

Z toho vyplývá, že po uplynutí doby λ se počáteční napětí rozloží faktorem $1/e = 0,37$ a definujeme ji, jako relaxační dobu. Vrátime-li se k našemu mechanickému analogu. Pokud vyvoláme protažení modelu, reaguje na něj pružina okamžitě. Napětí se však uvolňuje postupným pohybem tlumiče, dokud nebude napětí nulové. [16]



Obr. 24 Relaxace polymerů. [16]

S tímto chováním se můžeme setkat při zpracování polymerních materiálů. Polymer je při vytlačování tlačem šnekem. Na konci šneku je náhle polymer nucen projít vytlačovací hlavou, která má mnohem menší průměr, než měl šnek doposud. Po průchodu vytlačovací hlavou do volného prostoru má polymer možnost uvolnit akumulované napětí. Následkem toho můžeme pozorovat u taveniny narůstání na objemu a změny v průřezu. Jev je znázorněn na Obr. 25. [16]



Obr. 25 Narůstání za hubicí. [16]

V případě, že tavenina ztuhne rychleji, než je relaxační doba, dochází k takzvanému zamrznutí napětí. To se může později projevit nežádoucím účinkem deformace, vzniku trhlin, nebo stárnutí. [16]

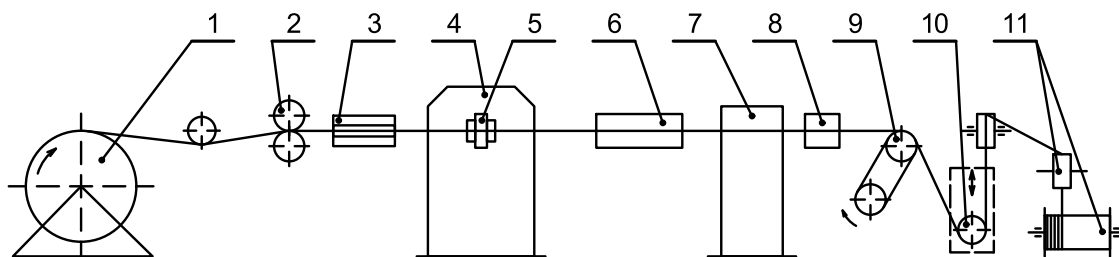
Pro dostatečné charakterizování newtonské kapaliny postačuje pouze měření viskozity. Pro charakterizaci chování a toku polymerů je však potřeba mnohem více údajů shrnutých v Tab. 3. [16]

Tab. 3 Charakteristické veličiny polymerních tavenin. [16]

Parametr	Značka	Jednotka
Smyková viskozita	η	Pa·s
Rozdíl normálových napětí	N_1	Pa
Elongační viskozita	η_e	Pa·s
Relaxační doba	λ	s
Překmit napětí	τ_p	Pa

3.5 Navíjecí zařízení ve výrobních linkách

Příkladem výrobní linky, která používá navíjecí zařízení je linka na opláštění vodičů. Schéma linky je zobrazeno na Obr. 26.



Obr. 26 Schéma výrobní linky na opláštění vodičů [19]

1 – Cívka s vodičem, 2 – naváděcí zařízení, 3 – ohřívací zařízení, 4 – vytlačovací stroj, 5 – oplášťovací hlava, 6 – chladicí vana, 7, 8 – kontrola pláště, 9 – odtah, 10 – zásobník, 11 – navíjecí zařízení.

Vodič určený k opláštění se odvíjí z cívky. Prochází naváděcím zařízením do předehřívacího zařízení. Vytlačovací stroj je opatřen příčnou oplášťovací hlavou, do které vstupuje předehřátý vodič. Vytvořený plášť je ochlazen průchodem chladicí vanou. Kontrola průměru, souososti a neporušenosti je prováděna na kontrolním zařízení. Rychlost výrobní linky určuje odtah tvořený dvěma kladkami. Opláštěvaný vodič je navíjen na navíjecím zařízení na cívky. Výměnu cívek bez přerušení chodu linky umožňuje zásobník. [19]

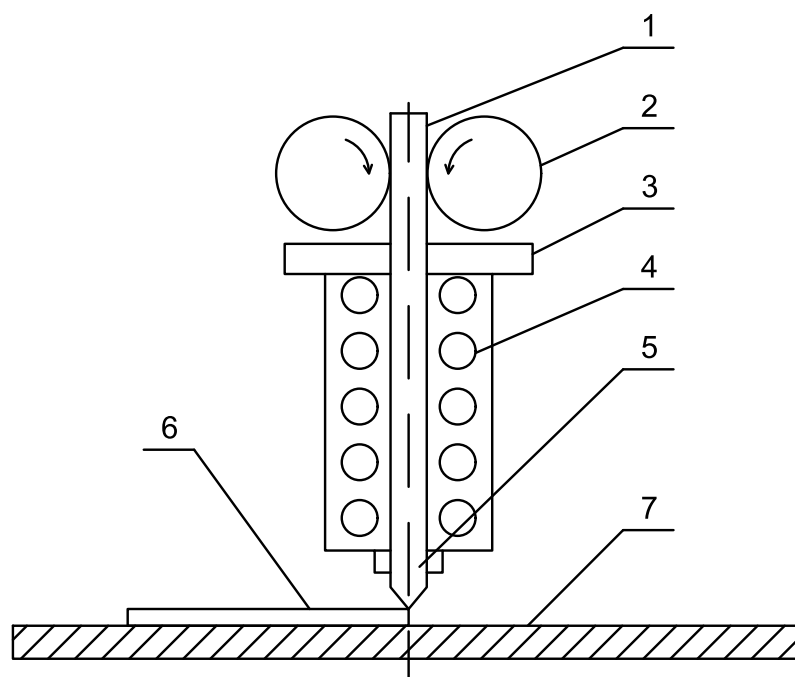
4 3D TISK

3D tisk, který se také označuje jako rapid prototyping, je výrobní metoda, která je více a více využívána při ověřování funkčnosti prototypů a finálních produktů. Tato metoda se do procesu výroby zavádí v různých stádiích. Metoda se zakládá na vytváření modelu výrobku skládáním jednotlivých vrstev na sebe. [21]

Existuje mnoho způsobů a technologií 3D tisku. Každá z metod má své silné stránky, různé limity a omezení. Může se jednat o rozměry výrobku, přesnost, druh nebo forma vstupního materiálu, možnost tvorby podpor, rozměry zařízení, vliv okolí etc. [21]

4.1 Metoda fused deposition modeling – FDM

Princip metody FDM se zakládá na chemii povrchů, teplotní energii a technologii tvorby vrstev. Materiál ve formě filamentu navinutého na cívce, nebo v kazetě, se taví ve speciálně navržené hlavě, která jej vytlačuje skrze trysku. V průběhu vytlačování se materiál uchycuje na podložku nebo již nanesenou vrstvu, ochlazuje, tuhne a vytváří požadovaný tvar modelu. Model se sestavuje vrstvu po vrstvě. Princip se dá znázornit na *Obr. 27*. [22]



Obr. 27 Princip metody FDM. [22]

*1 – Filament (pevný), 2 – podávací kola, 3 – vytlačovací hlava, 4 – ohřevný element,
5 – filament (roztavený), 6 – tuhá vrstva, 7 – podložka (pevná).*

Zařízení pracující na bázi metody FDM jsou nejdostupnější z hlediska pořizovací ceny. Hlavně pro uživatele, kteří nemají finanční rozpočet velké společnosti. Mnoho značek

v dnešní době vyrábí sestavy se snadnou montáží, nebo můžou být vyrobeny samotným uživatelem v domácích podmínkách. [23]

Hlavní výhody této metody jsou:

Výroba funkčních součástí. Součásti vyrobené touto metodou mají velmi podobné vlastnosti jako součásti vyrobené metodou vstřikování. Z ABS je možné vyrobit plně funkční součást s 85 % pevností součásti vyrobené vstřikováním. S použitím speciálních materiálů se pevnost těchto součástí může rovnat může měřit s pevností součástí vstřikovaných z podobného materiálu.

Minimální odpad. Výroba probíhá vytlačováním materiálu přímo na model. Kromě materiálu využitého na stavbu podpor je všechno materiál využit na výrobu součástí. Model také nevyžaduje rozsáhlejší úpravy po jeho dokončení.

Snadné odstraňování podpor. S využitím vhodného materiálu pro tvorbu podpory se dají odstranit mechanicky například odlomením nebo se dají rozpustit. Tím se ještě více snižují nároky na dokončovací úpravy.

Snadná výměna materiálu. S materiálem na cívce nebo kazetě se dá snadno manipulovat a rychle jej v případě potřeby doplnit nebo vyměnit.

Mezi nevýhody patří:

Omezená přesnost. To je způsobeno tvarem dodávaného materiálu. Nejčastěji se setkáme s filamentem o průměru 1,27 mm. Přesnost výroby je tímto značně omezena. Zaměřením se na přesnost řízení výrobního procesu v moderních zařízeních byla tato omezení zredukována.

Pomalý proces. Při výrobě musí být celý objem součásti „naplněn“ materiálem vytlačovaným tryskou. Rychlost vytlačování nejde jednoduše zrychlit kvůli procesu tavení a rovnoměrnosti toku z vytlačovací hlavy.

Smršťování součástí. Materiál vytlačovaný z trysky se po usazení rychle ochlazuje. Rychlím ochlazením se může vytvářet vnitřní pnutí. Toto pnutí může způsobovat těžko předvídatelné smršťování a deformace součástí. [22]

4.2 Současné využití

Vážné onemocnění dýchacích cest Coronaviru 2 (SARS-CoV-2) rychle dosáhlo stavu globální pandemie. Tato událost zapříčinila obrovský nárůst poptávky po odpovídajícím zdravotním vybavení a ochranných pomůckách, což vede k nepředvídatelné zátěži zdravotního systému ve velmi krátkém čase. Situaci také nepomáhá časté a zdlouhavé přerušení zásobovacího systému vlivem lockdownů. Kombinace snadné úpravy výroby, jednoduché montáže a rychlého uvedení do provozu dělá z aditivní výroby skvělý prostředek pro vyplnění mezer v dodávce zdravotnického vybavení. Potřebné pomůcky tak mohou být vyráběny přímo pacientovy, nebo zdravotnímu personálu na míru. [24]

Většina vyrobených částí vyrobených 3D tiskem se vyrobila z polymerních materiálů. Uplatňují se aditivní technologie pracující na principu vytvrzování fotopolymerů, laserové slinování a tepelného tavení. Některé společnosti vytvářejí tzv. open access design, což znamená, že si daný model může kdokoli stáhnout, modifikovat a vyrobit. [24; 25]

Například společnost © Prusa Research a.s vyrobila a darovala téměř 200 000 obličejových štítů viz *Obr. 28* v několika prvních měsících propuknutí pandemie koronaviru. Zároveň si jejich model stáhlo více jak 250 000 uživatelů. [25]



Obr. 28 Obličejový štít společnosti © Prusa Research a.s. [25]

Dále nezisková organizace Maker mask vyrábí respirátory schválené Národním institutem zdraví, který se zabývá zdravotním výzkumem. Na svých stránkách zveřejnili několik modelů roušek a respirátorů s dobou tisku od 1,5 až 4 hodin. [26]



Obr. 29 Rouška Radius společnosti Maker mask. [26]

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na vytvoření obecného přehledu souvisejícího s navrhováním jednoúčelových strojů, problematikou a možnostmi v oblasti navíjení délkových materiálů, možnostmi a omezeními výroby vytlačovací technologií a konečným využitím navinutého materiálu.

V první části se práce zabývá úlohou jednoúčelových strojů ve výrobě. Možnostmi v oblasti elektrického pohonu, principem jejich funkce, stavbou a vhodnými aplikacemi. Konstrukcí rámu stroje, jejich popisem a výhodami.

V druhé části se práce věnuje popisu procesu navíjení, možným druhům vinutí a mechanismu výroby.

Třetí část je zaměřena na výrobu technologií vytlačování, na stavbu vytlačovacího stroje, úlohu šneku a vytlačovací hlavy pro různé profily. Dále na polymerní materiály a jejich chování při jejich zpracování.

Ve čtvrté části byl vytvořen jednoduchý popis procesu výroby, který využívá výsledného produktu navrhovaného zařízení a současné využití metody FDM.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ

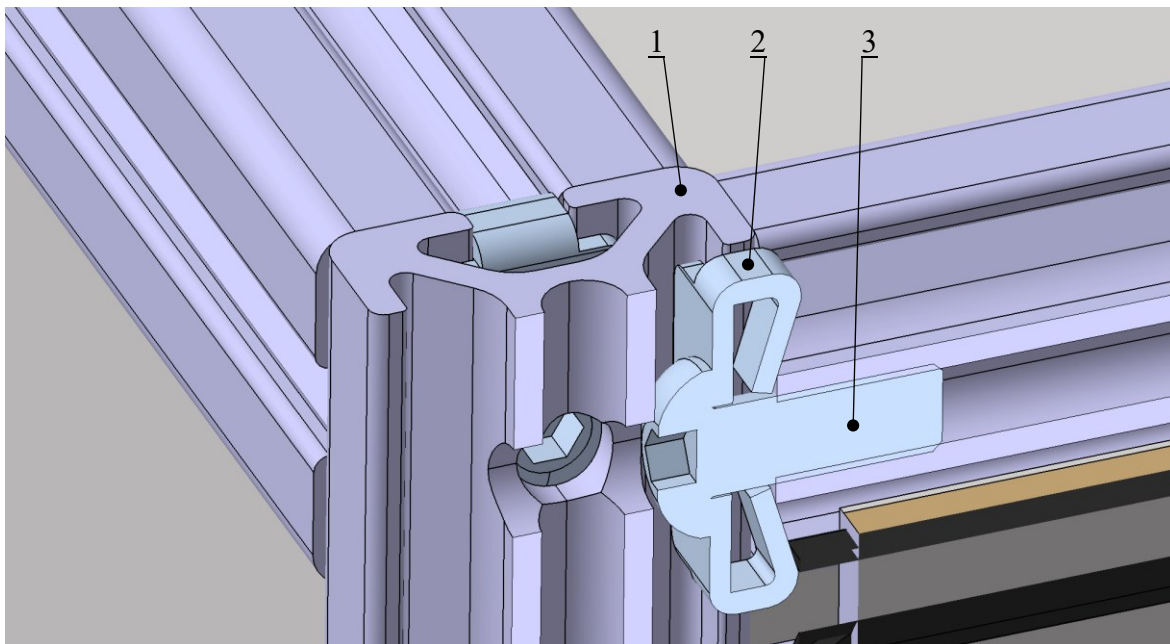
Cílem byl návrh jednoúčelového stroje pro navíjení filamentu pro 3D tisk. Obsluha stroje by měla být jednoduchá a vyžadovat minimální dohled nad zařízením při jeho chodu. Rychlá výměna plně navinuté cívky za novou prázdnou. Umožňovat navíjení na cívky o různých rozměrech se snadnou a intuitivní kalibrací. Schopné se přizpůsobit momentální rychlosti výroby filamentu, která se v průběhu výroby může zvyšovat, nebo snižovat. Požadavek na rychlost navíjení činí 3–5 m/min.

