



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## KONSTRUKCE ŘEZAČKY IZOLAČNÍCH FÓLIÍ

CONSTRUCTION OF THE INSULATION FILM CUTTER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Mužikovský

### VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dana Foltýnová

BRNO 2025



## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Filip Mužikovský</b>
Studijní program:	Mechatronika
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>Ing. Dana Foltýnová</b>
Akademický rok:	2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Konstrukce řezačky izolačních fólií

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Při pokrývání střech je potřeba připravit difúzně propustné fólie ve variabilních délkách podle velikosti střechy. Při dělení této folie musí být zajištěna vhodná manipulace, folie musí být držena v čistotě a musí být hlavně zabráněno jejímu poškození. Na trhu dostupné řezačky jsou poměrně drahé, a tak v praxi většinou pracovníci dělí folii manuálně. Tato metoda je zdlouhavá, méně přesná a k jejímu provedení je potřeba minimálně dva dělníky. Náplní práce bude tedy konstrukce řezačky s automatickým pojezdem nože, návinem a programovatelnou délkou dělené folie.

Typ práce: vývojová – konstrukční

#### **Cíle bakalářské práce:**

Hlavním cílem je návrh a konstrukce poloautomatické řezačky izolačních fólií ve stavebnictví o tloušťce 0,2 – 0,5 mm, maximálním průměru návinu 250 mm, hmotnost role 10 – 20 kg, maximální délka řezu 1,5 m, kompaktní design, konkurenceschopnost, programovatelná délka kroku 100 mm +/- 10 mm.

Díličí cíle bakalářské práce:

- analýza dostupných řešení,
- konstrukční návrh zařízení včetně pohonů, snímačů a programovatelné jednotky,
- analýza bezpečnosti navrženého řešení.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

#### **Seznam doporučené literatury:**

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 8.vydání, VUTIUM, Brno 2023, 1296 s, ISBN 978-80-214-5471-2.

Zbyšek Voda & tým HW Kitchen: Průvodce světem Arduina. 2. vydání, Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, květen 2017, 240 s., ISBN: 978-80-87106-93-8

Radek Pelánek: Programátorská cvičebnice. Computer Press, EAN: EB910876

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem zařízení pro přesné a opakovatelné řezání střešních izolačních fólií. V úvodu jsou popsány rezačky dostupné na trhu a druhy izolačních fólií používaných ve stavebnictví a následně analyzovány různé způsoby jejich dělení. Na základě stanovených požadavků byl vypracován konstrukční návrh zařízení, který zahrnuje mechanickou, pohonnou i řídicí část. Práce obsahuje návrh rámu stroje, výběr vhodného nástroje pro řezání a návrh pohonu posuvu fólie i nožové hlavy. Součástí řešení je i návrh elektrického zapojení a řízení pomocí mikrokontroleru Arduino Uno. V závěru práce je zhodnocena funkčnost navržené konstrukce. Přiložena technická dokumentace obsahuje výkresy sestavení, výkres svařence, výrobní výkres a řídicí kód.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Střešní izolační fólie, kotoučový nůž, enkodér, Arduino Uno

## ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of a device for precise and repeatable cutting of roofing insulation membranes. The introductory part describes commercially available cutting machines and the types of insulation membranes commonly used in the construction industry, followed by an analysis of various cutting methods. Based on defined requirements, a structural design of the device was developed, comprising mechanical, drive, and control subsystems. The thesis includes the design of the machine frame, selection of a suitable cutting tool, and the drive systems for both the membrane feed and the blade carriage. The solution also involves the design of the electrical wiring and the control system based on the Arduino Uno microcontroller. The functionality of the proposed construction is evaluated in the final part of the thesis. The attached technical documentation includes assembly drawings, weldment drawing, manufacturing drawing, and the control code.

## KEYWORDS

Roofing insulation membranes, circular knife , encoder, Arduino Uno



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MUŽIKOVSKÝ, Filip. *Konstrukce řezačky izolačních fólií*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025, Ústav konstruování. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dana FOLTÝNOVÁ.



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval své rodině a přítelkyni, jak za veškerou trpělivost, podporu a motivaci po celou dobu studia, tak za cenné připomínky k této práci. Také bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Daně Foltýnové za vstřícný přístup a odborné rady, které přispěly ke kvalitě této práce.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Dany Foltýnové. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>15</b>
2.1	Řezačky dostupné na trhu	15
2.2	Izolační fólie	16
2.3	Uložení rotačně pohyblivých prvků	16
2.3.1	Valivá ložiska	17
2.3.2	Kluzná ložiska	17
2.4	Uložení lineárně pohyblivých prvků	18
2.4.1	Kuličková pouzdra a vodící tyče	18
2.4.2	Vozíky s oběhem kuliček	18
2.5	Elektromotory	19
2.5.1	DC motor	19
2.5.2	EC motor	19
2.5.3	Asynchronní motor	20
2.5.4	Krokový motor	20
2.6	Snímače polohy	21
2.6.1	Mechanický enkodér	21
2.6.2	Magnetický enkodér	21
2.6.3	Optický enkodér	21
2.6.4	Indukční čidlo	22
2.6.5	IR čidlo	22
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>23</b>
3.1	Analýza problému	23
3.2	Cíl práce	23
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>25</b>
4.1	Popis funkce	25
4.2	Návrh tažného válce	25
4.2.1	Koncepční návrh č. 1	26
4.2.2	Koncepční návrh č. 2	27
4.2.3	Výběr řešení	27
4.3	Návrh řezacího mechanismu	27
4.3.1	Koncepční návrh č. 1	28

4.3.2	Koncepční návrh č. 2	28
4.3.3	Koncepční návrh č. 3	28
4.3.4	Výběr řešení	28
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>29</b>
5.1	Základní konstrukční požadavky	29
5.2	Popis zvoleného konstrukčního řešení	29
5.2.1	Celkové uspořádání	29
5.2.2	Tažný válec	30
5.2.3	Řezací mechanismus	34
5.2.4	Uchycení role	34
5.3	Kontrolní výpočty	35
5.3.1	Kontrola těžiště stroje	35
5.3.2	Kontrola čepu výklopného mechanismu	37
5.3.3	Kontrola bezpečnosti ocelového lanka	38
5.4	Návrh elektrického obvodu	38
5.4.1	Volba pohonu	38
5.4.2	Přehled použitých součástek	39
5.4.3	Schéma zapojení	40
5.5	Řízení	41
5.5.1	Ovládání displeje přes I2C	41
5.5.2	Klávesnice	42
5.5.3	Čtení hodnot enkodéru	44
5.5.4	Výsledný kód	44
5.6	Bezpečnostní prvky	45
5.7	Odhad ceny	45
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>56</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>57</b>



# 1 ÚVOD

V současné době je trendem automatizovat široké spektrum zařízení – od výrobních strojů až po domácí spotřebiče. Automatizace přináší řadu výhod, které často – i přes vyšší pořizovací cenu – přesvědčí zákazníka ke koupi daného zařízení. Není se čemu divit. Lidé se odjakživa snažili usnadnit si práci i každodenní činnosti.

Proto mě překvapilo, když jsem při návštěvě jednoho obchodu se stavebním materiálem pozoroval zaměstnance, jak ručně odvíjejí střešní izolační fólii, měří ji svinovacím metrem a následně řežou zalamovacím nožem. Celý proces probíhal ve svislé poloze, aby nedošlo k poškození nebo znečištění fólie. Po krátkém průzkumu trhu jsem zjistil, že v současnosti je k dispozici pouze omezený výběr řezaček fólií, a to výhradně s ručním pohonem a mechanickým odměřováním.

Tato skutečnost mě vedla k myšlence navrhnout automatizované zařízení, které by po zadání požadované délky samo fólii odvinulo a přesně uřízlo. Díky tomu by byl schopen obsluhu zvládnout jediný zaměstnanec, a to bez potřeby asistence další osoby. Zákazníkovi by navíc bylo možné nabídnout rozdělení fólie na více dílů podle konkrétních rozměrů střechy, což současné prodejny běžně neumožňují – a zákazník si tak musí fólii rozdělit sám. Domnívám se, že takové zařízení na trhu chybí, a považuji proto za vhodné navrhnout jeho konstrukční řešení.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Řezačky dostupné na trhu

Na trhu je k dispozici široká škála řezaček a odvíječů fólií, které se liší konstrukcí, kapacitou i funkcemi. Typickým příkladem je stacionární odvíječ fólie s měřidlem, jako je model H100-M nabízený společností UNIPACK. Tento odvíječ je vybaven řezací kazetou, měřidlem pro přesné odměření délky materiálu a ručním navijákem. Maximální šířka řezaného materiálu může být až 1080 mm (nebo až 1550 mm u varianty H150-M), při maximálním průměru role 800 mm. Řezačka je určena pro různé typy fólií (PE, LDPE, bublinková fólie) i papír. Hlavní předností je jednoduché, efektivní a bezpečné dělení fólií v průmyslových i skladových aplikacích.

Cena stacionárního odvíječe fólie s měřidlem H100-M se pohybuje přibližně okolo 26 600 Kč včetně DPH (varianta H150-M 32 600 Kč včetně DPH), přičemž cena závisí na konkrétní variantě a doplňkovém vybavení. [1]



Obr. 2-1 Odvíječ fólie s měřidlem H150-M [2]

## 2.2 Izolační fólie

Izolační fólie představují důležitý prvek ve stavebnictví, který slouží k ochraně stavebních konstrukcí před vlhkostí, vodou, větrem a dalšími vnějšími vlivy. Příkladem je třívrstvá difúzně propustná kontaktní střešní fólie TEGOLA DIFBAR 135 S, která je tvořena dvěma vrstvami polypropylenové textilie a jednou vrstvou voděodolné, paropropustné PP membrány. Hlavní funkcí této fólie je zabránit pronikání vody, sněhu a nečistot do podstřešního prostoru a zároveň umožnit odvod vodní páry vznikající v interiéru, čímž chrání dřevěné části krovů i tepelnou izolaci před znehodnocením. Fólie Tegola Difbar s plošnou hmotností 135 g/m<sup>2</sup>, tloušťkou 0,22 mm a šířkou 1,5 m se prodává v délce 50m, což odpovídá ploše 75 m<sup>2</sup>. Cena jedné role se pohybuje mezi 1800 a 2500 Kč včetně DPH. [3]



Obr. 2-2 Střešní fólie TEGOLA DIFBAR 135 S [4]

## 2.3 Uložení rotačně pohyblivých prvků

Pro uložení rotačně pohyblivých prvků, jako je například tažný válec v kapitole 5.2.2, je ve většině případů nezbytné použití ložisek. Ta výrazně snižují tření a opotřebení mezi pohybujícími se součástmi. Ložiska umožňují hladký a přesný pohyb součástí s minimálním odporem. Ložiska lze rozdělit podle principu funkce na valivá a kluzná.

### 2.3.1 Valivá ložiska

Valivá ložiska se skládají z vnitřního a vnějšího kroužku, valivých elementů (kuliče, válečků) a klece, která udržuje rozstup mezi elementy. Princip fungování spočívá v nahrazení smykového tření válivým. Mezi výhody tedy patří především nízké tření, vysoká přesnost a dlouhá životnost. Valivá ložiska jsou ovšem citlivá na vibrace a nečistoty. [5]



Obr. 2-3 Radiální kuličkové ložisko [6]

### 2.3.2 Kluzná ložiska

Kluzná ložiska (na rozdíl od valivých) nemají pohyblivé části. Jsou tvořena pevnou kluznou plochou a mazací vrstvou. Snížení tření je dosaženo díky vrstvě maziva, která odděluje třecí plochy. Tento typ ložisek je díky své robustní konstrukci vhodný pro vysoká radiální zatížení a odolný proti rázům a vibracím. Kluzná ložiska vykazují vyšší tření při rozběhu, vyžadují pravidelnou údržbu v podobě mazání a nejsou vhodná pro aplikace s vysokými otáčkami. [7]



Obr. 2-4 Pouzdra kluzných ložisek [8]

## 2.4 Uložení lineárně pohyblivých prvků

Lineární vedení umožňuje součástem přesný přímočarý pohyb s nízkým třením a to i za vysokých rychlostí. Toho lze využít k uložení nožové hlavy (viz. kapitola 5.2.3 ).