7 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Jelikož úkolem navíjecího zařízení je navíjení volného konce filamentu bez požadavku na vyvolání vysokého napětí (odtahu), není tedy samotné zařízení vystaveno velkým vnějším silovým účinkům. To umožňuje navržení velmi kompaktního, lehkého a levného zařízení. Při návrhu byl kladen důraz na použití co nejvíce normalizovaných dílů. Rám a jednotlivé součásti jsou pospojovány pomocí rozebíratelných šroubových spojů. To umožňuje zařízení rozmontovat a převézt ve skladnější podobě. Zařízení je navrženo podle zvolené cívky tak, aby byly splněny požadavky na zařízení. Po volbě referenční cívky byl zvolen motor odpovídající požadavku na rychlost navíjení. Pro konstrukci rámu byly zvoleny profily z eloxovaného hliníku řady 5. Rám poskytuje ochranu elektronickým součástím, zajišťuje stabilitu zařízení a v případě potřeby jde umístit na výškově stavitelnou konstrukci, která ale není součástí návrhu. Zařízení lze také umístit středně velký stůl nebo podstavec.

7.1 Rám

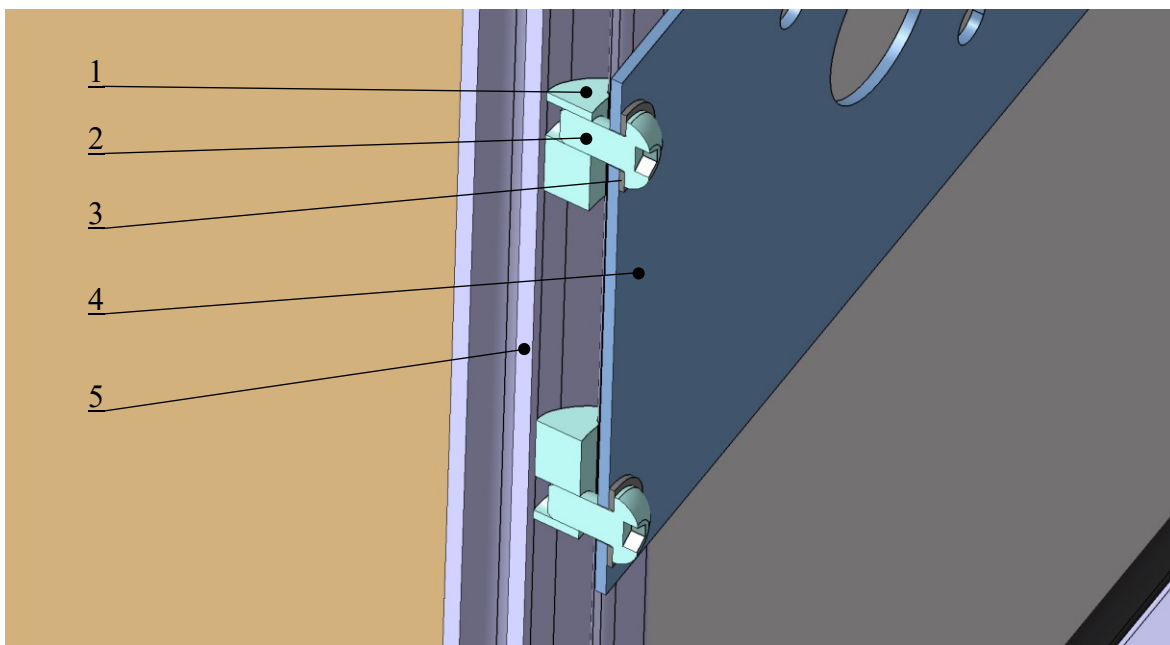
Hlavní nosnou strukturu rámu tvoří profily Item řady 5. Tyto profily poskytují dostatečnou pevnost a zároveň jsou rozměrově výhodné a všestranné. Rám je pospojován pomocí standardního spoje, který dokáže přenášet spolehlivě silové působení stroje, zajišťuje kolmost spojených profilů, jejich správnou orientaci, spojovací části jsou schovány v profilech a je cenově levnější než ostatní varianty spojení. V místech tohoto spojení je třeba vyvrtat do drážky profilu díru, skrze kterou se bude spoj dotahovat. Součástí tohoto spoje je podložka standardního spoje.



Obr. 30 Detailní pohled na standardní spoj

1 – Profil řady 5, 2 - podložka standardního spoje, 3 – šroub ISO 7380 M5 x 12.

Pro upevnění motorů jsou zde skrze drážky profilů přišroubovány, vždy čtyřmi šrouby s drážkovými maticemi, plechy. Ty budou zajišťovat spolehlivý přenos silového působení spojeného s chodem motorů na rám stroje.

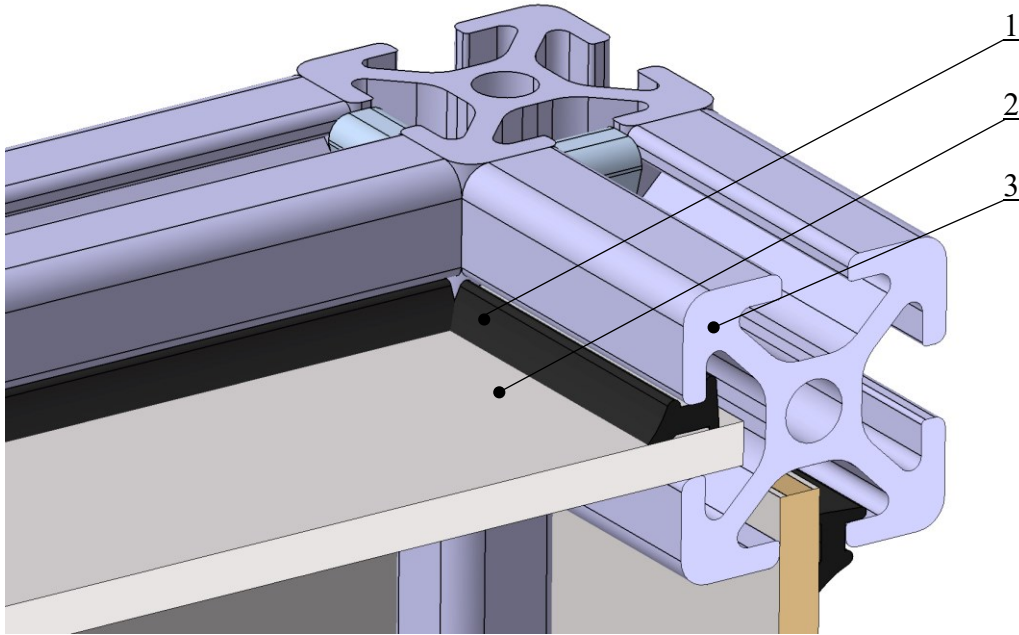


Obr. 31 Detail spoje plechů

*1 – Drážková matice M4, 2 – šroub ISO 7380 - M4 x 6, 3 – podložka DIN 125A M4,
4 – plech navíjení, 5 – profil řady 5.*

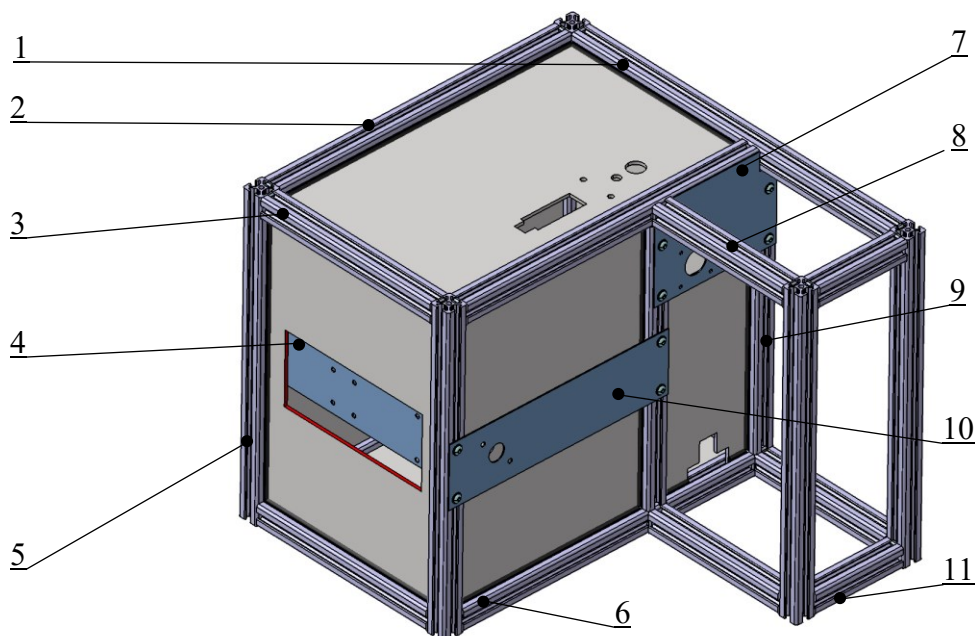
Po doporučení a zvážení výhod a nevýhod není celé zařízení uzavřené těmito plechy, nýbrž kompozitní deskou TuBond. Tato deska je složena z ze dvou hliníkových vrstev a

vnitřní polyethylenové vrstvy s nízkou hustotou. Materiál má také samozhášivé vlastnosti v případě nouzového stavu. Má vysokou odolnost proti korozi a snadno se opracovává. Deska bude rozměrově upravena řezáním a vrtáním. Po zasunutí desky do drážky profilů se mezi ne vloží gumové těsnění pro panel řady 5 od společnosti Alutec KK. To do jisté míry zařízení utěsní a zamezí volnému pohybu desky v drážce.



Obr. 32 Detail uložení TuBond desky

1 – Těsnění, 2 – TuBond deska, 3 – Profil řady 5



Obr. 33 Pohled na rám stroje

1 – Podélník řádkování, 2 – příčnick zadní, 3 – podélník navíjení, 4 – plech motoru navíjení, 5 – stojna, 6 – příčnick přední, 7 – plech motoru řádkování, 8 – podélník střední, 9 – Svislá podpora, 10 – plech navíjení, 11 – příčnick řádkování.

Seznam součástí použitých na sestavení rámu se nachází v Tab. 4

Tab. 4 Seznam použitých dílů pro sestavení rámu 1/2

Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Stojna / Profil Item řady 5	5	300
Příčnick přední / Profil Item řady 5	2	300
Podélník navíjení / Profil Item řady 5	2	185
Příčnick zadní / Profil Item řady 5	2	300
Podélník řádkování / Profil Item řady 5	2	347
Příčnick řádkování / Profil Item řady 5	2	90
Svislá podpora / Profil Item řady 5	2	260
Podélník střední / Profil Item řady 5	2	142
Plech navíjení	1	226 x 60
Plech motoru řádkování	1	126 x 92
Plech motoru navíjení	1	221 x 50
TuBond deska horní	1	310 x 196
TuBond deska spodní	1	310 x 196
TuBond deska navíjení	1	200 x 272
TuBond deska řádkování	1	272 x 100
TuBond deska levá/pravá	2	272 x 196

Tab. 5 Seznam použitých dílů pro sestavení rámu 2/2

Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
TuBond deska levá	1	272 x 196
TuBond deska pravá	1	272 x 196
Šroub standardního spoje / ISO 7380 - M5 x 12	28	-
Podložka standardního spoje řady 5	28	-
Šroub spoje plechu / ISO 7380 - M4 x 6	12	-
Podložka spoje plechu / DIN 125A M4 – 100 HV	12	-
Drážková matice M4/ 0.0.370.06	12	-
Gumové těsnění pro panel / 699996	6	182
Gumové těsnění pro panel / 699996	8	256
Gumové těsnění pro panel / 699996	4	297
Gumové těsnění pro panel / 699996	4	101
Gumové těsnění pro panel / 699996	2	186
Gumové těsnění pro panel / 699996	1	27
Gumové těsnění pro panel / 699996	1	16

7.2 Řízení

Celé zařízení bude řízeno pomocí mikrokontroleru Arduino Uno. Arduino je řídicí deska poskytující širokou škálu využití. Na desce se nachází 14 pinů pro digitální vstup a výstup, z nichž 6 dokáže upravovat šířku pulzového signálu. 6 pinů pro analogový vstup a výstup. Napájecí piny pro elektroniku s nízkou hladinou proudu 5VDC a 3.3VDC. Vstupním konektorem pro napájení samotné desky 9 VDC a USB B konektor pro spojení s počítačem.



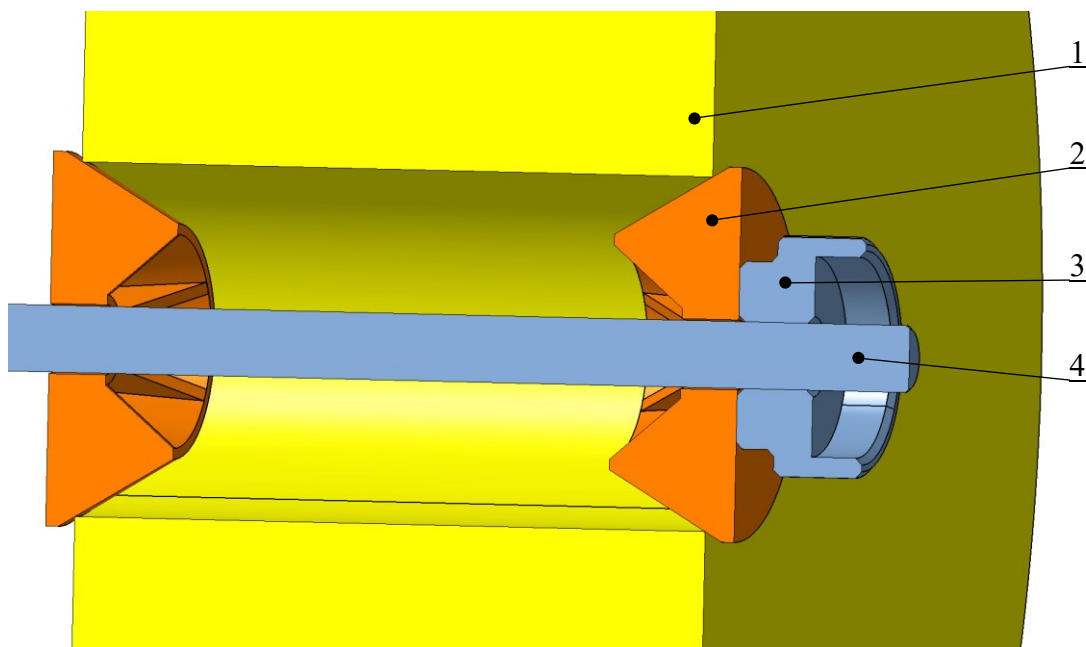
Obr. 34 Arduino UNO [27]

Výhoda Arduino je jeho snadná programovatelnost a všestrannost. Pro veškerou elektroniku použitou v zařízení existuje návod, jak ji správně uvést do provozu. Existují také stránky s volně dostupnými ovladači a předdefinovanými knihovny pro spolehlivý provoz.

7.3 Navíjení

Navíjení se bude provádět na přírubový nosič označovaný jako cívka. V současné době nejsou rozměry cívek určených pro navíjení filamentu nijak normalizovány. Každá společnost nebo dílna má vlastní rozměry a velikosti cívek rozděleny převážně podle hmotnosti cívky s navinutým filamentem. Pro uchycení cívky, a tedy i pro přenos momentu je třeba navrhnout univerzální upínací systém. Vnitřní průměr cívky se u většiny běžně dostupných cívek pohybuje od 40–54 mm.

Cívka bude uložena mezi dva kužely. Tyto kužely budou umístěny na hřídeli s vyřezaným závitem. Kužely budou svírány maticemi z obou stran, nebo pouze z jedné strany podle potřeby. Dotazením matice se kužely zaklíní do vnitřního otvoru cívky a zamezí jejímu posunu či otáčení.



Obr. 35 Sestava cívky s upínacími kužely

1 – Cívka, 2 – upínací kužel, 3 – rýhovaná matice DIN 6303 M10, 4 – hřídel.

Závit na hřídeli a matici bude pravotočivý. Aby se vlivem působení kroutícího momentu od motoru navíjení matice nepovolovala, je třeba aby se cívka otáčela ve směru hodinových ručiček. Tím se zajistí, že se matice bude vlivem otáčení dotahovat.

Pro pohon navíjení byl zvolen krokový motor. Pro zvolení motoru je třeba vybrat jednu z cívek, na kterou se by se filament navíjet. Je třeba vypočítat maximální rychlost otáčení cívky pro splnění podmínky nejvyšší rychlosti navíjení, tedy 5 m/min. Z tohoto důvodu je třeba vybrat největší možnou cívku na kterou lze na tomto zařízení navíjet. Cívka byla zvolena cívka od společnosti Devil design 2 kg, jejíž parametry jsou v *Tab. 6 Parametry cívky Devil design 2 kg.Tab. 6.*

Tab. 6 Parametry cívky Devil design 2 kg.

Parametr	Značka	Rozměr [mm]
Průměr vnitřního otvoru	d	53
Průměr vnější	D	105
Průměr příruby	D _p	298
Šířka	L	100
Váha cívky	m _c	600 g

Podle těchto parametrů byla vypočtena rychlost otáčení cívky:

$$\omega = \frac{2 \cdot v_{max}}{\pi \cdot (D + d_f)} = \frac{2 \cdot 5}{\pi \cdot (0,105 + 0,00175)} = 29,818 \text{ ot/min} \quad (11)$$

Cívka se totiž bude muset otáčet nejrychleji ve chvíli, kdy je úplně prázdná, tedy na začátku navíjecího cyklu. Dále je třeba stanovit moment, potřebný pro roztočení cívky. Vypočteme nejprve moment setrvačnosti plně navinuté cívky Budeme proto brát cívku jako homogenní těleso. Konkrétně jako trubku charakterizovanou vnitřním a vnějším poloměrem:

$$I = \frac{m + m_c}{2} \cdot \left(\frac{d^2}{4} + \frac{D_p^2}{4} \right) \quad (12)$$

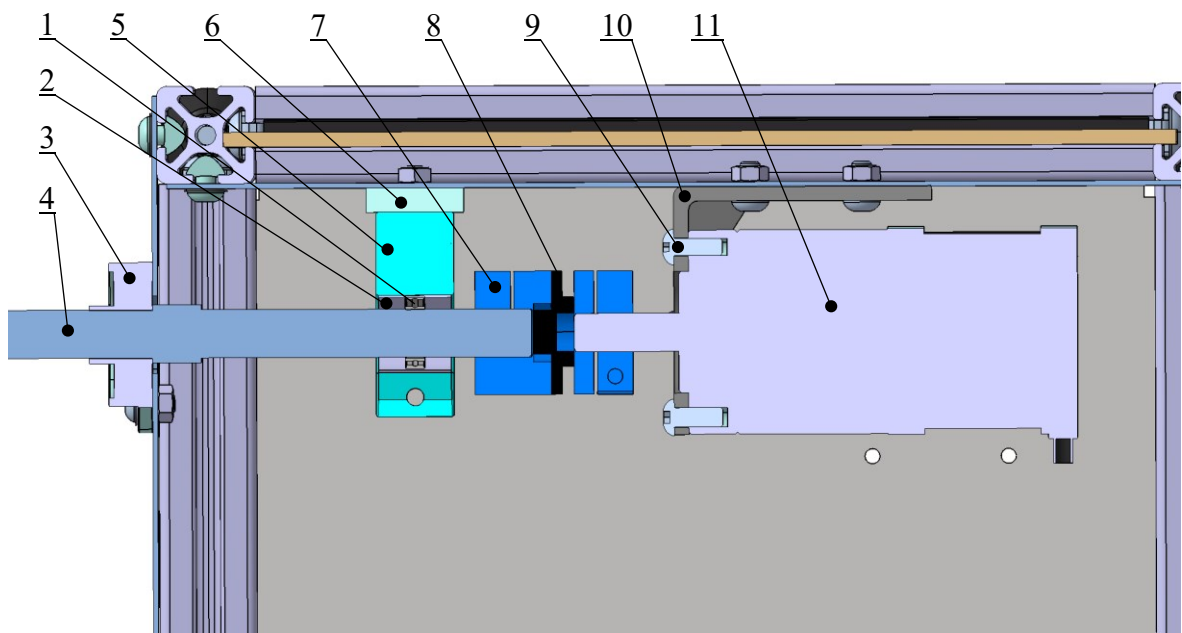
$$= \frac{2 + 0,6}{2} \cdot \left(\frac{0,053^2}{4} + \frac{0,298^2}{4} \right) = 0,03 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Tento výpočet předpokládá, že cívka bude navinuta až po okraje příruby, Tato situace by však neměla nastat při vhodném nastavení parametrů pro ukončení navíjení. Nyní lze spočítat moment potřebný pro roztočení cívky s úhlovým zrychlením minimálně 30 ot/s²:

$$M = I \cdot \varepsilon = 0,03 \cdot 30 = 0,9 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (13)$$

Podle výsledku lze zvolit krokový motor, který má výstupní moment na hřídeli větší než 0,9 Nm při otáčkách 30 ot/min.

Byl tedy zvolen motor Nema 17 s označením 17HS15-1684S-HG10. Je to krokový motor s planetovou převodovkou s převodovým poměrem 10. (Momentová křivka se nachází v příloze PI)



Obr. 36 Pohled na sestavu motoru v řezu

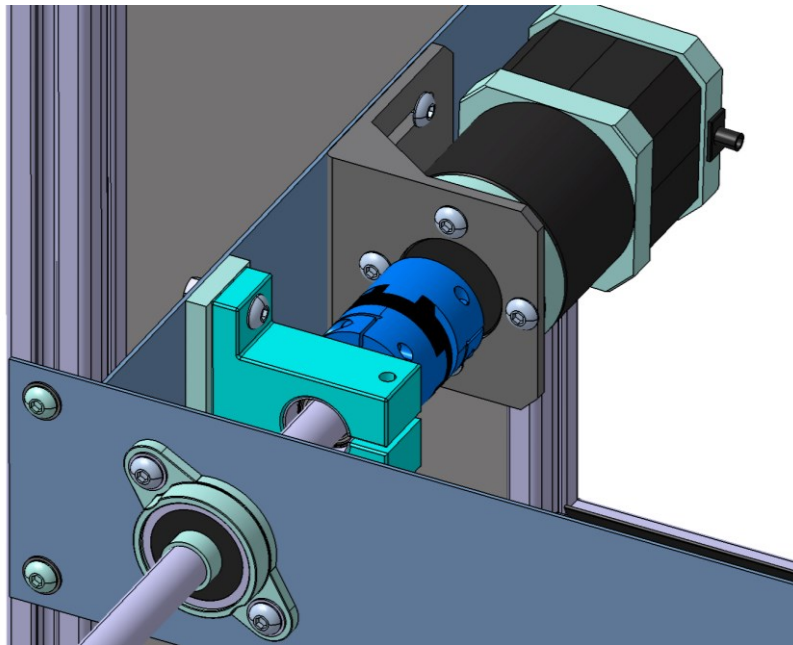
1 – Kuličkové ložisko, 2 – vložka kuličkového ložiska, 3 – přírubové ložisko, 4 – hřídel,
5 – stojan SK16, 6 – podložka stojanu, 7 – náboj spojky Oldham, 8 – střed spojky Oldham,
9 – šroub ISO 7380 - M4 x 10, 10 – stojan motoru, 11 – krokový motor Nema17.

Hlavní výhodou krokových motorů je jejich přesnost otáčení a schopnost precizního řízení se snadným ovládním. Motor s převodovkou je velmi kompaktní a zajišťuje vysoký krouticí moment při vypočtených otáčkách. Pomocí montážních otvorů na čele převodovky bude šrouby připojen ke stojanu od výrobce tohoto motoru. Stojan je připojen

Výstupní hřídel motoru bude spojena s hřídelí, na které bude umístěna cívka pomocí spojky Oldham s označením ME44-OX25G-8--OX25G-10--25D. Je to třídílná bezvúlová spojka určená pro přenášení kroutícího momentu. Skládá se ze dvou nábojů a středu. Spojka vyrovnává radiální posunutí, axiální a úhlovou nesouosost. Na hřídel se upevní pomocí svěrného spoje, kdy každá hřídel má jiný průměr.

Hřídel cívky bude uložena ve 2 místech. U spojky bude uložena v kuličkovém ložisku od společnosti SKF s označením W 63800-2RS1. Toto ložisko bude umístěno ve svěrném stojanu na ložiska SK16. Výška, ani otvor stojanu však neodpovídají vnějšímu průměru ložiska a vzdálenosti osy hřídele od plechu, na kterém je motor připevněn. Je třeba stojan podložit podložkou o tloušťce 5 mm a do otvoru vložit trubkový profil o tloušťce stěny 0,5 mm. Ložisko vsunuté do profilu bude vloženo do stojanu a zajistí se svěrným šroubem. Profil bude třeba naříznout po obvodu ve směru osy. Druhé ložisko je kuličkové přírubové od společnosti Machifit s označením KFL000. Bude umístěno na vnější straně zařízení. Příruba bude přišroubována k plechu pro spolehlivější přenos zatížení. Ložisko je mnohem širší na

přední straně a vnitřní kroužek značně přesahuje na přední straně přírubu. Je tedy možné opřít upínací kužel přímo o kroužek ložiska bez kontaktu s přírubou. To nám umožňuje umístit cívku velmi blízko k přednímu panelu zařízení a snížit rameno ohybového momentu působícího na hřídel. Tyto ložiska budou přenášet reakci na ohybový moment, který vyvozuje navíjená cívka jak svou vahou, tak reakcí na napínání filamentu. Zároveň nemusí být hřídel podepřena z volného konce, což nám umožňuje rychlou a snadnou výměnu cívky a připojení filamentu k přírubě cívky.



Obr. 37 Pohled na sestavu motoru přední

Další možností řešení navíjení by bylo uložení hřídele na obou koncích. Hřídel by se vysouvala, nasadila by se mezi podpory cívky a znovu zasunula. Přenášení momentu na hřídel, upnutí cívky na hřídeli, manipulace s cívkou a volným koncem filamentu by však byla velmi složitá a zařízení by muselo být mnohem větší. Upínání cívky mezi upínací kužely je rychlé a snadné. Není třeba hřídel nijak rozdělovat, vysouvat a vsouvat. To zaručuje po prvním seřízení stroje dlouhou provozní dobu s minimálními nároky na seřizování a údržbu stroje. Hlavním nepřítelem tohoto návrhu upínání je však skluz upínacích ploch. Může k němu dojít při nedostatečném utažení rýhované matice. Tomu by mohly napomáhat i zvýšené vibrace vlivem pomalého otáčení cívky. Při velmi pomalém otáčení krokového motoru (přibližně 5 ot/min) jsou okem zřetelné jednotlivé kroky a pohyb není příliš souvislý. Krokový motor by sice po převodu planetové převodovky přenášet tolik vibrace na hřídel navíjení neměl. Tomu by také měla pomoci zvolená spojka která mimo jiné bude také pomáhat při redukci vibrací.