### 2.4.1 Kuličková pouzdra a vodící tyče

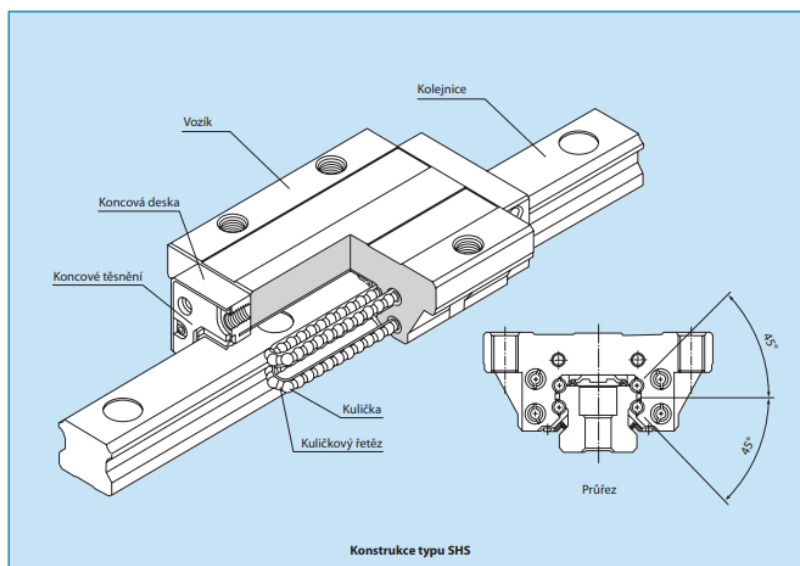
Kuličkové pouzdro obsahuje několik drážek s kuličkami umístěných symetricky po obvodu válcové díry. Kuličky se odvalují mezi pouzdrem a tyčí, což umožní zachytávat radiální síly, zatímco se může pouzdro po tyči posouvat a otáčet. [9] Pro zabránění rotace je nutné použít dvě pouzdra a dvě tyče. Tyče jsou ke konstrukci stroje kotveny pouze na koncích, což může při větší délce vést k průhybu. Tento systém je náchylný na znečištění v podobě prachu.



Obr. 2-5 Přírubové kuličkové pouzdro [10]

### 2.4.2 Vozíky s oběhem kuliček

Vozíky obsahují, stejně jako kuličková pouzdra, uzavřený oběhový systém, ve kterém kuličky procházejí vodícími drážkami a následně se vracejí přes vratné kanály. Vozík se pohybuje po kolejnici, která má čtyři vodící plochy. To umožňuje zachytávat radiální síly a moment ve všech směrech. Díky své konstrukci může být kolejnice uchycena k rámu stroje po celé své délce, což umožňuje systém přenášet vysoké zatížení. [11]



Obr. 2-6 Vozík s oběhem kuliček [11]

## 2.5 Elektromotory

### 2.5.1 DC motor

DC motory mají rotor s vinutím, stator s permanentními magnety a komutátor, který pomocí kartáčů napájí rotorové vinutí. Jak se rotor otáčí, přepíná kontakty v komutátoru a tím zajistí napájení těch cívek, které jsou natočeny v příznivém úhlu oproti magnetickému poli statoru. Rychlost otáčení se nejčastěji reguluje změnou velikosti stejnosměrného napětí. Pro regulaci polohy je nutné použít enkodér. Hlavní výhody jsou jednoduché řízení, nízká pořizovací cena a dobrá dynamická odezva. Zásadní nevýhodou je opotřebení kartáčů, nižší účinnost oproti bezkartáčovým motorům. [12]

### 2.5.2 EC motor

Jedná se o bezkartáčový motor s permanentními magnety na rotoru a vinutím ve statoru. Statorové vinutí je napájeno elektronicky komutovaným proudem. Elektronická komutace zajišťuje vyšší účinnost, než v případě DC motoru, a možnost přesné regulace otáček. Pro řízení EC motoru je nutné znát jeho aktuální natočení, což ve většině případů znamená použití enkodéru. S tím souvisí i vyšší cena těchto motorů. [13]

### 2.5.3 Asynchronní motor

Ve statoru asynchronního motoru se nachází statorové vinutím. Roto je tvořen tzv. klecí. Motor se nejčastěji provozuje na střídavé třífázové síti. Ta při připojení na statorové vinutí vytvoří točivé magnetické pole, které indukuje proud v rotoru. Průchodem proudu klecí vzniká magnetické pole, které reaguje s točivým magnetickým polem statoru. Rotor se otáčí menší rychlostí než pole. Tím je zajištěna indukce proudu v obvodu rotoru i po roztočení motoru. Motor je vhodný pro vysoké výkony a nevyžaduje téměř žádnou údržbu. Přesná regulace otáček je velmi obtížná. K regulaci polohy se téměř nepoužívá. [14]

### 2.5.4 Krokový motor

Krokový motor se skládá ze statoru s cívkami a rotoru s permanentními magnety. Přepínáním napájení cívek se rotor posouvá po diskretních krocích. Umožňují přesnou polohovou regulaci bez zpětné vazby. Velkou nevýhodou je riziko ztráty kroku při přetížení. [15]



Obr. 2-7 Krokový motor [16]

## 2.6 Snímače polohy

### 2.6.1 Mechanický enkodér

Mechanické enkodéry používají kontaktní systémy, jako jsou například kovové kartáče, které generují impulsy při otáčení. Jsou levné, ale náchylné k opotřebení, většinou méně přesné a výstup může obsahovat šum. [17]

### 2.6.2 Magnetický enkodér

Rotor magnetického enkodéru obsahuje permanentní magnety, jejichž poloha se vyhodnocuje Hallovými senzory umístěnými ve statoru. Mívají zpravidla nižší rozlišení, než optické enkodéry. [18]

### 2.6.3 Optický enkodér

Optický enkodér se skládá z LED diody, fototranzistoru nebo fotodiody a kotouče s průsvitnými a neprůsvitnými segmenty. Při otáčení světlo kotoučem buď projde, nebo ne, což je následně zaznamenáno fotosenzorem a zpracováno jako výstupní signál. Jedná se o velmi přesnou metodu určování polohy. Optické enkodéry představují nejčastěji používaný typ enkodéru, a to i přes vyšší pořizovací náklady. [19]



Obr. 2-8 Optický enkodér [20]

## 2.6.4 Indukční čidlo

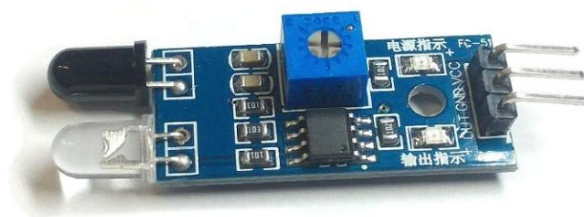
Indukční čidla vyhodnocují přítomnost kovových objektů na základě změny indukčnosti cívky. Čidlo funguje bezdotykově a je odolné proti náročným podmínkám. Nevýhodou je možnost detekce pouze kovových objektů a krátká snímací vzdálenost. [21]



Obr. 2-9 Indukční čidlo [22]

## 2.6.5 IR čidlo

Infračervené čidlo vysílá do prostoru infračervený paprsek a následně detekuje jeho odraz od překážky. Zařízení může pracovat ve spínacím režimu pro detekce překážek nebo sloužit k měření vzdálenosti. Toto čidlo je náchylné na prach a jiné nečistoty. [23]



Obr. 2-10 IR čidlo [24]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

V oblasti prodeje a manipulace se střešními izolačními fóliemi se v praxi stále ve značné míře využívají manuální postupy, které jsou časově náročné, ergonomicky nevhodné a personálně neefektivní. V mnoha případech je fólie odměřována komplikovaným způsobem, aby nedošlo k jejímu znečištění nebo poškození. Tento způsob je nejen zdoluhavý, ale vyžaduje zároveň zvýšenou pracovní pozornost a koordinaci několika zaměstnanců.

Na trhu se sice vyskytují řezačky fólií, jejich nabídka je však velmi omezená a zařízení zpravidla neumožňují automatizovaný provoz. Obvyklá řešení jsou založena na ručním pohonu a odměřování délky mechanickým měřidlem, což s sebou nese riziko nepřesností, ztráty času a vyšší fyzické zátěže pro obsluhu. Vzhledem k rostoucím požadavkům na efektivitu, ergonomii a zákaznický komfort se ukazuje, že dosud dostupná zařízení již neodpovídají aktuálním nárokům provozu.

Nové konstrukční řešení by proto mělo umožňovat automatické odměření a přesné dělení fólie s minimálním zapojením obsluhy. Tím dojde nejen k výrazné úspoře času a snížení fyzické náročnosti, ale také ke zjednodušení pracovních postupů a zlepšení zákaznického servisu. Přínosem může být rovněž zvýšení bezpečnosti na pracovišti, a to díky eliminaci nutnosti manipulace s ostrými nástroji a těžkými rolemi ve stísněných nebo neergonomických podmínkách.

Při návrhu nového zařízení je však nutné zohlednit určitá omezení. Konstrukce musí být bezpečná a spolehlivá při provozu, přičemž její cena by neměla výrazně převyšovat náklady na stávající řezačky, aby bylo zajištěno její reálné komerční uplatnění. Důležitým aspektem jsou také uživatelské požadavky na jednoduchost ovládání, snadnou manipulaci s fólií před i po řezání a celkovou intuitivnost obsluhy. Tyto požadavky je třeba zohlednit nejen při samotném návrhu mechanické části, ale i při volbě řídicího systému a jeho rozhraní.

### 3.2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je navržení konstrukce řezačky izolačních fólií, která bude splňovat stanovené požadavky.

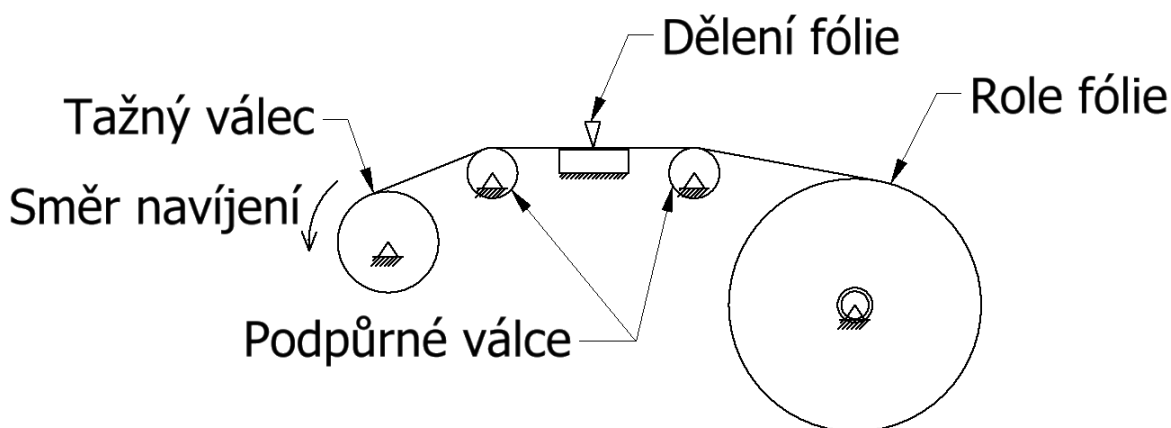
Dílčí cíle:

- Návrh navíjecího a řezacího mechanismu, rámu stroje a ostatních nenormalizovaných součástí a volba normalizovaných součástí.
- Volba pohonu a návrh elektrického zapojení stroje.
- Návrh a implementace řídicího softwaru.

## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

### 4.1 Popis funkce

Zařízení funguje na principu převíjení izolační fólie z role na válec a následném uřezání požadované délky fólie. Obsluha usadí roli izolační fólie mezi příslušné čepy a zavede fólii, přes opěrné válce a řezací mechanismus, do „tažného válce“, kde fólii zajistí. Následně obsluha pomocí numerické klávesnice, umístěné na ovládacím panelu, na displeji nastaví požadovanou délku fólie a spustí pracovní cyklus stroje. Řezačka odvine nastavenou délku, kterou následně řezací mechanismus uřízne. Poté obsluha sejme oddělenou fólii z tažného válce.