Tab. 7 Seznam použitých dílů pro připojení motoru navíjení

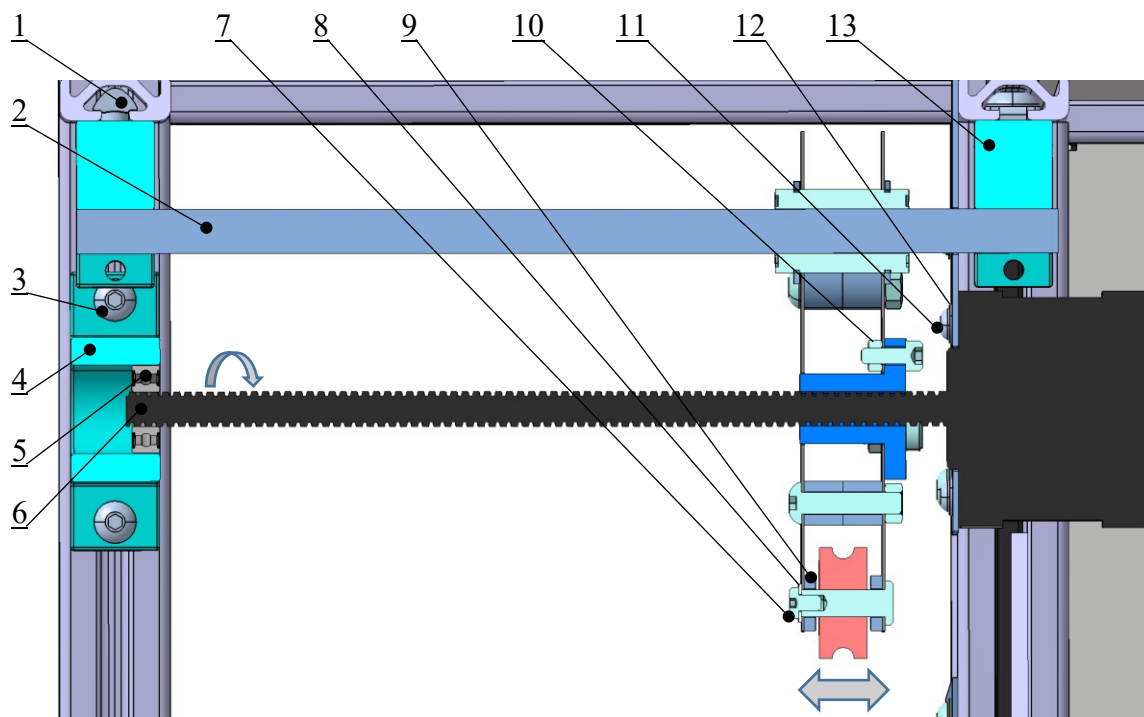
Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Krokový motor Nema17/17HS15-1684S-HG10	1	-
Náboj spojky motoru Oldham/ OX25G-8	1	-
Náboj spojky hřídele Oldham/ OX25G-10	1	-
Střed spojky Oldham/ 25D	1	-
Stojan motoru / ST-M8	1	-
Hřídel navíjení	1	228
Stojan / SK16	1	-
Vložka kuličkového ložiska	1	15
Kuličkové ložisko / W 63800-2RS1	1	-
Podložka stojanu	1	50 x 20
Rýhovaná matice / DIN 6303 M10	1	-
Upínací kužel	2	-
Přírubové ložisko / KFL000	1	-
Šroub / ISO 7380 - M4 x 8	6	-
Podložka / DIN 125A M4 – 100 HV	2	-
Šestihranná matice / ISO 4032 M4	8	-
Šroub / ISO 7380 - M4 x 16	2	-
Šroub / ISO 7380 - M4 x 10	4	-

7.4 Řádkování

Jak už bylo zmíněno, řádkování zajišťuje rovnoměrné navíjení filamentu po délce cívky. Řádkovací zařízení koná lineární pohyb a vede při tom navíjený filament prostřednictvím kolečka, kladky, nebo vodícího kuželu. Pro zajištění přesného, regulovatelného lineárního pohybu byl zvolen krokový motor Nema 17 s označením 17LS13-0404E-150D. Výstupní hřídel tohoto motoru má lichoběžníkový závit s lichoběžníkovou posuvnou maticí. Motor bude čtyřmi šrouby spojen s plechem motoru řádkování. Lichoběžníková hřídel bude na konci uložena v ložisku od společnosti SKF s označením D/W R4-2RS1. Ložisko bude vloženo do svěrného stojanu, který bude s rámem spojen pomocí drážkové matice a dvou šroubů. Otáčením této hřídele se bude posuvná matice posouvat v axiálním směru. Matice bude třemi šrouby spojena se sestavou řádkování.

Tato sestava se skládá ze 2 plechů, mezi kterými je umístěna kladka řádkování, která povede filament. Plechy jsou spojeny šrouby a prostor mezi nimi je vymezen distančními sloupky. Kladka je umístěna na čepu mezi 2 distančními sloupky tak, aby měla dost vůle na volné otáčení. Kladka nesmí mít však velkou vůli na úkor přesnosti kladení filamentu. Pro přenos váhy sestavy, účinků napětí filamentu v radiálním směru a aby celá sestava byla

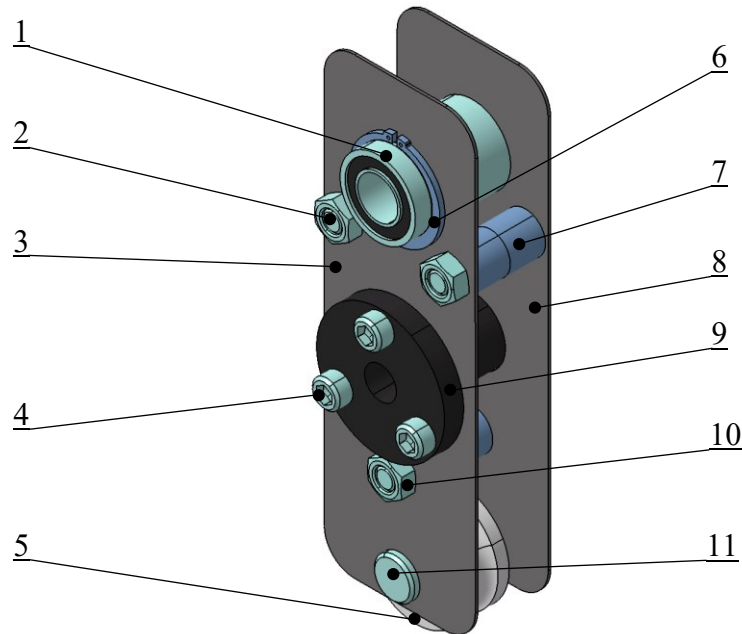
zajištěna proti otáčení je v otvoru v plechu uloženo lineární kuličkové ložisko s označením LM8SUU. Proti vysunutí je ložisko zajištěno segerovými pojistnými kroužky z obou stran. Ložisko se bude posouvat po vodící tyči uchycené na rámu pomocí podpory vodící tyče.



Obr. 38 Pohled na sestavu řádkování v řezu

1 – Drážková matice M5, 2 – vodící tyč, 3 – šroub ISO 7380 - M4 x 12, 4 – stojan ložiska SK16, 5 – kuličkové ložisko D/W R4-2RS1, 6 – lichoběžníková hřídel motoru Nema 17, 7 – šroub ISO 7380 M3x4-10.9, 8 – podložka DIN 125A M3 / 3,2 plastová, 9 – distanční sloupek válcový TMEDR3110/5.3X2, 10 – matice ISO 4032 M3, 11 – šroub ISO 7380 – M3 x 8, 12 – podložka DIN 125A M4 – 100 HV, 13 – stojany vodící tyče SK8.

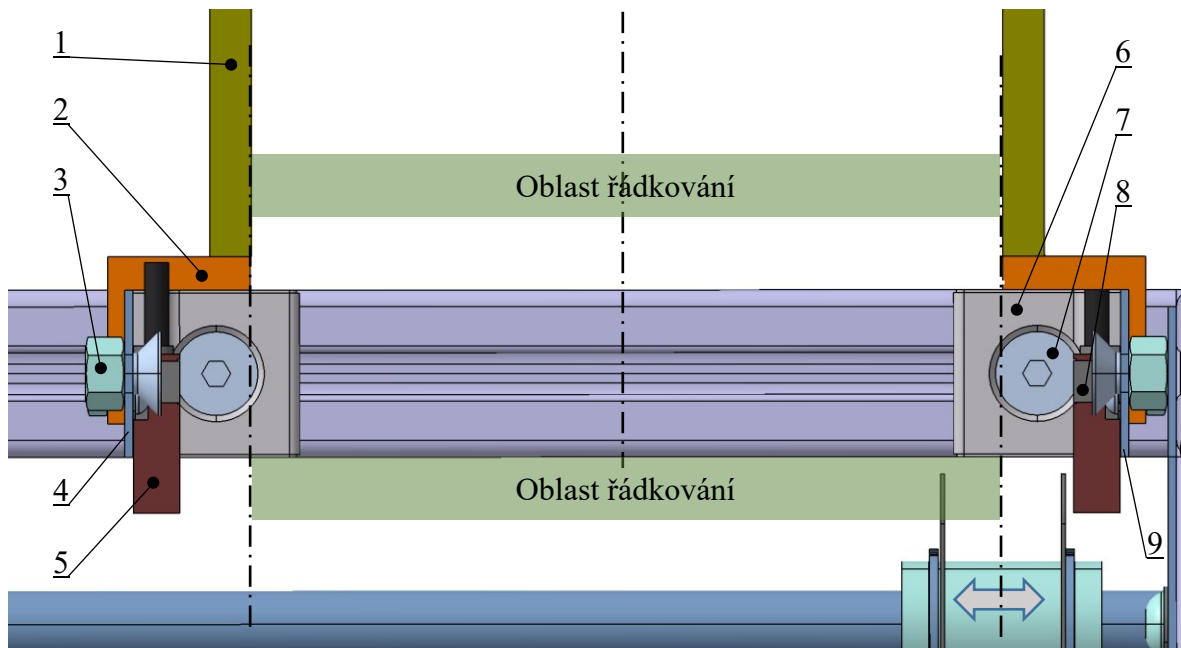
Řádkování by mohlo být řešeno pomocí jednoho plechu. Na ten by byl podobně umístěn čep s kladkou. Ložisko by mohlo být kluzné a menší. Zajištěno by bylo pomocí příruby. Ušetřilo by se tak nějaké místo a zařízení by bylo menší. Kluzné ložisko by však nemuselo dobře klouzat po vodící tyči a zařízení by bylo velmi náchylné na nečistoty, které by mohly poškodit povrch ložiska nebo vodící tyče.



Obr. 39 Pohled na sestavu řádkování

1 – Lineární kuličkové ložisko, 2 – šroub ISO 7380 – M4 x 18, 3 – plech řádkování tlačný, 4 – šroub ISO 4762 M3 x 8, 5 – kladka plastová profilovaná c204, 6 – pojistný kroužek DIN 471–15, 7 – distanční sloupek DREMEC 318/4.3X07, 8 – plech řádkování tlačný, 9 – posuvná matice, 10 – matice ISO 4032 M4, 11 – čep s vnitřním závitem ISO 13918 M3x5x5x15.

Plynulý pohyb je zajištěn pomocí krokového motoru. Nyjí je třeba zajistit, aby se ve správnou chvíli změnil smysl pohybu řádkování tehdy, kdy bude navinuté jedno patro filamentu na cívce. Pomocí indukčních senzorů umístěných na posuvném plechu zjistíme, kdy sestava řádkování dorazila od jedné příruby ke druhé. Indukční senzory společnosti Omron Automation and Safety s označením E2S-W13-1M mají detekční plochu na straně boční s detekčním dosahem od 1 mm. Je možné je tedy přišroubovat k posuvnému plechu tak, aby jejich detekční plocha byla umístěna pod hranou posuvného plechu v dosahu plechu řádkování. Zároveň se senzorem bude k posuvnému plechu připevněn doraz. Který je navrhnut tak, aby při detekci plechu řádkování jeho čelo bylo ve stejné rovině jako rovina symetrie navíjecí kladky. Při prvním uvedení do provozu nebo kdykoliv, kdy je potřeba navíjet filament na cívku o jiné šířce, lze rozsah řádkování kalibrovat jednoduše. Stačí přiložit vnitřní stranu příruby cívky k čelu prvního dorazu. Dále je třeba upravit polohu druhého dorazu tak, aby jeho čelo bylo souběžně s vnitřní stranou druhé příruby cívky. Ve chvíli, kdy jsou senzory umístěny ve správné vzájemné poloze, se pomocí dotažení upínacího šroubu zamezí dalšímu pohybu senzorů. Sestava řádkování se sice nedotkne samotného senzoru, ale mohlo by docházet k jejich posuvu vlivem vibrací vzniklých při chodu zařízení. Situace kalibrování je znázorněna na Obr. 40.



Obr. 40 Kalibrace řádkování podle šířky cívky

- 1 – Cívka, 2 – doraz řádkování, 3 – matice ISO 4032 M5, 4 – plech vedení senzoru přední,
 5 – indukční senzor, 6 – úhelník V 5 20 Zn, 7 – upínací šroub DIN 7991 M5 x 8,
 8 – držák senzoru, 9 – plech vedení senzoru zadní.

Tab. 8 Seznam použitých dílů pro řádkování

Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Krokový motor Nema17/17LS13-0404E-150D	1	-
Vodící tyč / Cf53 INA	1	177 x D8
Lineární kuličkové ložisko / LM8SUU	1	-
Stojan vodící tyče / SK8	2	-
Stojan ložiska / SK16	1	-
Kuličkové ložisko D/W R4-2RS1	1	-
Kladka plastová profilovaná / c204	1	-
Plech řádkování tlačný	1	90 x 30
Plech řádkování tlačný	1	90 x 30
Pojistný kroužek / DIN 471-15	2	-
Distanční sloupek / DREMEC 318/4.3X07	6	7
Distanční sloupek válcový TMEDR3110/5.3X2	2	2
Šroub / ISO 4762 M3 x 8	7	-
Šroub / ISO 7380 – M4 x 18	3	-
Matice / ISO 4032 M4	3	-
Matice / ISO 4032 M3	7	-

Tab. 9 Seznam použitých dílů pro řádkování 2/2

Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Matice / ISO 4032 M5	2	-
Čep s vnitřním závitem / ISO 13918 M3x5x5x15	1	-
Drážková matice M4 / 0.0.370.06	2	-
Drážková matice M5 / 0.0.370.01	4	-
Šroub / DIN 912 M5 x 10	4	-
Podložka DIN 125A M3 / 3,2 plastová	1	-
Indukční senzor / E2S-W13-1M	2	-
Držák senzoru / Y92E-D1R6	2	-
Úhelník V 5 20 Zn / 0.0.677.77	4	-
Šroub / DIN 7991 M5 x 8	8	-
Plech vedení senzoru přední	1	94 x 20
Plech vedení senzoru zadní	1	94 x 20
Podložka / DIN 125A M3 – 100 HV	4	-
Šroub / ISO 7380 M3 x 6	4	-

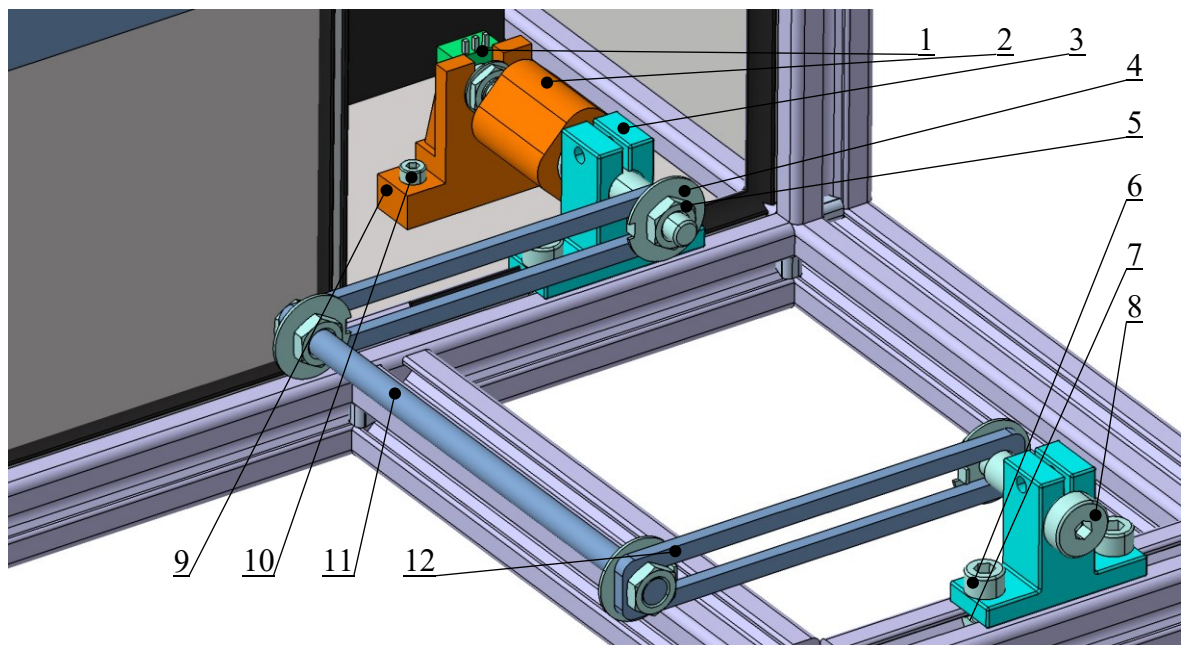
Řešení řádkování se nabízelo hned několik. Třeba řešení s pevnou lichoběžníkovou tyčí uchycené pevně ve stojanu s volným krokovým motorem, který by místo lichoběžníkové matice byl připojen k sestavě řádkování. Avšak i ty nejmenší krokové motory jsou dosti rozměrné a bylo by třeba přehodnotit systém upínání. Bylo by také nutné vyřešit připojení takového krokového motoru k napájení. Musel by proto být navržen systém pro spolehlivé a bezpečné vedení vodičů od pohyblivého se krokového motoru. Navržené řešení se vedením vodičů zabývat výrazně nemusí. Vodiče vedoucí od senzorů se v průběhu navíjení nijak nepohybují a před spuštěním cyklu jdou napájecí kabely bezpečně a v klidu schovat. Další výhodou sestavy řádkování je její relativní nenáročnost týkající se rozměrů. Veškeré zatížení je přenášeno lineárním ložiskem a případ, pro který byla provedena kontrola pevnosti by díky systému regulace neměl nikdy nastat.

7.5 Regulace

Rychlost navíjení však v průběhu provozu zařízení nebude stejná. Bude se měnit nejen se změnou výkonu výroby filamentu, ale hlavně zvětšujícím se množstvím navinutého filamentu na cívce, což zvětšuje vzdálenost od osy otáčení a rychlost navíjení se značně mění. Rychlost otáčení cívky bude tedy řízena podle napětí filamentu. Napětí ve filamentu se bude měřit pomocí změny polohy regulační tyče umístěné na ramenu regulace. Rameno bude změnu polohy skrze čep zajištěný proti vzájemnému pootočení podložkou snosem.

Čep bude uložen ve svěrném stojanu SK8, ale nebude pevně sevřený, ale volný pro umožnění rotačního pohybu. Čep bude spojen pomocí spojky, vyrobené 3D tiskem, s rotačním potenciometrem od společnosti Bourns s označením PRS11R-225F-N103B1. Potenciometr bude uložen ve stojanu, též vyrobeném pomocí 3D tisku, a přišroubován ke spodní desce.

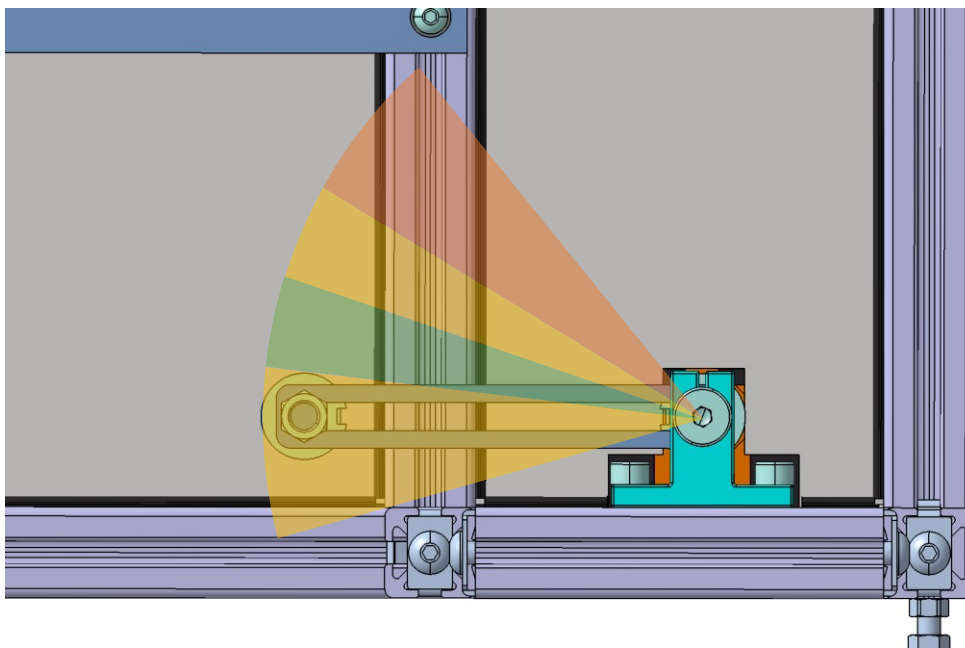
Ve chvíli, kdy bude regulační tyč nevychýlena z nezatížené polohy, bude potenciometr vysílat signál do řídicí desky Arduino aby motor navíjení zvýšil rychlost navíjení. Filament se začne navíjet určitou rychlostí, dokud nezačne rychlost navíjení vychylovat regulační tyč z nezatížené polohy. Ve chvíli, kdy tyč dosáhne určitého mezního vychýlení, Arduino zpomalí navíjení, případně jej úplně zastaví. V mezipoloze bude rychlost navíjení setrvávat stejná. Rychlost navíjení se tedy bude sama regulovat v závislosti na napětí vzniklém příliš rychlým navíjením, nebo příliš pomalým. Rychlost řádkování bude nastavena tak, aby se řídila podle otáčení cívky. Ve chvíli, kdy cívka vykoná jednu plnou otáčku se řádkování posune o poloměr navíjeného filamentu. Celý chod stroje tak bude záviset na volnosti navíjeného konce filamentu. Soustava s regulační tyčí je lehká a pro vyvolání vychýlení do mezní polohy nebude vyžadovat velké napětí ve filamentu. Sestavu regulace lze vidět na *Obr. 41*.



Obr. 41 Pohled na sestavu regulace

1 – Potenciometr, 2 – spoj potenciometru, 3 – stojan SK8, 4 – podložka DIN 432 M6, 5 – matice DIN 439B M6, 6 – šroub DIN 912 M5 x 10, 7 – drážková matice M5, 8 – čep lícovaný ISO 7379 8 M6 x 25, 9 – stojan potenciometru, 10 – šroub DIN 912 M3 x 14, 11 – regulační tyč, 12 – rameno regulační tyče.

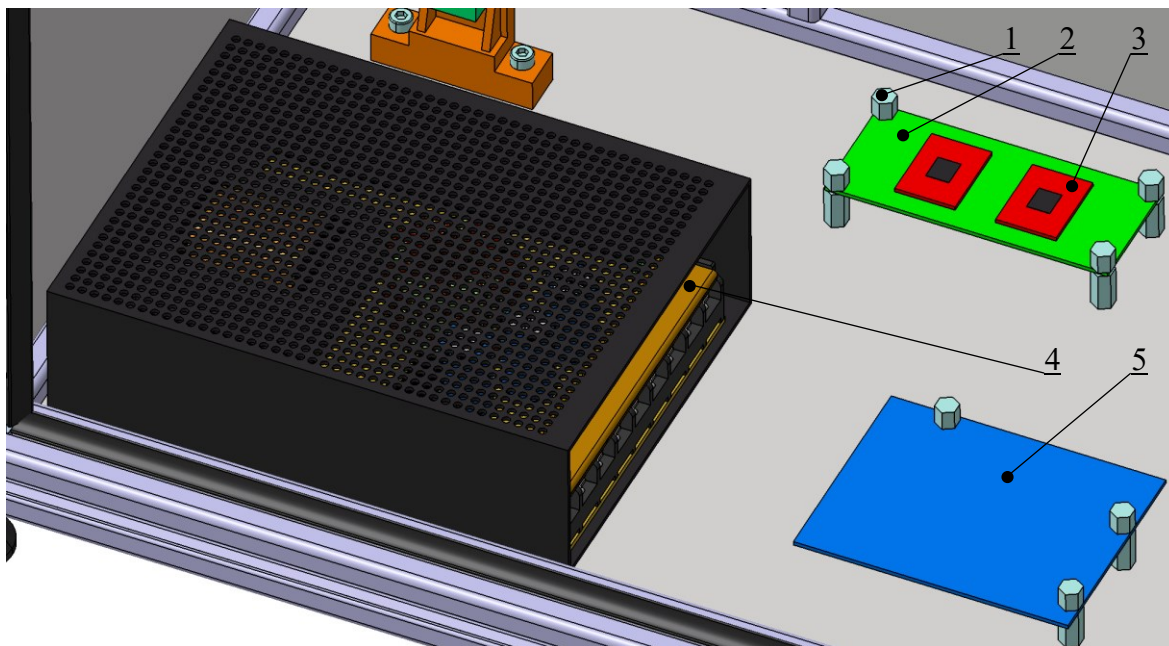
Princip regulace je znázorněn na Obr. 42. Ve chvíli, kdy se regulační tyč nachází ve spodní žluté oblasti, znamená to, že filament je příliš volný a stroj má tedy co navíjet. Cívka se tedy začne otáčet rychleji. Postupným zrychlováním se bude filament napínat více a více, dokud toto napětí nezačne vychylovat rameno vzhůru. S rostoucí výchylkou se bude hodnota zrychlování lineárně snižovat. Jakmile se rameno vychýlí do zelené oblasti, motor se začne otáčet konstantní rychlostí bez zrychlování, nebo zpomalování. Vlivem stoupání návinu na cívce nebo zpomalením výroby filamentu může dojít k vychýlení ramene až do horní žluté oblasti. V tomto okamžiku začne motor navíjení snižovat momentální rychlost otáčení. Zprvu z okraje žluté oblasti začne lehce snižovat rychlost a v případě rostoucí výchylky se začne rychlost zpomalování zvyšovat. Při úplném zastavení výroby filamentu, nebo při zaseknutí filamentu může dojít k tomu, že se rameno vychýlí až do té míry, že vnikne do červeně vyznačené oblasti. V tuto chvíli se motor zastaví a čeká, než se regulační tyč vrátí znovu do spodní žluté oblasti.



Obr. 42 Popis regulace rychlosti navíjení

Samotné Arduino však ovládat krokové motory nebude, protože by nevycházelo množství pinů na desce. Krokové motory budou ovládány prostřednictvím driverů pro krokové motory s označením A4988. Ty zajistí správné řízení napětí a rozložení signálů tak, aby krokové motory správně fungovaly. Deska Arduino je k těmto driverům připojena pomocí 2 vodičů. Jeden pomocí pulzů říká, kdy má motor udělat krok a druhý udává smysl otáčení. Zbytek obstará driver, který je propojený s napájecím zdrojem a motory. Na driveru je trimr, jehož otáčením se nastavuje proud pro pohon motorů. Motor navíjení vyžaduje proud 1,69 A. Motor řádkování pak 0,4 A. Zdroj byl vybrán od společnosti Traco Power

s označením TXM 075-124. Jedná se o 75 W zdroj s výstupním napětím 24 VDC a proudovým rozpětím až 3,2 A. Tento zdroj bude napájet krokové motory skrze drivery a indukční senzory. Arduino je připevněno na spodní TuBond desku uvnitř stroje pomocí distančních sloupků a šroubů pro zajišťování plošných spojů. Drivery jsou pájeny na desku univerzálních plošných spojů pro snadnější zapojování a manipulaci. Deska univerzálních plošných spojů je připevněna k TuBond desce pomocí stejných distančních sloupků jako Arduino. Desky a zdroj jsou v dosahu propojovacích drátů DuPont.