Obr. 4-1 Schéma obecného principu fungování stroje

### 4.2 Návrh tažného válce

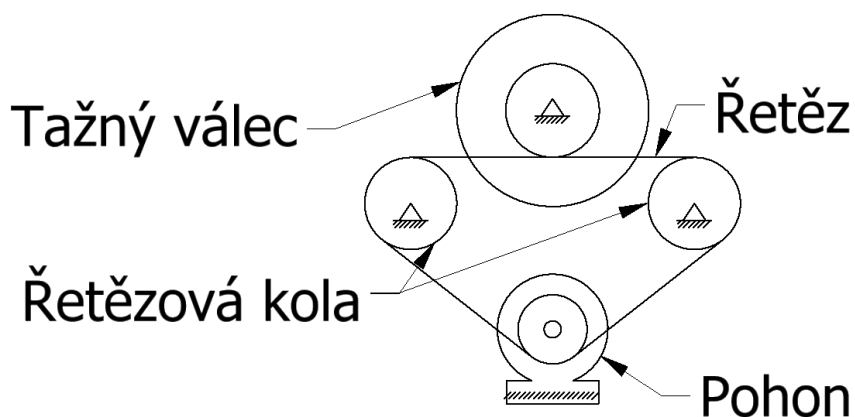
Tažný válec by měl umožňovat zajištění konce fólie a snadné sesunutí fólie po dokončení náviny. Manipulace s ním by měla být co nejsnazší a především bezpečná.

#### 4.2.1 Koncepční návrh č. 1

Tažný válec je na obou stranách podepřen dvěma opěrnými válci, které zachytávají radiální síly. Axiálnímu posuvu zabraňují osazení na tažném válci, které se v případě axiální síly opřou o čela opěrných válců. Pohon tažného válce je zajištěn řetězovým převodem. Při umístění tažného válce na opěrné válce zapadne řetězové kolo tažného válce do řetězu, napnutého mezi dvojicí volných řetězových kol a řetězovým kolem elektromotoru. Pro odebrání fólie musí obsluha válec ze stroje zvednout a následně může fólii z válce sesunout.

Hlavní výhodou tohoto návrhu je jeho jednoduchost. S jednoduchostí souvisí jednodušší výroba a montáž, nižší cena a vyšší životnost, jelikož obsahuje malé množství součástí.

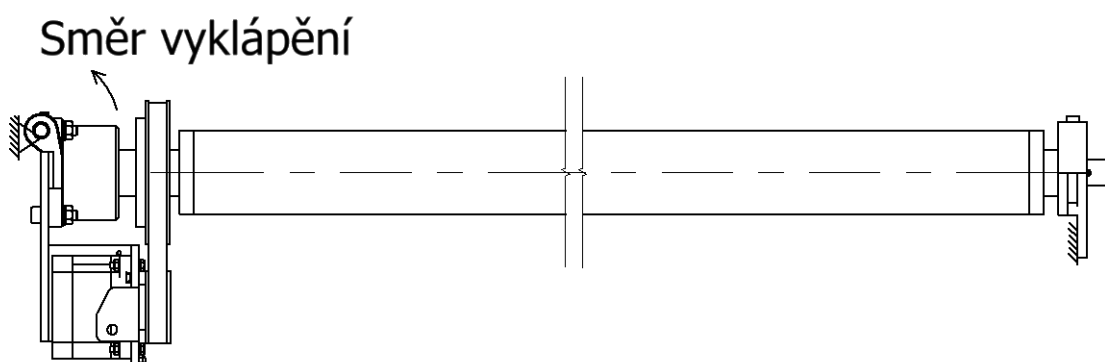
Nevýhodou je naopak nižší přesnost a spolehlivost, která vyplývá z malého úhlu opásání řetězového kola tažného válce. Jedná se ovšem o málo bezpečné řešení, protože válec není nijak zajištěn proti převržení.



Obr. 4-2 Schéma koncepčního návrhu tažného válce č. 1

## 4.2.2 Koncepční návrh č. 2

Na rozdíl od návrhu č. 1 je tažný válec na obou stranách uložen v ložiscích. Aby bylo možné po navinutí fólie odebrat, disponuje tento návrh výklopným mechanismem, který spočívá v možnosti uvolnit ložisko na jedné straně a tuto stranu válce zvednout nahoru. Válec je pro snazší manipulaci nadlehčován plynovými vzpěrami. Po odebrání fólie je válec ručně sklopen do původní polohy a ložisko zajištěno pomocí pákového svěrného mechanismu, který stiskne ložisko mezi dvě dosedací plochy. Válec je poháněn ozubeným řemenem, čímž je docíleno stabilního převodového poměru. Tento převod je možné použít, protože je motor připevněn ke konzoli, která se naklápí spolu s válcem. Mezi výhody koncepčního návrhu č. 2 patří přesnost a spolehlivost. Především je toto řešení bezpečné a manipulace s válcem je velmi snadná. Logicky se však jedná o složitější variantu, což bude mít za následek komplikovanost výroby a montáže. Jedná se tak o výrazně dražší variantu než v případě návrhu č. 1.



Obr. 4-3 Schéma koncepčního návrhu tažného válce č. 2

## 4.2.3 Výběr řešení

Ačkoliv by se mohlo zdát řešení č. 1 jako vhodnější varianta, která dosáhne za zlomek ceny velmi podobných výsledků, tak bylo po zhodnocení všech výhod a nevýhod obou řešení, s důrazem na bezpečnost a ergonomii, zvoleno řešení č. 2.

## 4.3 Návrh řezacího mechanismu

Řezací mechanismus se skládá z nožové hlavy a nástroje. Nožová hlava, uložena posuvně, je tažena motorem prostřednictvím ozubeného řemene. Co se týče výběru nástroje, měl by být navržen s ohledem na trvanlivost, kvalitu řezu a náročnost výroby.

### 4.3.1 Koncepční návrh č. 1

První variantou je použití řezací čepel. Jedná se o velice jednoduchou a levnou variantu. V případě otupení ostří stačí čepel vyndat a přebrousit nebo vyměnit za novou. Pro správnou funkci by bylo vhodné při řezání fólii přichytit, aby nedocházelo k jejímu zvlnění.

### 4.3.2 Koncepční návrh č. 2

Další možností je využít k dělení fólie kotoučový nůž. Velikou předností oproti čepeli je využití celé délky ostří. To má za následek výrazně delší trvanlivost. Taktéž kotoučový nůž lze opakovaně brousit. Nůž může pracovat buď v kombinaci s druhým kotoučem, nebo s řeznou lištou. Oba způsoby použití zaručují přesný a čistý řez. Jediným negativem tohoto řešení je jeho nárok na vyšší přesnost výroby a s tím souvisí i vyšší cena.

### 4.3.3 Koncepční návrh č. 3

Třetí koncepční návrh využívá k dělení fólie odporový drát. Průchodem elektrického proudu se začne drát zahřívat a fólii, nejčastěji vyráběnou z polypropylenu nebo polyetyleny, velmi snadno utaví. V praxi se tento způsob používá k dělení různých fólií na bázi plastu. Opět se jedná o velmi jednoduchou variantu. Jednoduchost z pohledu konstrukce však komplikuje nutnost drát napájet. Na rozdíl od předešlých variant téměř nedochází k mechanickému opotřebení nástroje, z čehož plyne dlouhá trvanlivost. Nelze ovšem vyvrátit, že se fólie na drát nalepí a bude nutné drát čistit. V případě neočištění by mohl hrozit i vznik požáru. Na rozdíl od obou předešlých návrhů, lze předpokládat horší kvalitu řezu a vznik zplodin.

### 4.3.4 Výběr řešení

S ohledem na používání rezačky především ve vnitřních prostorech je z důvodu vzniku zplodin a možnosti vzniku požáru koncepční návrh č. 3 nevyhovující. Z prvních dvou variant bylo, pro svou spolehlivost a kvalitu řezu, zvoleno řešení č. 2

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

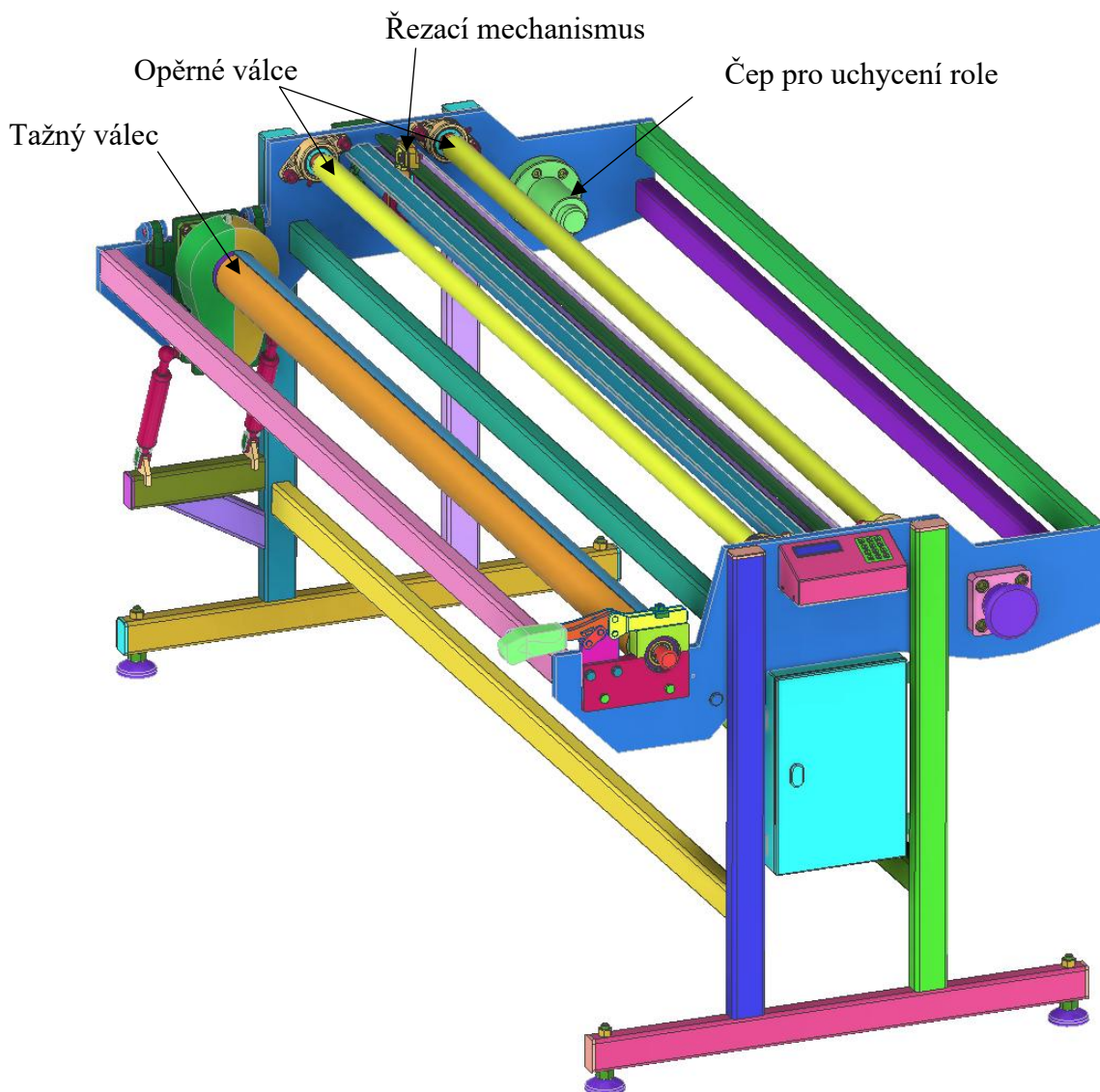
### 5.1 Základní konstrukční požadavky

- Maximální programovatelná délka: 99,9 m
- Maximální délka řezu: 1,5 m
- Tloušťka fólie: 0,2 – 0,5 mm
- Maximální průměr návínu: 250 mm
- Maximální hmotnost role fólie: 20 kg
- Programovatelná délka kroku: 100 mm
- Tolerance uřezané délky: +/- 10 mm

### 5.2 Popis zvoleného konstrukčního řešení

#### 5.2.1 Celkové uspořádání

Na pravé straně (z pohledu obsluhy) se nachází dvojice čepů sloužících k zajištění polohy role fólie. Zadní čep je pevný a přední je axiálně posuvný. Vlevo od čepů je umístěn řezací mechanismus, který je z obou stran doplněn opěrnými válci. Ty mají za úkol zajistit, že nebude docházet k poškození fólie tažením přes ostrou hranu řezacího mechanismu. Na levé straně řezačky se nachází tažný válec, doplněný o výklopný mechanismus, který umožňuje odebrání uřezané části fólie. Výklopný mechanismus obsahuje pohon válce a dvě plynové vzpěry, které usnadňují manipulaci s válcem. Po tažném válci se ze spodní strany odvaluje měřicí kladka nasazená na hřídel enkodéru, který je připevněn k ramenu páky. Při zvětšujícím se poloměru navinuté fólie se páka pootočí kolem čepu, čímž dovolí kladce sledovat rostoucí poloměr válce s fólií. Do původní polohy je páka vracena zkrutnou pružinou. Na přední straně je situován ovládací panel s displejem a numerickou klávesnicí. Všechny součásti jsou přišroubovány k rámu stroje, který tvoří přední a zadní ocelový plech a dutý ocelový profil obdélníkového průřezu. Plechy a profily jsou spojeny svařováním.



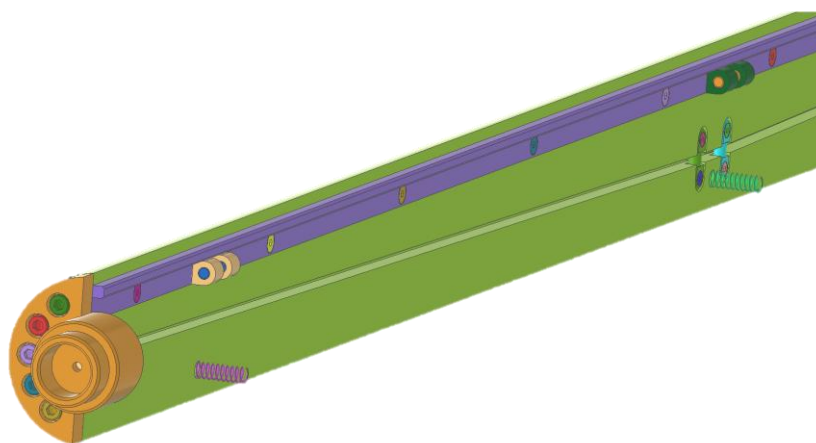
Obr. 5-1 Hlavní části řezačky

### 5.2.2 Tažný válec

Hlavní funkcí tažného válce je navíjení fólie. Ta je zajištěna elektromotorem, umístěným na zadní straně, který pohání válec prostřednictvím ozubeného řemene. Řemenový převod je tvořen řemenicemi s počty zubů  $z_1 = 36$  a  $z_2 = 72$  a plochým ozubeným řemenem HTD 5M o šířce 15mm a výpočtové délce 500 mm. Z počtu zubů řemenic lze na základě vztahu (1) určit převodový poměr  $i_{12}=2$ .

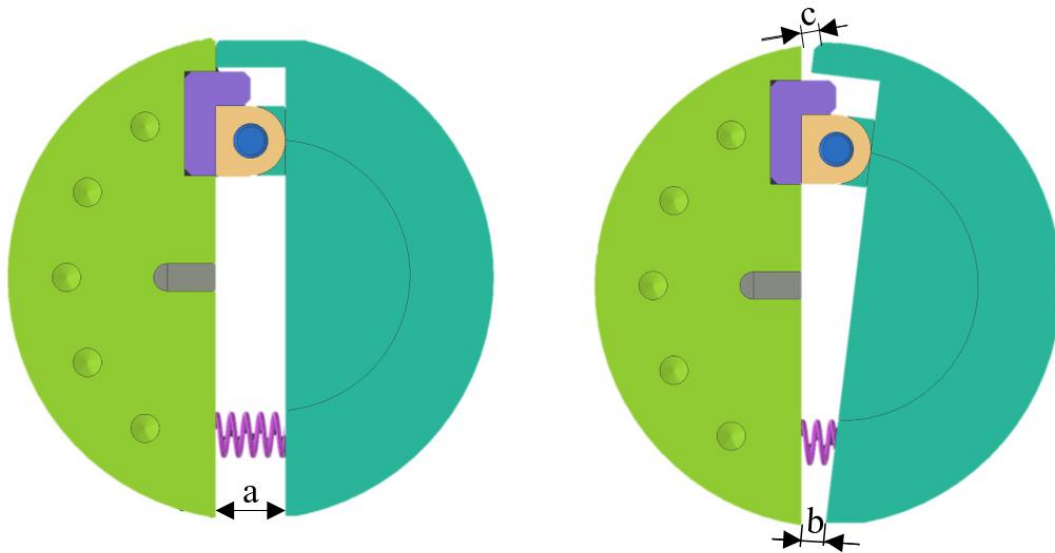
$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{72}{36} = 2 \quad (1)$$

Neméně důležitou funkcí je uchycení začátku fólie a snadné sejmutí uřezané fólie. Obě tyto funkce plní konstrukce děleného válce. Válec je vyroben ze dvou polovin, které se vůči sobě mohou naklápět kolem čepu, záměrně umístěného mimo střed válce. Ve výchozí pozici válce, je počáteční hrana fólie sevřená mezi obě poloviny a může docházet k návinnu. Po navinutí a uřezání potřebné délky jsou potažením za ocelové lanko obě poloviny válce přitisknuty k sobě, čímž dojde současně ke zmenšení povrchu válcové plochy a uvolnění sevřené hrany. Fólii je tak možno z válce ve směru osy rotace sesunout. V této pozici je válec připraven k založení další fólie. Součástí válce je dorazová lišta, která zajišťuje, že obsluha zasune fólii vždy stejně daleko. Uvolněním lanka pak, díky třem tlačným pružinám, dojde opět k sevření nového konce fólie. Ke každému konci válce vede jedno ocelové lanko. Na zadní straně válce stroje je lanko uchyceno v krátkém čepu, který je umístěn ve vnitřním kroužku radiálního kuličkového ložiska. Venkovní kroužek je pak uložen v rámu stroje. Tím je zajištěno, že při rotaci válce nedojde k ukroucení lanka. Důvod k uchycení lanka k rámu stroje je ten, že při vyklopení válce dojde automaticky k jeho sevření. Aby však bylo možné vložit začátek fólie do válce ve spodní (nevyklopené) poloze, vede k opačnému konci lanko druhé. To je ukotveno ve speciálním tvarovém čepu, který se při pootočení zajistí ve vysunuté poloze. Obsluha tak může válec zajistit v sevřené poloze, následně jej sklopit, vložit nový konec fólie a pootočením čepu zpět fólii sevřít.



Obr. 5-2 Polovina tažného válce - detail

Vzhledem k tomu, že se při sevření válce mění pouze vzdálenost mezi oběma polovinami (viz. Obr. 5-3), můžeme změnu obvodu počítat podle vztahu (2). V Tab. 5-1 jsou uvedeny změny vzdáleností při sevření o úhel  $9^\circ$ .



Obr. 5-3 Tažný váleček - změna rozměrů

Tab. 5-1 Změna rozměrů

Rozměr	Hodnota (mm)
a	10
b	1,45
c	3,6

$$\Delta O = a - (b + c) = 10 - (1,45 + 3,6) = 4,95 \text{ mm} \quad (2)$$

Při návrhu pružin byla zohledněna požadovaná přitlačná síla v místě sevření konce fólie a síla v ocelovém lanku potřebná k sevření válce. Pro rovnoměrné rozložení sil podél válce byly použity tři válcové tlačné pružiny. Maximální rozměry pružiny vycházejí z rozměrů válce (viz. Obr. 5-4). Na základě těchto požadavků byly zvoleny pružiny s těmito parametry, uvedenými v Tab. 5-2.

Tab. 5-2 Parametry zvolené pružiny [25]

Parametr	Hodnota
$L_0$ (mm)	41
$L_1$ (mm)	30
$L_2$ (mm)	20
$k$ (N mm <sup>-1</sup> )	0,98

Síla pružiny v předepjatém stavu:

$$F_{p_1} = k \cdot \Delta x = k \cdot (L_0 - L_1) = 0,98 \cdot (41 - 30) \doteq 10,78 \text{ N} \quad (3)$$

Síla pružiny v plně zatíženém stavu:

$$F_{p_2} = k \cdot \Delta x = k \cdot (L_0 - L_2) = 0,98 \cdot (41 - 20) \doteq 20,58 \text{ N} \quad (4)$$

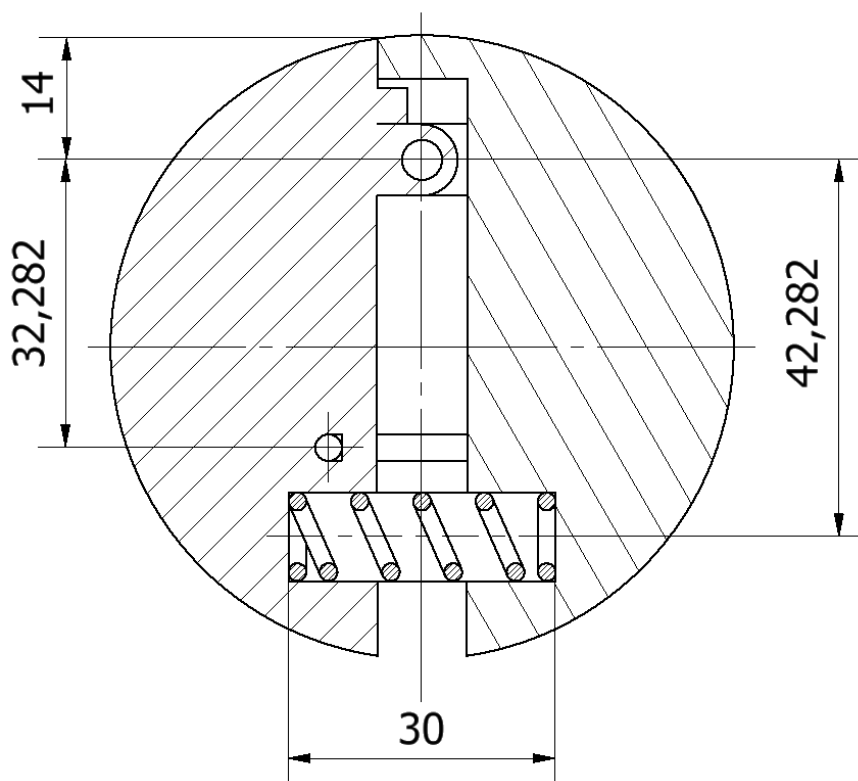
Síly působící v laně:

$$F_{l_1} = 3 \cdot \frac{42,282}{32,282} \cdot F_{p_1} = 3 \cdot \frac{42,282}{32,282} \cdot 10,78 \doteq 42,35 \text{ N} \quad (5)$$

$$F_{l_2} = 3 \cdot \frac{42,282}{32,282} \cdot F_{p_2} = 3 \cdot \frac{42,282}{32,282} \cdot 20,58 \doteq 80,85 \text{ N} \quad (6)$$

Síla stisku fólie:

$$F_{s_1} = 3 \cdot \frac{42,282}{14} \cdot F_{p_1} = 3 \cdot \frac{42,282}{14} \cdot 10,78 \doteq 97,71 \text{ N} \quad (6)$$



Obr. 5-4 Návrh pružin

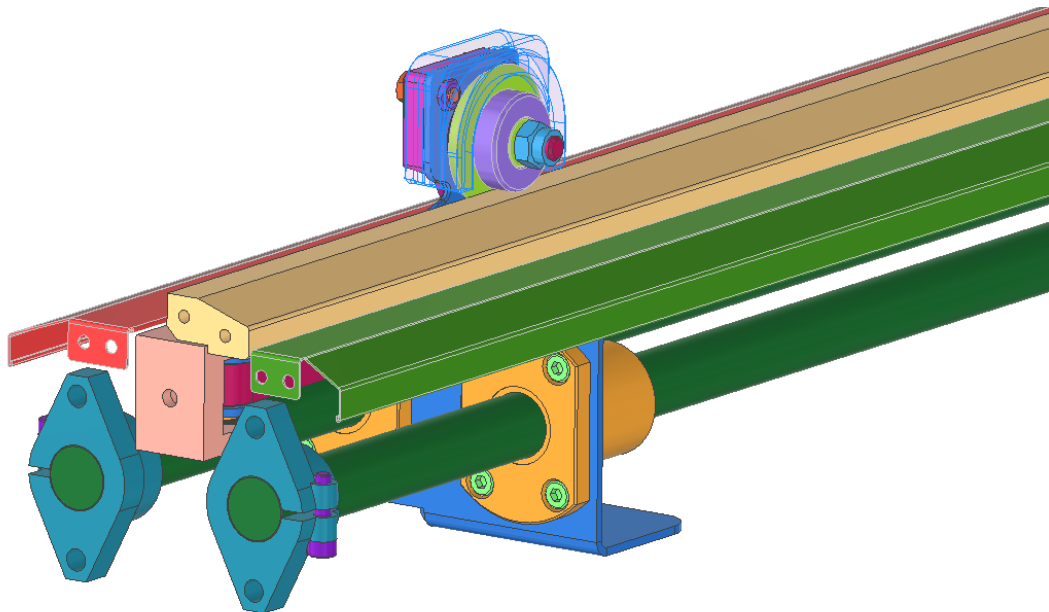
### 5.2.3 Řezací mechanismus

Řezací mechanismus se skládá z kotoučového nože, řezné lišty, nožové hlavy, lineárního vedení, pohonu a krytů.

Aby kotoučový nůž správně fungoval, musí být zajištěno, že doléhá k řezné liště a musí se při řezání otáčet. Nůž je proto neustále k liště dotlačen válcovou tlačnou pružinou umístěnou na hřídeli nože. Hřídel je uložena v radiálním kuličkovém ložisku. Rotaci nože zajišťuje gumová kladka, která je k noži připevněna lepeným spojem. Kladka se odvaluje po horní ploše řezací lišty. Průměr kladky je poloviční než průměr nože. Obvodová rychlost nože je tedy dvojnásobná než rychlost posuvu.

Posuv zajišťuje elektromotor, který přes řemenici pohání ozubený řemen s označením T5 o šířce 10 mm. Řemen je s nožovou hlavou spojen svěrným spojem pomocí tvarové příložky a šroubu.

Celá nožová je uložena na lineárním vedení, tvořeném vodícími tyčemi a přírubovými kuličkovými pouzdry. Tato varianta byla zvolena proto, že se jedná o součást s malým zatížením. Použití kolejnic a vozíků s oběhem kuliček by bylo v tomto případě zbytečně robustní a zbytečně by navyšovalo cenu.



Obr. 5-5 Řezací mechanismus

### 5.2.4 Uchycení role

Uchycení role je navrženo tak, aby bylo vložení role do stroje intuitivní a snadné, a aby byla práce s rolí bezpečná. Původní varianta, pokládání role na dva nebo tři válce, byla proto nahrazena variantou, kde se role otáčí na dvojici čepů. Původní návrh nevyhovoval

jak z důvodu bezpečnosti, protože se role mohla při nesprávné manipulaci z válců sesunout, tak z důvodu velké změny průměru role. Pro velký průměr role je vhodné, aby byla vzdálenost mezi válci větší a pro malý průměr naopak menší.

Použitím čepů je tento problém vyřešen. Čepy nejsou záměrně uloženy v ložiscích. Papírová trubka, která tvoří základ role, je dostatečně odolná, aby při odvinutí role nedošlo k jejímu poškození. Benefitem naopak je, že bude role přiměřeně brzděná. To, spolu s plynulým zrychlováním a zpomalováním zabrání rozmotání role vlivem setrvačnosti. Zároveň bude fólie více napnutá, což přispěje k lepší kvalitě a přesnosti řezu.

Aby bylo možné roli do stroje vložit, je přední čep axiálně posuvný. Obsluha nasadí papírovou trubku na pevný čep, následně povytáhne posuvný čep a po nasměrování druhého konce papírové trubky čep uvolní. Čep je do výchozí (zavřené) polohy vrácen válcovou tlačnou pružinou.

## 5.3 Kontrolní výpočty

### 5.3.1 Kontrola těžiště stroje

Aby byla zajištěna bezpečnost při práci na stroji, musí být stroj na pracovišti správně ustaven a musí být zajištěno, že se nepřevrátí. Z tohoto důvodu je nutné zkontrolovat umístění těžiště vůči hranicím podstavy řezačky. Kritické jsou dva stavy: po umístění role (před začátkem navíjení) – stav 1; po převinutí celé role na tažný válec – stav 2. V programu Autodesk Inventor byla zjištěna poloha těžiště stroje, hmotnost stroje  $m_s = 177,54$  kg a těžiště fólie v obou stavech (viz. Tab. 5-3). Poloha těžiště je určována vzhledem k souřadnému systému sestavy. Střed souřadného systému leží na horní ploše rámu. Ve směru osy x je umístěn uprostřed rámové konstrukce (viz. Obr. 5.6) a ve směru osy z leží (z pohledu obsluhy) na zadní ploše plechu tvořícího rám (viz. Obr.5.7).

Tab. 5-3 Poloha těžiště

Těžiště	$T_x$ (mm)	$T_y$ (mm)	$T_z$ (mm)
Stroje	- 11,917	- 285,550	848,796
Fólie (stav 1)	250	- 136	891
Fólie (stav 2)	- 265	- 142	891
Stroje + fólie (stav 1)	14,6	- 270,4	853,1
Stroje + fólie (stav 2)	- 37,5	- 271	853,1

$$T_{1x} = \frac{T_{sx} \cdot m_s + T_{f1x} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{-11,917 \cdot 177,54 + 250 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq 14,6 \text{ mm} \quad (7)$$

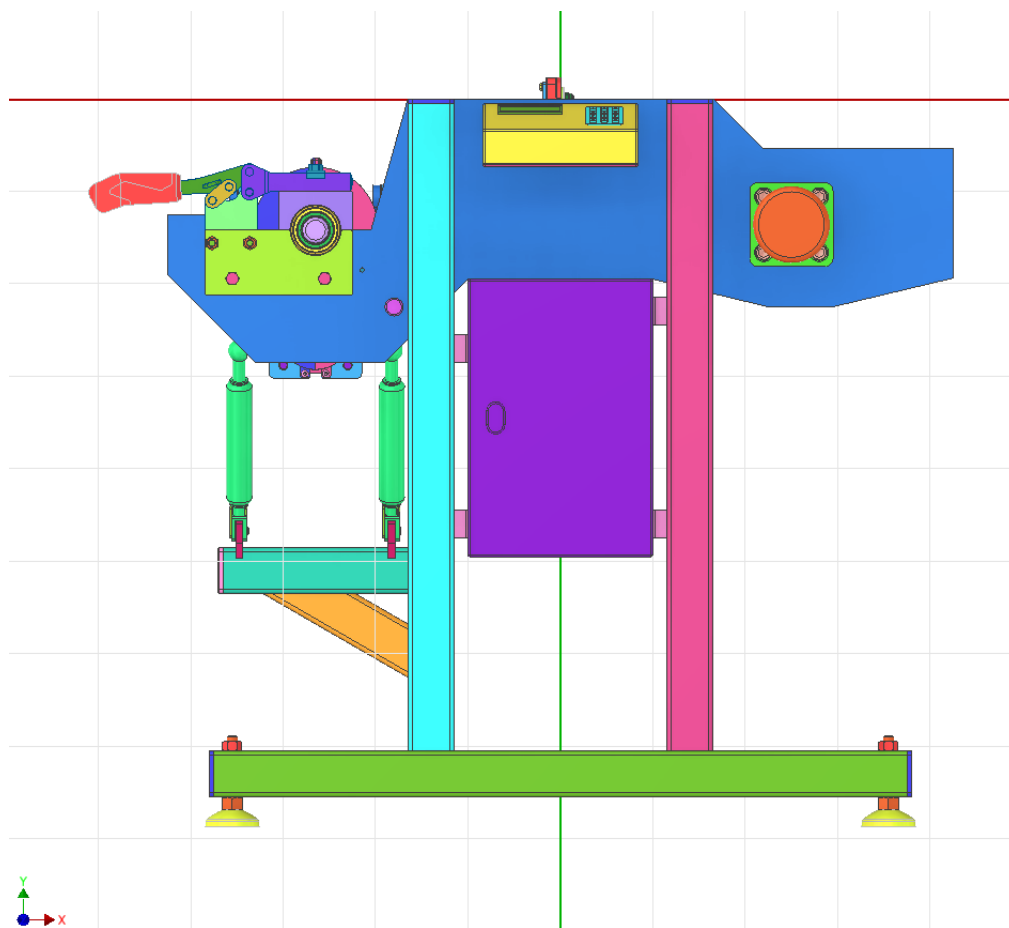
$$T_{1y} = \frac{T_{sy} \cdot m_s + T_{f1y} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{-285,55 \cdot 177,54 - 136 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq - 270,4 \text{ mm} \quad (8)$$

$$T_{1z} = \frac{T_{sz} \cdot m_s + T_{f1z} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{848,796 \cdot 177,54 + 891 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq 853,1 \text{ mm} \quad (9)$$

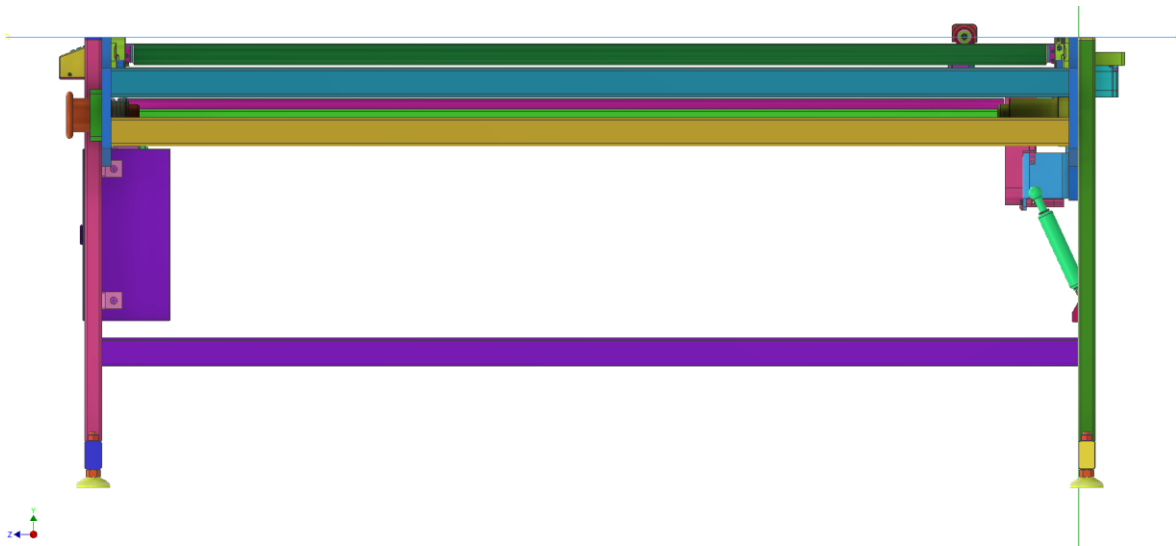
$$T_{2x} = \frac{T_{sx} \cdot m_s + T_{f2x} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{-11,917 \cdot 177,54 - 265 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq - 37,5 \text{ mm} \quad (10)$$

$$T_{2y} = \frac{T_{sy} \cdot m_s + T_{f2y} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{-285,55 \cdot 177,54 - 142 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq - 271 \text{ mm} \quad (11)$$

$$T_{2z} = \frac{T_{sz} \cdot m_s + T_{f2z} \cdot m_f}{m_s + m_f} = \frac{848,796 \cdot 177,54 + 891 \cdot 20}{177,54 + 20} \doteq 853,1 \text{ mm} \quad (12)$$



Obr. 5-6 Umístění souřadného systému - přední pohled



Obr. 5-7 Umístění souřadného systému - boční pohled

### 5.3.2 Kontrola čepu výklopného mechanismu

Čepy výklopného mechanismu jsou namáhány gravitační silou od hmotností válce hmotnosti válce  $m_v = 53,56$  kg a namotané fólie  $m_f = 20$  kg a silou od plynových vzpěr  $F_{vz} = 1550$  N. Výsledná síla namáhá čepy na střih a na otláčení. Je proto vhodné zkontrolovat bezpečnost navržených čepů pro oba způsoby namáhání. Z rovnice statické rovnováhy (13) vypočteme sílu  $F_{\check{c}} = 937,9$  N působící na jeden čep. Odklon plynových vzpěr od svislé osy odpovídá úhlu  $\alpha = 24^\circ$ .

$$F_{\check{c}x} = \frac{F_{vz} \cdot \cos \alpha - (m_v + m_f) \cdot g}{2} = \frac{1550 \cdot \cos 24^\circ - (53,56 + 20) \cdot 9,81}{2} \doteq 694,4 \text{ N} \quad (13)$$

$$F_{\check{c}y} = F_{vz} \cdot \sin \alpha = 1550 \cdot \sin 24 \doteq 630,4 \text{ N} \quad (14)$$

$$F_{\check{c}} = \sqrt{F_{\check{c}x}^2 + F_{\check{c}y}^2} = \sqrt{694,4^2 + 630,4^2} \doteq 937,9 \text{ N} \quad (15)$$

Čep je vyroben z oceli 12 050, který má minimální mez kluzu  $R_e = 490$  MPa [26], z čehož lze určit dovolené napětí ve smyku  $\tau_{sdov} = 269,5$  MPa (16) a dovolený tlak  $p_{dov} = 220,5$  MPa (17). Součinitel otláčení volím  $c_o = 0,45$  a součinitel smyku volím  $c_s = 0,55$ .

$$\tau_{sdov} = R_e \cdot c_s = 490 \cdot 0,55 \doteq 269,5 \text{ MPa} \quad (16)$$

$$p_{dov} = R_e \cdot c_o = 490 \cdot 0,45 \doteq 220,5 \text{ MPa} \quad (17)$$

Oba čepy jsou identické a mají průměr  $D_{\check{c}} = 12 \text{ mm}$  a délku  $L_{\check{c}} = 30 \text{ mm}$ , přičemž plocha podélného průřezu díry konzole je nepatrně menší než součet ploch podélných průřezů děr rámu. Délka díry konzole  $L_k = 15 \text{ mm}$ . Díra má na obou stranách zkosení  $1 \times 45^\circ$ . Ze vztahu (18) lze určit funkční plochu podélného průřezu díry konzole  $S_k = 156 \text{ mm}^2$ . Plocha příčného průřezu čepu  $S_{\check{c}} \doteq 113,1 \text{ mm}^2$  se pak určí dle vzorce (19).

$$S_k = D_{\check{c}} \cdot (L_k - 2 \cdot 1) = 12 \cdot (15 - 2 \cdot 1) = 156 \text{ mm}^2 \quad (18)$$

$$S_{\check{c}} = \frac{\pi \cdot D_{\check{c}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \doteq 113,1 \text{ mm}^2 \quad (19)$$

Kontrola na střih vychází ze vztahu (20), ze kterého lze vypočítat bezpečnost  $k_{\check{c}S} = 32,5$ .

$$k_{\check{c}S} = \frac{\tau_{sdov} \cdot S_{\check{c}}}{F_{\check{c}}} = \frac{269,5 \cdot 113,1}{937,9} \doteq 32,5 \quad (20)$$

Kontrola čepu vychází ze vztahu (21), ze kterého lze určit bezpečnost  $k_{\check{c}o} = 36,7$ .

$$k_{\check{c}o} = \frac{p_{dov} \cdot S_k}{F_{\check{c}}} = \frac{220,5 \cdot 156}{937,9} \doteq 36,7 \quad (21)$$

### 5.3.3 Kontrola bezpečnosti ocelového lanka

Ocelové lanko, které zajišťuje sevření válce je při plnění své funkce namáháno silou od pružin v tažném válci. Jedná se o namáhání tahem. Bylo zvoleno ocelové lanko (1x19) o průměru  $D_L = 3 \text{ mm}$ , u kterého prodejce uvádí nosnost  $m_{max} = 866 \text{ kg}$  [27], což při statickém zatížení odpovídá síle  $F_{max} = 8495 \text{ N}$ . (22) Z této síly a síly v lanku vyvozené tlačnými pružinami  $F_{l2}$  (vypočítané v kapitole 5.2.2) lze na základě vztahu (23) určit bezpečnost ocelového lanka  $k_L = 105$ .

$$F_{max} = m_{max} \cdot g = 866 \cdot 9,81 \doteq 8495 \text{ N} \quad (22)$$

$$k_L = \frac{F_{max}}{F_{l2}} = \frac{8495}{80,85} \doteq 105 \quad (23)$$

## 5.4 Návrh elektrického obvodu

### 5.4.1 Volba pohonu

Pro pohon tažného válce byl zvolen dvoufázový krokový motor s kroutícím momentem  $M_{m1} = 3,5 \text{ N m}$ . Krokový motor byl vybrán pro jednoduchost ovládání, celkovou spolehlivost a tvar momentové charakteristiky. [28] Díky řemenovému převodu s převodovým poměrem  $i_{12} = 2$  je na válec přenášen moment  $7 \text{ N m}$  (24), což při poloměru válce  $r_{v1} = 35 \text{ mm}$  odpovídá tažné síle  $F_{t1} = 200 \text{ N}$  (25). Při maximálním průměru návinu

$d_{\max} = 250$  mm pak tato síla klesne na hodnotu  $F_{t2} = 56$  N (26). Čím větší je ovšem průměr navinu, tím méně fólie zbývá na roli a tím menší odpor musí motor překonávat.

$$M_v = M_m \cdot i_{12} = 3,5 \cdot 2 = 7 \text{ N m} \quad (24)$$

$$F_{t1} = \frac{M_v}{r_{v1}} = \frac{7}{35 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ N} \quad (25)$$

$$F_{t2} = \frac{M_v \cdot 2}{d_{\max}} = \frac{7 \cdot 2}{250 \cdot 10^{-3}} = 56 \text{ N} \quad (26)$$

Pro posuv nožové hlavy byl zvolen dvoufázový krokový motor s kroučícím momentem  $M_{m2} = 1,3$  N m. Lze totiž předpokládat, že bude řezný mechanismus klást výrazně menší odpor. Navíc při průměru řemenice  $d_{\ddot{r}} = 15,05$  mm vyvodí motor tažnou sílu o velikosti  $F_{t2} = 172,75$  N (27)

$$F_{t2} = \frac{M_{m2} \cdot 2}{d_{\ddot{r}}} = \frac{1,3 \cdot 2}{15,05 \cdot 10^{-3}} = 172,75 \text{ N} \quad (27)$$

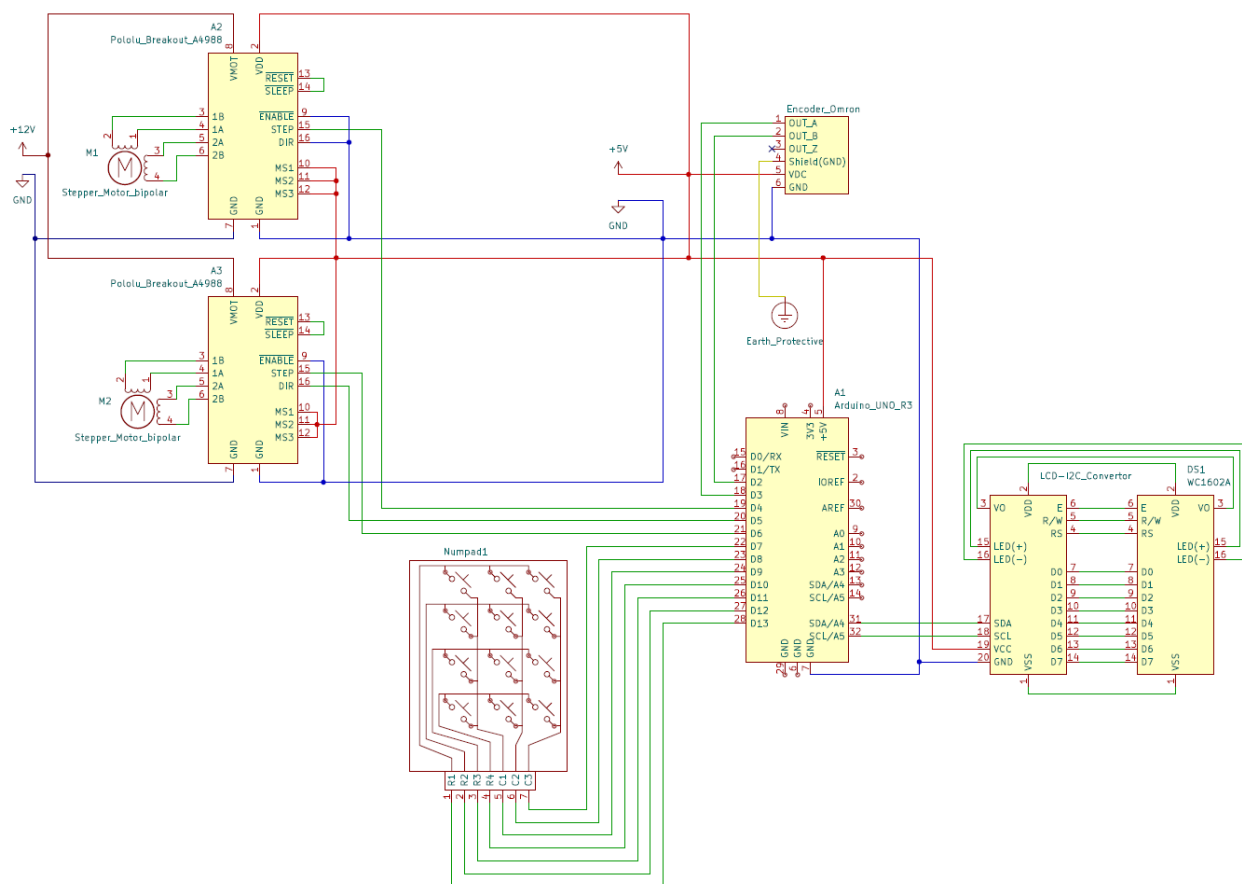
## 5.4.2 Přehled použitých součástek

Řízení stroje zajišťuje mikrokontroler Arduino Uno, který zpracovává vstupní signály z čidel, enkodéru a klávesnice a následně ovládá motory a displej. Tento modul byl zvolen pro svou jednoduchost, dostatečné množství vstupních a výstupních pinů. Arduino Uno využívá mikroprocesor ATmega328P, který pracuje na frekvenci 16MHz a poskytuje tak dostatečný výpočetní výkon pro tuto aplikaci.

K Arduino je pomocí sběrnice I2C přes příslušný převodník připojen maticový LCD displej 1602 (16 znaků, 2 řádky). Pro ovládání motorů jsou použity drivery TB6600HG, které poskytují dostatečný výkon pro využití motoru při jeho maximálním zatížení.

Stroj je řízen pomocí maticové numerické klávesnice 4x3 (4 řádky, 3 sloupce). Pro přesné odměřování navinuté délky slouží optický enkodér E6B2-CWZ6C s rozlišením 100 pulzů na otáčku. Poloha válce, jeho zajištění a poloha nožové hlavy jsou kontrolovány indukčními čidly BES02YT. Přítomnost fólie hlídá infračervené čidlo umístěné mezi řezacím mechanismem a tažným válcem.

## 5.4.3 Schéma zapojení



Obr. 5-8 Schéma zapojení

Tab. 5-4 Tabulka zapojení pinů Arduino

Pin Arduino	Zařízení
2	Enkodér – pin A
3	Enkodér – pin B
4	Driver motoru tažného válce – pin STEP
5	Driver motoru posuvu nože – pin DIR
6	Driver motoru posuvu nože – pin STEP
7	Klávesnice – pin 7 (3. sloupec)
8	Klávesnice – pin 6 (2. sloupec)
9	Klávesnice – pin 5 (1. sloupec)
10	Klávesnice – pin 4 (4. řádek)
11	Klávesnice – pin 3 (3. řádek)

---

12	Klávesnice – pin 2 (2. řádek)
13	Klávesnice – pin 1 (1. řádek)
14 (A0)	Čidlo přítomnosti fólie
15 (A1)	Čidlo polohy válce
16 (A2)	Čidlo zajištění válce
17 (A3)	Čidlo polohy nožové hlavy
18 (A4)	Převodník displeje – pin SDA
19 (A5)	Převodník displeje – pin SCL

---

## 5.5 Řízení

Kód pro Arduino byl vytvořen v prostředí Arduino IDE, které používá upravený jazyk C++. Aplikace v sobě má implementovaný kompilátor AVR-GCC a databázi knihoven.

### 5.5.1 Ovládání displeje přes I2C

Pro ovládání maticového LCD displeje s převodníkem prostřednictvím sériové komunikace I2C je v kódu využita knihovna „LiquidCrystal\_I2C.h“, která je volně dostupná na internetu [29]. Nevýhodou je, že základní znaková sada displeje neobsahuje diakritiku. Proto jsou veškeré hlášky na displeji psány bez diakritiky.

Na obrázku (Obr. 5-9) je ukázka jednoduchého kódu, který nahraje knihovny, inicializuje displej a vypíše na displej hlášku.

```

// Ukázka kódu pro komunikaci s displejem přes sběrnici I2C

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>          //pro LCD přes I2C

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);    // nastavení adresy I2C (0x27), počtu znaků a řádků LCD, 16x2

void setup() {
//_____Inicializace LCD_____

  lcd.begin();           // spuštění komunikaci
  lcd.backlight();      // zapnutí podsvícení
  lcd.clear();          // smazání předešlého text displeje
  lcd.home();           // nastavení kurzoru na první pozici prvního řádku
  lcd.print("BP Rezacka folii");     // zobrazení úvodní hlášky
  lcd.setCursor ( 0, 1); // nastavení kurzoru na první pozici druhého řádku
  lcd.print("Filip Muzikovsky");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}

```

Obr. 5-9 Ukázka kódu pro komunikaci s displejem

## 5.5.2 Klávesnice

Čtení hodnot z klávesnice je realizováno postupným kontrolováním stisku jednotlivých kláves. Toho je docíleno dvěma „for“ cykly. První cyklus nastaví výstup kontrolovaného sloupce na hodnotu HIGH. Vnořený cyklus následně kontroluje jednotlivé řádky. Pokud se na některém z kontrolovaných pinů objeví hodnota HIGH, je vyhodnocen stisk klávesy na příslušném řádku a sloupci. Do proměnné „cisko“ se uloží hodnota stisknuté klávesy. Následně jsou oba cykly přerušeny a kontroluje se pouze stisknutá klávesa. Ve chvíli, kdy dojde k uvolnění klávesy, je do proměnné uvolnění zapsaná hodnota 1. Ta se na konci smyčky „void loop“ nastaví zpět na nulu. To umožňuje kdekoliv uvnitř smyčky provést akci na základě stisku klávesy.

Tento způsob čtení hodnot spolu s podmínkou, že mezi zaznamenaným stiskem a uvolněním klávesy musí uběhnout minimálně 200 milisekund, zajistí tzv. debouncing. Předejde se tak vyhodnocování nejistého stavu na náběžné nebo sestupné hraně signálu.

```

// Ukázka kódu pro čtení hodnot klávesnice

// _____ Definování proměnných - pinů _____

byte radky[4] = {13,12,11,10}; //Piny řádků klávesnice
byte sloupce[3] = {9,8,7}; //Piny sloupců klávesnice

// _____ Definování datových proměnných _____
byte znaky[4][3] = {{1,2,3}, // Rozmístění čísl na klávesnici
                   {4,5,6},
                   {7,8,9},
                   {10,0,11}};
byte cislo = 0; // Obsahuje hodnotu poslední stisknuté klávesy
long delka = 0; // Požadovaná délka fólie

int cekej = 200; // Doba v milisekundách potřebná k zaznamenání stisku
long cas; // Pomocná proměnná pro debouncing
boolean stisk = 0; // true - když je stisknutá klávesa (ale nebyla ještě uvolněna)
boolean uvolneni = 0; // true - když je klávesa uvolněna

void setup() {
// _____ Definování pinů _____

//---vstupy---
for(int i = 0; i < 4; i++){
  pinMode(radky[i], INPUT); // Nastavení pinů řádků klávesnice, jako vstupní
}

//---vystupy---
for(int i = 0; i < 3; i++){
  pinMode(sloupce[i], OUTPUT); // Nastavení pinů sloupců klávesnice, jako výstupní
}
}

void loop() {
if(!stisk){ // Kontrola stisku některé z klávesy
  for(a = 0; a < 3; a++){
    digitalWrite(sloupce[a],HIGH); // Nastavení výstupu pro konkrétní sloupec na hodnotu HIGH
    for(b = 0; b < 4; b++){
      if(digitalRead(radky[b]) && millis() - cekej > cas){ // Podmínka pro vyhodnocení platného stisku
        cislo = znaky[b][a]; // Uloží do proměnné číslo hodnotu stisknuté klávesy
        stisk = 1;
        cas = millis();
        break; // Pokud došlo k stisku ukončí vnitřní cyklus
      }
    }
    if(stisk) break; // Pokud došlo k stisku ukončí vnější cyklus
    digitalWrite(sloupce[a],LOW); // Nastavení výstupu pro příslušný sloupec na hodnotu LOW
  }
}

if(stisk){ // Kontrola uvolnění stisknuté klávesy
  if(!digitalRead(radky[b]) && millis() - cekej > cas){ //podmínka pro vyhodnocení platného uvolnění
    uvolneni = 1;
    stisk = 0;
    cas = millis();
    digitalWrite(sloupce[a],LOW); // Nastavení výstupu pro příslušný sloupec na hodnotu LOW
  }
}

// _____ Akce po uvolnění tlačítka _____
if(uvolneni){
  switch(cislo){
    case 11:
      //zde se doplní funkce pro start motoru
    case 10:
      delka = delka/10; //Smaže poslední číslici
    default:
      delka = (delka*10)+cislo; //Přidá stisklou hodnotu k délce
  }
}

uvolneni = 0;
}

```

Obr. 5-10 Ukázka kódu pro čtení hodnot klávesnice

### 5.5.3 Čtení hodnot enkodéru

Ke čtení hodnot enkodéru, kód používá knihovnu „Encoder.h“ opět volně dostupnou na internetu [30]. To umožňuje jednoduše uložit do libovolné proměnné hodnotu enkodéru příkazem „myEnc.read()“. Knihovna nejprve vstupní signál filtruje, čímž odstraní možný šum a následně sama detekuje náběžnou i sestupnou hranu u obou datových pinů enkodéru. To zvýší rozlišení enkodéru 400 kroků na otáčku. Na obrázku (Obr. 5-11) je ukázka kódu, který posílá prostřednictvím sériové komunikace do počítače aktuální pozici enkodéru.

```
// Ukázka kódu pro čtení polohy enkodéru

#include <Encoder.h>

Encoder myEnc(2, 3); // Inicializace enkodéru na pinech 2 a 3

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Zahájení sériové komunikace
  myEnc.write(0); // Reset pozice enkodéru
}

void loop() {
  long position = myEnc.read(); // Čtení aktuální pozice enkodéru
  float scaled = position / 400.0; // Převod na float vydělením 400
  Serial.println(scaled); // Výpis do sériového monitoru
  delay(100); // Krátká pauza pro přehlednější výstup
}
```

Obr. 5-11 Ukázka kódu pro čtení polohy enkodéru

### 5.5.4 Výsledný kód

Po spuštění stroje provede mikrokontroler inicializaci všech periférií a referování pozice nožové hlavy. Po zobrazení úvodní obrazovky je uživatel vyzván k zadání délky. Pomocí numerické klávesnice lze zadat hodnotu v rozsahu 20 až 9990 cm, s možností editace hodnoty klávesou " \* ". K potvrzení hodnoty slouží klávesa " # ". Za předpokladu, že jsou hodnoty čidel shodné s požadovanými (tzn. válec je zajištěn ve spodní poloze, je v něm uchycená fólie a nožová hlava je na svém místě), tak se vypočítají parametry rychlostní rampy a motor se začne otáčet (dochází k navíjení fólie). Na displeji se zobrazuje aktuální délka navinuté fólie. Pokud se během navíjení změní hodnota některého z čidel, dojde k pozastavení rotace a zobrazí se příslušná chybová hláška. Motor lze také pozastavit stiskem " # ". V pozastaveném stavu (po návratu hodnoty čidla) lze buď pokračovat stiskem " # ", nebo přejít rovnou k řezání aktuální délky stiskem " \* ". Pokud se navine požadovaná délka, tak se spustí řezání automaticky. Následuje dovinutí části fólie mezi nožovou hlavou a tažným válcem.

Celý výsledný kód je obsažen v příloze (???)

## 5.6 Bezpečnostní prvky

Velkou prioritou je zajištění bezpečnosti obsluhy stroje. Zakrytování celého stroje, aby nemohlo dojít k žádnému úrazu by výrazně zhoršilo ergonomii stroje. Vzhledem k relativně malým otáčkám tažného válce a relativně malému točivému momentu motorů, bylo zvoleno zakrytí pouze několika klíčových částí. Jedná se o kryt řemenového převodu tažného válce, kryt kotoučového nože a kryty vodících tyčí řezacího mechanismu, které zároveň částečně kryjí řemenový převod posuvu nožové hlavy.

Pro omezení rizika úrazu z nedbalosti byla zařazena indukční čidla, která hlídají, správnou polohu válce a jeho zajištění při navíjení fólie.

Další potenciální nebezpečí plyne z přítomnosti elektrického napětí. Předpokládá se používání stroje v normálním prostředí, kde je stanovená nejvyšší bezpečná efektivní hodnota střídavého napětí (pro dotyk „neživých“ částí) 50 V. Napájecí ani výstupní napětí driveru tuto hodnotu nepřekračuje. Co se týče zapojení stroje do sítě, stroj je připojen k jedné fázi elektrické sítě (tedy 230 V; 50 Hz). Tato hodnota napětí je přímo v rozvaděči stroje snížena snižujícím měničem a dále už se v obvodu neobjevuje. Stroj je navíc vybaven proudovým chráničem a nouzovým tlačítkem „Central Stop“, které po stisknutí odpojí celý stroj od sítě. Všechny kabely k motorům a sensorům jsou po rámu stroje vedeny v chráničkách, aby se předešlo prodření kabelu a dotyku živé části obvodu s rámem stroje.

Podmínkou práce na stroji je proškolení obsluhy. Obsluha stroje musí být poučena: o zásadách správného používání stroje, o BOZP, o bezpečnostních prvcích stroje, o významu chybových hlášek a o povinnosti kontroly stavu stroje před zahájením práce. Pokud obsluha shledá, jakékoliv poškození (ohnutá součást, prodřená izolace vodičů, poruch některého čidla, aj.), nesmí na stroji pracovat.

## 5.7 Odhad ceny

Řezačka se skládá z normalizovaných a nenormalizovaných součástí. U normalizovaných součástí je cena určena na základě nabídek jednotlivých e-shopů. Cena nenormalizovaných součástí byla odhadnuta na základě ceny materiálu a složitosti výrobního procesu.

Tab. 5-5 Ceny normalizovaných součástí

Součást	Cena s DPH Kč/kus	Počet kusů	Dodavatel
Rozvaděč	2438	1	K&V Elektro

E6B2_CWZ6C	4717	1	Omron
Plynový_vzpěra	970	2	Plynovépružinyshop
Zkrutná pružina M 20 R 23	50	1	Hennlich
Tlačná pružina 67/6/1	82	1	Hennlich
Lano 3 mm, TYP 1x19	43	1	Kardanka
LCD Displej 1602	58	1	Laskakit
Klávesnice 4x3	68	1	Laskakit
Stavitelná_noha_M12x66	78	4	Zabi
UCFL_204	112	4	SKF
608-2rsh	10	1	SKF
Řemenice_36-5M-15 (typ 6F)	136	1	Tyma
Řemenice_72-5M-15 (TB 1610)	414	1	Tyma
Pouzdro_TB 1610-38	124	1	Tyma
Řemen_HTD 5M-500-15	218	1	Tyma
Motor 86CM35	2180	1	CNC Shop
Pružina 43/47/6 -1.1200	67	3	Hennlich
AMF558159_136	862	1	Top Centrum
6006-2rs1	224	1	SKF
30206_2	415	2	SKF
Řemenice_nože	42	1	BP_24891_47
Řemenice_motoru_nože	69	1	BP_24891_48
HTD 5M-500-15	383	1	Tyma
Motor 57CM13	980	1	CNC Shop
619_5-2z	214	2	SKF
Tlačná pružina 41/5/1	72	1	Hennlich
LMH 16	170	2	CNC Shop
SKF 2RS1608-2RS1	53	1	SKF
SHF 16	140	4	CNC Shop
Vodící tyč	705	2	CNC Shop
Indukční snímač	1926	4	Balluff

Cena normalizovaných součástí činí 28 894 Kč.

Tab. 5-6 Náklady na výrobu

<b>Náklady na výrobu</b>	<b>Odhadovaná cena</b>
Rám stroje	7 000
Tažný válec	10 000
Řezací mechanismus	5 500
Uchycení role	3 800
Montáž sestavy	1 800

Náklady na materiál a výrobu nenormalizovaných součástí, včetně montáže činí 28 100 Kč. Celková cena řezačky se tedy bude pohybovat okolo 57 000 Kč. Při srovnání s ruční řezačkou UNIPACK H150-M zmíněnou v kapitole 2.1, která stojí 32 600 Kč, je tato cena opodstatněná. Pokud vezmeme v úvahu, že jedna role fólie stojí okolo 2 000 Kč, lze tedy předpokládat, že investice do automatizované řezačky je z dlouhodobého hlediska výhodná a pro zákazníka perspektivní.

## 6 DISKUZE

Mezi možné inovace do budoucna lze zajisté zařadit přidání diakritiky do uživatelského rozhraní. Také by bylo vhodné přidat možnost stiskem jedné klávesy opakovat řezání předešlé délky fólie.

Jelikož součástí této práce není fyzické vyhotovení řezačky, nelze zajistit, bezproblémový chod navrženého řešení. Ve strojírenské praxi je běžné, nejprve sestrojít prototyp stroje, na kterém lze otestovat kritické stavy a na základě těchto poznatků upravit navržené řešení. Dá se předpokládat, že při zhotovení mého návrhu mohou nastat tyto problémy: rozmotávání role při brzdění, házení válce či chyby v softwaru. Rozmotávání role lze řešit změnou rychlosti zpomalování nebo přidáním brzdy role. Házení válce lze odstranit dynamickým vyvážením.

Pokud by se jednalo o velkosériovou výrobu těchto řezaček, bylo by vhodné provést výpočty dalších součástí, aby nedocházelo k výraznému předimenzování, které by negativně ovlivnilo ekonomiku výroby. Zároveň by stála za zvážení otázka automatizace výroby.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení zařízení určeného k přesnému a opakovatelnému řezání střešních izolačních fólií. Na základě analýzy stávajících technických řešení a požadavků praxe byl navržen stroj, který umožňuje automatizované odměření a řezání fólie s minimálním zapojením obsluhy.

Výsledkem je návrh zařízení, který zahrnuje mechanickou konstrukci svařovaného ocelového rámu, návrh řezného mechanismu s kotoučovým nožem, návrh vhodných krokových motorů a jejich řízení prostřednictvím mikrokontroleru Arduino Uno. Konstrukce zohledňuje uživatelskou ergonomii, bezpečnost provozu a zároveň i dostupnost a cenu jednotlivých komponent.

Součástí práce je i návrh elektrického zapojení, řídicího programu a výkresová dokumentace sestavy a vybraných součástí. Návrh byl optimalizován s ohledem na provozní spolehlivost, jednoduchou obsluhu a možnost budoucích úprav.

Navržené řešení má potenciál zefektivnit proces dělení izolačních fólií v maloobchodním i výrobním prostředí. Zároveň může přispět ke snížení fyzické náročnosti práce, zkrácení času obsluhy a zlepšení zákaznického servisu. V budoucnu lze zařízení dále rozšířit o nové funkce, o kterých se pojednává v kapitole 6.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. UNIPACK. Odvíječ fólie s měřidlem [online]. Dostupné z: <https://www.unipack.cz/odvijec-folie-s-meridlem> [cit. 23. 05. 2025].
2. UNIPACK. Odvíječ fólie H150-M, 1000 mm [online]. Dostupné z: [https://cdn.myshoptet.com/usr/www.unipack.cz/user/shop/big/1575-6\\_odvijec-folie-s-meridlem-odvijec-folie-h150-m-max-sire-folie-1000-mm--celkove-rozmary-s-d-v-2000x830x1250-mm.jpg](https://cdn.myshoptet.com/usr/www.unipack.cz/user/shop/big/1575-6_odvijec-folie-s-meridlem-odvijec-folie-h150-m-max-sire-folie-1000-mm--celkove-rozmary-s-d-v-2000x830x1250-mm.jpg) [cit. 23. 05. 2025].
3. LEVNESTAVEBNINY. Difúzní podstřešní fólie Difbar [online]. Dostupné z: <https://www.levnestavebniny.cz/difuzni-podstresni-folie-difbar--3163/> [cit. 23. 05. 2025].
4. IDEK. Produktová fotografie EH800 [online]. Dostupné z: [https://cdn1.idek.cz/dez\\_cz/img/product-eshop/-144/1465859ew800\\_eh800.webp](https://cdn1.idek.cz/dez_cz/img/product-eshop/-144/1465859ew800_eh800.webp) [cit. 23. 05. 2025].
5. EXVALOS. Valivá ložiska NSK [online]. Dostupné z: <https://www.exvalos.cz/files/media/0/33wyk/nsk-valiva-loziska.pdf> [cit. 23. 05. 2025].
6. PROSUKTRY. Fotografie produktu [online]. Dostupné z: <https://www.prosuktry.cz/gallery/products/middle/29072.jpg> [cit. 23. 05. 2025].
7. E-KONSTRUKTER. Vše o kluzných ložiscích [online]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/vse-o-kluznych-loziscich> [cit. 23. 05. 2025].
8. WEBMIUM. Fotografie ložiska [online]. Dostupné z: <https://tempwebmiumusersrecovery.blob.core.windows.net/users/103484/assets/d93061d3482628ba5980a134a27da5d/kluznaloziska1.jpg> [cit. 23. 05. 2025].
9. HIWIN. Kuličková pouzdra, vodící tyče [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://www.hiwin.cz/media/files/03\\_Kulickova\\_pouzdra\\_vodici\\_tyce\\_v2.pdf](https://www.hiwin.cz/media/files/03_Kulickova_pouzdra_vodici_tyce_v2.pdf)
10. EXVALOS. LMH – vodící pouzdro, produktový obrázek [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://e-shop.exvalos.cz/files/external/product\\_images/13LBBR%20125/LMH.jpg](https://e-shop.exvalos.cz/files/external/product_images/13LBBR%20125/LMH.jpg)
11. HENNLICH. Katalog vodících systémů – kategorie SHS [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/hennlichapi/media/Category/SHS.pdf>
12. WIKIPEDIE. Stejnoseměrný motor [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosem%C4%9Brn%C3%BD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosem%C4%9Brn%C3%BD_motor)
13. E-KONSTRUKTÉR. Jaký je rozdíl mezi AC, DC a EC motory [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ac-dc-a-ec-motory>
14. HRADEBNÍ.CZ. Výukový materiál – elektrotechnika [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://vyuka.hradebni.cz/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=1328>

15. TME.EU. Krokový motor – druhy a příklady aplikací [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/41861/krokovy-motor-druhy-a-priklady-aplikaci-krokovych-motoru/>
16. CNCSHOP.CZ. Produktový obrázek – řemenice [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.cncshop.cz/data/produkty/2059/o1693212257.jpg>
17. ČVUT FEL. Rotary Encoder – výukový materiál [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/rotary\\_encoder/Rotary\\_Encoder.pdf](https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/rotary_encoder/Rotary_Encoder.pdf)
18. ELEKTROPRŮMYSL. Elektroprůmysl – časopis 09/2022 [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/casopis/2022/zari/134/>
19. HW.CZ. Rotační enkodéry pro řízení pohonu a pohybu [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html>
20. ELFETEX. Produktový obrázek – senzor PIM-432810 [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://www.elfetex.cz/media/catalog/product/p/i/pim-432810\\_1.jpg](https://www.elfetex.cz/media/catalog/product/p/i/pim-432810_1.jpg)
21. KOTLIN.CZ. Indukční snímače – katalog [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.kotlin.cz/indukcni-snimace>
22. UMAX.CZ. Produktový obrázek – název neuveden [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://www.umax.cz/galerie/9\\_42129/name-original.jpg](https://www.umax.cz/galerie/9_42129/name-original.jpg)
23. BOTLAND.CZ. Infračervený senzor – co to je a k čemu se používá [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/infracerveny-senzor-co-to-je-a-k-cemu-se-pouziva/>
24. VOKOLO.CZ. Produktový obrázek – IR senzor [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://cdn.myshoptet.com/usr/www.vokolo.cz/user/shop/big/505-1\\_ir-senzor.jpg?5e580fb5](https://cdn.myshoptet.com/usr/www.vokolo.cz/user/shop/big/505-1_ir-senzor.jpg?5e580fb5)
25. HENNLICH. Pružiny – technická data [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/springs/43476/>
26. BBOLZANO. MOP – Tyčová ocel C45, technický list [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://bbolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_C45.pdf](https://bbolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf)
27. KARDANKA.CZ. Ocelové lano 3 mm, nosnost 866 kg [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.kardanka.cz/ocelove-lano-3mm-nosnost-866kg-29779>
28. CNC SHOP. 86CM35 krokový 2-fázový motor 3.5Nm [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.cncshop.cz/86cm35-krokovy-2-fazovy-motor-35nm/pro2085.html>

29. GITHUB. Arduino LiquidCrystal I2C library [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>
30. GITHUB. Encoder library by Paul Stoffregen [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://github.com/PaulStoffregen/Encoder/blob/master/Encoder.h>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

$i_{12}$	-	Převodový poměr řemenového převodu
$z_1$	-	Počet zubů řemenice 1
$z_2$	-	Počet zubů řemenice 2
$\Delta O$	mm	Změna obvodu
$a$	mm	Délka mezery mezi polovinami válce ve stavu 1
$b$	mm	Délka spodní mezery mezi polovinami válce ve stavu 2
$c$	mm	Délka horní mezery mezi polovinami válce ve stavu 2
$L_0$	mm	Délka pružiny v nezátíženém stavu
$L_1$	mm	Délka pružiny ve stavu 1
$L_2$	mm	Délka pružiny ve stavu 2
$k$	N/mm	Tuhost pružiny válce
$F_{p1}$	N	Síla pružiny ve stavu 1
$F_{p2}$	N	Síla pružiny ve stavu 2
$F_{11}$	N	Síla v laně ve stavu 1
$F_{12}$	N	Síla v laně ve stavu 2
$F_{s1}$	N	Síla stisku fólie
$F_{\check{c}x}$	N	Síla působící na jeden čep ve směru x
$F_{\check{c}y}$	N	Síla působící na jeden čep ve směru y
$F_{\check{c}}$	N	Výsledná síla působící na jeden čep
$T_{1x}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 1 ve směru x
$T_{1y}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 1 ve směru y
$T_{1z}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 1 ve směru z
$T_{2x}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 2 ve směru x
$T_{2y}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 2 ve směru y
$T_{2z}$	mm	Poloha těžiště ve stavu 2 ve směru z
$T_{sx}$	mm	Poloha těžiště stroje ve stavu 1 ve směru x
$T_{sy}$	mm	Poloha těžiště stroje ve stavu 1 ve směru y

$T_{sz}$	mm	Poloha těžiště stroje ve stavu 1 ve směru z
$m_s$	kg	Hmotnost stroje
$m_f$	kg	Hmotnost fólie
$c_s$	-	součinitel smyku
$c_o$	-	součinitel otláčení
$R_e$	MPa	Mez kluzu oceli 12 050
$\tau_{sdov}$	MPa	Maximální dovolené napětí ve smyku
$p_{dov}$	MPa	Maximální dovolené napětí v tlaku
$S_k$	mm <sup>2</sup>	Styčná plocha konzole
$S_{\check{c}}$	mm <sup>2</sup>	Plocha příčného průřezu čepu
$D_{\check{c}}$	mm	Průměr čepu
$L_k$	mm	Funkční délka konzole

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Odvíječ fólie s měřidlem H150-M [2] .....	15
Obr. 2-2 Střešní fólie TEGOLA DIFBAR 135 S [4].....	16
Obr. 2-3 Radiální kuličkové ložisko [6].....	17
Obr. 2-4 Pouzdra kluzných ložisek [8] .....	17
Obr. 2-5 Přírubové kuličkové pouzdro [10].....	18
Obr. 2-6 Vozík s oběhem kuliček [11].....	19
Obr. 2-7 Krokový motor [16] .....	20
Obr. 2-8 Optický enkodér [20] .....	21
Obr. 2-9 Indukční čidlo [22].....	22
Obr. 2-10 IR čidlo [24].....	22
Obr. 4-1 Schéma obecného principu fungování stroje .....	25
Obr. 4-2 Schéma koncepčního návrhu tažného válce č. 1 .....	26
Obr. 4-3 Schéma koncepčního návrhu tažného válce č. 2 .....	27
Obr. 5-1 Hlavní části rezačky .....	30
Obr. 5-2 Tažný válec - detail .....	31
Obr. 5-3 Tažný válec - změna rozměrů.....	32
Obr. 5-4 Návrh pružin .....	33
Obr. 5-5 Řezací mechanismus .....	34
Obr. 5-6 Umístění souřadného systému - přední pohled .....	36
Obr. 5-7 Umístění souřadného systému - boční pohled.....	37
Obr. 5-8 Schéma zapojení.....	40
Obr. 5-9 Ukázka kódu pro komunikaci s displejem.....	42
Obr. 5-10 Ukázka kódu pro čtení hodnot klávesnice .....	43
Obr. 5-11 Ukázka kódu pro čtení polohy enkodéru .....	44

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 5-1 Změna rozměrů.....	32
Tab. 5-2 Parametry zvolené pružiny [25] .....	32
Tab. 5-3 Poloha těžiště .....	35
Tab. 5-4 Tabulka zapojení pinů Arduina .....	40

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresy:

- Plášť-A\_tahného\_válce.pdf
- Řezací mechanismus.pdf
- Sestava\_celku.pdf
- Válec\_tahný.pdf
- Válec\_volný.pdf

Program:

- BP\_final.ino