Obr. 43 Pohled na rozložení řídicí elektroniky

1 – Distanční sloupek se šroubkem DA5M3 x 10, 2 – deska univerzálních plošných spojů, 3 – driver A4988, 4 – napájecí zdroj TXM 075-124, 5 – Arduino UNO.

Tab. 10 Seznam použitých dílů pro regulační soustavu

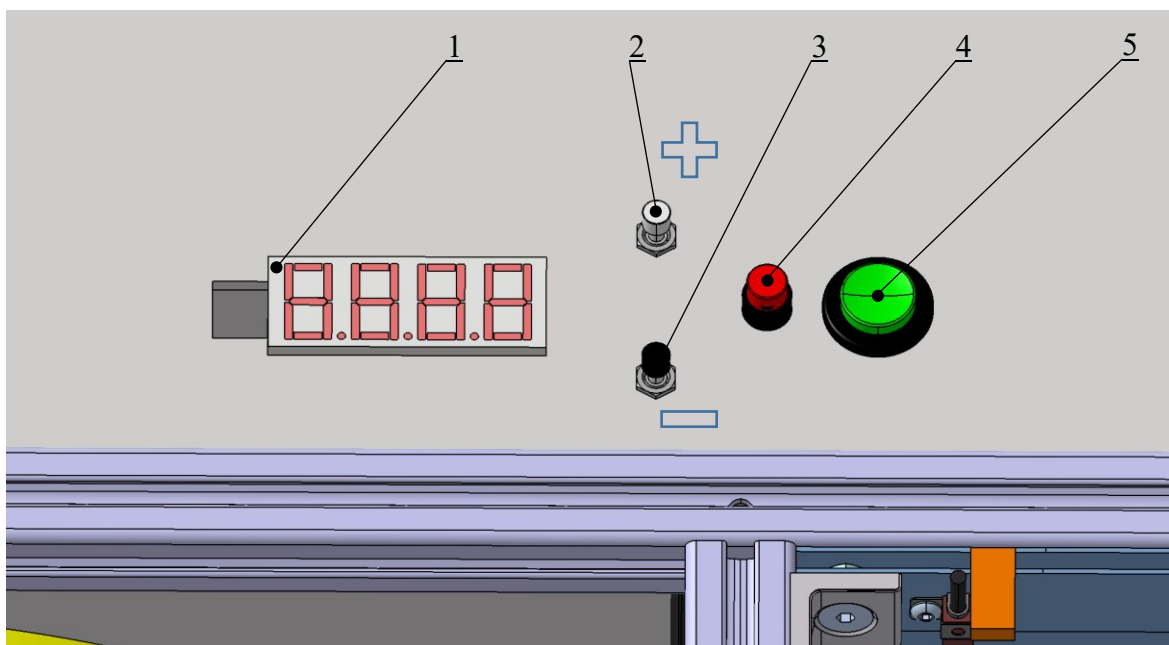
Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Rotační potenciometr / PRS11R-225F-N103B1	1	-
Spoj potenciometru	1	-
Stojan potenciometru	1	-
Stojan čepu / SK8	2	-
Regulační tyč / Cf53 INA	1	132 x D6
Rameno regulační tyče	2	100 x 14
Matice / DIN 439B M6	6	-
Čep lícovaný / ISO 7379 8 M6 x 25	2	-
Šroub / DIN 912 M5 x 10	4	-
Drážková matice M5 / 0.0.370.01	4	-
Šroub / DIN 912 M3 x 14	2	-
napájecí zdroj / TXM 075-124, 5	1	-
Deska univerzálních plošných spojů	1	30 x 70
Driver / A4988	2	-
Arduino UNO	1	-
Distanční sloupek se šroubkem / DA5M3 x 10	7	-

7.6 Ovládání

Napájení stroje bude spouštěno pomocí napájecího tlačítka od společnosti NNK Switches s označením LP0115CCKW01F. Toto tlačítko bude spojovat napájecí kabel vedoucí do stroje s napájecím zdrojem a adaptér pro napájení desky Arduino. Při zamáčknutí tohoto tlačítka bude zdroj zařízení a adaptér napájen ze síťového kabelu 230 DC, 50 Hz. Toto tlačítko slouží pro restart zařízení, tedy uvedení zařízení do iniciálního přednastaveného stavu. Napájení motorů a započetí navíjecího cyklu, nebo jeho případné přerušování, bude zajišťovat stlačení druhého tlačítka s červeným indikátorem spuštění od společnosti NNK Switches s označením HB02KW01-5C-CB. Toto tlačítko v neseprnutém stavu signalizuje desce Arduino, že na cívkách krokových motorů nebude žádný proud. Je to z toho důvodu, aby bylo možné snadno manipulovat se sestavou řádkování při kalibraci senzorů řádkování.

Sepnutí tohoto tlačítka signalizuje započetí navíjecího cyklu, nebo jeho vrácení do přerušovaného cyklu. Při započetí cyklu odjede sestava řádkování nejprve k vnějšímu senzoru řádkování. Cívka se začne otáčet po obdržení signálu vnějšího indukčního senzoru. Ve kteroukoliv chvíli je možné tlačítkem s červeným indikátorem cyklus přerušit. Důvodem přerušování by mohlo být nevyhovující nastavení senzorů. Při opětovném sepnutí tohoto tlačítka se stroj vrátí do chodu tam, kde přestal a kde se zrovna nachází.

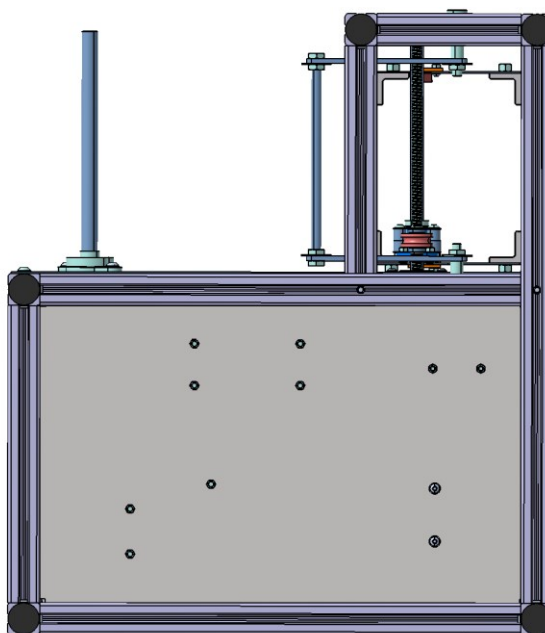
Dále se na panelu zařízení nachází 7 segmentový sériový displej s označením MAK112 a 2 tlačítka od společnosti NNK Switches s označením FB15ANEP4-FB pro bílý vršek a pro černý vršek FB15ANEP4-FA. Tyto tlačítka slouží k nastavení počtu pater, které se navinou na cívku. Zvolený počet pater bude zobrazován na LCD displeji. Zařízení pozná, kdy je dokončeno patro na cívce tehdy, kdy dorazí sestava řádkování k senzoru řádkování a senzor detekuje její přítomnost. Kromě instrukce pro změnu smyslu otáčení motoru řádkování bude tato situace zaznamenána do vnitřního počítačidla v desce Arduino. To porovná hodnotu počítačidla s hodnotou nastavenou na LCD displeji. V případě, že hodnota počítačidla bude menší než hodnota na displeji, bude zařízení pokračovat v procesu navíjení. V momentě, kdy hodnota počítačidla dosáhne hodnoty nastavené na displeji, přestane se motor navíjení otáčet a zařízení čeká na obsluhu. Obsluha se může rozhodnout, zda je na cívce dostatek navinutého filamentu. V případě, kdy by filament scházel, může se zařízení nastavením vyšší hodnoty na displeji znovu uvést do provozu. Po dokončení navíjení je třeba provést inicializaci desky Arduino buďto vypnutím a zapnutím zařízení, nebo násobným zvyšováním počtu pater pokračovat po výměně cívky. Všechna tlačítka jsou připevněna pomocí šroubu s podložkou, který je součástí objednaného tlačítka. Pro LCD displej je třeba udělat do horní desky díru v místě vývodu spojovacích drátů. Záleží na šikvosti páječky, který bude pájet kontakty LCD displeje s drátky.



Obr. 44 Pohled řídicí panel zařízení

1 – 7 segmentový sériový LCD displej MAK112, 2 – Tlačítko inkrementační FB15ANEP4-FB, 3 – tlačítko dekrementační FB15ANEP4-FA, 4 – spínač navíjení HB02KW01-5C-CB, 5 – spínač napájení LP0115CCKW01F.

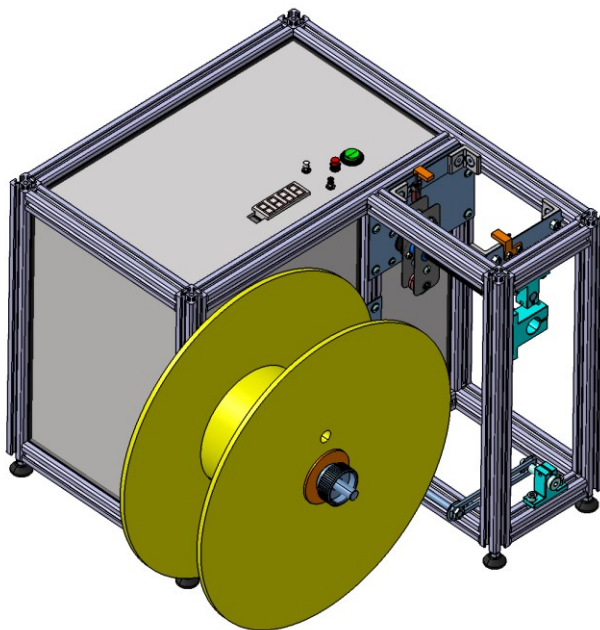
Nabízely se také různé varianty řešení regulace, kdy by rotační potenciometr mohl být nahrazen potenciometrem s lineárním posuvem. Toto řešení by bylo výhodné, co se týče úspory místa mezi cívkou a řádkováním. Tyč by musela být umístěna volně v drážce, ve které by se tyč pohybovala. Tento systém by mohl být velice náchylný na zasekávání a nerovnoměrné posouvání regulační tyče. Další variantou by bylo umístění na volné místo u čepu podobné rameno s regulační tyčí v menším provedení, než má navržená varianta. Úspora místa na spodu řádkování by však byla vysoce znevýhodněna složitostí návrhu takové sestavy řádkování.



Obr. 45 Pohled na celé zařízení zespodu

Tab. 11 Seznam použitých dílů pro ovládání stroje

Název dílu/označení dílu	Mn. [ks]	Rozměry [mm]
Napájecí tlačítko / LP0115CCKW01F	1	-
7 segmentový sériový LCD displej / MAK112	1	-
Tlačítko inkrementační / FB15ANEP4	1	-
tlačítko dekrementační FB15ANEP4-FA	1	-
Spínač navíjení / LP0115CCKW01F	1	-

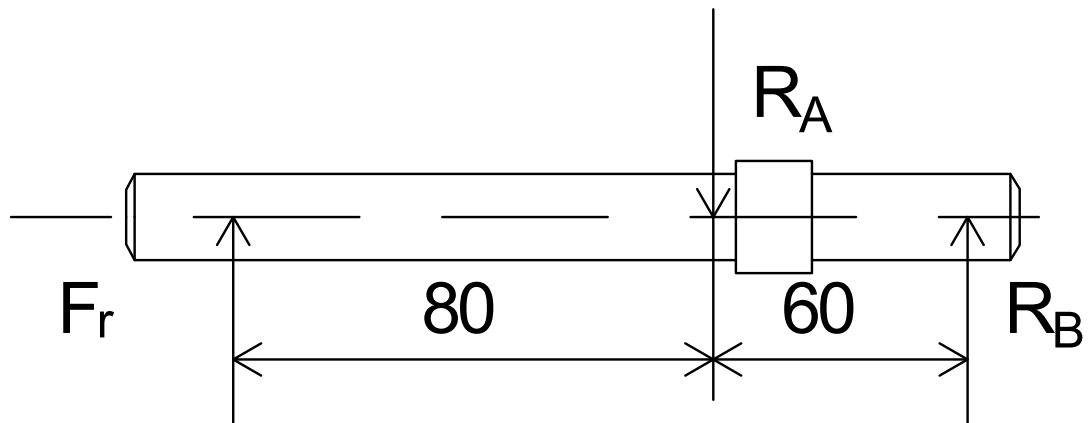


Obr. 46 Pohled na celé zařízení s navíjecí cívkou

8 KONTROLNÍ VÝPOČTY

V kapitole kontrolních výpočtů bude věnována pozornost především hřídeli, ložiskům a vodící tyči. Tyto součásti totiž budou při chodu stroje namáhány nejvíce.

8.1 Hřídel cívky



Obr. 47 Statický rozbor hřídele

Hřídel je namáhána vahou cívky a kroutícím momentem od motoru. Vypočteme tedy největší ohybový moment. Váha největší plně navinuté cívky (včetně hmotnosti cívky) činí 2.6 kg.

$$F_r = m \cdot g = 2.6 \cdot 9.81 = 25.506 \text{ N} \quad (14)$$

Maximální ohybový moment tedy bude

$$M_o = F_r \cdot l = 25.506 \cdot 0.08 = 2.040 \text{ Nm} \quad (15)$$

Maximální kroutící moment známe. Lze tedy spočítat moment redukovaný:

$$M_{red} = \sqrt{M_o^2 + 0.75 \cdot M_k^2} = \sqrt{2.040^2 + 0.75 \cdot 3.5^2} = 3.654 \text{ Nm} \quad (16)$$

Pro materiál E295 volím dovolené napětí v ohybu $\sigma_{oD} = 150 \text{ MPa}$. Minimální průměr hřídele pak bude:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{red}}{\pi \cdot \sigma_{oD}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3.654}{\pi \cdot 150 \cdot 10^6}} = 6.284 \text{ mm} \quad (17)$$

Průměr hřídele vyhovuje.

Určíme reakce v ložiscích:

$$F_r - R_A + R_B = 0 \quad (18)$$

$$F_r \cdot 0.08 - R_B \cdot 0.06 = 0 \quad (19)$$

$$R_B = F_r \cdot \frac{0.08}{0.06} = 25.506 \cdot \frac{0.08}{0.06} = 34.008 \text{ N} \quad (20)$$

$$R_A = F_r + R_B = 25,506 + 34,008 = 59,514 \text{ N} \quad (21)$$

Ložiska nejsou rozměrově stejná, je třeba vypočítat maximální zatížení pro obě zvlášť.

Dynamická únosnost ložiska A je $C = 8,52 \text{ kN}$, Dynamická únosnost ložiska B je $C = 1,48 \text{ kN}$, frekvence otáčení je $n = 30 \text{ ot/min}$, výpočtová trvanlivost je $L_D = 20\,000 \text{ h}$, základní výpočtová trvanlivost je $L_{10} = 1\,000\,000 \text{ h}$, koeficient $\alpha = 3$.

Výpočet maximálního zatížení ložiska A:

$$F_D = \frac{C}{\left(\frac{L_D \cdot n}{L_{10}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}} = \frac{8,52}{\left(\frac{20000 \cdot 30}{1000000 \cdot 60}\right)^{\frac{1}{3}}} = 39,546 \text{ kN} \quad (22)$$

Ložisko A vyhovuje.

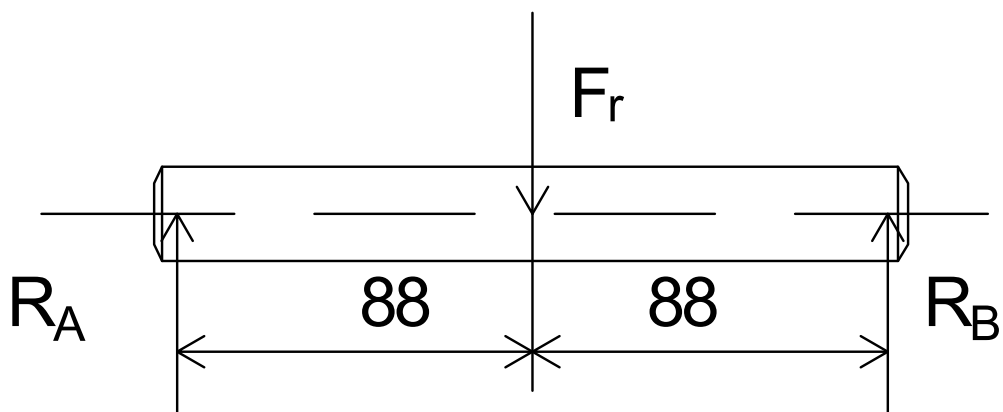
Výpočet maximálního zatížení ložiska B:

$$F_D = \frac{C}{\left(\frac{L_D \cdot n}{L_{10}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}} = \frac{1,48}{\left(\frac{20000 \cdot 30}{1000000 \cdot 60}\right)^{\frac{1}{3}}} = 6,87 \text{ kN} \quad (23)$$

Ložisko B vyhovuje.

8.2 Vodící tyč řádkování

Vodící tyč řádkování je zatížena vahou sestavy řádkování. Celá sestava může vážit do 1 kg. Dále bude vodící tyč zatížena vlivem napětí filamentu. Pro zjednodušení výpočtu budeme předpokládat, všechny síly působí stejným směrem dolů. Nejvyšší ohybový na tyči nastane tehdy, když bude sestava řádkování přímo uprostřed tyče.



Obr. 48 Statický rozbor vodící tyče

Nejprve stanovíme působící síly:

$$F_g = m \cdot g = 1 \cdot 9,81 = 9,81 \text{ N} \quad (24)$$

Pro stanovení silového působení filamentu budeme předpokládat plný tah plně navinuté cívky.

$$F_F = \frac{M_K}{D_p} = \frac{2 \cdot 3,5}{0,298} = 23,49 \text{ N} \quad (25)$$

Síla působící od filamentu bude dvojnásobná kvůli účinku pevné kladky.

$$F_R = 2 \cdot F_F + F_g = 2 \cdot 23,49 + 9,81 = 56,79 \text{ N} \quad (26)$$

Nyní můžeme spočítat maximální ohybový moment:

$$M_O = F_r \cdot l = 25,506 \cdot 0,088 = 4,998 \text{ Nm} \quad (27)$$

Pro materiál Cf53 volím dovolené napětí v ohybu $\sigma_{oD} = 170 \text{ MPa}$. Minimální průměr tyče pak bude:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_O}{\pi \cdot \sigma_{oD}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 4,998}{\pi \cdot 170 \cdot 10^6}} = 6,690 \text{ mm} \quad (28)$$

Průměr tyče vyhovuje.

9 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cenová kalkulace byla provedena podle dostupných cenových nabídek. Jedná se o odhad, který nezohledňuje cenu dopravy, náklady na úpravu a obrobení potřebných součástí, strojní čas nebo různé příplatky za příliš malé objednávky. Cenový odhad tedy zahrnuje náklady na pořízení nezbytných součástí a nezbytného materiálu pro zhotovení zařízení. Nejdražší položkou jsou vzhledem k počtu kusů indukční senzory. Cenový odhad je proveden dle aktuálního kurzu dolaru 1\$ = 20,92 Kč,- a eura 1€ = 25,46 Kč,-. V případě, kdy se dá objednat jen minimální množství, které přesahuje množství potřebné k sestavení, je započítáno pouze množství nezbytné k sestavení zařízení. Někteří dodavatelé mohou být velmi vzdálení a dodávka komponentů může trvat i měsíc.

Tab. 12 Tabulka cenové kalkulace 1/2

Sestava	Položka	Cena [Kč]
Ovládání	Elektronika	685,37 Kč
Regulace	Potenciometr	72,05 Kč
	Arduino	179,00 Kč
	Drivery	130,00 Kč
	zdroj	763,00 Kč
	Spojovací materiály	237,57 Kč
	Ostatní	274,62 Kč
	Za sestavu	1 656,24 Kč
Řádkování	Spojovací materiály	661,57 Kč
	Senzory	3 192,74 Kč
	Motor	670,36 Kč
	Ložisko	284,73 Kč
	Ostatní položky	474,58 Kč
	Za sestavu	5 283,98 Kč
Navíjení	Motor	990,81 Kč
	Spojka	480,00 Kč
	Ložiska	470,50 Kč
	Hřídel	321,48 Kč
	Spojovací materiály	206,38 Kč
	Za sestavu	2 469,17 Kč

Tab. 13 Tabulka cenové kalkulace 2/2

Sestava	Položka	Cena [Kč]
Rám	Tubond desky	211,25 Kč
	Gumové těsnění	275,84 Kč
	Item profily	1 380,67 Kč
	plechy	26,93 Kč
	Spojovací materiály	1 199,02 Kč
	Za sestavu	3 093,70 Kč
Celkový odhad ceny		13 188,47 Kč

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení navíjecího zařízení, které bude navíjet filament z vytlačovacího stroje. Požadavek byl kladen zejména na přesný a plynulý chod zařízení s rovnoměrným rozložením filamentu na cívce. Dále byla požadována rychlost navíjení okolo 5 m/min. Motory byly zvoleny tak, aby jejich výkon odpovídal tomuto požadavku s dostatečnou rezervou. Ty zajišťují přesný a plynulý chod zařízení.

Díky navržené regulaci je řízena rychlost navíjení automaticky podle napjatosti navíjeného filamentu. Jediné nastavení, které je třeba provést je správná kalibrace senzorů řádkování. Při navíjení na stejný rozměr cívky není třeba nadále a kalibrovat senzory znovu.

Provedená kalkulace ceny zařízení je přibližná. Nelze jej ani porovnat s jinými podobnými zařízeními, protože se na trhu žádné nepohybují. Oslovené společnosti neposkytli včas cenovou kalkulaci. Požadavek byl však tázán na celou linku, a je možné že odpovídat na dotaz studenta z jiné země nestálo za to.

Slabým místem navrženého zařízení v oblasti regulace bude spojení čepu s potenciometrem, kde bude kladen veliký důraz na přesnost vytisknutého spoje. V případě že budou ve spoji velké vůle vlivem rozměrové nestability během tisku, může být značně neefektivní funkce regulace nebo dokonce nefunkční.

Vzhledem k časovému nedostatku nebylo možné zařízení sestrojít. V případě pokračování v této práci by bylo vhodné se zaměřit na možnost navíjet filament o různých rozměrech. Dále bych doporučil vyhledat levnější alternativu senzorů řádkování. Součástí práce je zhotovený model v programu Catia V5.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEDŘICH, Rudolf. *Jednoučelové stroje, automaty a výrobní systémy*. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1984.
- [2] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. 1. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. ISBN 80-867-0610-9.
- [3] PAVELKA, Jiří a Jiří JAVŮREK. *Elektrické pohony*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2314-1.
- [4] *Přehled a zapojení motorů* [online]. mylms, 2013 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/prehled-a-zapojeni-motoru/>
- [5] *Motor Control Devices: Electric Motors [part 2]* [online]. Industrial electronics, 2020 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: http://www.industrial-electronics.com/electric_mts--cntrl_syst--5b.html
- [6] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [7] *GH1230 GEAR HEAD LATHE* [online]. Warco®, 2020 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.warco.co.uk/metal-lathes/303315-gh1230-gear-head-lathe.html>
- [8] *Welding guide*. 2. vyd. Troy, Ohio: Hobart Institute of Welding Technology, 2009, 116 s. ISBN 9781613441367. Dostupné také z: <https://vufind.katalog.k.utb.cz/Record/84121>
- [9] *Welded Aluminum* [online]. Bradenton: MYCO Trailers, LLC, 2020 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <http://www.mycotrailers.com/welded-aluminum.html>
- [10] ONDRÁČEK, Martin, P LYSÁK, ed. Stavba nosných soustav. In: *Obráběcí stroje na EMO: Sborník k bloku přednášek*. Hannover: ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-903421-7-0.
- [11] *All Welded Aluminum Dunnage Racks* [online]. Los Angeles: GSW, 2020 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <http://www.gsw-usa.com/all-welded-racks/205-all-welded-aluminum-bun-pan-rack.html>
- [12] *Haberkorn s.r.o* [online]. Ulmer, 2012 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/>
- [13] RIEGR, Jiří. *Konstrukce navijecího stroje s digitálním vinutím*. 2014. Technická univerzita v Liberci Fakulta strojní, 2014. Dostupné také z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/17202>
- [14] AMRICH, Michal. *Navijecí zařízení pro skupinové navíjení*. 2013. Technická univerzita v Liberci Fakulta strojní. Dostupné také z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/18987>
- [15] TALAVÁŠEK, Oldřich a Jiří PLÍŠTIL. *Příprava materiálu ke tkaní*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [16] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-731-8039-1.
- [17] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 1. Brno: Code Creator, 2015 [cit. 2021-01-18]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
- [18] *Professional Extruder for production, R&D* [online]. Maitenbeth, 2021 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: www.collin-solutions.com

- [19] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [20] SHAW, Montgomery T. *Introduction to polymer rheology* [online]. 1. Hoboken: Wiley, 2012 [cit. 2021-03-02]. ISBN 978-047-0388-440. Dostupné z: doi:9781118170229
- [21] *The Ultimate Guide: What is 3D Printing?* [online]. © Sculpteo, 2009 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-printing/>
- [22] CHUA, Chee a Kah LEONG. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. 1. New Jersey: World Scientific, 2017. ISBN 978-981-3146-76-1.
- [23] *FDM vs. SLA vs. SLS vs. DLS: Battle of the 3D technologies* [online]. © Sculpteo, 2009 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies-and-processes/compare-fdm-sla-sls-dls/>
- [24] TAREQ, Md., Tanzilur RAHMAN, Mokarram HOSSAIN a Peter DORRINGTON. Additive manufacturing and the COVID-19 challenges: An in-depth study. *Journal of Manufacturing Systems* [online]. 2021 [cit. 2021-02-10]. ISSN 02786125. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmsy.2020.12.021
- [25] *3D printed face shields for medics and professionals* [online]. Prusa Research a.s, 2020 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/covid19/>
- [26] *Maker Mask Introduces New Mask Versions and Ventilator Prototype* [online]. Maker mask, 2020 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.makermask.com/press-releases.html#>
- [27] *Bastlíme s Arduinem* [online]. Praha, 2014 [cit. 2021-05-17].
- [28] *Creative Commons* [online]. Mountain View: Chucklingcanuck, 2013 [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://creativecommons.org/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
FDM	Fused deposition modeling
DIY	Vyrob si sám (Do it yourself)
ω	Úhlová rychlost
M	Moment, metrický závit
R	Soukací poměr
d_{min}	Malý průměr návinu
d_{max}	Velký průměr návinu
B	Šířka návinu
α	Úhel stoupání ovinů, koeficient druhu ložiska
s	Stoupání ovinů
β	Úhel čela cívky
ϑ	Úhel kuželové dutinky
z	Vzdálenost sousedních navinutých nití
z_1	Počet zubů ozubeného kola 1
z_2	Počet zubů ozubeného kola 2
F	Síla
S	Plocha, Počáteční napětí
H	Vzdálenost mezi deskami
v	Rychlost
$\dot{\gamma}$	Smyková rychlost
τ	Smykové napětí
$\dot{\tau}$	Změna smykového napětí v čase
t	Čas
De	Debořino číslo
θ	Doba zpracování
E	Tuhost pružiny
γ	Protažení pružiny
$\dot{\gamma}$	Rychlost smykové deformace
e	Eulerovo číslo
C	Integrační konstanta
D	Průměr trysky

d	Průměr profilu toku
η	Smyková viskozita
N_1	Rozdíl normálových napětí
η_e	Elongační viskozita
λ	Doba pozorování, relaxační doba
τ_p	Překmit napětí
etc.	Et cetera (a další)
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ASA	Akrylonitrilstyrenakryl
CAD	Computer-aided design
mm	Milimetr
kg	Kilogram
N	Newton
m	Metr, hmotnost
min	Minuta
ot	Otáčky
a.s	Akciová společnost
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
DIN	Německý institut pro normy a standardizace (Deutsches Institut für Normung)
°	Stupně
°C	Stupně Celsia
PLA	Polylaktid
HV	Tvrдость podle Vickerse
V	Volt
DC	Stejnoseměrný proud (Direct current)
A	Ampér
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
v_{max}	Maximální rychlost navíjení
d_f	Poloměr filamentu
I	Moment setrvačnosti
ε	Úhlové zrychlení

Nm	Newtonmetr
W	Watt
AC	Střídavý proud (Alternating current)
LCD	Liquid Crystal Display
F_r	Síla radiální
M_O	Ohybový moment
l	Rameno ohybového momentu
M_{red}	Moment redukovaný
M_k	Moment kroucí
σ_{oD}	Dovolené napětí v ohybu
R_A	Reakce v místě A
R_B	Reakce v místě B
C	Dynamická únosnost
L_D	Výpočtová trvanlivost
L_{10}	Základní výpočtová trvanlivost
n	Otáčky
g	Gravitační zrychlení
\$	Dollar
€	Euro
Kč	Koruna Česká

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Kvadranty diagramu $M - \omega$. [3].....	13
<i>Obr. 2</i> Řez trojfázovým asynchronním motorem. [4].....	14
<i>Obr. 3</i> Řez stejnosměrným motorem. [5]	15
<i>Obr. 4</i> Soustruh společnosti Warco s litinovým rámem. [7].....	16
<i>Obr. 5</i> Svařené hliníkové profily. [9]	17
<i>Obr. 6</i> Svařený hliníkový stojan. [11]	18
<i>Obr. 7</i> Standardní hliníkový profil Item řady 5. [12].....	19
<i>Obr. 8</i> Obecné tvary cívek. [13].....	20
<i>Obr. 9</i> Cívky s paralelním vinutím. [14]	22
<i>Obr. 10</i> Struktura cívky navinuté divokým vinutím. [13].....	23
<i>Obr. 11</i> Struktura cívky navinuté přesným křížovým vinutím. [13]	24
<i>Obr. 12</i> Závislost soukacího poměru R na průměru navíjení d a typu vinutí. [14]	24
<i>Obr. 13</i> Univerzální vačkový mechanismus. [15]	25
<i>Obr. 14</i> Vytlačovací zařízení firmy COLLIN Lab & Pilot Solutions GmbH. [18].....	26
<i>Obr. 15</i> Vytlačovací stroj. [16]	27
<i>Obr. 16</i> Standardní šnek vytlačovacího stroje. [16]	28
<i>Obr. 17</i> Rozdělení vytlačovacích hlav. [19].....	28
<i>Obr. 18</i> Řez vytlačovací hlavou na trubky. [17]	29
<i>Obr. 19</i> Segmentová vytlačovací hlava. [17].....	30
<i>Obr. 20</i> Širokoštěrbinové hlavy. [19].....	30
<i>Obr. 21</i> Konstrukce širokoštěrbinové hlavy. [19].....	31
<i>Obr. 22</i> Dvoudeskový model laminárního smykového toku. [16]	32
<i>Obr. 23</i> Maxwellův model. [16]	33
<i>Obr. 24</i> Relaxace polymerů. [16].....	34
<i>Obr. 25</i> Narůstání za hubicí. [16].....	34
<i>Obr. 26</i> Schéma výrobní linky na opláštění vodičů [19]	35
<i>Obr. 27</i> Princip metody FDM. [22]	36
<i>Obr. 28</i> Obličejový štít společnosti © Prusa Research a.s. [25]	38
<i>Obr. 29</i> Rouška Radius společnosti Maker mask. [26].....	39
<i>Obr. 30</i> Detailní pohled na standardní spoj	44
<i>Obr. 31</i> Detail spoje plechů	44
<i>Obr. 32</i> Detail uložení TuBond desky	45
<i>Obr. 33</i> Pohled na rám stroje	46
<i>Obr. 34</i> Arduino UNO [27].....	47

<i>Obr. 35 Sestava cívky s upínacími kužely</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 36 Pohled na sestavu motoru v řezu</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 37 Pohled na sestavu motoru přední</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38 Pohled na sestavu řádkování v řezu</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39 Pohled na sestavu řádkování</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 40 Kalibrace řádkování podle šířky cívky</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 41 Pohled na sestavu regulace</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 42 Popis regulace rychlosti navíjení</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 43 Pohled na rozložení řídicí elektroniky</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 44 Pohled řídicí panel zařízení</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 45 Pohled na celé zařízení zespodu</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 46 Pohled na celé zařízení s navíjecí cívkou</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 47 Statický rozbor hřídele</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 48 Statický rozbor vodící tyče</i>	<i>65</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Parametry návínu.</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2 Druhy křížového vinutí.</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3 Charakteristické veličiny polymerních tavenin. [16].....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4 Seznam použitých dílů pro sestavení rámu 1/2.....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 5 Seznam použitých dílů pro sestavení rámu 2/2.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 6 Parametry cívky Devil design 2 kg.</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 7 Seznam použitých dílů pro připojení motoru navíjení.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 8 Seznam použitých dílů pro řádkování.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 9 Seznam použitých dílů pro řádkování 2/2.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 10 Seznam použitých dílů pro regulační soustavu.....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 11 Seznam použitých dílů pro ovládání stroje.....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 12 Tabulka cenové kalkulace 1/2.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 13 Tabulka cenové kalkulace 2/2.....</i>	<i>68</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Momentová křivka motoru Nema 17 17HS15-1684S-HG10

Příloha PII: Katalogový list spojky Odlham

Příloha PIII: Výkresová dokumentace

T6BPT-KRU-21-01	Stojna
T6BPT-KRU-21-02	Příčnick přední
T6BPT-KRU-21-03	Podélník řádkování
T6BPT-KRU-21-04	TuBond deska levá
T6BPT-KRU-21-05	TuBond deska pravá
T6BPT-KRU-21-06	TuBond deska zadní
T6BPT-KRU-21-07	TuBond deska spodní
T6BPT-KRU-21-08	TuBond deska horní
T6BPT-KRU-21-09	TuBond deska řádkování
T6BPT-KRU-21-10	TuBond deska navíjení
T6BPT-KRU-21-11	Plech navíjení
T6BPT-KRU-21-12	Plech motoru navíjení
T6BPT-KRU-21-13	Plech motoru řádkování
T6BPT-KRU-21-14	Plech řádkování tlačný
T6BPT-KRU-21-15	Plech řádkování tlačný
T6BPT-KRU-21-16	Plech senzoru přední
T6BPT-KRU-21-17	Plech senzoru zadní
T6BPT-KRU-21-18	Upínací kužel
T6BPT-KRU-21-19	Hřídel
T6BPT-KRU-21-20	Podložka stojanu ložiska
T6BPT-KRU-21-21	Vložka ložiska
T6BPT-KRU-21-22	Spoj potenciometru
T6BPT-KRU-21-23	Stojan potenciometru
T6BPT-KRU-21-24	Doraz řádkování
T6BPT-KRU-21-S1	Sestava řádkování
T6BPT-KRU-21-S2	Sestava senzoru předního

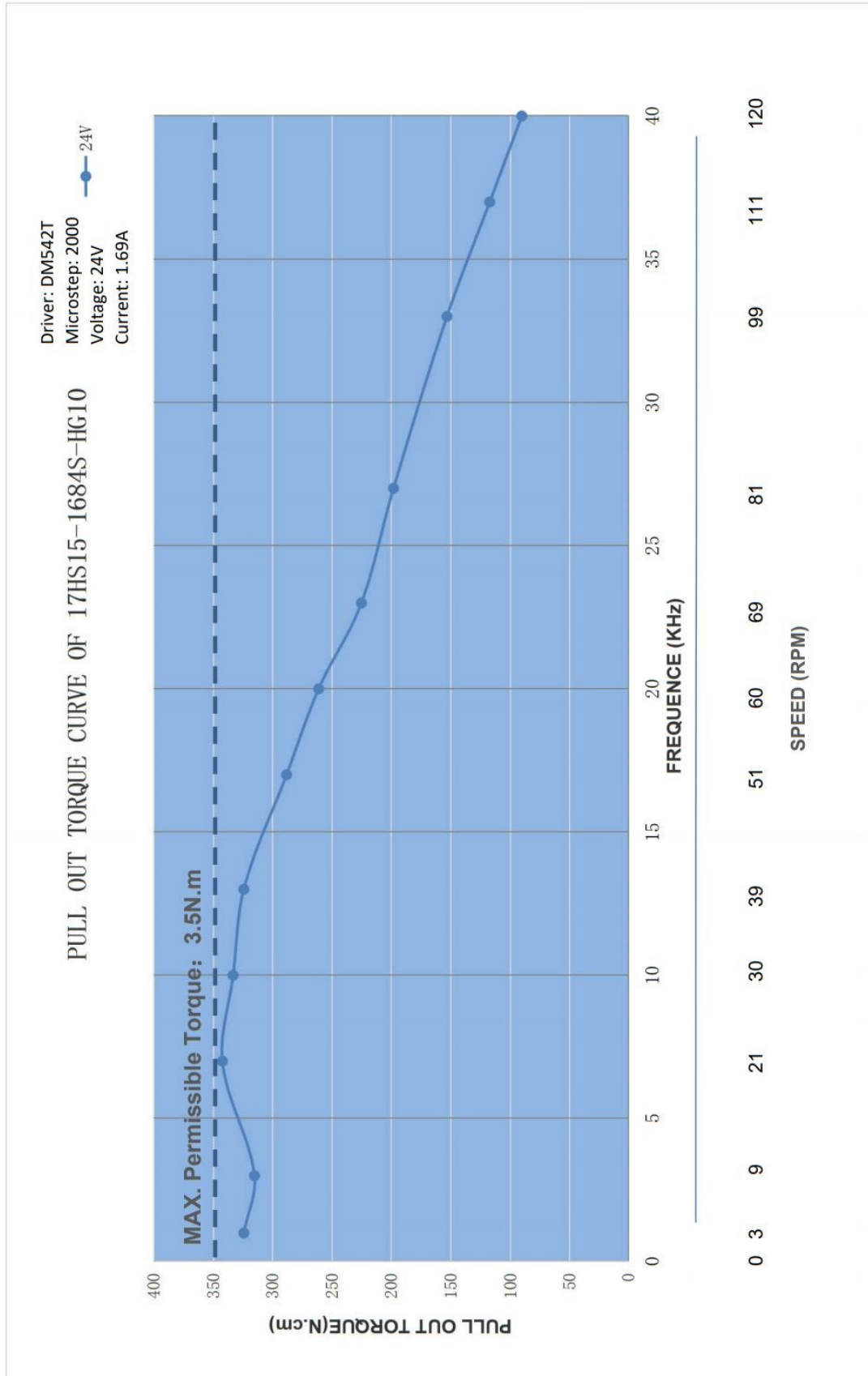
T6BPT-KRU-21-S3

Sestava senzoru zadního

T6BPT-KRU-21-S4

Sestava navíjecího zaříze

ŘÍLOHA P I: MOMENTOVÁ KŘIVKA MOTORU NEMA 17 17HS15-1684S-HG10



PŘÍLOHA P II: KATALOGOVÝ LIST SPOJKY OLDHAM

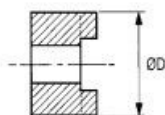


Spojky **OLDHAM**[®] S průchozím otvorem | Typ OX



Popis

- Spojka slouží k přenášení krouticího momentu
- Vyrovnává axiální posunutí, radiální a úhlovou nesouosost
- Každá spojka je složena ze 2 polovin a středu, který přenáší krouticí moment
- Velikost vrtání 4 – 30 mm
- Nominální moment 1,7 – 44 Nm
- Max. otáčky 3000 ot/min
- Materiál: spojka - legovaný hliník
střed D - acetal



Spojky s průchozím otvorem OX umožňují výměnu středu bez nutnosti vyosení hřídelí.

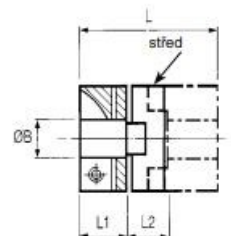


Typ G
se svěrným spojem



Typ D - střed spojky (acetal)

Vysoká tuhost, dobré vlastnosti při nouzovém chodu, dlouhá životnost bez vůle, [-20°C až +60°C]



Jiné typy spojek - s neprůchozím otvorem OS, se stavěcím šroubem typ F - na poptávku

Obj. číslo Náboj	Střed	Vrtání B		Ø D	L	L ₁	L ₂	Max. uťahovací moment		Nomin. moment M _n Nm	Kritický moment M _k Nm	Tůhost v krutu ¹⁾ Nm/rad	J ²⁾ kgm ² x 10 ⁻⁸	Hmotn. g	Max. vyosení při ot. 3000/min		
		min.	max.					Ø	Nm						Radiální ±mm	Axiální ±mm	Úhel ±0,5°
OX19G	D19	4,000	8,00	19,1	26,0	9,4	7,2	M2,5	2,33	1,70	10,0	115	59	13	0,20	0,10	±0,5°
OX25G	D25	6,000	12,00	25,4	32,4	11,6	9,2	M3	2,43	4,00	13,0	205	252	31	0,20	0,10	±0,5°
OX33G	D33	8,000	16,00	33,3	42,0	15,0	12,0	M4	5,66	9,00	53,0	615	1080	67	0,20	0,15	±0,5°
OX41G	D41	9,525	20,00	41,3	50,8	17,8	15,3	M4	5,66	17,00	57,0	1200	3177	142	0,25	0,15	±0,5°
OX50G	D50	9,525	25,40	50,0	59,6	20,6	18,4	M5	11,40	30,00	95,0	1375	7550	208	0,25	0,20	±0,5°
OX57G	D57	12,000	30,00	57,1	78,0	28,4	21,2	M6	19,34	44,00	150,0	2610	12410	361	0,25	0,20	±0,5°

1) Platí při 50% nominálním momentu s ideální souosostí při max. vrtání spojky

2) Platí při max. vrtání pro celou spojku

Standardní vrtání Ø B

Velikost spojky	4,00	4,763	5,00	6,00	6,35	8,00	9,525	10,00	12,00	12,70	14,00	15,00	15,875	16,00	18,00	19,00	19,05	20,00	24,00	25,00	25,40	30,00	
19	■	■	■	■	■	■																	
25				■	■	■	■	■	■														
33						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
41							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
50								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
57									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Příklad pro objednání

např. spojka OLDHAM, velikost 25, vrtání 6 mm: