



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## ZAŘÍZENÍ PRO NAPÍNÁNÍ SÍŤOVINY NA SEGMENTY DISKOVÉHO FILTRU

EQUIPMENT FOR TENSIONING OF MESH ON THE DISC FILTER SEGMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ BAŇOCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN BRANDEJS, CSc.

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ondřej Baňoch

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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 diplomové práce:

### **Zařízení pro napínání síťoviny na segmenty diskového filtru**

v anglickém jazyce:

### **Equipment for tensioning of mesh on the disc filter segments**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh zařízení pro napínání a upevnění síťoviny na segmenty diskového filtru. Napínací zařízení bude pneumatické, pro jeden segment, s možností regulace napínací síly.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Konceptní řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkres sestavení, funkční výrobek

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Výstup práce: prototyp, funkční vzorek; Projekt: MPO - TIP

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 - 50 stran textu bez obrázků)

Zásady pro vypracování práce:

[http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP\\_DP/Zasady\\_VSKP\\_2015.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf)

Šablona práce: [http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK\\_sablona\\_praci.zip](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip)

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 7. vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186 s.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá konstrukčním návrhem zařízení určeného pro napínání a upevnění filtrační tkaniny na plastové rámy segmentů diskového filtračního zařízení. Práce je řešena ve spolupráci s firmou IN-EKO Team, zabývající se vývojem a výrobou filtračních jednotek a navazuje na v minulosti již ukončený projekt FR-T13/699 (konec 2013).

V úvodní části je problematika filtračních jednotek rozvedena do širších souvislostí spolu s popisem funkce a použitých součástí konstrukce. Následuje konkretizace zadání práce a popis koncepčních variant založených na predikci MKP analýzy chování filtračních tkanin během napínání. Pro nejvhodnější variantu je zpracován konstrukční návrh spolu s návrhem pneumatického systému a systému řízení. Kritická část konstrukce, napínací kleština, je na zkušebním zařízení ověřena vyvinutou experimentální kleštinou. Celá konstrukce je určena pro velkosériovou výrobu diskových segmentů, čemuž odpovídá i stupeň automatizace zařízení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtrační tkanina, diskový filtr, napínání filtrační tkaniny, automatizace, PLC, pneumatický pohon, napínací kleština

## **ABSTRACT**

The master thesis deals with mechanical design of device used for stretching and fixing filtration fabric on plastics frames segments for disc filtration device. The thesis was solved in cooperation with IN-EKO Team company that deals with development and manufacturing of filter units. Solution is connected to already ended project FR-T13/699 (end of the year 2013).

At the beginning is described the field of filtration devices in broader context with description of the overall functionality these devices and description of used elements in final design. Opening text is followed by concretization of task list and descriptions of concepts variants which are based on FEM analysis of behavior of stretched filtration fabric. The best concept is processed in detail as mechanical design along with pneumatic and PLC control design. Critical part of the design is stretching clamp which was experimentally verified by using experimental clamp in combination with testing machine. The whole design is developed for mass production of disc segments for disc filter which is projected in to the level of the automation.

## **KEY WORDS**

Filtration fabric, Disc filter, Stretching of filtration fabric, Automation, PLC, Pneumatic drive, Stretching clamp



**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BAŇOCH, O. *Zařízení pro napínání síťoviny na segmenty diskového filtru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 96 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Brandejs, CSc..



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Zařízení pro napínání síťoviny na segmenty diskového filtru* vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Jana Brandejse, CSc a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 22. května 2015

.....  
podpis



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Brandejsovi, CSc. za odbornou pomoc, věcné připomínky a ochotný přístup. Za další bych chtěl poděkovat firmě IN-EKO Team a zvláště Bc. Martinu Hromčíkovi za cenné rady v oblasti diskových filtračních jednotek podložených reálnými zkušenostmi. V neposlední řadě také za zajištění výroby experimentální kleštiny.



## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>16</b>
1.1 Diskové filtrační jednotky.....	16
1.1.1 Princip funkce.....	16
1.1.2 Průhyb tkaniny.....	17
1.1.3 Předepínání filtrační tkaniny .....	18
1.1.4 Filtrační výkon a přesnost filtrace .....	18
1.2 Filtrační tkaniny.....	18
1.2.1 Mechanické vlastnosti .....	20
1.3 Rám segmentu.....	21
1.3.1 Pevnostní analýza a reverzní inženýrství .....	22
1.4 Napínání.....	23
1.5 Měření předpětí.....	25
1.6 Lepení .....	25
1.6.1 Alternativní technologie .....	26
1.7 Napínací pohon.....	27
1.7.1 Pneumatický vs hydraulický systém .....	27
1.8 Rychloupínky.....	29
1.9 Lineární vedení .....	29
1.10 Pneumatika.....	30
1.10.1 Pneumatické válce .....	30
1.10.2 Ventily .....	31
1.11 Řízení - PLC .....	32
1.11.1 Programování PLC automatů .....	34
<b>2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>36</b>
2.1 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše.....	36
2.2 Cíl práce.....	36
<b>3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>38</b>
3.1 MKP analýza napínání tkaniny.....	38
3.1.1 Definice materiálu .....	38
3.1.2 Lichoběžníkový tvar .....	39
3.1.3 Obdelníkový tvar .....	41
3.1.4 Hodnocení variant .....	43
3.1.5 Ořez tkaniny .....	44
<b>4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>45</b>
4.1 Konstrukce .....	45
4.1.1 Popis jednotlivých výrobních kroků obsluhy zařízení .....	46
4.1.2 Rám.....	50
4.1.3 Napínací mechanismus .....	52
4.1.4 Pojezdový vozík .....	53
4.1.5 Vodící kolejnice.....	59
4.1.6 Podpůrný plech segmentu.....	59
4.1.7 Pomocný přídržný mechanismus.....	61
4.1.8 Tepelný nůž .....	64
4.2 Pneumatický systém .....	64
4.3 Řízení .....	67

4.4	Experimentální kleština.....	70
4.4.1	Vzorky pryží .....	72
4.4.2	Měření.....	74
4.4.3	Přepočet síly.....	78
4.4.4	Hodnocení experimentální kleštiny .....	78
4.5	Náklady .....	79
<b>5</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ .....</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>91</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>92</b>

## ÚVOD

S rostoucím průmyslem rostou přirozeně i nároky na zpracování průmyslových kapalin. Podobnou situaci připomíná globální růst obyvatelstva a s ním spojené hospodaření s odpadními kapalinami.

Důsledkem výše uvedeného a nutných přísnějších ekologických norem roste poptávka po filtračních jednotkách. Jedním z mnoha možných řešeních filtrace jsou diskové filtrační jednotky. Ty vynikají nad ostatními velmi nízkými provozními náklady, takřka bezúdržbovým automatizovaným provozem, výbornou filtrační přesností a dobrým poměr mezi velikostí filtrační jednotky a filtračním výkonem [1]. Jenom v letech 2000 – 2005 byl predikován nárůst 4,7 % pa v oblasti technických tkanin, kde filtrační síťoviny zaujímají velkou část [2].

Jednou z nejcitlivějších částí diskové filtrační jednotky je filtrační síťovina. Destrukci tkaniny dojde ke kontaminaci filtrátu filtrovanou kapalinou, což má bezesporu fatální následky na provoz zařízení. Příčinou může být nadměrný průhyb tkaniny způsobený hydrostatickým tlakem, který je vyvolán rozdílem hladin mezi vstupní a výstupní hladinou. Neméně důležité je zajištění co nejmenšího zvrásnění tkaniny během jejího ostříku tlakovou kapalinou (proces samočištění). Zvrásněním tkaniny se značně snižuje schopnost odstranění tzv. filtrační koláče z jejího povrchu a tedy i snížení filtračního výkonu.

Aby se předešlo výše uvedeným problémům je nutné během procesu výroby síťoviny předepínat na segmentových rámech disků. Současný trh však nenabízí adekvátní semiautomatizované zařízení pro velkosériovou výrobu, které by bylo možné zakoupit.

Na tuto část je zaměřena diplomová práce, konkrétně na celou konstrukci napínacího zařízení, analýzu a vhodný výběr použitých prvků. A přesně v tomto duchu je i celá práce členěna, kdy jsou rozebírány jednotlivé prvky, celá konstrukce zařízení, pneumatický systém a systém řízení. Zejména pak analýza chování tkaniny při napínání a její uchycení napínací kleštinou.

## 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 1.1 Diskové filtrační jednotky

Diskové filtry se skládají ze dvou hlavních částí, a sice rotační a statické části. Jádrem rotační části je horizontální dutý hřídel, který je uložen v rotačních vazbách a může se tak otáčet. Na hřídeli jsou dále nasazeny jednotlivé diskové segmenty. Počet diskových segmentů je značně variabilní a záleží na požadavcích zákazníka na filtrační výkon jednotky. Standardně se množství disků může pohybovat v rámci jednotek až desítek. Jednotlivé disky se skládají z rámu a vložených diskových segmentů s napnutou filtrační tkaninou a spolu s hřídelí tvoří utěsněnou soustavu.

Statická část je tvořena ocelovou či betonovou nádrží, zpravidla spolu s vodním přepadem sloužícím ke kontrole výšky hladiny kapaliny a tím i míry znečištění filtrační jednotky.

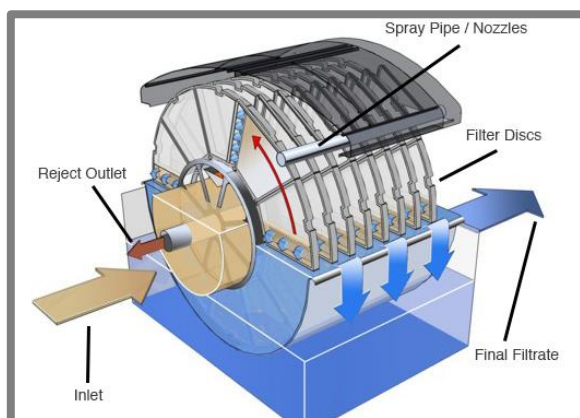
Zařízení nachází uplatnění při filtraci odpadních či průmyslových kapalin. Zároveň však mohou sloužit jako velmi účinný nástroj pro separaci cenných materiálů, které tak lze opětovně použít při výrobních či jiných procesech [3].

Dalším velmi využívaným typem filtračních jednotek jsou bubnové filtry. Značnou výhodou diskových jednotek je však až čtyřnásobně vyšší filtrační výkon při zachování vnějších rozměrů zařízení [3]. V úvahu je však nutné vzít výrobne náročnější přístup, s nímž se nutně pojí i vyšší cena zařízení.

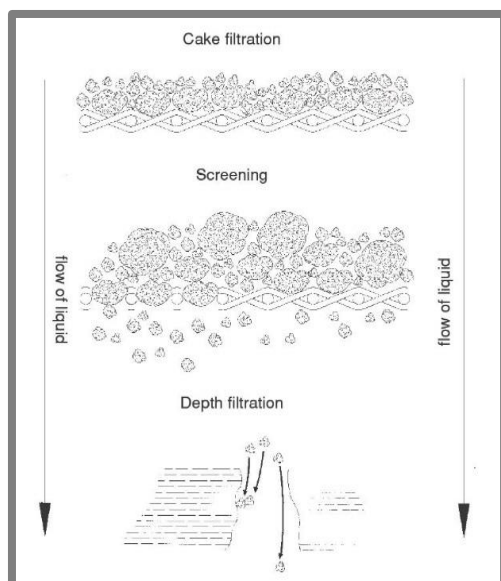
#### 1.1.1 Princip funkce

Rotační diskové filtry pracují na principu kontinuální filtrace, kdy znečištěná kapalina vtéká vtokovou soustavou do dutého horizontálního hřídele. Dále vtéká do jednotlivých filtračních disků, kde skrze filtrační síťovinu gravitačně protéká a pokračuje dále do systému.

Usazováním pevných částic na povrchu síťoviny dochází k tvorbě tzv. filtračního koláče. Důsledkem toho je zvýšení rozdílu hladin mezi znečištěnou kapalinou a filtrátem, kde rozhraní tvoří filtrační tkanina. Při maximálním dovoleném rozdílu hladin dojde k pootočení celé rotační části zařízení a následně k ostříku a očištění tkaniny oplachovými tryskami stlačenou kapalinou. Odstraněný filtrační koláč odtéká do tzv. kalového žlabu, který se nachází uvnitř dutého hřídele a je veden do usazovací nádoby.



Obr. 1.1 Diskový filtr [16]

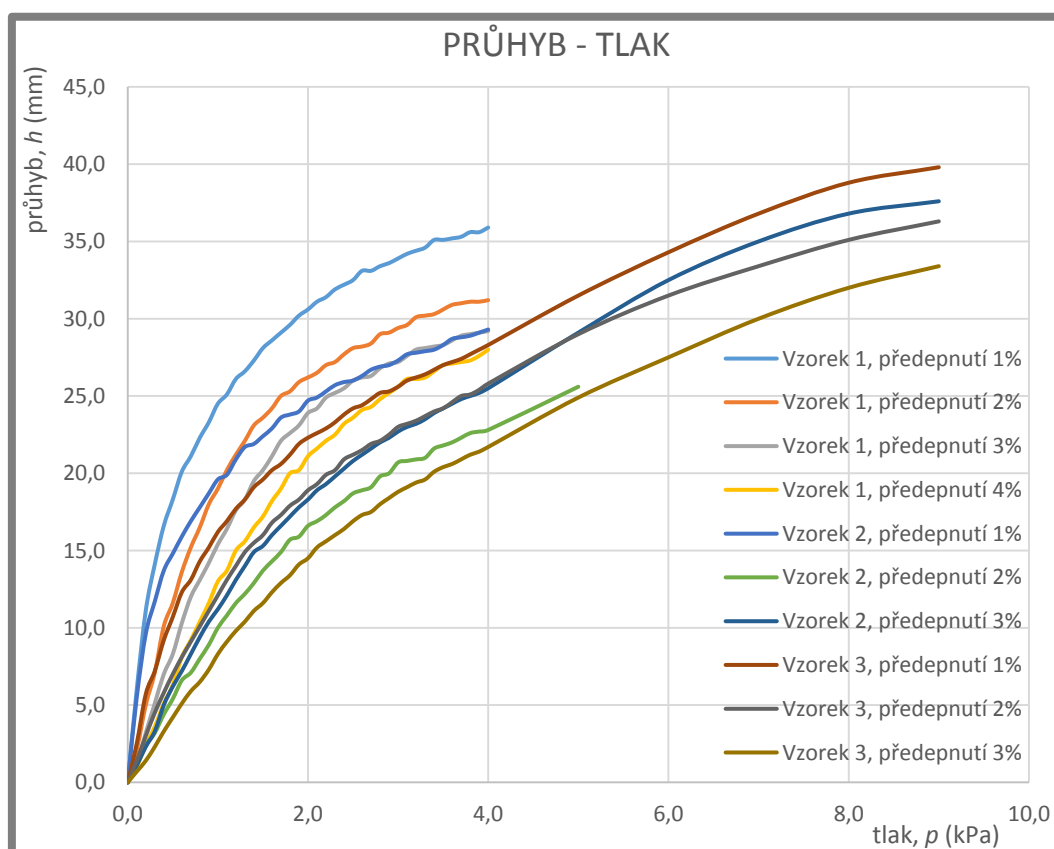


Obr. 1.2 Diskový filtr [2]

### 1.1.2 Průhyb tkaniny

V důsledku výškového rozdílu hladin na vstupu a výstupu dochází působením hydrostatického tlaku k průhybu tkaniny. Rozdíl hladin je řídicí jednotkou kontrolován v mezním rozsahu 100 až 150 mm [3].

1.1.2



Obr. 1. Graf průhybu filtrační tkaniny v závislosti na předeprnutí (procenta původní délky tkaniny) a tlaku: vzorek 1 – polyamid, vzorek 2 – polyamid PA6, vzorek 3 – polyester [17]

### 1.1.3 Předepínání filtrační tkaniny

Hlavním cílem předepínání tkaniny je eliminace jejího zvrásnění během ostříku tkaniny tlakovou kapalinou. Jako další důvod je nutné uvést snížení průhybu tkaniny způsobeného hydrostatickým tlakem při rozdílných výškách hladin. Výše uvedené vede na zvýšení filtračního výkonu zařízení, účinnější proces samočištění a eliminaci protržení tkaniny o ostatní části zařízení během otáčení rotační části jednotky. Nejběžněji se filtrační tkaniny po předepnutí lepí na rámy diskových segmentů použitím polyakrylátových lepidel.

Hodnoty samotného předpětí bývají výrobním tajemstvím každé z firem, nicméně velmi podobnou oblast představuje oblast sítotisku. Konkrétně ofsetové tiskařské stroje, u kterých je tisková matrice tvořena zpravidla podobnými či v mnoha případech dokonce stejnými tkaninami. Až v poslední době začínají výrobci tkanin reagovat na poptávku firem a spouští výrobu tkanin určených přímo pro filtrační jednotky. Maximální dosahované hodnoty předpětí jsou okolo hranice 40 N/cm.

### 1.1.4 Filtrační výkon a přesnost filtrace

Filtrační výkon jednotky ovlivňuje jak celková aktivní plocha tkaniny, tedy počet disků, tak pórovitost použité filtrační tkaniny.

V kombinaci s použitím pórovitější tkaniny s větším množstvím disků lze dosáhnout filtračního výkonu až 500 l/s (pórovitost 200  $\mu\text{m}$ , 24 disků). Oproti bubnovým jednotkám lze pak v případě diskových filtrů dosáhnout filtrace již od 5  $\mu\text{m}$  [3].

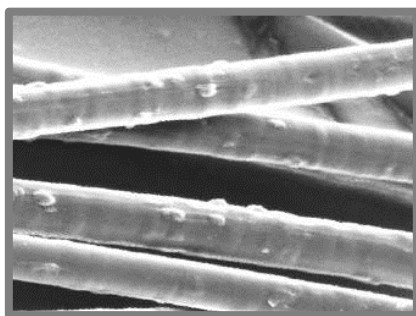
## 1.2 Filtrační tkaniny

Základním stavebním prvkem všech typů tkanin je příze. Základní rozdělení dle typu použité příze může být následující:

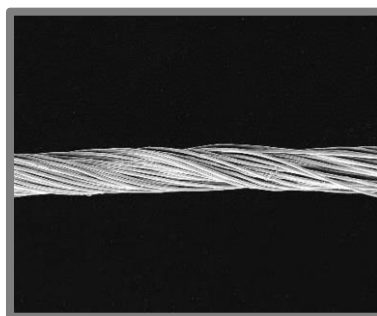
- Monofilament
- Multifilament
- Fibrilované vlákno
- Staplové vlákno (Stříž)

V literatuře lze pak nalézt celou řadu dalších druhů, nicméně výše uvedený výčet lze považovat za základní rozdělení pro obecnou orientaci.

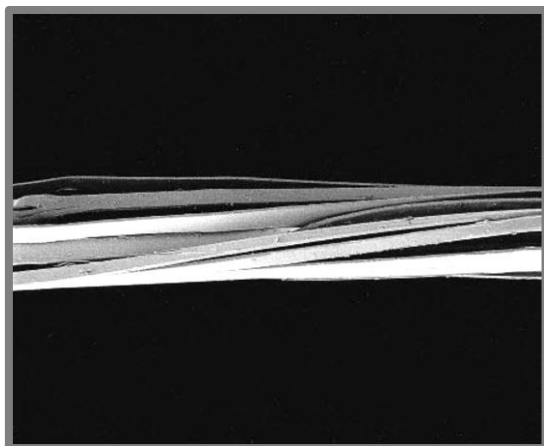
Monofilament je typ příze, která je tvořena pouze jedním syntetickým vláknem. Naproti tomu multifilament je příze tvořená větším počtem vláken [2].



Obr. 1.3 Monofilament [2]



Obr. 1.4 Multifilament [2]



Obr. 1.5 Fibrilové vlákno [2]

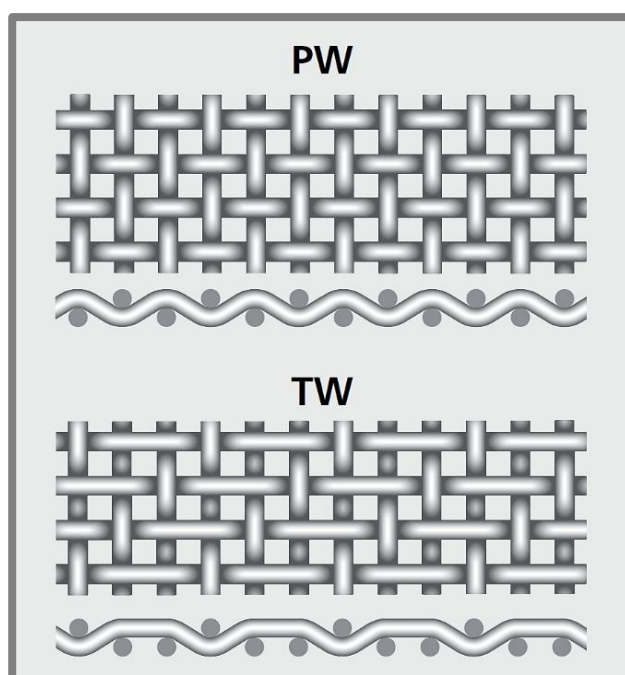


Obr. 1.6 Staplové vlákno [2]

Pro vytvoření tkaniny požadovaných vlastností, ať už filtrační či jiné, se vybraný typ příze spřádá do vhodné textilní vazby. Kombinací vhodného typu příze a vazby lze dosáhnout požadovaných vlastností výsledné tkaniny. Rozdíly lze nalézt v chování tkaniny pod napětím, pórovitostí či odolností proti aplikačnímu prostředí (mechanická, chemická, tepelná, apod.). Obdobně jako při rozdělení dle typu příze, lze tkaniny rozdělit dle spředené vazby na několik nejběžnějších typů a sice:

- Plátnová vazba
- Keprová vazba
- Atlasová vazba

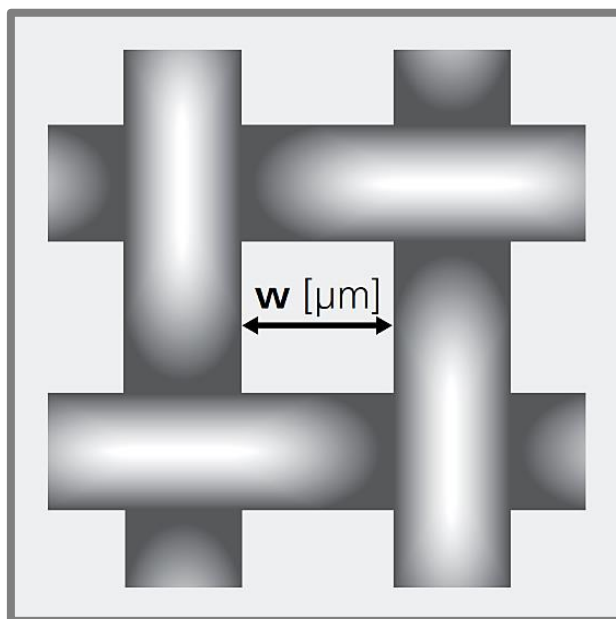
Nutno dodat, že jednotlivých typů vazeb je celá řada, přičemž použitá vazba zpravidla bývá uvedena v katalogových listech výrobců síťovin. Často lze však daný typ vazby odvodit také pouhým pohledem dle charakteristického povrchu tkaniny.



Obr. 1.7 Ukázka plátnové vazby (PW – plain weave), keprové vazby (twill weave) [22]

Nejčastěji používanými materiály pro filtraci jsou pak polyamid a polyester [4]. Vzhledem k chování tkaniny pod napětím se pro diskové filtry používají pouze polyesterové tkaniny. V případě použití polyamidové tkaniny dojde při jejím zvlhčení k odpružení a tedy ztrátě původního předpětí na rámu segmentu. Filtrační přesnost takovýchto síťovin se pohybuje v rozsahu 500 až 5  $\mu\text{m}$ .

Dalšími materiály mohou být polypropylen, polyethylen, polyphenylen sulfid, polyvinylidene fluorid a další, které mohou být vhodné pro jiný typ filtrace [4]. Cena metráže tkaniny se v závislosti na propustnosti pohybuje řádově od 500 Kč/m<sup>2</sup> až 2 000 Kč/m<sup>2</sup>.

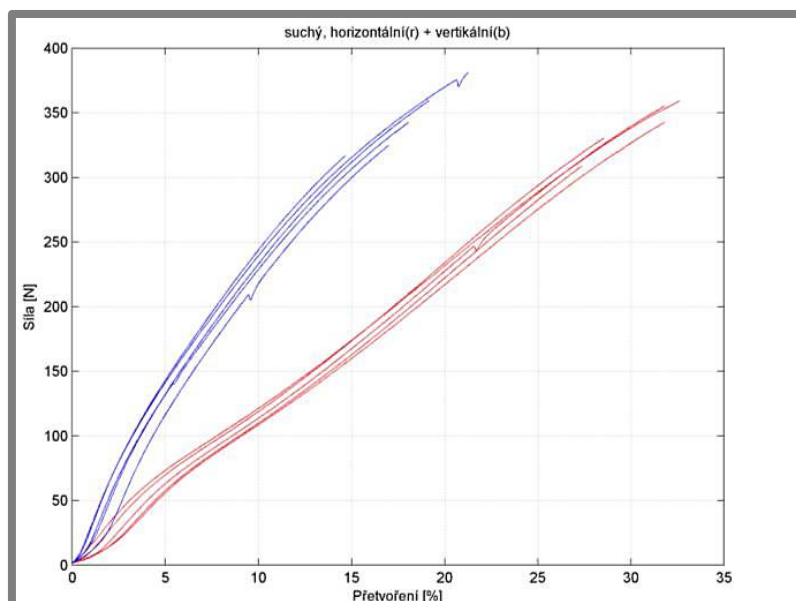


Obr. 1.8 Přesnost filtrace tkaniny [22]

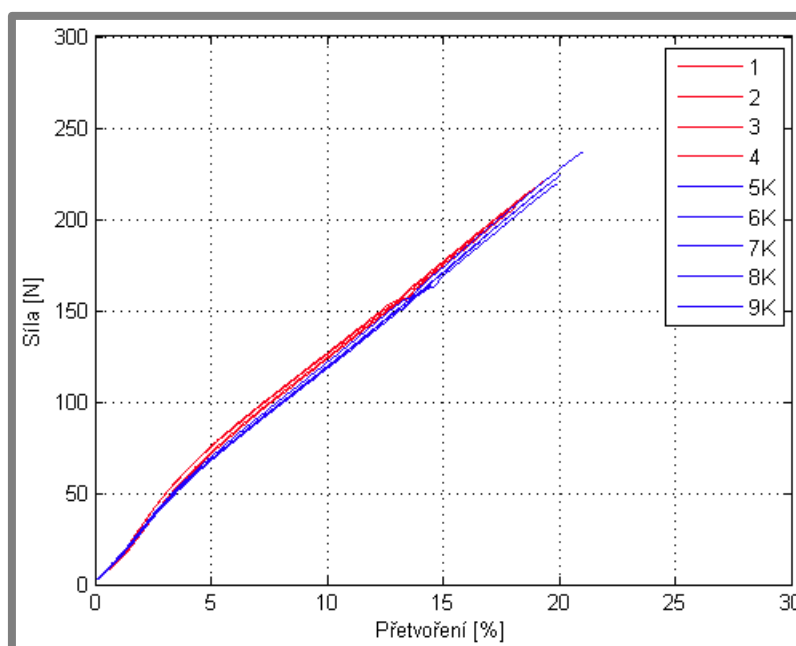
### 1.2.1 Mechanické vlastnosti

V minulosti byly ve spolupráci s firmou IN-EKO Team, v rámci projektu MPO: FR-T13/699, prováděny pevnostní tahové zkoušky vzorků filtračních tkanin. Měření bylo prováděno se suchými a mokřými (namočení ve vodě 24 hodin) vzorky s počátečním předpětím 1 N. Vzorky byly řezány CO<sub>2</sub> laserem na šířku 50 mm a aktivní délku 250 mm. Z výsledků měření vyplynula vyšší mechanická pevnost suchých vzorků, rozdíly se dle použitého vzorku tkaniny pohybovaly v rozsahu 3 až 20 %. Obdobně suché vzorky dosahovaly vyšší tažnosti v rozsahu 2 až 10 %. Tkaniny nevykazovaly výraznou mez kluzu, v závislosti na použitém materiálu tkaniny a její vazbě některé vzorky vykazovali zpravidla anizotropní mechanické vlastnosti ve směru útků a osnovy [5]. Naproti tomu používaná polyesterová tkanina vykazovala izotropní vlastnosti [6].

Z měření lze následně stanovit liniovou sílu potřebnou pro určení napínací síly pohonu zařízení. Respektive alespoň její rámcový odhad, vzhledem k většímu množství neznámých parametrů během provozu zařízení, jako je přesnost upnutí tkaniny kleštinami, rozdílné mechanické vlastnosti jednotlivých kusů tkanin, apod.



Obr. 1.9 Anizotropní vlastnosti - porovnání výsledků horizontálního a vertikálního vzorku - Monodur MON PES 13 - polyester (suchý) [5]

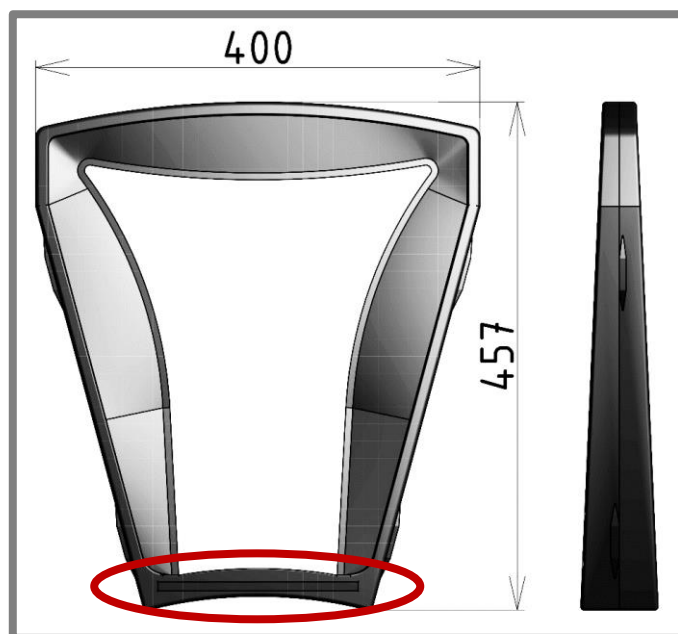


Obr. 1.10 Izotropní vlastnosti - tahové zkoušky síťoviny SEFAR PET 1500 180/460-27Y PW - polyester [6]

### 1.3 Rám segmentu

Jednotlivé disky jsou tvořeny 12 diskovými segmenty. Hlavní část segmentu potom představuje plastový rám (ABS), na který se zpravidla lepí předepnutá filtrační tkanina. Segment se dále zasazuje do vodících kolejnicí a následně je ze zajištěn fixačními šrouby. Pro utěsnění celého systému je mezi dutou hřídel a rám segmentu vloženo abrazivně odolné těsnění [3]. Vnitřní struktura rámu je pro lepší mechanické vlastnosti tvarově vyztužena žebrováním ve tvaru příhradové konstrukce. Další

vyztužení se potom nachází v místě připojení k duté hřídeli, kde jsou přidány ocelové plechy.



Obr. 1.11 3D model rámu segmentu, vyznačeno místo vyztužení ocelovými plechy

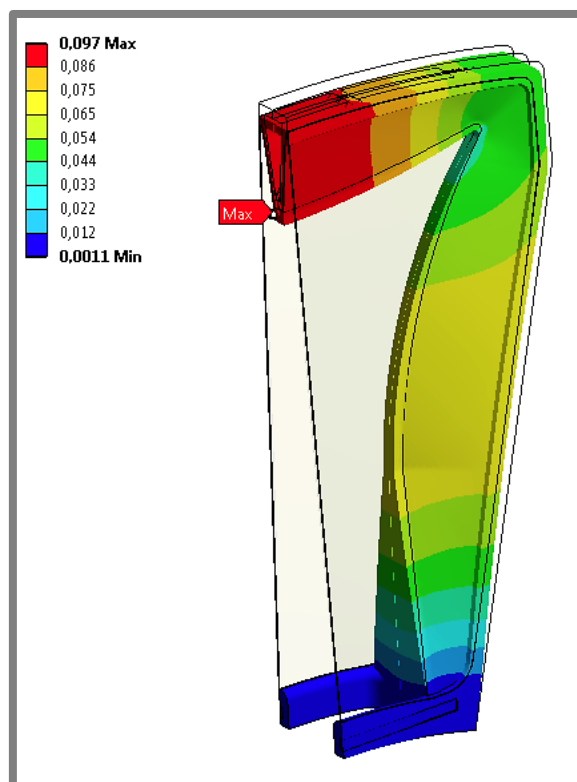
### 1.3.1 Pevnostní analýza a reverzní inženýrství

Jak již bylo v předcházejících kapitolách uvedeno, je vhodné zvolit co největší hodnoty předpětí tkaniny, aby docházelo k co nejmenšímu zvrásnění a průhybu. Při pohledu z druhé strany problému je nutné znát limitní možnosti rámu segmentu, tedy bezpečnost na mez pružnosti rámu při maximálních hodnotách předpětí. V minulosti byla proto na žádost společnosti IN-EKO Team provedena, Ing. Petrem Vosynkem z Ústavu mechaniky těles, MKP analýza rámu segmentu a následně stanoven koeficient bezpečnosti.

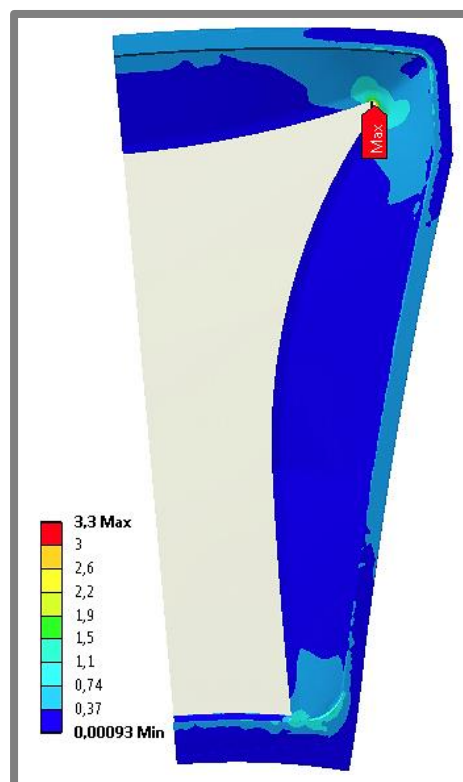
Rám diskového segmentu je vyroben z materiálu ABS metodou tlakového vstřikování platů. Analýza byla provedena pro jednotlivé výrobní kroky, kdy je tkanina na rám připevněna například pouze z jedné strany a nedochází tak k symetrickému namáhání rámu. Dále také pro konečný stav výroby a stav zajištění tkaniny v discích. Výpočtové modely vyhodnocují celkovou deformaci a redukované napětí dle podmínky HMM.

Liniové zatížení $q$ [ $\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	$k$ [1]		
	Krok 1	Krok 2	Krok 3
5	22,5	13,6	11,9
10	11,0	6,7	6,3
20	5,5	3,4	3,2
30	3,7	2,2	2,2
40	2,8	1,7	1,6

Obr. 1.12 Hodnoty bezpečnosti těla segmentu v závislosti na liniovém zatížení tkaniny při oboustranném napnutí tkaniny [14]



Obr. 1.13 MKP analýza – deformace rámu segmentu při oboustranném napnutí tkaniny (mm), liniové zatížení 5 N/cm [14]



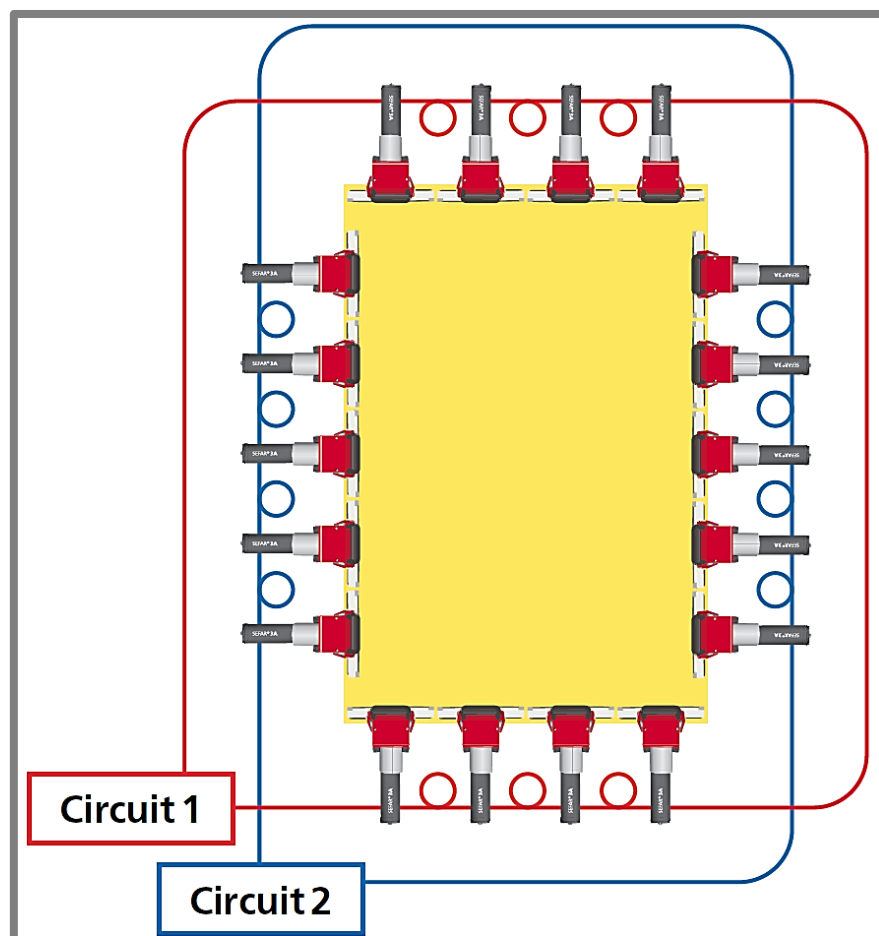
Obr. 1.14 MKP analýza – redukované napětí (dle HMH) těla segmentu při oboustranném napnutí tkaniny (MPa), liniové zatížení 5 N/cm [14]

Verifikace výpočtového modelu byla provedena za pomoci optické metody reverzního inženýrství (zařízení ATOS Triple Scan). Byla měřena deformace reálného segmentu současné technologie výroby. Při současné technologii výroby nejsou známy hodnoty dosahovaného předpětí a výsledné předpětí se nastavuje odhadem obsluhy výroby pouze na základě délkového přetvoření. Protože však rám segmentu nemá pravidelný tvar, je kratší strana tkaniny předepínána na větší hodnoty napětí při stejném prodloužení [6]. Srovnáním výpočtového modelu s výsledky reverzního inženýrství bylo vyhodnoceno průměrné liniové zatížení 5,4 N/cm, přičemž maximální hodnota činila 8,3 N/cm a minimální 4 N/cm [7].

## 1.4 Napínání

Konstrukce napínacích zařízení určených pro velkosériovou výrobu jsou zpravidla vždy firemním tajemstvím hrstky firem, které se produkcí diskových filtračních jednotek zabývají. Neexistují tak volně dostupné informace na danou tematiku. Lze se však inspirovat u zařízení určených pro sítotisk. Princip zůstává stejný, odlišnosti můžeme nalézt u použitých tkanin, rámu a napínacích sil.

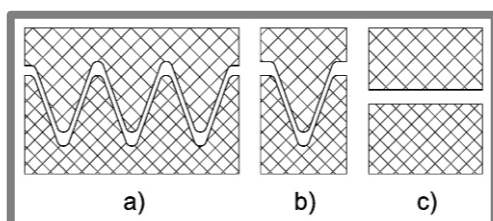
Schéma zařízení lze vidět na obr. 1.15. Hlavní část tvoří pneumatický systém, který je v tomto případě rozdělen na dva okruhy, z důvodu rozdílné délky stran tkaniny. Tkanina je pro požadované předpětí napínána ve dvou směrech (x, y), přičemž pro její zajištění se používají tzv. napínací kleštiny - obr. 1.17.



Obr. 1.15 Schéma napínacího zařízení společnosti SEFAR [21]

Kvůli velmi malým součinitelům tření povrchů síťovin je nutné vhodně zvolit tvarový profil napínacích kleští. Nejpoužívanější tvary jsou vidět na obr. 1.16.

Během testování mechanických vlastností tkanin se s výhodou používal tvar na obr. 1.16, typ c, kdy byla tkanina navíc přehnuta, a do místa ohybu byl vložen kruhový profil.



Obr. 1.16 Tvary napínacích kleští



Obr. 1.17 Napínací kleština firmy SEFAR s přímým napojením pneumatického válce [18]

## 1.5 Měření předpětí

Pro měření předpětí lze s výhodou použít digitální měřicí jednotku společnosti SEFAR - obr. 1.18. Případně pak klasických mechanických měřidel používaných především v textilním průmyslu. Měření se provádí separovaně pro směry útků a osnovy.

Pro samotnou kalibraci napínacího zařízení pro konkrétní předpětí stačí odečíst hodnoty tlaků v pneumatických okruzích. Tyto hodnoty lze dále používat pro následující výrobu. Není tak nutné provádět měření pro každý kus tkaniny. Nutné je však počítat s určitou odchylkou předpětí, která by ovšem neměla mít zásadní vliv na kvalitu výroby.



Obr. 1.18 Digitální měřidlo předpětí tkaniny – SEFAR TENSOCHECK 100 [18]

## 1.6 Lepení

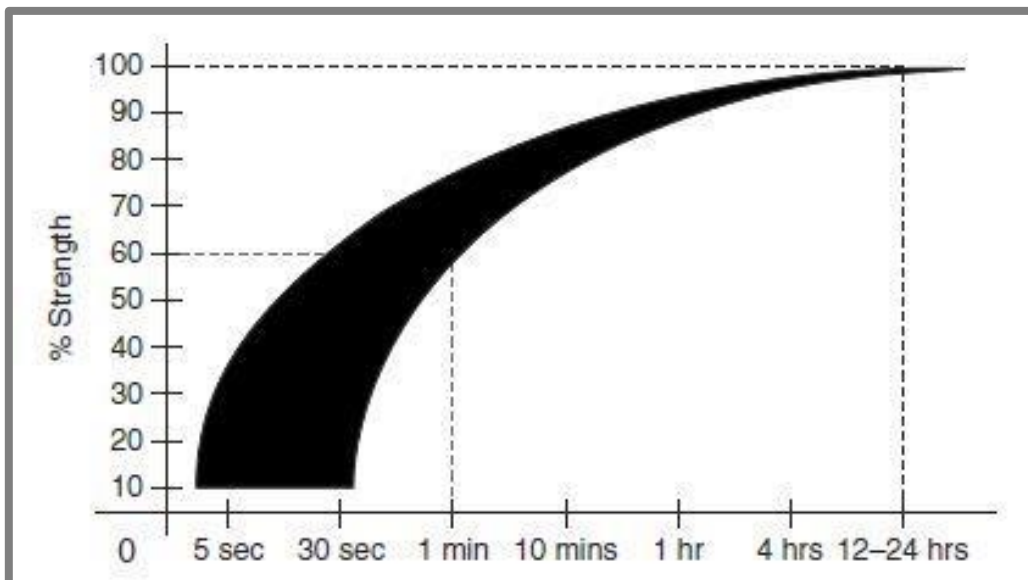
Lepení je nerozebíratelný způsob spojení dvou nebo více materiálů prostřednictvím lepidla. Lepené spoje by měli být primárně namáhány tečnou silou, aby byla zaručena požadovaná únosnost spoje. Velkou výhodou této technologie je zajištění těsnosti lepeného spoje. Schopnost utvořit lepený spoj je dána adhezí lepených povrchů a kohezí samotného lepidla. Faktory, které pak nejvíce ovlivňují kvalitu lepeného spoje, jsou následující [8]:

- Chemické složení povrchů a lepidla
- Fyzikální (povrchová energie, profil povrchů,...)
- Příprava povrchů
- Skutečné namáhání (tečné, normální,...)
- Pracovní prostředí (teplota, kapaliny,...)

Volba vhodného typu lepidla pro daný typ povrchů a provozního prostředí je klíčovou pro zajištění správné funkce. Hlavní používaná adhezivní lepidla jsou [9]:

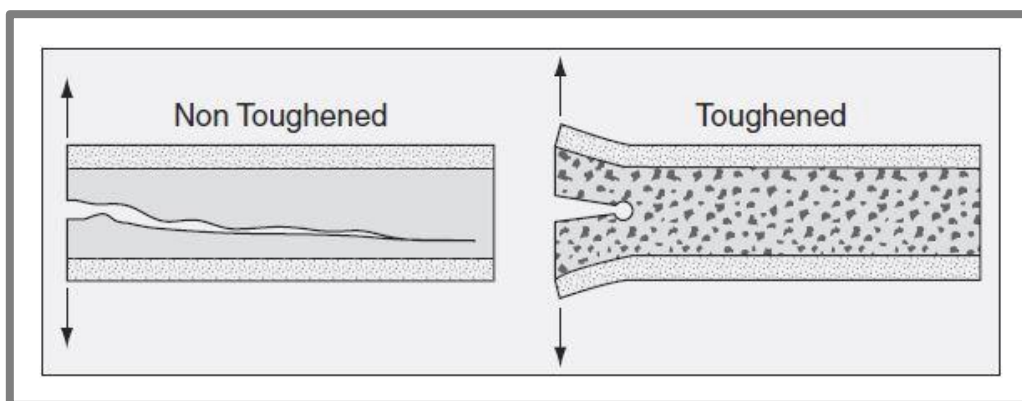
- Polyuretanová
- Kyanoakrylátová
- UV
- Akrylátová
- Epoxidy

Rámy diskových segmentů jsou vyráběné z materiálu ABS (akrylonitril-butadien-styren), pro lepení tohoto typu termoplastů je vhodné použít rozpouštědlových nebo polyuretanových lepidel. Je však nutné počítat se značnými časovými nároky na vytvrzení [9].



Obr. 1.19 Vytvrzování kyanoakrylátových lepidel [9]

Pro zlepšení mechanických vlastností spoje se do lepidel mohou přidávat pryžové částice, jejich vliv je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 1.20 Vliv pryžových částic [9]

### 1.6.1 Alternativní technologie

Jako další způsob pro zajištění těsného spojení je nutné zmínit technologii svařování plastů. Tento způsob je však často provázen delaminací spoje [10].

Firma IN-EKO Team však prováděla vlastní experimentální testy navařování filtrační tkaniny na rámy segmentů. Princip byl v použití tepelného nože o teplotě cca 220 až 230 °C, což odpovídá teplotě tavení materiálu rámu (ABS). Doba přivaření se pohybovala v rámci sekund. Výsledky testů jasně ukázaly vhodnost toho přístupu a tedy i prostor pro vývoj nového přístupu ve výrobě diskových segmentů.

## 1.7 Napínací pohon

Z hledisky vyvinutí síly předpětí máme v obecné rovině celkově 5 možností, a sice pohon:

- Elektrický
- Manuální
- Pneumatický
- Hydraulický
- Spalovací

Poslední jmenovaný je spíše teoretickým možným řešením, ne však prakticky realizovatelným. Z pohledu elektrického či manuálního pohonu, by se jednalo o převedení rotačního pohonu na lineární. Jako elektrický pohon lze využít AC či DC motory ve spojení s pohybovým šroubem, v případě manuálních pak motory nahrazuje lidská síla. V obou případech je nutný požadavek na samosvornost převodového systému.

V kontextu s existujícími řešeními pohonu napínacích zařízení pro tiskařské stroje se pro hromadnou výrobu užívá pneumatiky či hydrauliky. V tomto duchu bude dále probíhat konstrukční návrh zařízení, čím se získá snadno ovladatelný systém pohonu spolu se snadným nastavením předpětím v závislosti na tlaku tlakového média.

### 1.7.1 Pneumatický vs hydraulický systém

Běžný pneumatický systém pracuje nejčastěji s prvky, které mají maximální dovolený tlak 7 až 10 barů. Což odpovídá pracovnímu tlaku běžně dostupných kompresorových jednotek. Pneumatické válce se vyrábějí ve dvou provedeních jako jednočinné a dvočinné. U jednočinných pneumatických válců je návratová síla pístnice řešena pomocí pružiny, u dvočinných formou dalšího přívodního šroubení [11]. Pro maximální předpětí 40 N/cm, je třeba pro delší stranu tkaniny vyvinout sílu cca 1 964 N (pro délku strany 490 mm). Ze základního vzorce,

$$p = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

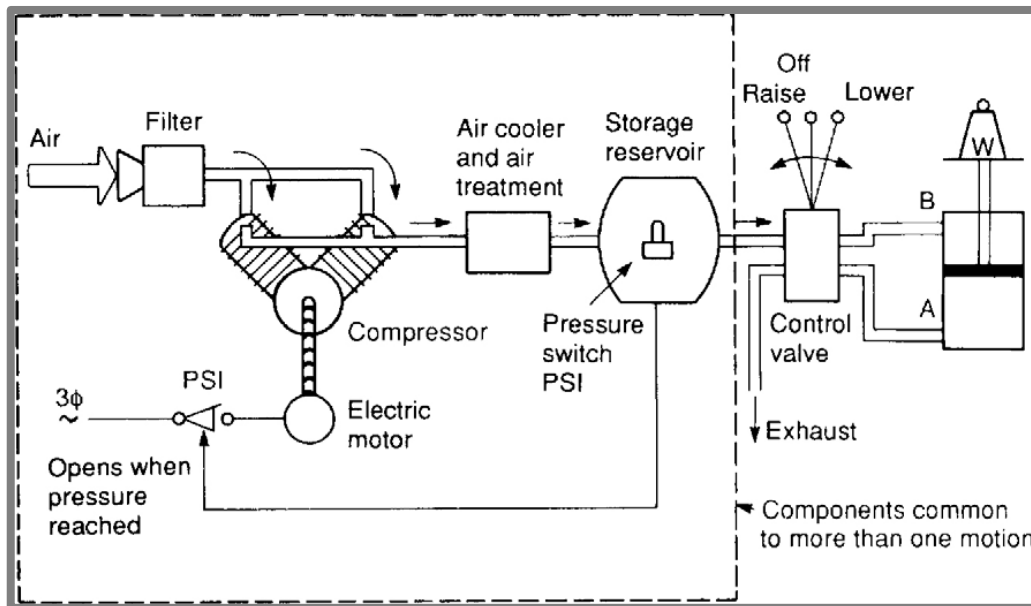
$$S = \frac{F}{p} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1\,964}{\pi \cdot 0,6}} = 64,5 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{63 \text{ mm}} \quad (1.2), (1.3)$$

kde:

$p$	MPa	- tlak ve válci
$F$	N	- vysouvací síla válce
$S$	mm <sup>2</sup>	- plocha pístu
$d$	mm	- průměr pístu

lze snadno dopočítat potřebný průměr pneumatického válce. Uvedený výpočet je orientační a nezahrnuje ztráty, ale napomůže při základních koncepčních návrzích.

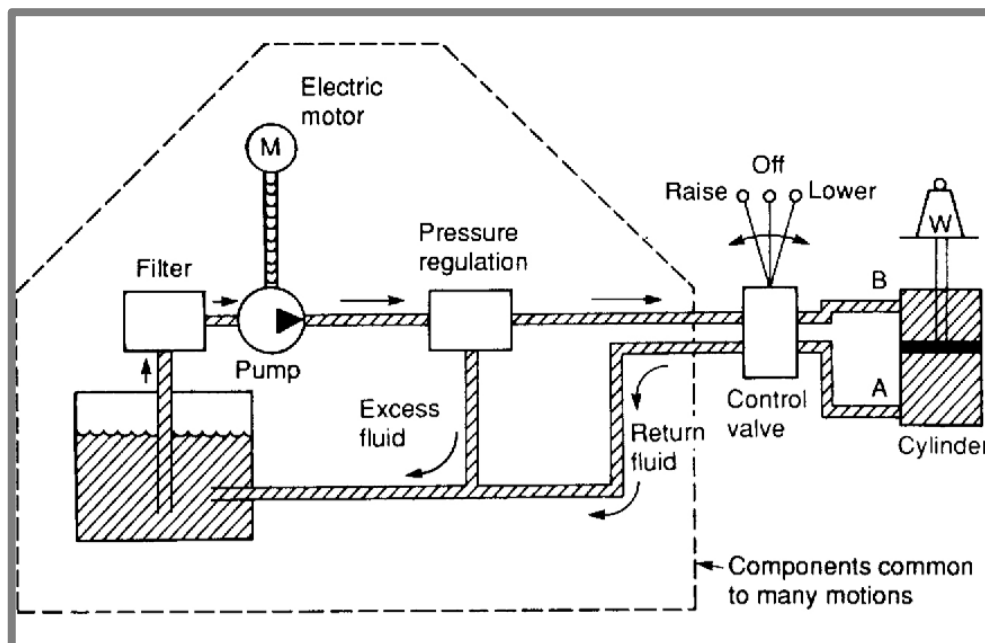
V porovnání s hydraulikou je zde snazší dostupnost, vedení a filtrace tlakového média (nejčastěji vzduchu). Nevýhodou může být hlučnější provoz kompresorové jednotky.



Obr. 1.21 Obecné schéma pneumatického systému [11]

Hydraulický systém pracuje při podstatně vyšších tlacích, běžně okolo 150 bar. V důsledku toho je možná volba menších průměrů válců. Pro srovnání při použití hydrauliky bychom pro stejné předpětí, z výše uvedeného orientačního výpočtu, potřebovali průměr pístu válce pouze ~13 mm.

Nevýhodou je však vedení hydraulické kapaliny a nutnosti použití hydraulického generátoru, s čímž souvisí důsledná kontrola a údržba stavu tlakového média a jeho případná finančně náročná výměna. Celková cena je pak s uvážením provozních nákladů zásadně vyšší. [11]



Obr. 1.22 Schéma hydraulického systému [11]

## 1.8 Rychloupínky

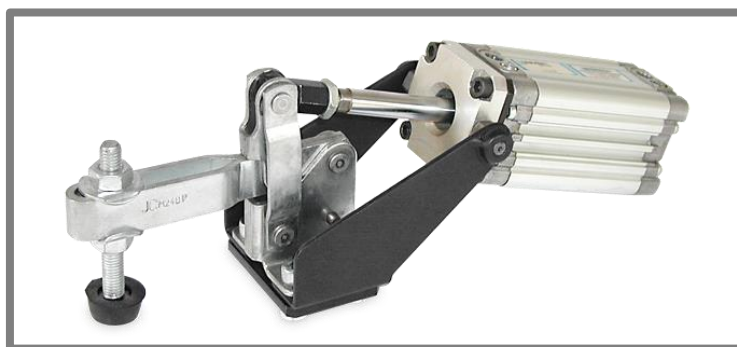
Vzhledem k předpokladu velkosériové výroby segmentů je nutné snížit časovou zátěž na každý výrobní krok. Obecně napínací zařízení obsahují větší množství kleštin, kde se tak nabízí prostor pro značnou časovou úsporu. Používaná řešení využívají nejčastěji manuálních rychloupínek, jako nejideálnější se však jeví zakomponování pneumatických rychloupínek. Další možností může být vytvoření atypické upínací kleštiny pro dané konstrukční řešení.

Manuálně ovládané rychloupínky nacházejí uplatnění v celé řadě technických oborů a slouží jako účinný nástroj pro uchycení obrobků, svarků, desek, tkanin, apod. Primárně se však využívají pro aplikace, kde není nutná automatizace, tedy nejedná se o velkosériovou výrobu. K dispozici jsou v celé řadě provedení jako vodorovné, svislé, přímé, hákové, apod.



Obr. 1.23 Manuální vodorovná rychloupínka [24]

Naproti tomu pneumatické rychloupínky umožňují plnou automatizaci, kdy je lidská síla nahrazena zpravidla dvojčinným pneumatickým válcem se snímáním polohy pístnice. V závislosti na jejich konstrukci je lze používat v lehkém či těžkém provozu.



Obr. 1.24 Pneumatická vodorovná rychloupínka [23]

## 1.9 Lineární vedení

Prodloužení předepnuté tkaniny pro jeden segment může být až 30 mm. K dosažení co nejrovnoměrnějšího napnutí je proto nutné zajistit volný pohyb uchycujících kleštin v paralelním směru stran tkaniny. Nabízí se tedy implementace lineárního vedení do konstrukčního návrhu. Nutno však poznamenat, že některá konstrukční řešení jsou realizována samostatnými napínacími kleštinami (jednotkami) umístěnými po obvodu tkaniny, které jsou k pracovnímu stolu přichyceny přes čepové uložení - obr. 1.17 [12]. Nicméně tato řešení mají značné limity, co se rovnoměrnosti napnutí týče, a proto pokročilejší systémy využívají zpravidla lineárního vedení.

Z pohledu výběru konkrétního lineárního vedení je na trhu k dispozici celá řada produktů. Základní selekce může být provedena zejména dle **typu** (kluzná, valivá), požadované **přesnosti chodu** a axiální, radiální **zatížitelnosti** jednotlivých rolen.

Z pohledu výrobce se pak nabízí značně levnější asijské výrobky, nicméně z vlastních zkušeností často dochází k poškození součástí a náklady na odstávku a případné prodloužení výroby převyšují pořizovací úsporu.

Pro napínací zařízení však není nutná volba velmi přesných systémů, jako dostačující se jeví systém rolničkového vedení.

## 1.10 Pneumatika

Následující část je věnována popisu pneumatických prvků. Cílem kapitoly není detailní popis všech pneumatických prvků dostupných na trhu, ale prvků, které inklinují ke konstrukčnímu návrhu.

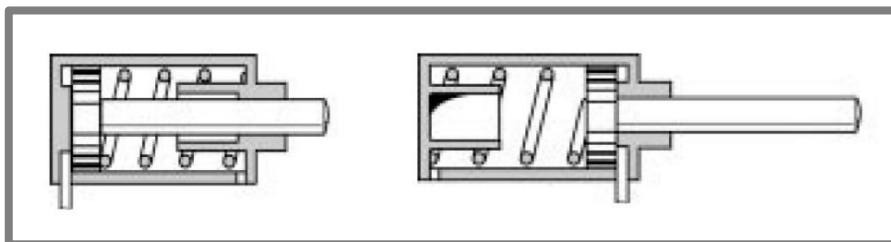
### 1.10.1 Pneumatické válce

Pneumatické válce jsou mechanickým prvkem, který za pomoci přivedeného tlakového média (nejčastěji vzduchu) převádí „stlačenou“ energii na mechanický lineární pohyb. Díky své jednoduchosti a dostupnosti zdroje tlakového média jsou často využívány pro různé průmyslové či domácí aplikace. Teoretická síla válce se vypočítá ze vztahu (1.1). Tomuto vztahu odpovídá vysouvací síla válce, zasouvací síla je pak menší o odečtenou hodnotu velikosti plochy pístní tyče (dvojitý válec).

V návrhu je však nutné počítat s reálně vyvoditelnými silami, které jsou menší vlivem tření ve válci či tlakovými ztrátami ve vedení. Reálné hodnoty bývají uvedeny v katalogových listech výrobců. K dostání jsou v úpravě pro speciální aplikace jako je potravinářský průmysl, kde musí splňovat hygienické parametry, pro vysoce korozní prostředí, pro výbušné prostředí, pro vysoké teploty, apod. Pro plně automatizované aplikace se vyrábí válce s magnetickou pístnicí, jejíž poloha tak může být kontrolována bezkontaktními snímači. Pro eliminaci rázů lze zakoupit válce s regulovatelným tlumením krajních poloh, které je realizováno škrcením vzduchu ve vypouštěné části válce.

#### Jednočinné pneumatické válce

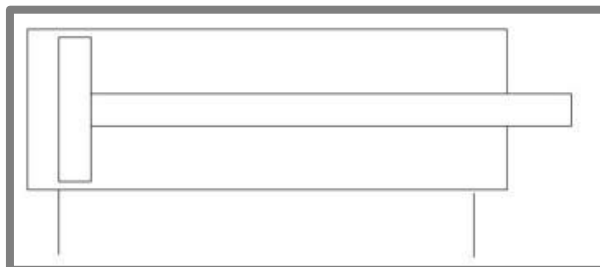
Válec je vybaven pouze jedním připojovacím šroubením, pneumatická síla je tedy vyvinuta pouze v jednom směru a klidové polohy pístnice je docíleno tlačnou pružinou. Ideální aplikací mohou být případy, kdy je nutné vyvinout sílu pouze v jednom směru, nicméně i přes to se častěji využívá dvojitých válců.



Obr. 1.25 Jednočinný pneumatický válec s klidovou polohou: a) se zasunutou pístnicí (vlevo); b) s vysunutou pístnicí (vpravo) [13]

### Dvojčinné pneumatické válce

U dvojčinných pneumatických válců je potřebná síla vytvořena přivedením stlačeného vzduchu do příslušné komory. Válec je tak schopen vykonávat práci v obou směrech a oproti jednočinným válcům se vyznačuje rovnoměrnějším a rychlejším pohybem. Pohyb pístnice tak zároveň není ovlivňován stlačováním vratné pružiny.



Obr. 1.26 Dvojčinný pneumatický válec

#### 1.10.2 Ventily

1.10.2

V pneumatickém systému slouží ventily k usměrnění a řízení proudu stlačeného média a tím i k nastavení chování celého systému. Na základě jejich funkce je lze rozdělit do 4 základních kategorií na [12]:

- řízení směru proudu média
- uzavření, hrazení proudu média (pojistný ventil, logický ventil, zpětný ventil, apod.)
- regulace velikosti tlaku média
- regulace průtoku média

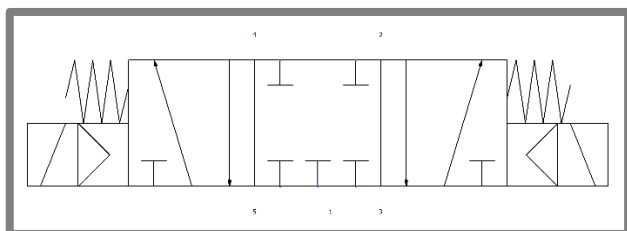
Při výběru konkrétního typu ventilu je nutné provést další selekci dle následujících parametrů [12]:

- počet vstupních a výstupních kanálů
- počet poloh (stavů)
- ovládání ventilu
- směr a průtok tlakového média v jednotlivých polohách ventilu
- závit šroubení
- maximální dovolený tlak

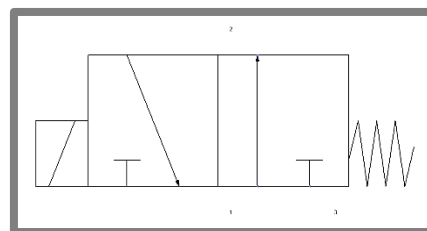
Jednou ze základních charakteristik ventilu je tedy počet vstupních, výstupních kanálů a počet poloh. Tyto informace jsou obsaženy v názvu samotného ventilu a označují se za pomoci zlomku, např. 3/2, 4/2, 5/3, apod. První číslo udává celkový počet kanálů a druhé charakterizuje počet poloh ventilu. V případě ventilu 3/2 se tak jedná a třicestný dvoupolohový ventil. Protože se ventily vyrábějí s rozdílnými tzv. klidovými stavy, bývá název doplněn písmeny NC, v případě klidově uzavřeného ventilu (normally closed) nebo písmeny NO, kdy je ventil v klidovém stavu otevřen (normally open).

Změnu polohy ventilu lze provést manuálně či mechanicky například prostřednictvím přítlačné kladky, páky, tlačítkem, apod. [12].

Pro automatizovaná zařízení se však používají zpravidla elektromagneticky ovládané ventily, které mohou být řízeny **přímo** či **nepřímo**. V případě přímého ovládání je změna polohy ventilu provedena přivedením el. proudu na ovládací cívku, kdy působením pouze magnetického pole dojde ke změně polohy ventilu. V případě nepřímého ovládání je na cívku opět přiveden el. proud, nicméně magnetické pole má pouze inicializační funkci, kdy změna polohy je asistována působením tlakového média v systému. Výhodou je použití méně výkonných cívek, avšak v případě nízkého tlaku v systému je změna polohy nemožná. Proto je v katalogových listech uváděn minimální pracovní tlak ventilu. Nejčastěji se lze setkat právě s nepřímým ovládáním.



Obr. 1.27 Značka elektromagneticky nepřímo ovládaného 5/3 ventilu NC



Obr. 1.28 Značka elektromagneticky přímo ovládaného 3/2 ventilu NO

Pro tvorbu pneumatických schémat lze využít volně dostupných pneumatických značek v cadovských formátech, nicméně se zde nabízí použití specializovaných softwarů, které umožňují návrh a simulaci celého systému a tedy i možnost odzkoušení časování ventilů a zobrazení průběhu tlaků (např. Automsim Premium). Pro některé aplikace však mohou stačit volně dostupné programy sloužící pouze k základnímu návrhu a případné objednávce dle katalogových čísel. Jako zástupce lze zde uvést program PneuDraw od společnosti SMC.

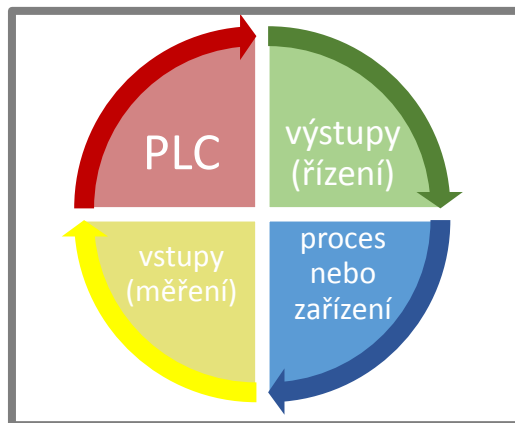
## 1.11 Řízení - PLC

Z pohledu řízení lze nalézt možnosti ve využití základních PLC jednotek či komplexnější řídicích systému jako je např. Sinumerik společnosti SIEMENS. Vzhledem k požadavku jednoduchých operací napídacího zařízení, jejichž nastavení se během výroby nemění, lze za plně dostatečné řešení považovat použití PLC jednotky. Proto se následující část práce bude věnovat pouze popisu tohoto typu řízení.

PLC je anglickou zkratkou Programmable Logic Controller tedy programovatelný logický automat. Zjednodušeně lze PLC charakterizovat jako mikropočítač, který je svým hardwarem a operačním systémem přizpůsoben zejména pro průmyslové aplikace. Vyniká výbornou odolností proti provoznímu prostředí (rázy, prach, vlhkost, elektromagnetickému rušení, apod.). Z pohledu operačního systému se jedná o vysoce spolehlivý prvek. PLC je alternativním řešením ke komplexním elektromechanickým řídicím systémům (reléovým). PLC jednotky řeší hlavní nevýhody reléového řízení, u kterého je náročné změnit řídicí funkci (pevné zapojení), a jejich nákladné a časově náročné uvádění do provozu [13].

Dle normy IEC 1131-1 se jedná o číslicový elektronický systém navržený pro průmyslové použití. Pro definici uživatelsky orientovaných instrukcí využívá přívětivé programové prostředí. Ovládací, respektive ovládané periferie jsou k jednotce připojeny přes digitální či analogové vstupy, respektive výstupy. Požadovaná činnost jednotky je definována specifickými funkcemi pro logické operace, vytváření

sekvencí, časování, čítání a pro aritmetické výpočty [13]. Napájení PLC může být umístěno přímo v jednotce či jako připojitelný modul, k dostání jsou jednotky jak pro stejnosměrné tak střídavé napětí v rozsahu od 5V (DC) do 250 V (AC). Reálné aplikace lze nalézt např. při řízení strojů, procesů, pohybů, budov, apod.



Obr. 1.29 Schéma PLC řízení [13]

PLC automaty lze členit dle následujících charakteristik [13]:

- **velikost** – dělení podle počtu vstupů/výstupů (I/O). K dostání jsou jednotky **mikro** (<20 I/O), **malé** (<128 I/O), **střední výkonnostní třídy** (128 až 512 I/O), **nejvyšší výkonnostní třídy** (I/O v řádu tisíců). Od střední výkonnostní třídy jsou jednotky tzv. modulární, kdy je počet potřebných vstupů či výstupů nadstaven připojitelnými moduly. Vyšší třídy také často disponují možností online komunikace s PC, kdy lze jejich činnost řídit manuálním zásahem.
- **provedení** – dělení podle výrobního provedení na **kompaktní**, kdy je jednotka umístěna v celistvém pouzdře, což usnadňuje její montáž. Nevýhodou je absence možnosti rozšíření o další komponenty jako je ovládací displej, rozšíření I/O, apod. Dalším zástupcem je **modulární** provedení, které je zaměřeno na nejširší spektrum aplikací. Toto řešení vyniká zejména bohatými možnostmi rozšíření (rozšíření I/O, komunikace s PC, bezdrátová komunikace, apod.). Přídavné moduly jsou k dostání v provedení pro připevnění na DIN lištu, do racku nebo jako zásuvné karty. Nejpokročilejší variantou, která může být jak v kompaktním tak modulárním provedení jsou tzv. **OPLC** (Operator panel & Programmable Logic Controller), často se uvádí i zkratka **HMI** (Human Machine Interface). Tyto jednotky jsou oproti výše zmíněným rozšířeny operačním panelem, kterým je možné obsluhou výroby vybírat konkrétní program či přímo provádět jeho změny - obr. 1.30.
- **počet CPU** – hlavní částí zařízení je výpočtová jednotka/y, která klíčovým způsobem ovlivňuje výkon automatu, potažmo celého zařízení či systému. S počtem CPU se nutně váže i velikost jednotek, kdy jednotky do 128 I/O jsou zpravidla vybaveny pouze **jedním procesorem**. Takové jednotky mohou umožňovat tzv. multitasking, kdy jeden procesor zvládá kvaziparalelní běh několika procesů, čímž je zvýšen celkový výkon a stabilita automatu. Pro náročnější aplikace jsou PLC automaty řešeny jako modulární, kdy je každý z přídavných modulů vybaven vlastním procesorem. Ty v sestavení umožňují tzv. multiprocessing, kdy je umožněn běh více procesů současně.

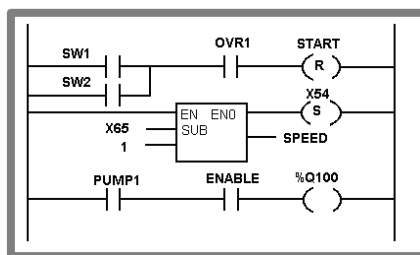


Obr. 1.30 HMI modul s dotykovým displejem společnosti SIEMENS [13]

### 1.11.1 Programování PLC automatů

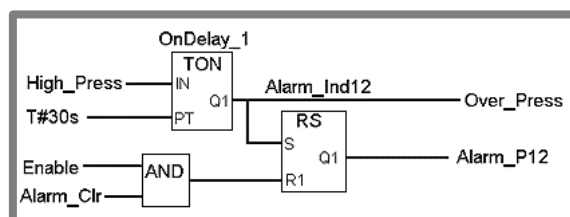
Činnost PLC automatu potažmo celého zařízení je jasně definována řídicím programem, který bývá nejčastěji nahrán do vnitřní paměti PLC jednotky, případně může být jeho činnost řízena online komunikací s PC. Cyklicky čtené vstupní signály z připojených prvků (snímače, tlačítka, apod.) jsou dle definované posloupnosti instrukcí vyhodnoceny a následně je poslán signál na výstupní konektory automatu. K těm mohou být přímo připojeny ovládané prvky nebo v případě velkých výkonů reléové spínací moduly či jiné prvky. Způsob, kterým vytvořený program komunikuje s PLC, je dán tzv. programovacím jazykem. Pro standardizaci se programovací jazyky řídí dle normy IEC 61131-3 a jsou rozděleny do následujících kategorií [13]:

- **Ladder Logic** – Nejpoužívanější programovací jazyk, který je založen na reléových digramech.



Obr. 1.31 Příklad programu v jazyce Ladder Logic [13]

- **Function Block Diagram** – Činnost je definována souborem funkčních bloků, které jsou mezi sebou a s I/O spojeny signálovými linkami.



Obr. 1.32 Příklad programu v jazyce Function Block Diagram [13]

- **Structured Text** – Vyšší textový programovací jazyk. Syntaxe je blízká programovacím jazykům, jako je „PASCAL“ či „C“. Celý program je psán strukturovaným kódem s podporou iteračních smyček. Používá se u složitějších aplikací, kdy by bylo použití grafického zápisu velmi komplikované.

```

If Speed1 > 150.0 then
  Flow_Rate: = 75.0 + Offset_A1;
Else
  Flow_Rate: = 100.0; Steam: = ON
End_If;
    
```

Obr. 1.33 Příklad programu v jazyce Structured Text [13]

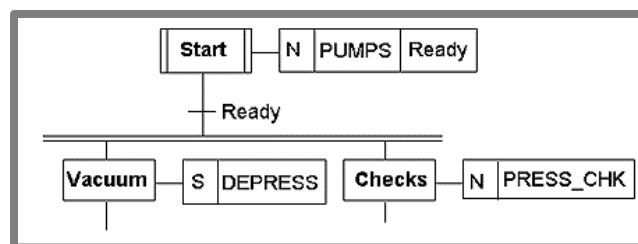
- **Instructions List** – Nižší textový programovací jazyk. Vhodný pro jednoduché aplikace s požadavkem na rychlost řízení. Každý řádek představuje jednu instrukci a je složen z operandu a modifikátoru.

```

LD R1
MPC RESET
LD PRESS_1
ST MAX_PRESS
RESET: LD 0
ST A_X43
    
```

Obr. 1.34 Příklad programu v jazyce Instructions List [13]

- **Sequential Function Charts** – Používá se obvykle ke kontrole či vizualizaci složitých programů psaných v jiných jazycích. Není plnohodnotným programovacím jazykem.



Obr. 1.35 Příklad programu v jazyce Sequential Function Charts [13]

Při samotném programování je pro určité aplikace nutné brát v úvahu i reakční dobu, která může být až dvojnásobná oproti době vykonání cyklu [13]. Programovací software je závislý na výrobci hardwaru, výrobci však často poskytují minimálně tzv. demo verzi, která je časově omezena. Jako příklady mohou posloužit programy jako LOGO!Soft společnosti SIEMENS, Festo FST společnosti Festo, apod.

## 2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 2.1 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše

Z předcházející rešerše současného stavu poznání si lze udělat představu o významu filtračních jednotek. Současný trend a potřeby trhu jenom potvrzují důležitost kapalinového hospodářství ať už z pohledu ekonomického či ekologického. V oblasti filtrace jsou primárními kritérii především filtrační přesnost, výkon, zástavbové prostory zařízení a náklady na provoz či servis.

Vhodným předepínáním filtrační tkaniny na rámy diskových segmentů se zvyšuje míra její vyčištění ostřikem tlakové kapaliny (ochrana před zvrásněním tkaniny) a eliminuje se průhyb tkaniny vyvolaný hydrostatickým tlakem.

Na základě dosavadních zkušeností firmy se použije tkanina z polyesterového materiálu, která dle provedených tahových zkoušek vykazuje izotropní mechanické vlastnosti [6]. Zároveň oproti polyamidových tkaninám u ní nedochází po nalepení na rám segmentu vlivem vlhkosti k povolení předpětí.

V minulosti provedená MKP analýza rámu segmentu, spolu s ověřením jejich výsledků za pomoci reverzního inženýrství, vyhodnocuje míru bezpečnosti rámu na mez pružnosti, kdy při aplikování maximálních hodnot předpětí (40 N/cm) je bezpečnost rámu rovna 1,6 [14]. Nutno poznamenat, že při reálném napínání se počítá s aplikací maximálního předpětí 30 až 35 N/cm.

Firma v současnosti provádí vývoj tepelného nože, kterým bude tkanina přivařena na rám segmentu. Dosavadní výsledky zkoušek potvrzují vhodnost tohoto přístupu a oproti současnému lepení tkaniny za pomoci polyakrylátových rozpouštědlových lepidel umožní násobné zkrácení výrobních časů, při zachování funkčnosti spoje.

Návrh konstrukce bude inspirován již realizovanými řešeními v oblasti sítotisku. Hlavní rozdíly v konstrukci lze nalézt v procesu připevnění tkaniny a míře automatizace výrobního procesu. Jedná se tedy o specifickou konstrukci určenou pro konkrétní aplikaci.

V oblasti pohonu se jako nejvýhodnější jeví využití pneumatiky. Porovnáním obecných možností, zejména pneumatiky a hydrauliky, pak vybranou variantu upřednostňují nižší pořizovací a provozní náklady, jednoduchost řešení a v tomto případě i již dostupný zdroj tlakového média.

Pro částečnou automatizaci zařízení byly vybrány pneumatické rychloupínky, jejichž zdroj tlakového média, respektive cívky nepřímo elektromagneticky ovládaných ventilů jsou řízeny PLC jednotkou LOGO! společnosti SIEMENS.

---

### 2.2 Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je konstrukční návrh zařízení pro napínání a upevnění filtrační síťoviny na segmenty diskového filtru. Konstrukční návrh bude obsahovat v co největší možné míře standardizované díly a prvky, aby byly zajištěny co nejnižší výrobní náklady.

Napínací zařízení je určeno pro sériovou výrobu a musí umožňovat předepnutí síťoviny až 40 N/cm. Tkanina bude napínána pouze pro jeden segment a s možností regulace napínací síly, přičemž bude využito pneumatického pohonu. Bude kladen důraz na rovnoměrnost předepnutí síťoviny a obsluhu zařízení maximálně jedním

pracovníkem. Návrh tepelného nože a jeho implementace do výsledného řešení není součástí této práce, ten bude součástí vlastního vývoje zadavatelské firmy IN-EKO Team. Přebytečná část tkaniny bude oříznuta manuálně mimo napínací zařízení.

Součástí práce je i návrh a výroba experimentální kleštiny a s její pomocí ověření funkčnosti návrhu napínací kleštiny formou experimentu. Výstupem práce je funkční vzorek.

### 3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

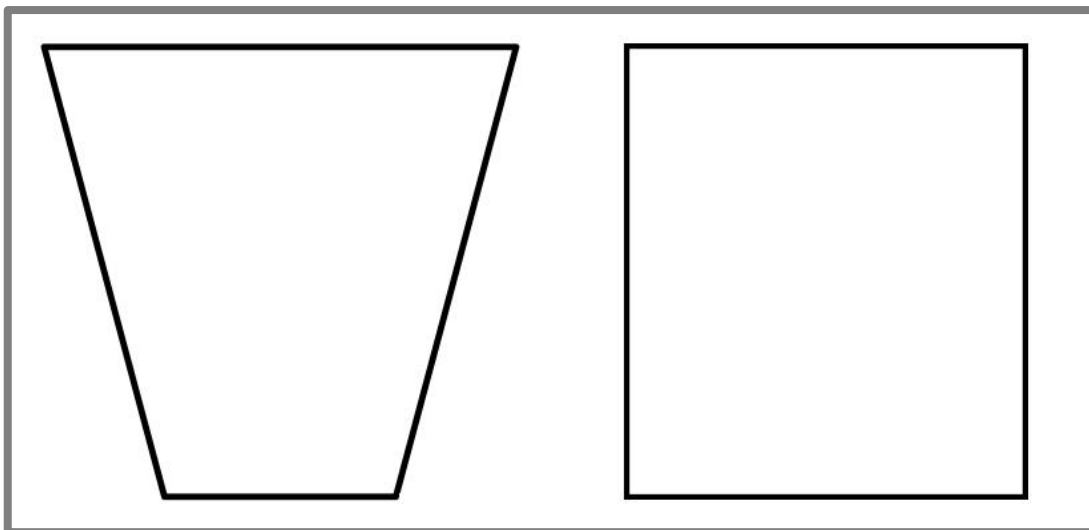
Pro řešení práce byla vybrána analyticko – syntetická metoda, která dobře koresponduje s charakterem řešeného problému. Konstrukční návrh byl rozdělen do dvou hlavních etap řešení, a sice MKP analýzy chování filtrační tkaniny během napínání a na jejím základě potom návrh samotné konstrukce.

Prvním krokem bude vytvoření zjednodušených koncepčních řešení, pro které bude provedena MKP analýza. Posuzována bude zejména rovnoměrnost napnutí s přihlédnutím k ekonomickému aspektu ceny metráže tkaniny. Vhodnější varianta bude detailněji zpracována, zejména se bude jednat o konkretizaci rozměrů výstřihu tkaniny a velikosti a tvaru napínacích kleštín.

Na základě výsledků analýzy bude pro vybraný koncept v kapitole 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ proveden konstrukční návrh s popisem a výpočty jednotlivých konstrukčních uzlů. Navazovat bude návrh pneumatického systému a systému řízení spolu s experimentálním ověřením návrhu napínací kleštiny.

#### 3.1 MKP analýza napínání tkaniny

V MKP analýze byl manuálním iteračním přístupem optimalizován počet napínacích kleštín, jejich velikost, tvar a stupeň volnosti. Analýzy byly prováděny pro dva základní tvary výstřihu tkaniny různých velikostí. Všechny výpočty byly provedeny v softwaru ANSYS Workbench 14.0 a ANSYS Workbench 14.5.

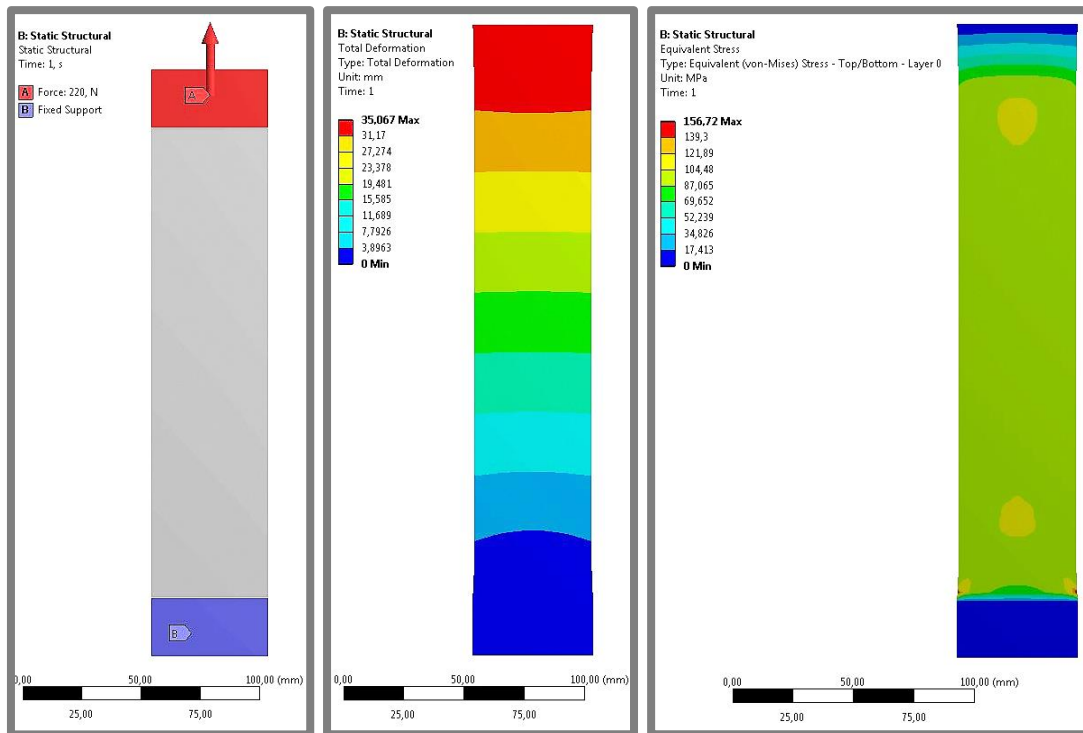


Obr. 3.1 Základní uvažované tvary výstřihu tkaniny pro MKP analýzu

##### 3.1.1 Definice materiálu

Aby bylo možné analýzy provádět, bylo nutné znát vlastnosti konkrétního typu filtrační tkaniny (zejména materiálové). Ty však výrobci neposkytují, vyjma základních jako je hustota, hmotnost, apod. Proto bylo s výhodou využito v minulosti provedených tahových zkoušek filtračních tkanin, které byly prováděny v rámci projektu MPO: FR-T13/699 - obr. 1.10. Byla srovnávána deformace 3D modelu vzorku tkaniny s výsledky reálných měření. Iteračním přístupem byly poté odvozeny příslušné materiálové vlastnosti. Materiál byl definován jako izotropní,

čož koresponduje s reálnými měřeními polyesterové tkaniny. Další parametrem byl poissonův poměr, který byl měněn v rozsahu od 0,1 do 0,6. Změna jeho hodnoty měla pouze marginální dopad v řádů desetin milimetru celkové deformace. Konečné hodnoty zobrazuje obr. 3.5. Je však nutné poznamenat, že odvozený youngův modul pružnosti odpovídá pouze zvolené tloušťce tkaniny, která přesně neodpovídá reálné tkanině. Avšak použitím stejné tloušťky tkaniny ve všech výpočtech lze dosáhnout adekvátních výsledků a možnosti porovnání jednotlivých variant. Výsledky analýzy redukovaného napětí tak mají pouze kvalitativní charakter.



Obr. 3.2 Okrajové podmínky  
 Obr. 3.3 Celková deformace – maximální deformace 35 mm  
 Obr. 3.4 Redukované napětí – maximální hodnota  $\sigma_{red,HMH} = 157 \text{ MPa}$

Properties of Outline Row 7: tkanina			
	A	B	C
	Property	Value	Unit
2	Isotropic Elasticity		
3	Derive from	Young's Modulus and...	
4	Young's Modulus	620	MPa
5	Poisson's Ratio	0,45	
6	Bulk Modulus	2,0667E+09	Pa
7	Shear Modulus	2,1379E+08	Pa

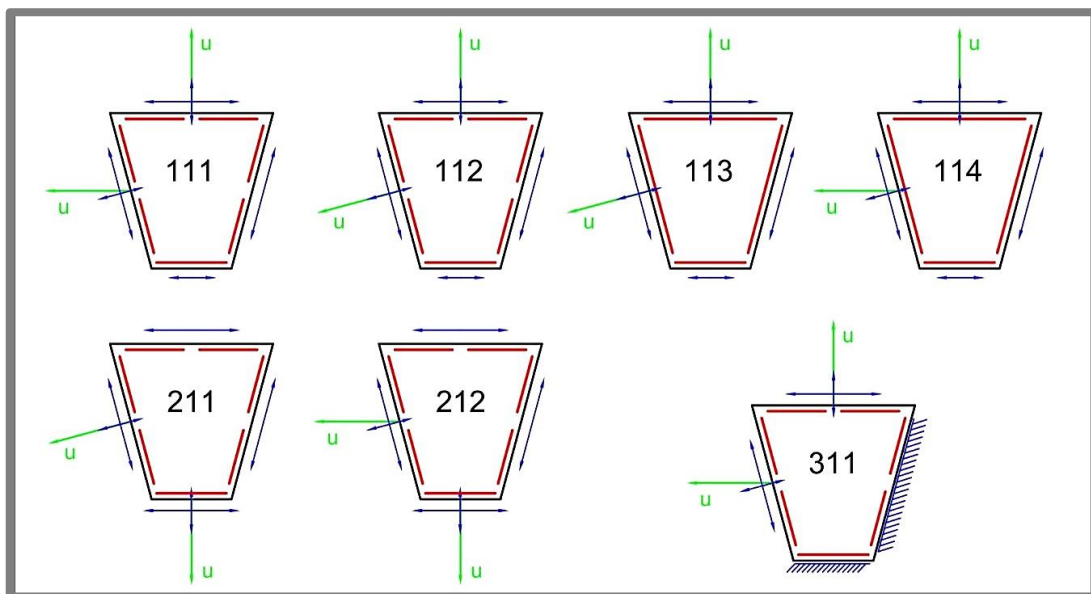
Obr. 3.5 Definice materiálových vlastností v programu ANSYS Workbench 14.5

### 3.1.2 Lichoběžníkový tvar

Vzhledem k finanční zátěži metráže tkaniny byl pro první variantu zvolen ekonomičtější tvar výstřihu, který opisuje základní tvar rámu segmentu. Na následujícím obrázku jsou k nahlédnutí uvažované varianty napínání, kde lze

3.1.2

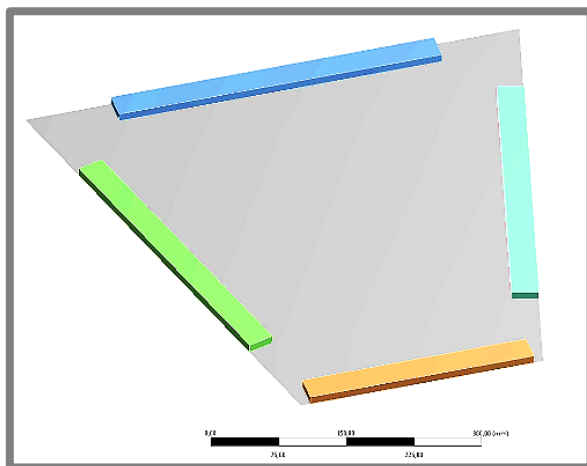
rozdíly nalézt především v počtu kleštín, směru napínání a stupních volností kleštín rozdílných pro každou stranu tkaniny.



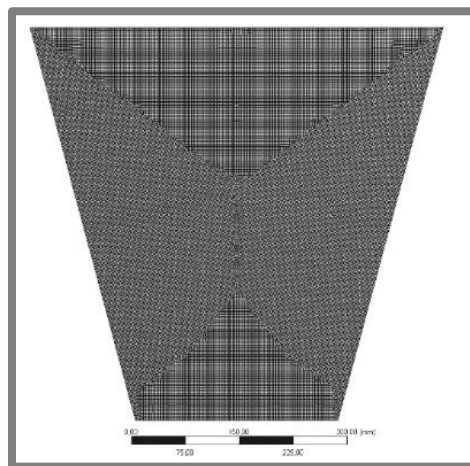
Obr. 3.6 Varianty napínání (červená – uchycující kleštiny; modrá – stupně volnosti kleštín; zelená – směr napínání)

### Výpočtový model

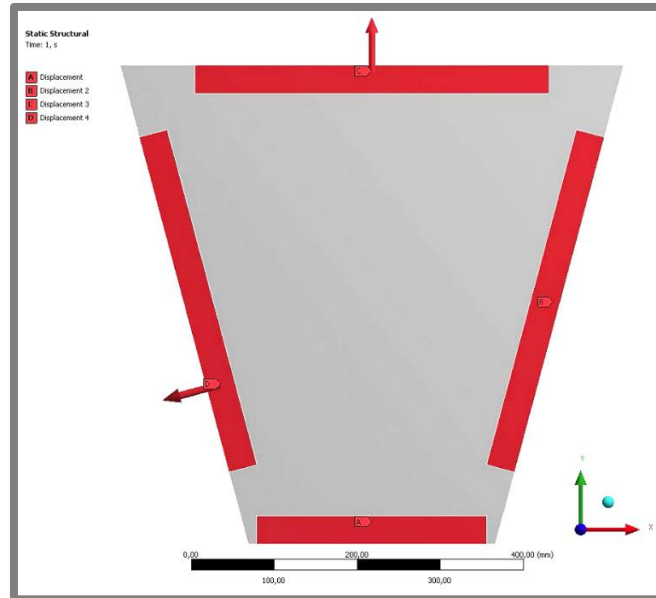
Tkanina byla modelována jako skořepina, kdy byl použit prvek „**SHELL 181**“. Uchycující kleštiny byly nahrazeny **rigidním tělesem** a spolu s tkaninou jsou spojeny vazbou „**Bonded**“. Napínání bylo aplikováno jako posunutí, kde konkrétní hodnota posunutí byla upravena dle vypočteného maximálního napětí – kapitola 3.1.1 Definice materiálu. Vzhledem k rozdílným délkám stran napínané tkaniny, byly hodnoty posunutí zadány dle stanoveného poměru – měřítko zvětšení. Aplikované vazby respektují variantní stupně volností kleštín. Pro vytvoření sítě byla aplikována globální velikost prvku 0,4 mm.



Obr. 3.7 Model tkaniny

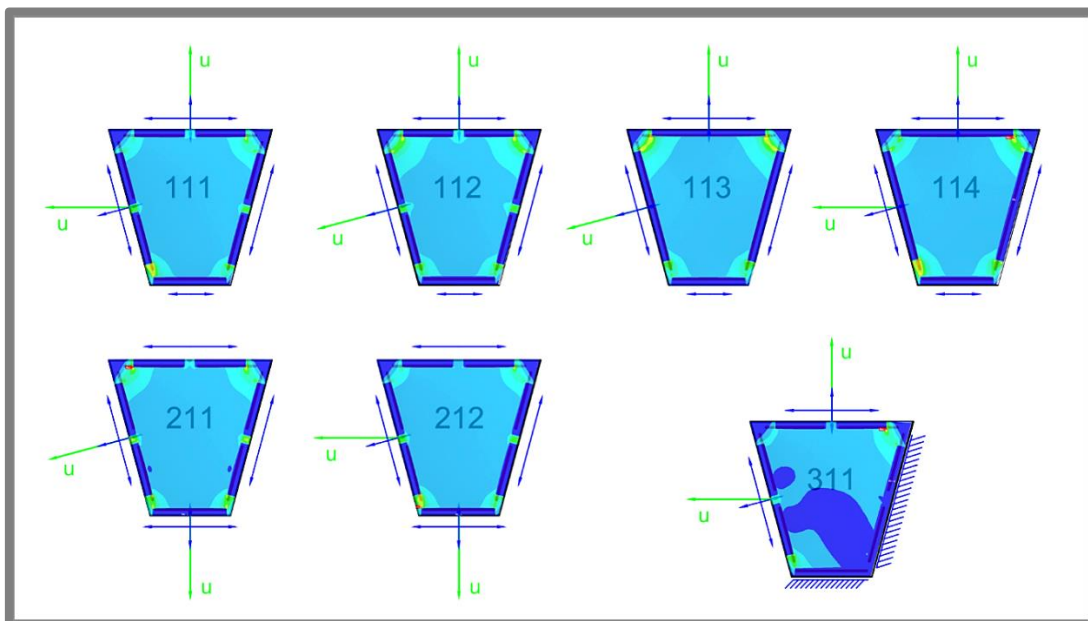


Obr. 3.8 Mesh, ± 54 000 prvků, ± 57 000 uzlů



Obr. 3.9 Okrajové podmínky

Pro všechny varianty byla provedena analýza, jejichž výsledky jsou vidět níže.



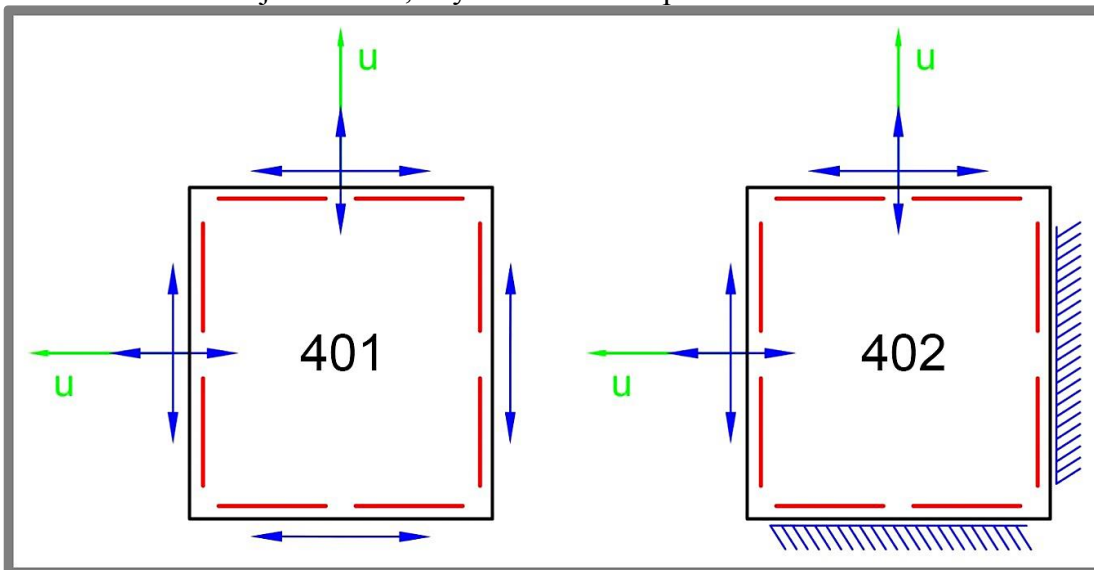
Obr. 3.10 Výsledky MKP analýzy,  $\sigma_{red,HMH}$  (modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání)

Jako hlavní kritéria pro srovnání jednotlivých variant byla hodnocena rovnoměrnost předpětí tkaniny nad rámem segmentu a kritické hodnoty napětí v rozích. Jako nejvýhodnější byla vybrána varianta číslo 111 s odchylkou napětí 37 % (střed segmentu vs maximální hodnota nad rámem segmentu) a zároveň s přijatelnou hodnotou napětí 110 MPa v rozích výstřihu tkaniny.

### 3.1.3 Obdelníkový tvar

Výstřih tkaniny je v tomto případě obdelníkového tvaru. Předností tohoto řešení je snazší automatizace výroby, z pohledu možnosti přímého odvíjení z návinnu

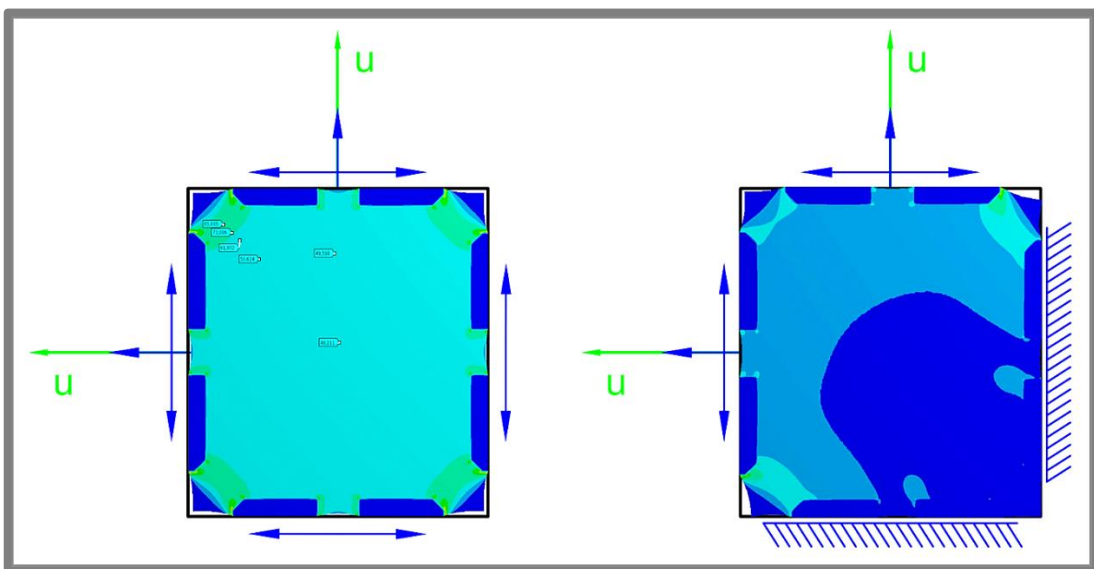
tkaniny a její rovnoměrnější napnutí. Z ekonomického pohledu se však jedná o finančně nákladnější variantu, kdy vzniká více odpadního materiálu.



**Obr. 3.11** Varianty napínání (červená – uchycující kleštiny; modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání), 507x553 mm

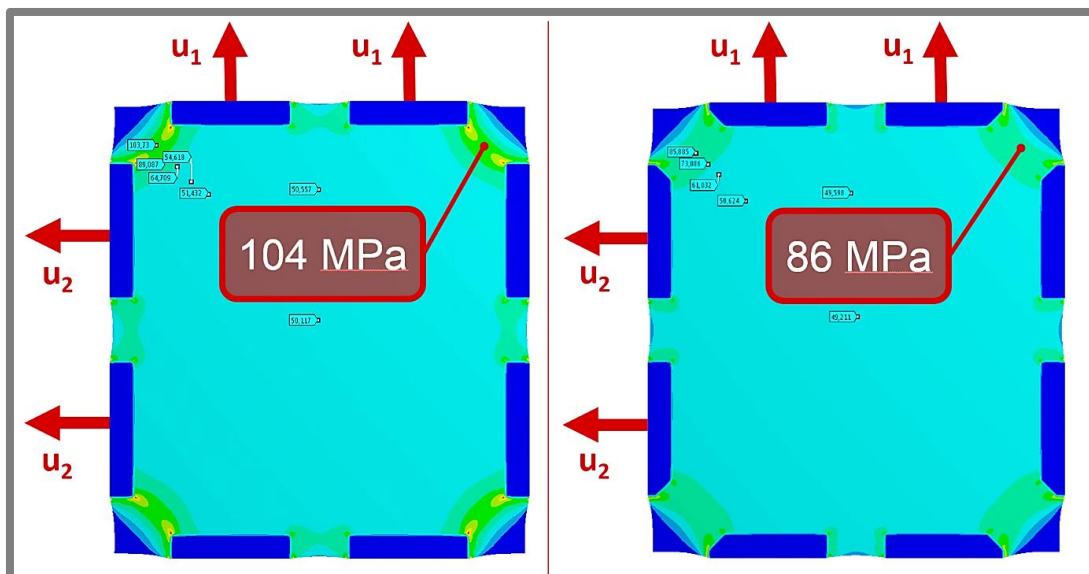
### Výpočtový model

Definice okrajových podmínek, způsob zatěžování a velikost prvku sítě se shoduje s předcházející analýzou.



**Obr. 3.12** Výsledky MKP analýzy,  $\sigma_{\text{red,HMH}}$  (modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání), 507x553 mm

Vybrána byla varianta číslo 401, u které proběhla detailnější optimalizace velikosti, polohy a tvaru napínacích kleštin. Zejména se jednalo o úpravu tvaru kleštin, aby se snížilo napětí v rozích tkaniny a nedocházelo tak k jejím natržení či prokluzu v kleštině vlivem špičkových napětí.



Obr. 3.13 Modifikovaná varianta číslo 401,  $\sigma_{\text{red,HMH}}$

Výsledné kleštiny mají šířku 30 mm se zkosením 20x45°, délka kleštin je v případě horní, respektive spodní 150 mm a 170 mm pro levé, respektive pravé. Upravená varianta dosahuje odchylky napětí 22 % (střed segmentu vs maximální hodnota nad rámem segmentu) a zároveň nízkou hodnotou napětí 86 MPa v rozích výstřihu tkaniny.

### 3.1.4 Hodnocení variant

Je potřeba zdůraznit, že všechny analýzy byly prováděny pro konkrétní typ tkaniny, který firma pro výrobu diskových segmentů používá, a který vykazuje oproti ostatním testovaným vzorkům izotropní mechanické vlastnosti (SEFAR PET 1500 180/460-27Y PW).

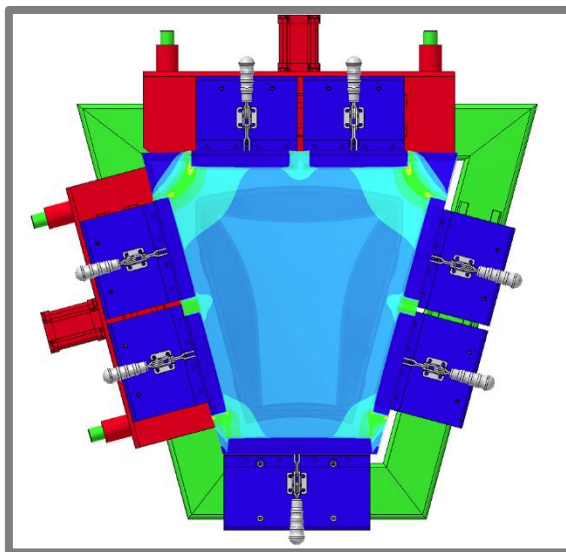
MKP analýza slouží primárně k určení průběhu napětí, nikoliv k jejich číselným hodnotám, které mají pouze kvalitativní charakter. Jde tedy o možnost porovnání rovnoměrnosti napnutí nad rámem segmentu.

Největší odchylky mohou představovat nepřesnosti upnutí tkaniny při reálném provozu zařízení a rozdílné mechanické vlastnosti konkrétní napínané tkaniny, kdy lze očekávat mírně odlišné vlastnosti v závislosti na každé výrobní sadě. Dle praktických zkušeností analýza koresponduje s chováním tkaniny během reálného napínání.

Dle konzultace s firmou IN-EKO Team by první ekonomičtější varianta lichoběžníkového tvaru představovala rizikovější řešení z pohledu nerovnoměrného napětí, zejména pak v rozích s ostrým úhlem rámu segmentu, kde by mohlo docházet k porušení spoje s rámem segmentu - obr. 3.14. U lichoběžníkového tvaru je nutné dále zahrnout i náklady na složitější vyřiznutí tkaniny ať už manuálně či za pomoci laseru přes externí firmu. Obdobně by pro velkosériovou výrobu bylo komplikovanější vkládání tkaniny do zařízení.

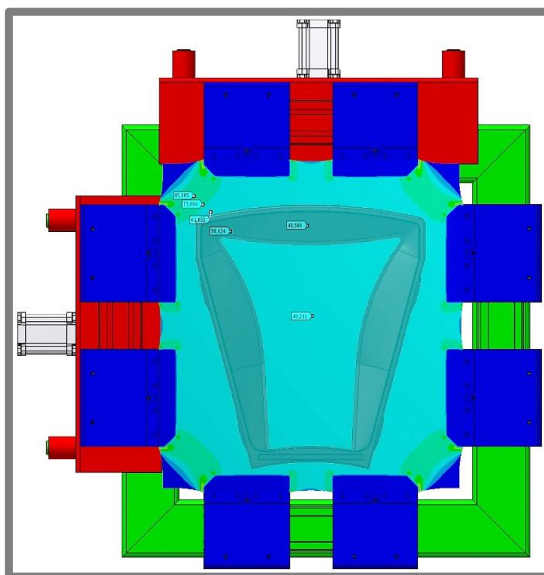


Obr. 3.14 Zvýrazněno problematické místo spoje tkaniny



Obr. 3.15 Zobrazení napnutí tkaniny vzhledem k rámu segmentu – koncepční návrh konstrukce číslo 111 s manuálními rychloupínkami

Druhý koncepční návrh výše uvedené nedostatky předchozí varianty značně potlačuje, proto i za cenu vyššího množství odpadního materiálu a zároveň i z důvodu snazší automatizace výroby byla vybrána jako konečná **varianta číslo 401** se zkosenými kleštinami. Předpokládané hodnoty deformace při předpětí 40 N/cm jsou 23 mm pro kratší stranu a 25 mm pro stranu delší.



Obr. 3.16 Zobrazení napnutí tkaniny vzhledem k rámu segmentu – vybraný koncepční návrh konstrukce číslo 401

### 3.1.5 Ořez tkaniny

Posledním krokem ve výrobním procesu, který doposud nebyl zmíněn, je ořez tkaniny po jejím napnutí a přivaření na rám segmentu. Ten bude realizovaný manuálně po vyjmutí segmentu ze zařízení.

## 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

4

### 4.1 Konstrukce

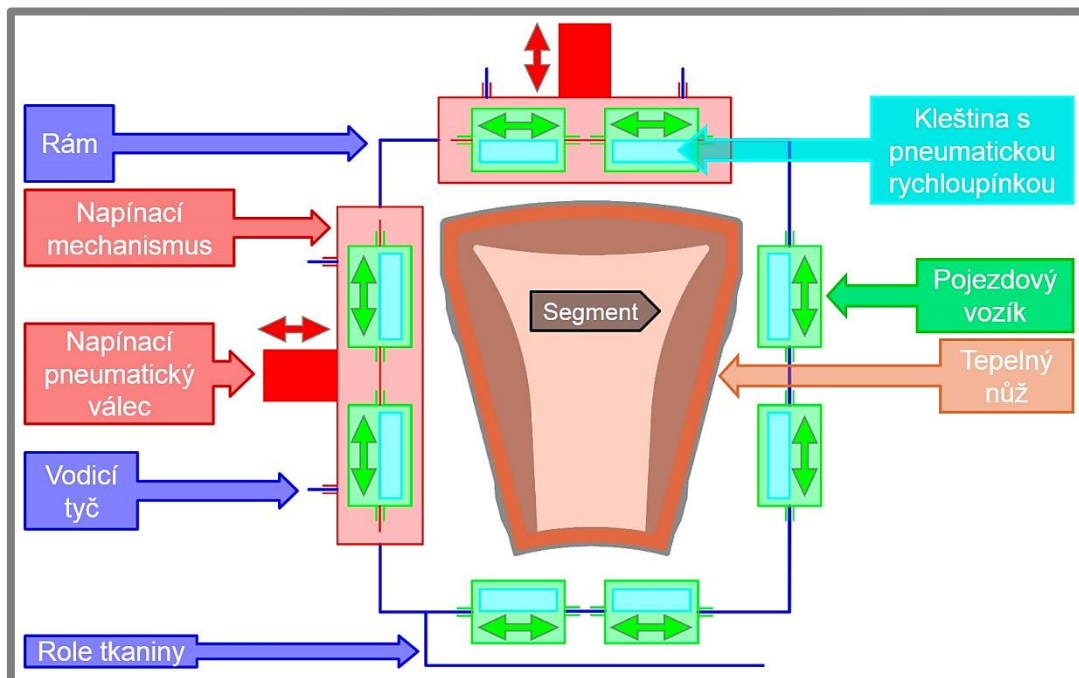
4.1

Nosnou částí celé konstrukce je rám napínacího zařízení, který je tvořený obdélníkovými profily 100x80x4. Tkanina je předepínána napínacím mechanismem, který se skládá z ohýbaného plechu a potřebná síla je vyvozena dvojčinným pneumatickým válcem s průměrem pístu 63 mm. Maximální vyvozená síla je při tlaku 0,8 MPa 2 244 N. Lineární vedení napínacího mechanismu je řešeno prostřednictvím dvojice vodicích tyčí.

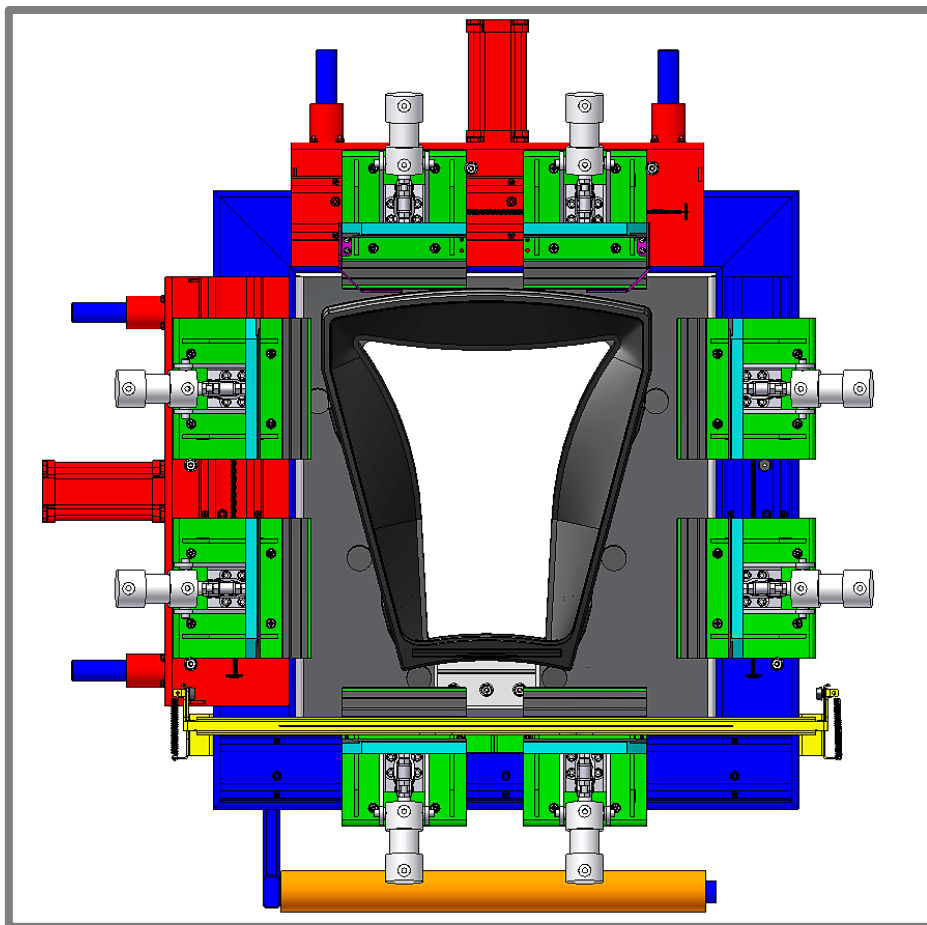
Tkanina je po jejím obvodu zachycena 8 pneumatickými rychloupínkami s kleštinami, které jsou pevně spojeny s pojezdovými vozíky. Potřebný stupeň volnosti pojezdových vozíků v paralelním směru stran tkaniny je zajištěn lineárním rolničkovým vedením. Stupně volností pojezdových vozíků a napínacího mechanismu jsou barevně naznačeny v následujícím schématickém obrázku.

Návin tkaniny je umístěn ve spodní části zařízení v blízkosti obsluhy, kdy pro její přidržení a následný ořez v průběhu vkládání do zařízení slouží pomocný přídržný mechanismus.

Uvnitř zařízení je na podpůrném plechu za pomoci gumových dorazů přesně ustaven rám segmentu, jehož spodní průchozí část je dodatečně vyztužena konzolí. Tkanina je po předepnutí přivařena tzv. tepelným nožem o teplotě ~ 220 °C, což je současný vývoj firmy. Detailnější popis jednotlivých konstrukčních prvků bude uveden v následujících kapitolách.



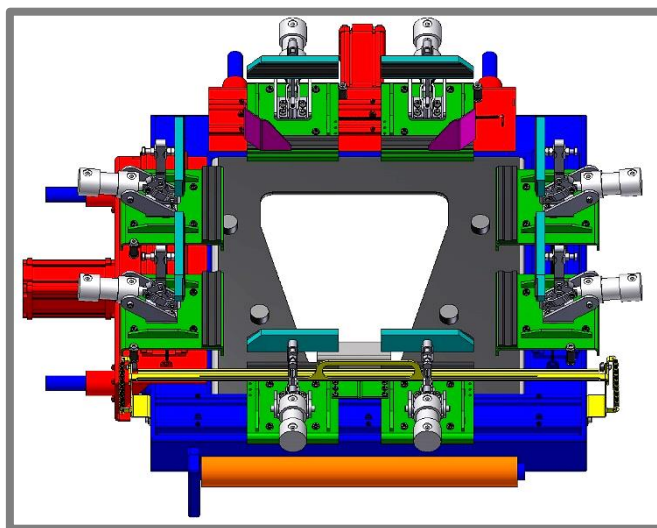
Obr. 4.1 Schéma konstrukce, 1 000 x 1 100 mm



Obr. 4.2 3D model konstrukce

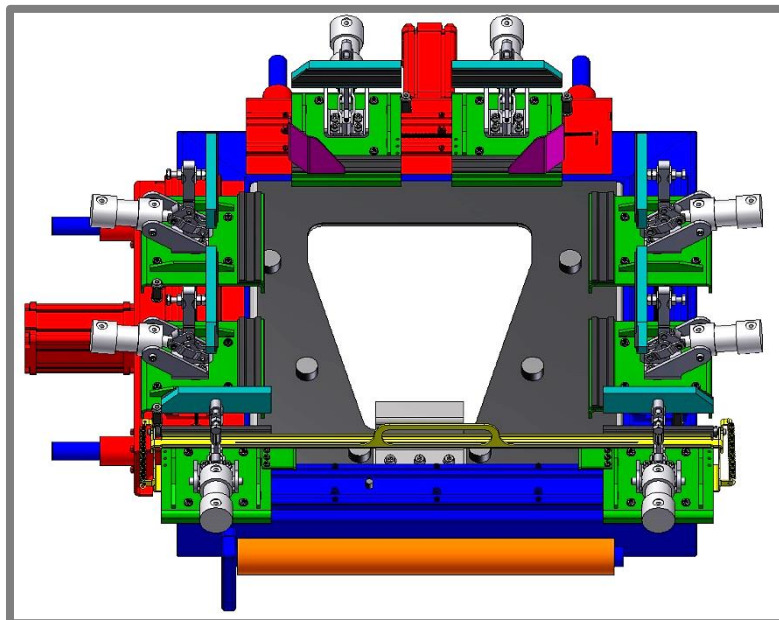
#### 4.1.1 Popis jednotlivých výrobních kroků obsluhy zařízení

Výchozí stav zařízení zobrazuje následující obrázek. Jedná se o zapnuté zařízení, kdy nejsou v činnosti žádné prvky. Jednotlivé kroky jsou zobrazeny z pozice pohledu obsluhy.

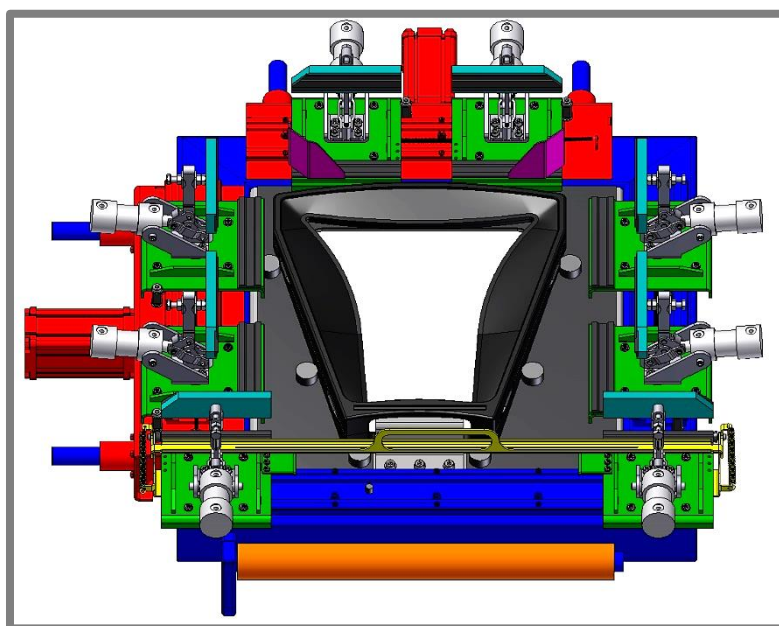


Obr. 4.3 Výchozí stav zařízení

V první kroku je nutné manuálně odsunout přední pojezdové vozíky, aby tak vznikl prostor pro vložení rámu segmentu a zároveň se umožnilo odvinutí tkaniny z návínu. Mezní hranice odsunutí je nastavena za pomoci gumových dorazů umístěných na bocích pomocného přídržného mechanismu.

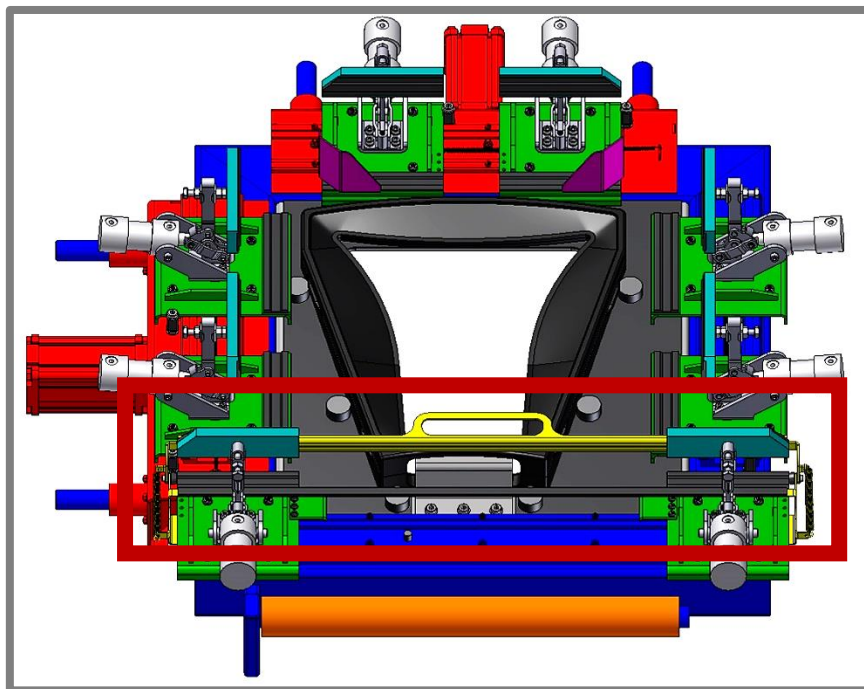


Obr. 4.4 1. krok – odsunutí pojezdových vozíků

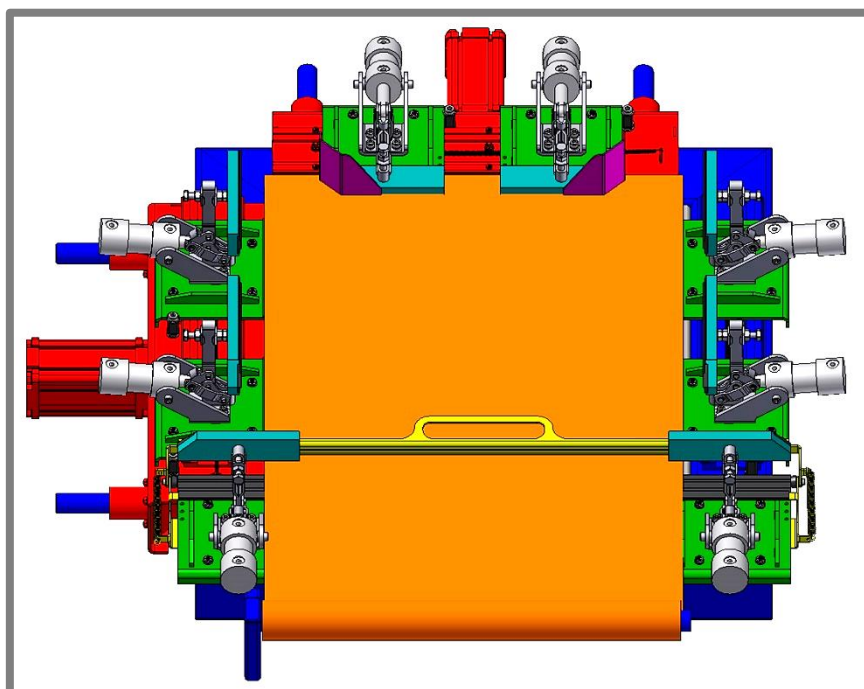


Obr. 4.5 2. krok – vložení rámu segmentu

Dále je nutné zvednout horní část pomocného přídržného mechanismu, který slouží k zajištění a oříznutí tkaniny. Následuje odvinutí tkaniny z role a její provlečení skrze mechanismus. Po umístění tkaniny pod horní pneumatické kleštiny obsluha prostřednictvím nožní pedálu zajistí jejich sevření. Bezpečnost při sevření pneumatických rychloupínek je řešena krytovaním.

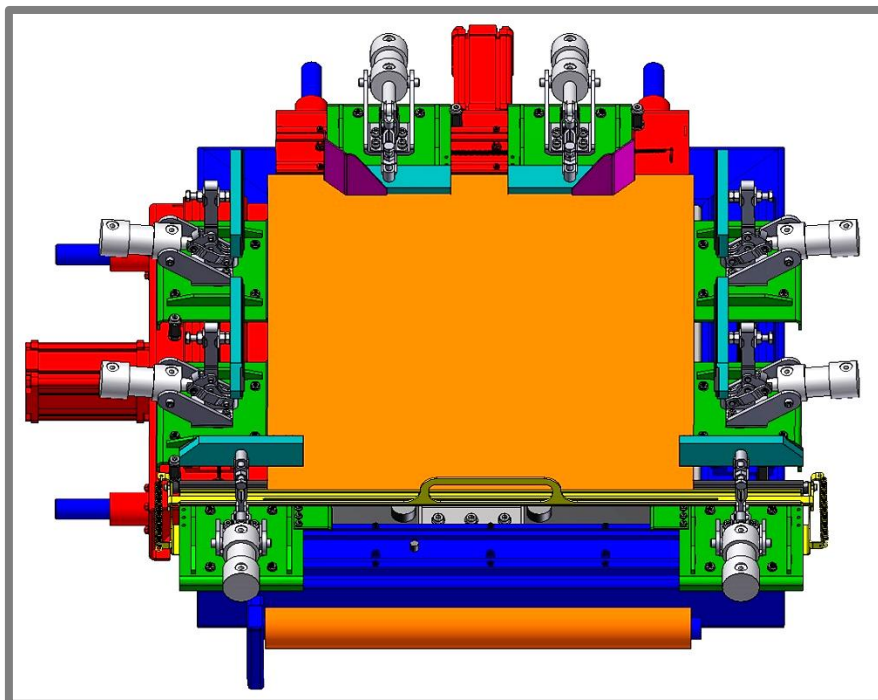


Obr. 4.6 3. krok – pomocný přídržný mechanismus - žlutá

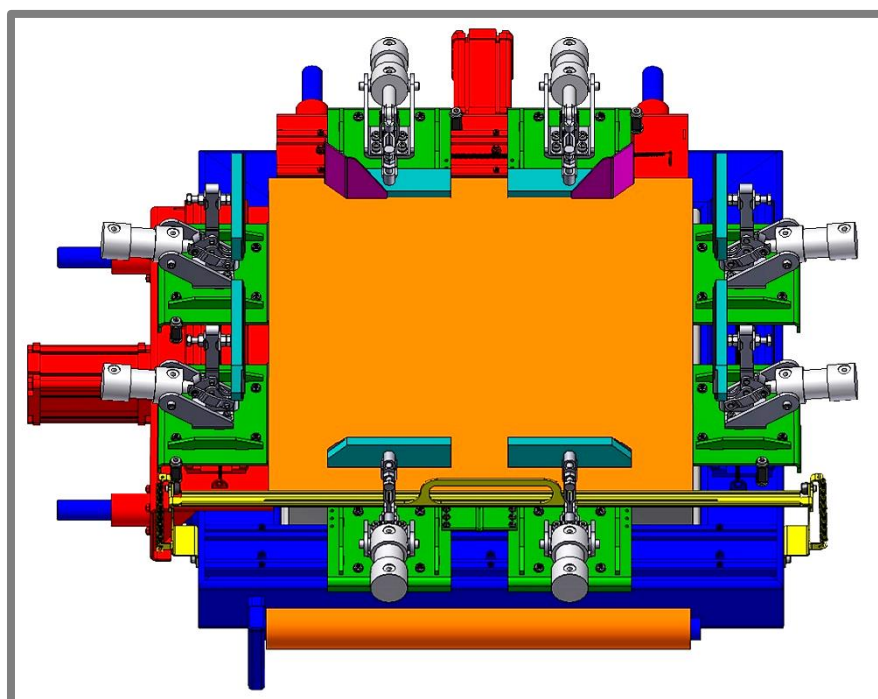


Obr. 4.7 4. krok – umístění a zajištění tkaniny horními pneumatickými rychloupínkami

Po zajištění tkaniny následuje sklopení pomocného přídržného mechanismu a její manuální oříznutí nožem. Levý pojezdový vozík se ustaví za pomoci gumového dorazu umístěného na rámu zařízení, pravý vozík poté za pomoci dorazových plechů. Tím je opakovatelně zajištěna správná výchozí poloha zařízení před napínáním - obr. 4.9.

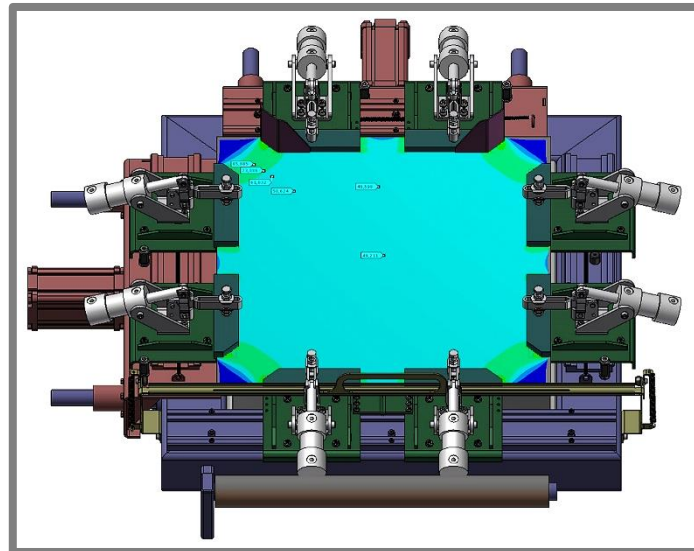


Obr. 4.8 5. krok – oříznutí tkaniny

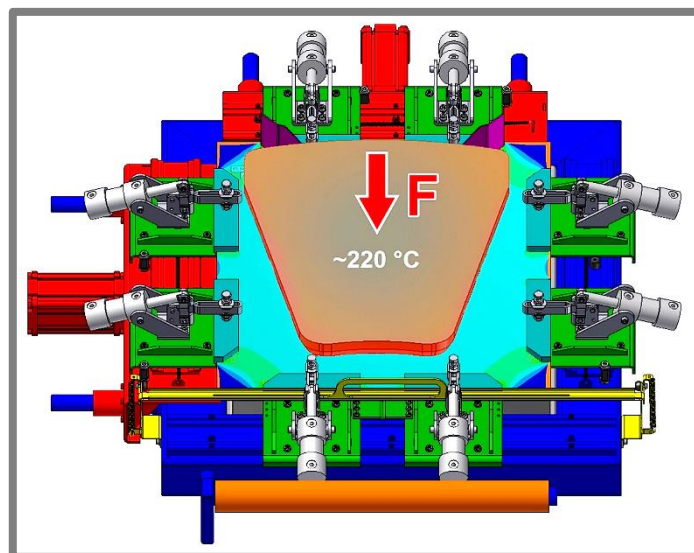


Obr. 4.9 6. krok – ustavení pojezdových vozíků

Samotné napnutí tkaniny je s ohledem na bezpečnost zařízení započato současným stisknutím dvou tlačítek umístěných na ovládacím panelu. Následující činnost zařízení je od toho momentu řízena PLC jednotkou, kdy přes časovače řízení dojde k přitisknutí tepelného nože na předem stanovenou dobu (otázka sekund) a následnému přivaření tkaniny na rám segmentu.



Obr. 4.10 7. krok – napnutí tkaniny



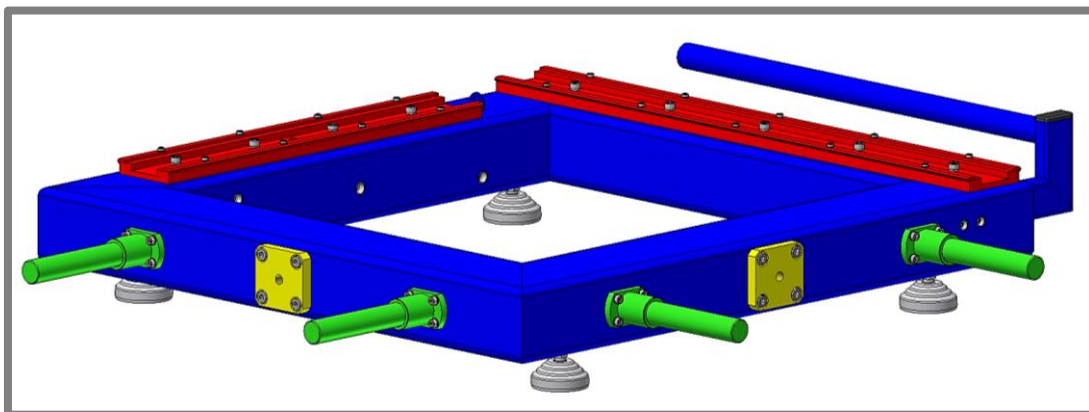
Obr. 4.11 8. krok – přivaření tkaniny tepelným nožem

Po přivaření tkaniny dojde automaticky k odsunutí tepelného nože, uvolnění předpětí (přepuštění napínacích pneumatických válců) a následně k uvolnění pneumatických rychloupínek. Po opětovném odsunutí spodních pojezdových vozíků je možné obsluhou otočit rám segmentu pro přivaření tkaniny na druhou stranu. Následně se celý proces opakuje. Ostatní pojezdové vozíky jsou pružinou navraceny do výchozí polohy. Přebytná tkanina je manuálně oříznuta mimo napínací zařízení.

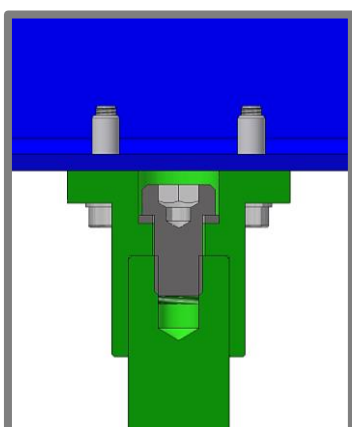
#### 4.1.2 Rám

Nosná část zařízení je tvořena svařovaným rámem z normalizovaných profilů 100x80x4 mm. Napínací mechanismus je vzhledem k rámu veden vodícími tyčemi, které jsou k rámu připevněny přes přírubovou objímku - obr. 4.13. Pistní tyč napínacího pneumatického válce je po sestavení všroubována do tlustostěnného plechu (obr. 4.14), který je přišroubován k rámu. Na horní straně rámu jsou pro dvě strany

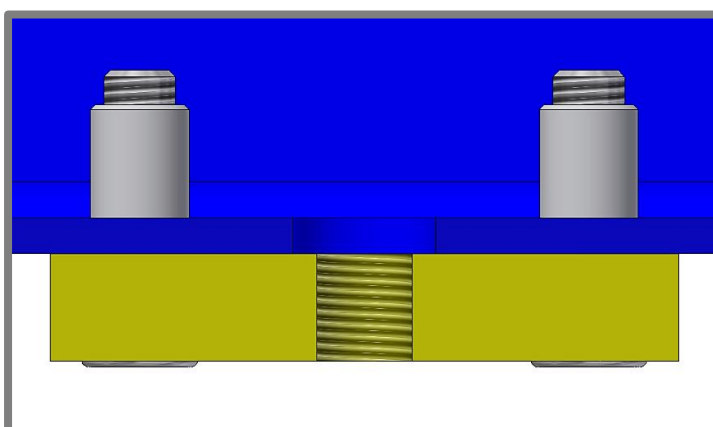
pojezdových vozíků připraveny vodící kolejnice lineárního vedení. Břity kolejnic jsou tvrzené na min. 53 HRC. Pro podpurný plech segmentu jsou na vnitřních stranách rámu připraveny nýtovací matice M10. Ostatně všechny šroubové spoje rámu jsou realizovány vroubkovanými nýtovacími maticemi se zapuštěnou hlavou, což snižuje konstrukční i technologickou náročnost svarku. Celá konstrukce je ustanovena na 4 stavitelných nohách.



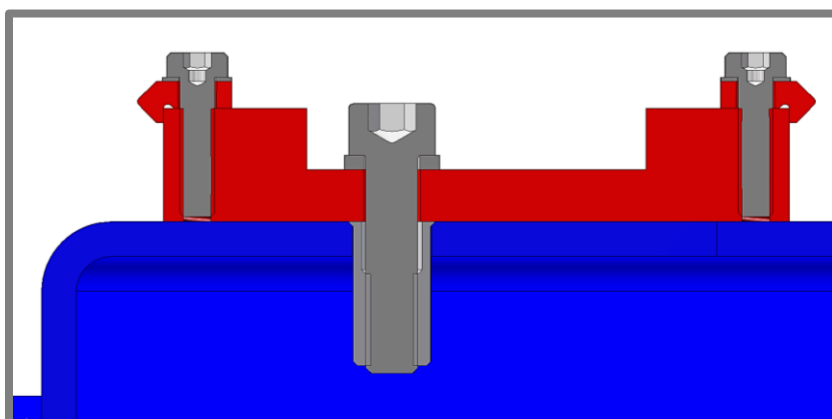
**Obr. 4.12** Sestava rámu (modrá – svarek rámu, zelená – vodící tyče, červená – lineární vedení, žlutá – uchycení pístní tyče napínacích pneumatických válců, šedá – stavitelné nohy)



**Obr. 4.13** Uchycení vodících tyčí (Ø25 mm) - řez



**Obr. 4.14** Uchycení pístní tyče napínacího pneumatického válce - řez

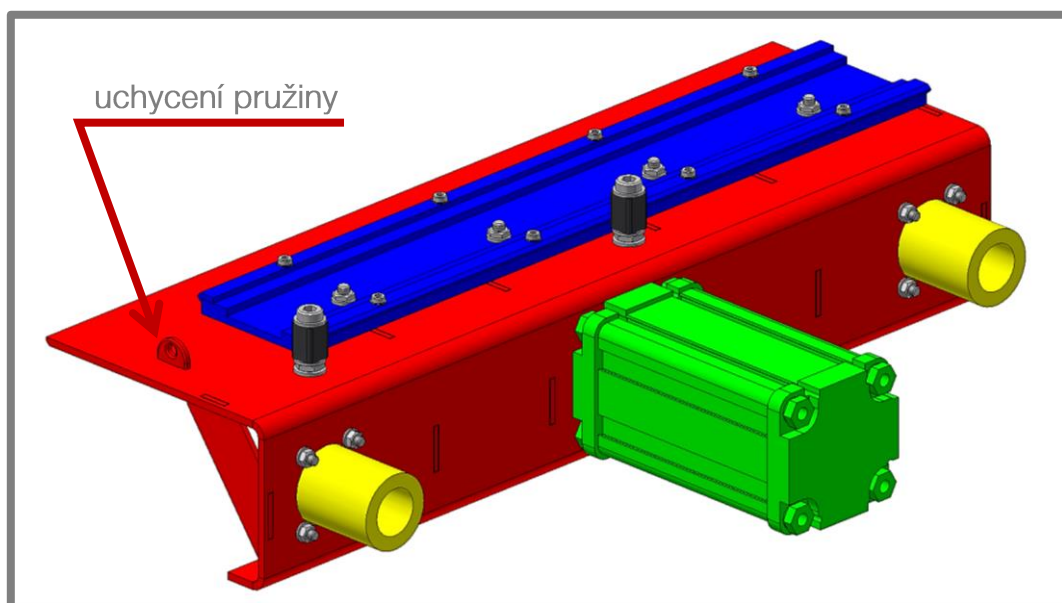


**Obr. 4.15** Vodící kolejnice lineárního vedení - řez

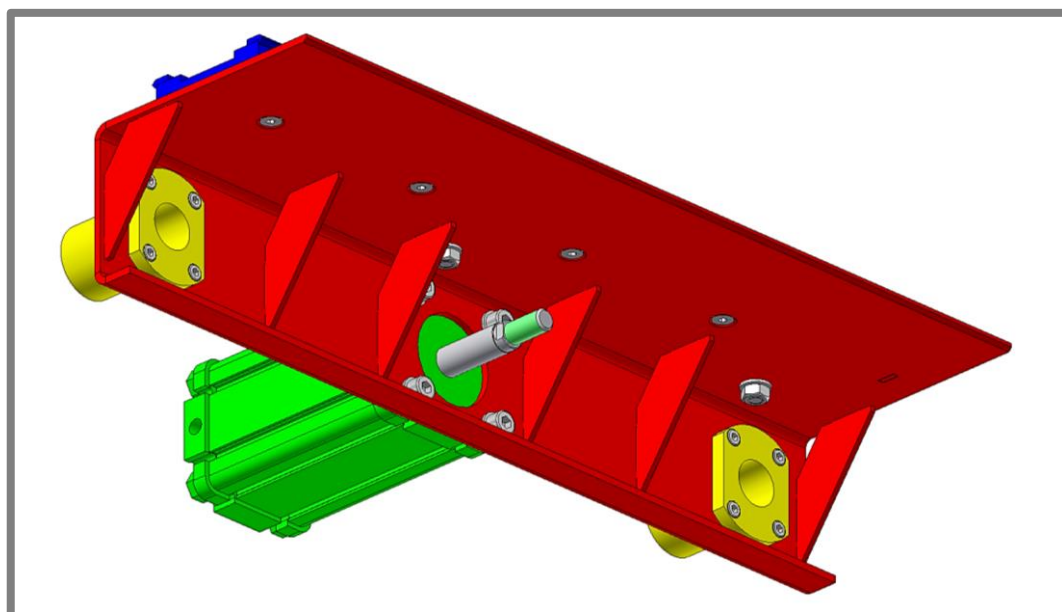
### 4.1.3 Napínací mechanismus

Základ napínacího mechanismu je tvořen svarkem ohýbaného plechu tloušťky 4 mm, který je vzhledem k aplikovanému zatížení vyztužen 6-ti žebry. Výrobně je plech dělen za pomoci vodního paprsku a doplněn o tzv. zámky, které ulehčují proces svařování.

Vedení mechanismu vzhledem k rámu zařízení je zajištěno dvojicí kuličkových objímek s přírubou – Hennlich LMH25. Napínáním tkaniny lze očekávat vznik krouticího momentu, respektive ohybového momentu na vodících tyčích, v kombinaci s vůlemi ve vedení dochází k natočení ohýbaného plechu dle vyznačené šipky - obr. 4.18.

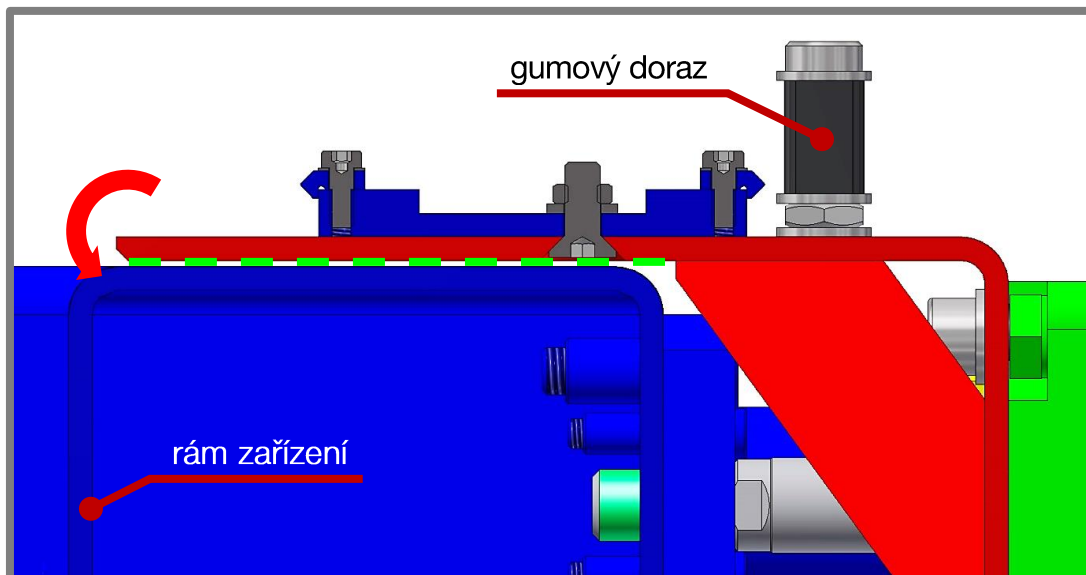


Obr. 4.16 Napínací mechanismus – horní pohled (červená – svarek plechu, modrá – lineární vedení, žlutá – kuličková objímka s přírubou (tandemová), zelená – napínací pneumatický válec)



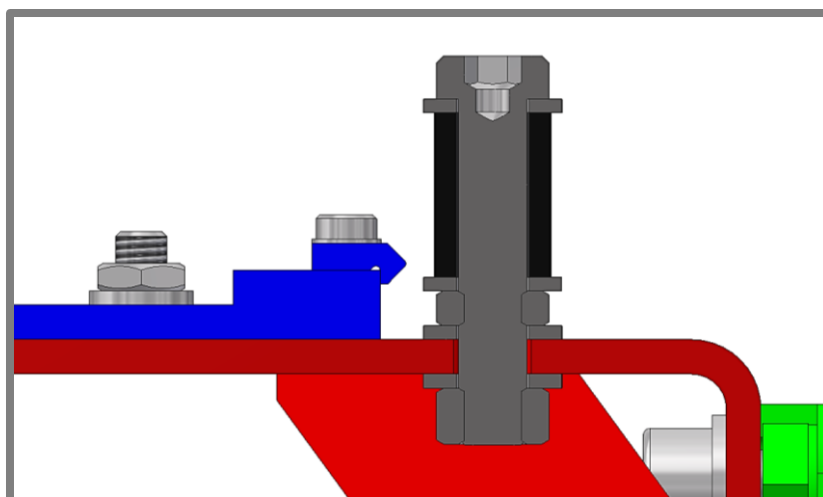
Obr. 4.17 Napínací mechanismus – spodní pohled (červená – svarek plechu, modrá – lineární vedení, žlutá – kuličková objímka s přírubou (tandemová), zelená – napínací pneumatický válec)

Konstrukce je proto navržena takovým způsobem, aby byl vzniklý moment podepřen rámem zařízení. V kontaktní oblasti je pro zlepšení třecích vlastností a opotřebení nalepena na ohýbaný plech teflonová fólie a do místa kontaktu je aplikováno mazivo.



Obr. 4.18 Napínací mechanismus – řez, čárkována čára – samolepící teflonová fólie, mazivo

Lineární vedení je zajištěno 4 šrouby M6 s válcovou hlavou. Výchozí poloha pojezdových vozíků je nastavována gumovými dorazy - obr. 4.19, k nimž jsou vozíky přitahovány tažnými pružinami. Vozíky jsou s pružinami zapojeny do série - viz následující kapitola.

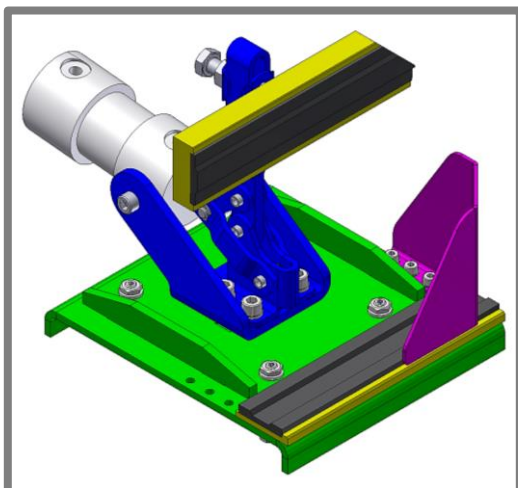


Obr. 4.19 Gumový doraz pojezdového vozíku – řez

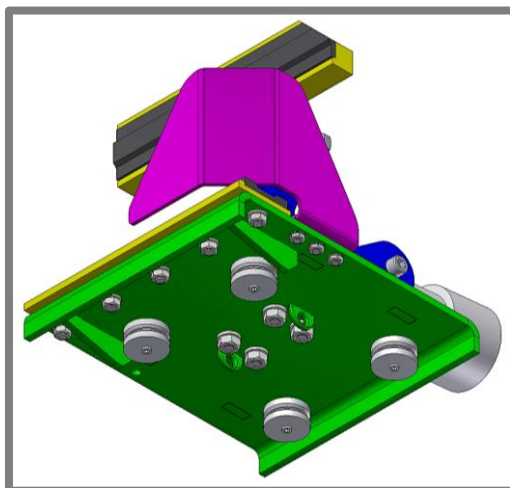
#### 4.1.4 Pojezdový vozík

Podobně jako v případě napínacího mechanismu je pojezdový vozík vyráběn jako svarek z ohýbaného plechu s žebry pro vyztužení a se zámky pro snadnější výrobu. Dle výsledků MKP analýzy jsou vozíky navrženy ve dvou modifikacích,

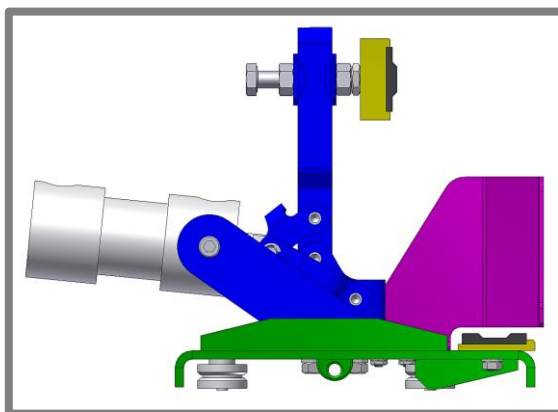
a sice pro délky kleštiny 150 mm a 170 mm. Horní vozíky jsou kvůli bezpečnosti navíc vybaveny krytováním, aby obsluha výroby nemohla nepozorností položit ruce pod kleštiny pneumatických rychloupínek během jejich sevření. Mimo přidaného krytování a rozdílné délky kleštiny jsou vozíky konstruovány jako univerzální, tedy obsahují prvky, které se mohou hodit pouze pro konkrétní umístění (horní pojezdový vozík vs. spodní pojezdový vozík).



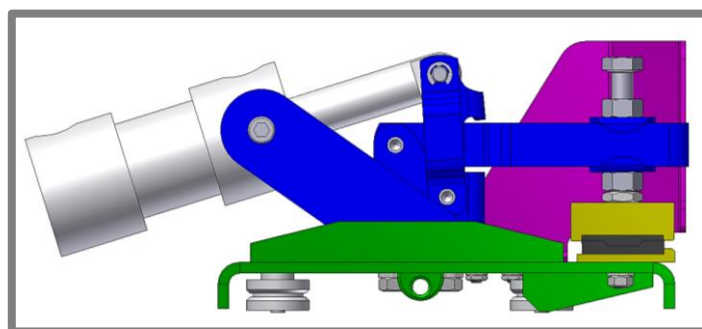
**Obr. 4.20** Horní pojezdový vozík – horní pohled (zelená – svarek, modrá – pneumatická rychloupínka, žlutá – kleština, fialová – krytování)



**Obr. 4.21** Horní pojezdový vozík – spodní pohled (zelená – svarek, modrá – pneumatická rychloupínka, žlutá – kleština, fialová – krytování)



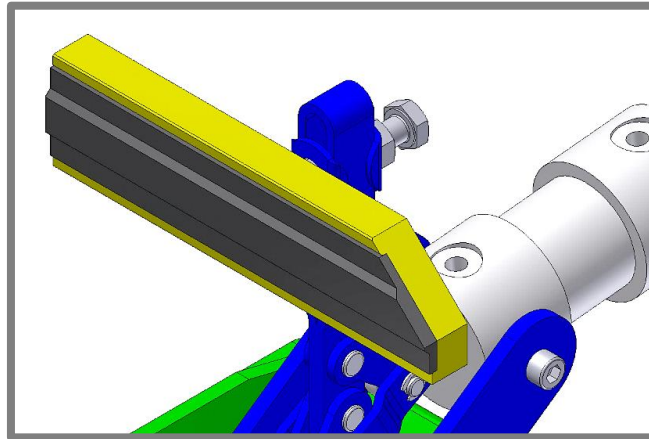
**Obr. 4.22** Horní pojezdový vozík – boční pohled, odklopená kleština



**Obr. 4.23** Horní pojezdový vozík – boční pohled, sklopená kleština

### Kleština

Hlavní a nejdůležitější částí kleštiny jsou její kontaktní plochy. Podobné aplikace často volí obecně pryžový materiál. Konkrétní volba materiálu a tvaru kleštiny, jakožto i testovací měření bude detailně popsáno v kapitole **4.4 Experimentální kleština.**



Obr. 4.24 Tvar kleštiny

### Pneumatické rychloupínky

Pneumatické rychloupínky byly vybrány od společnosti ZAMET, spol. s r.o. Konkrétně typ 703, který používá dvojčinné pneumatické válce s chromovanou pístnicí s magnetem od firmy Stránský a Petržík. V budoucnu je tak možné případně přidat snímače polohy pístnice a automaticky tak kontrolovat jejich sepnutí. Rychloupínky spadají do kategorie tzv. lehkého až středně těžkého provedení, kdy při tlaku 0,6 MPa vyvíjí maximální upínací sílu 1 700 N. Úhel otevření je požadovaných 89°.

Pro navržené řešení je však nutné přepočítat velikost upínací síly, kdy se vychází ze zachování momentů k ose rotace kleštiny (4.1). Důvodem je změna délky ramene kleštiny a tím i změna pákových poměrů. Navržená velikost upínací síly je tedy (dle rovnice (4.3)) 1 063 N.

$$M_{\max} = M_{\text{návrh}} \quad (4.1)$$

$$F_{\max} \cdot l_{\max} = F_{\text{návrh}} \cdot l_{\text{návrh}} \quad (4.2)$$

$$F_{\text{návrh}} = \frac{F_{\max} \cdot l_{\max}}{l_{\text{návrh}}} = \frac{1\,700 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 1\,063 \text{ N} \quad (4.3)$$

kde:

$M_{\max}$	Nmm	- „maximální moment“
$M_{\text{návrh}}$	Nmm	- „moment návrhu“
$l_{\max}$	mm	- délka ramene maximální upínací síly
$l_{\text{návrh}}$	mm	- délka ramene navržené upínací síly
$F_{\max}$	N	- maximální upínací síla
$F_{\text{návrh}}$	N	- navržená upínací síla

### Rolny

Pro vedení pojezdových vozíků byly vybrány rolny společnosti T.E.A. TECHNIK s.r.o., konkrétně produktová sada Linrol typ RK-902-Z a RK-902-E, která poskytuje nejlepší poměr mezi cenou, únosností a velikostí jednotlivých roln. Pro bezvúlové nastavení lineárního vedení je vždy jedna vodící strana vozíku opatřena rolnami s excentrickým uložením. Během montáže tak lze snadno seřídit požadovanou přesnost chodu. Dynamická únosnost rolny je v radiálním směru 1 110 N a v axiálním směru 190 N. Statická únosnost, která více odpovídá skutečnému provozu zařízení je v radiálním směru 2 200 N.

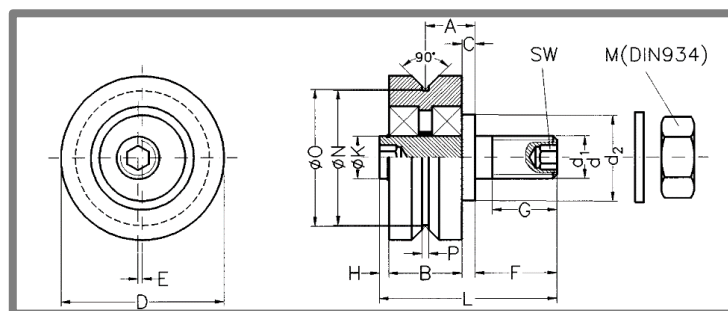
Pokud bychom uvažovali maximální předpětí tkaniny 40 N/cm při délce tkaniny 490 mm, je pak maximální napínací síla na stranu tkaniny 1960 N. Použitím dvou pojezdových vozíků na stranu tkaniny, respektive 4 roln se dostáváme na únosnost 8 800 N při statickém zatížení. Zatížitelnost taktéž ovlivňuje pracovní prostředí, kdy v našem případě může počítat s aplikací bez výrazných rázů s lehkým mazáním, kdy je koeficient zatížitelnosti roven 1. Celková únosnost na stranu tkaniny je tedy 8 800 N, při maximálním napnutí tkaniny tak dostáváme bezpečnost 4,4 (4.5). Nutno však poznamenat, že předpětí tkaniny 40 N/cm je opravdu krajní hodnotou a reálné hodnoty předpětí se budou pohybovat v rozsahu 30 až 35 N/cm.

$$F_{\max} = l_{\max} \cdot f = 490 \text{ mm} \cdot 40 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1} = 1\,960 \text{ N} \quad (4.4)$$

$$k = \frac{F_{\text{stat}} \cdot n}{F_{\max} \cdot F_S} = \frac{2\,200 \text{ N} \cdot 4}{1\,960 \text{ N} \cdot 1} = 4,4 \quad (4.5)$$

kde:

$k$	-	- statická bezpečnost zatížení roln delší strany tkaniny
$F_{\max}$	N	- maximální napínací síla na delší stranu tkaniny
$F_S$	-	- koeficient zatížitelnosti rolny
$F_{\text{stat}}$	N	- statická únosnost rolny
$n$	-	- počet roln
$f$	N/cm	- předpětí tkaniny
$l_{\max}$	mm	- napínaná delší strana výřezu tkaniny

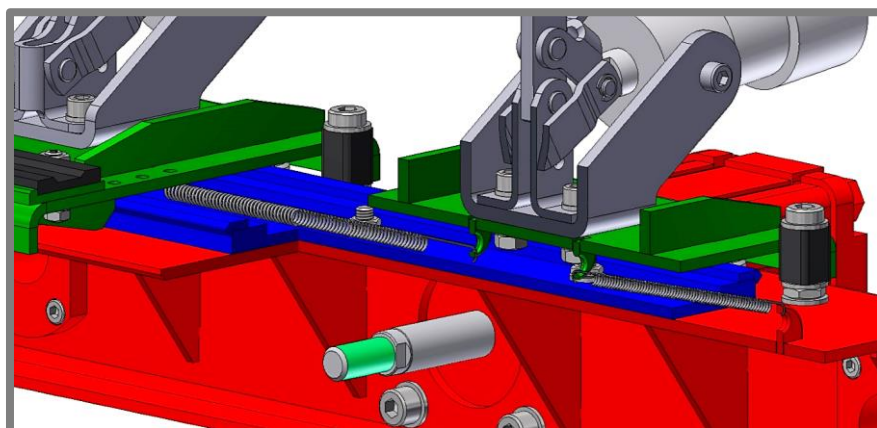


Obr. 4.25 Excentrická rolna LinRol společnosti T.E.A. TECHNIK s.r.o. [19]

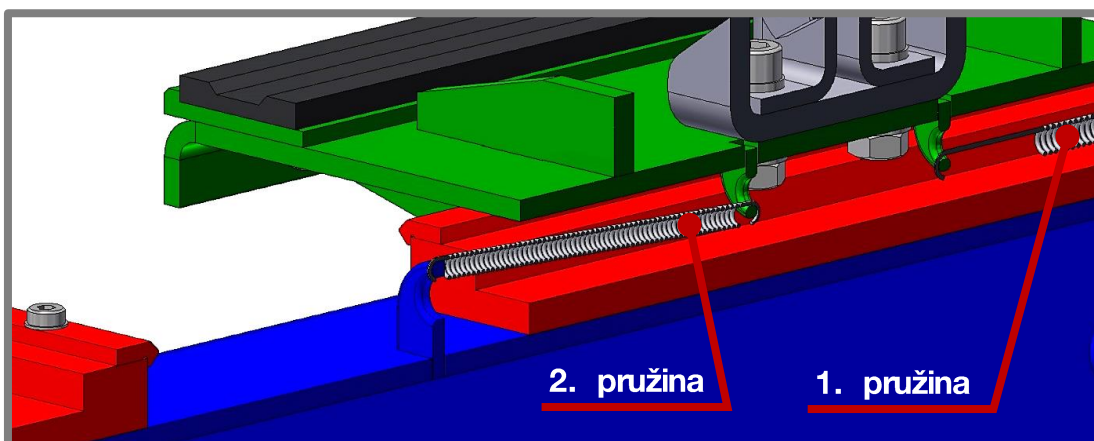
### Pružiny

Ke zvýšení automatizace zařízení je výchozí poloha pojezdových vozíků nastavována kombinací tažných pružin a gumových dorazů. Vozíky pro každou stranu tkaniny jsou s pružinami zapojeny do série, kdy první pružina je zachycena ke kostře

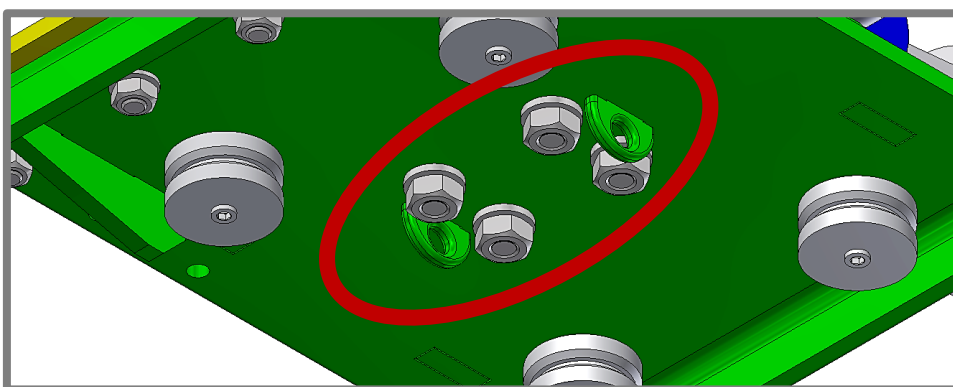
napínacího mechanismu, respektive rámu zařízení. K vozíkům jsou pružiny připojeny přes navařený plech s otvorem na jejich spodní straně.



Obr. 4.26 Napínací mechanismus s pojezdovými vozíky,  $\frac{3}{4}$  řez (červená – napínací mechanismus, modrá – lineární vedení, zelená – pojezdový vozík)

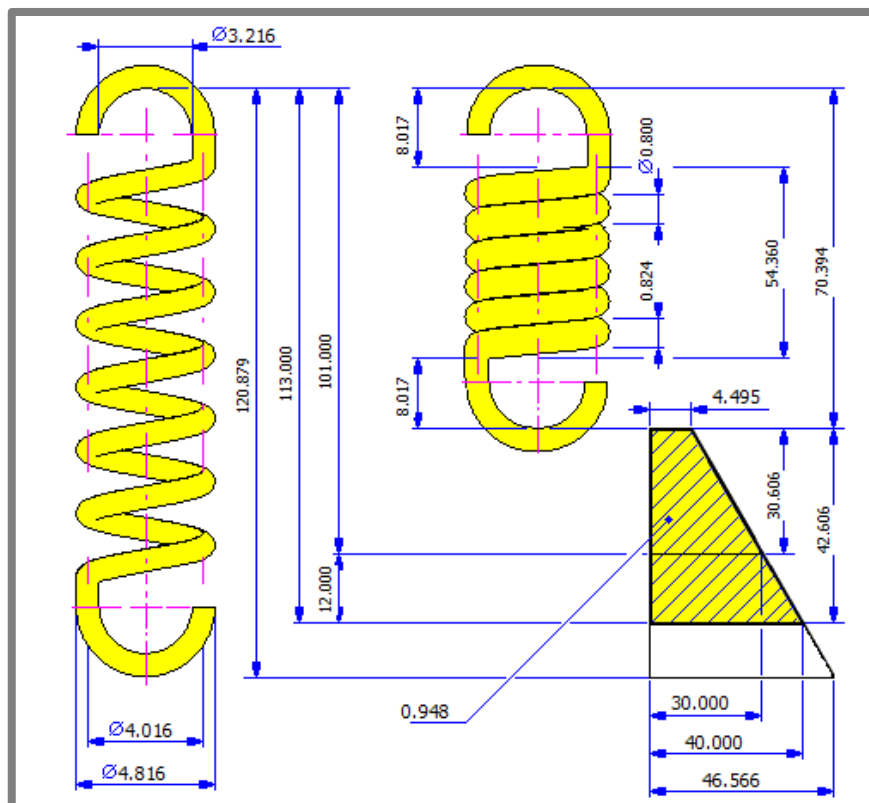


Obr. 4.27 Rám zařízení s pojezdovými vozíky, řez (modrá – rám zařízení, červená – lineární vedení, zelená – pojezdový vozík)

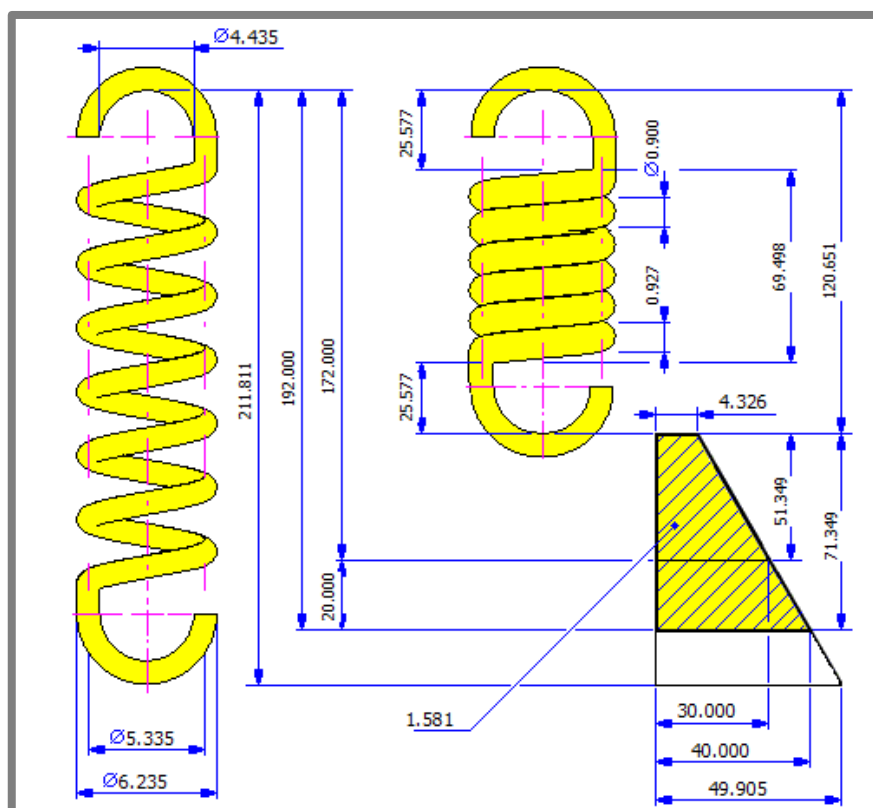


Obr. 4.28 Pojezdový vozík, vyznačeno uchycení pružin

Výpočet pružin byl prováděn v prostředí programu Autodesk Inventor 2015, kdy byl hledán rozumný poměr mezi velikostí pružiny, vzhledem k malému zástavbovému prostoru, a poměrně malou tažnou silou v rozsahu 30 až 50 N. Označení pořadí sestavení pružin viz obr. 4.27.



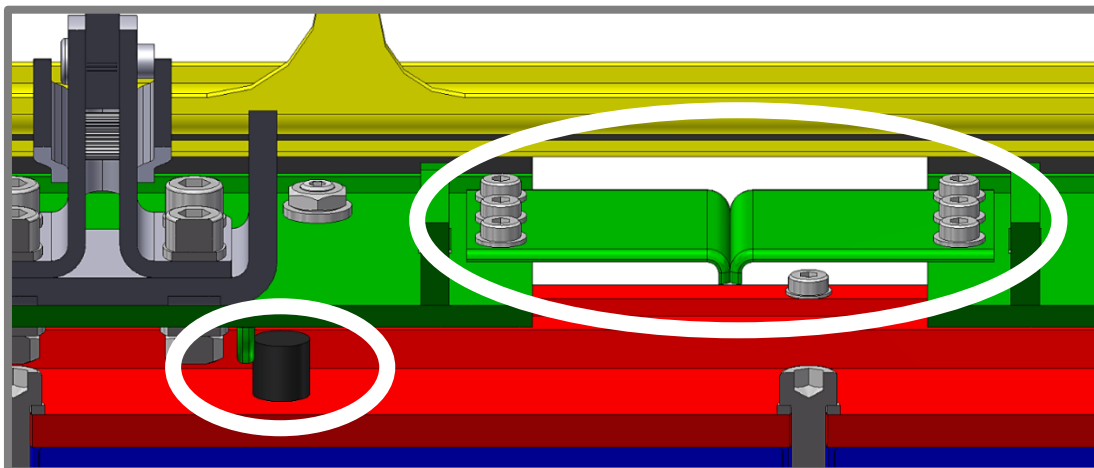
Obr. 4.29 První pružina, tuhost pružiny 0,833 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015



Obr. 4.30 Druhá pružina, tuhost pružiny 0,5 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015

### Ustavení spodních pojezdových vozíků

Vzhledem k výše popsaným výrobním krokům není možné na spodní vozíky aplikovat přístup s použitím tažných pružin. Na místo toho je levý vozík manuálně ustaven ke gumovému dorazu a následně je k němu pravý vozík přitlačen přes plechové zarážky.



Obr. 4.31 Nastavení výchozí polohy spodních vozíků, řez

#### 4.1.5 Vodící kolejnice

Oproti použitým rolnám (řada LinRol) je pro vodící kolejnice vybrána řada LinTrek od stejného výrobce. Důvodem je především značně nižší cena při zachování požadovaných vlastností, jako je únosnost a tvrdost břitů. Ty jsou tvrzeny na min. 53 HRC. Způsob jejich uchycení byl popsán v předcházejících kapitolách.

Konstrukční návrh uvažuje všechny části lineárního vedení z nerezového materiálu. Důvodem je korozní odolnost, kdy se počítá s výrobou celého zařízení z nerezového materiálu a použití běžných uhlíkových ocelí by nutně docházelo ke vzniku makrochlánku a tedy i výraznému snížení korozní odolnosti. Firma IN-EKO Team při své činnosti zpracovává pouze nerezový materiál, a proto není možné v její dílně, z důvodu zanesení koroze, zpracovávat uhlíkovou ocel (tzv. „černý“ materiál).

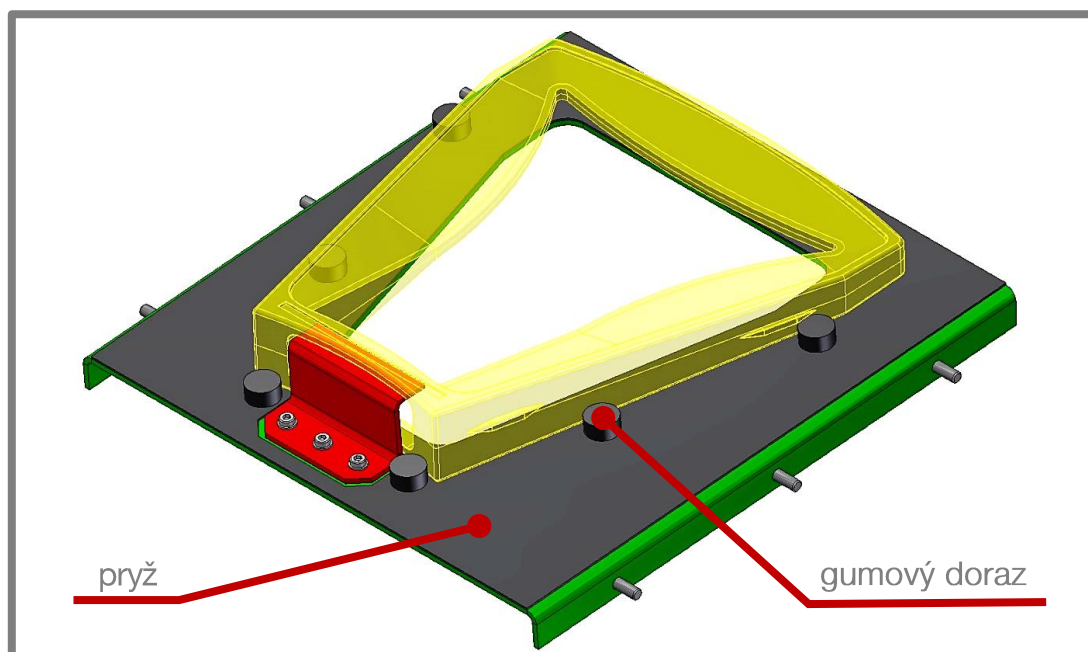
4.1.5

#### 4.1.6 Podpůrný plech segmentu

Podpora rámu segmentu je tvořena ohýbaným plechem, který je ze spodní strany vyztužen navařenými žebry. Podpůrný plech je šrouby M10 připevněn přes nýtovací matice k základnímu rámu zařízení. Na obr. 4.34 si je možné všimnout sklonu, pod kterým je plech k základnímu rámu připevněn (5° od vodorovné roviny). Aby byla tkanina i po přivaření stále přitlačována na rám segmentu a nedošlo tak k jejímu odtržení po oddálení tepelného nože, je podpůrný plech spolu se segmentem výškově posunut o 2 mm nad napínací kleštiny. S výhodou je zde využito výborných kluzných vlastností tkaniny, která je tak napínána přes rám segmentu. Dále je nutné doplnit, že v době psaní práce nebylo známo zatížení od tepelného nože, proto může být

4.1.6

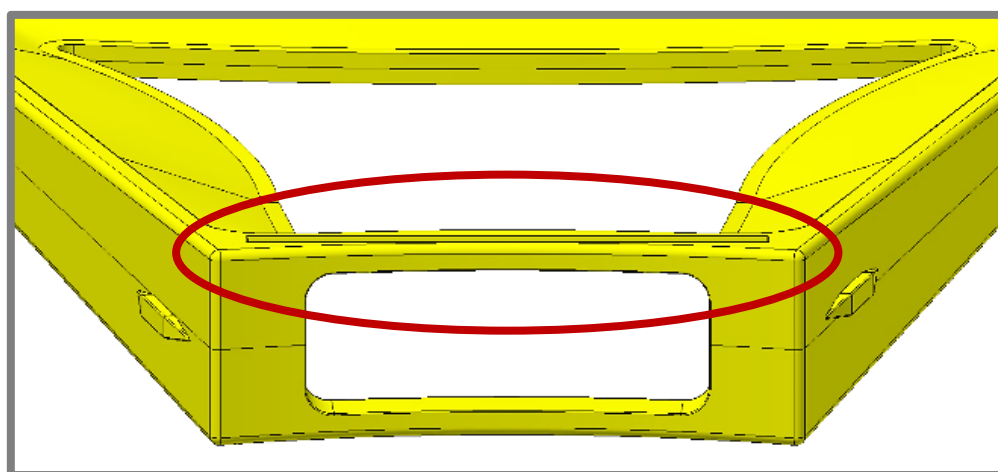
v závislosti na vývoji tepelného nože dodatečně změněno uchycení podpůrného plechu.



Obr. 4.32 Podpůrný plech segmentu (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment)

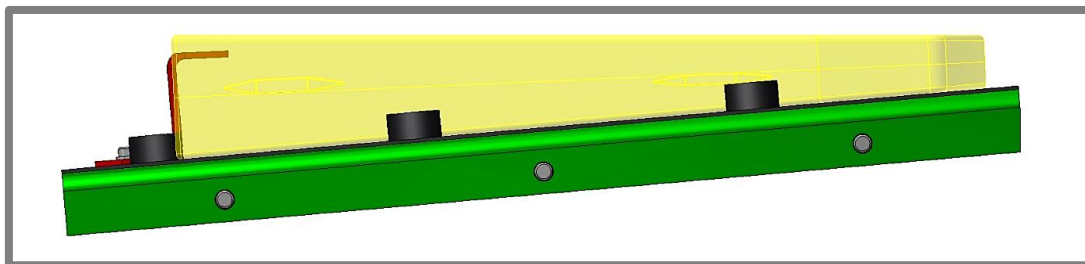
Kvalita přivaření napnuté filtrační tkaniny je citlivá na rovinnost rámu segmentu, s tím nutně souvisí také zajištění dostatečné rovnoběžnosti břítu tepelného nože a vrchní plochy rámu segmentu. Rovnoběžnost je proto mimo jiné kompenzována umístěním pryže tloušťky 2 mm mezi rám segmentu a podpůrný plech, kdy se případná různoběžnost vyrovná deformací pryže.

Ze stejného důvodu bylo nutné zajistit vyztužení vtoku rámu segmentu, kde by jeho případnou deformací mohlo dojít ke špatnému přivaření tkaniny.

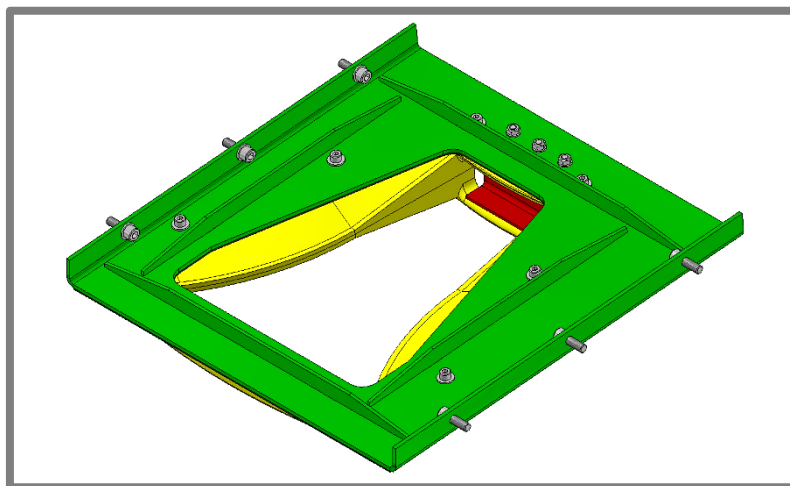


Obr. 4.33 Rám segmentu – místo vyztužení

Segment je na podpůrném plechu ustaven za pomoci gumových dorazů, kdy je při vložení do zařízení obsluhou výroby zatlačen do krajní polohy.



Obr. 4.34 Podpůrný plech segmentu – vodorovný boční pohled (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment)

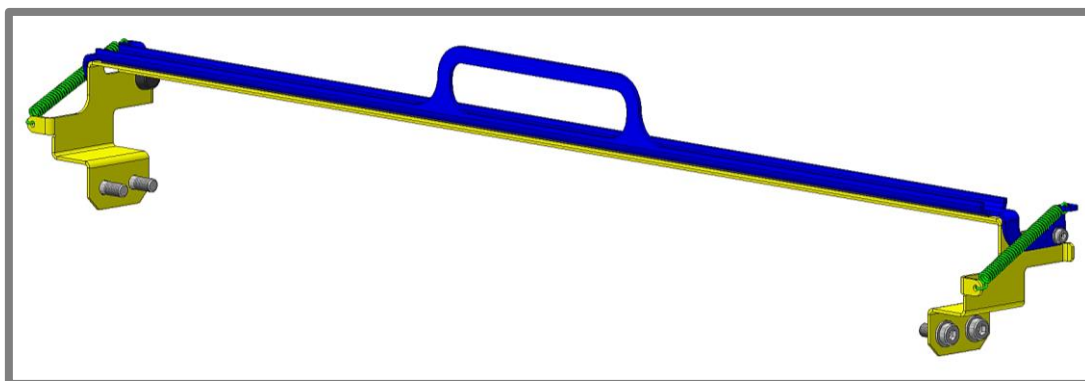


Obr. 4.35 Podpůrný plech segmentu (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment)

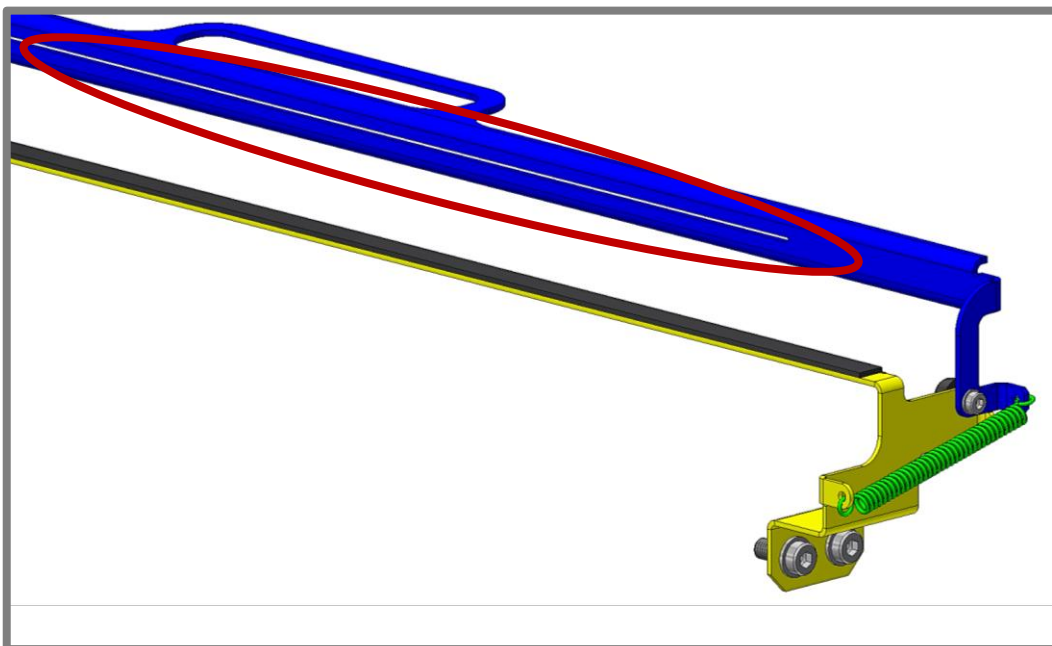
#### 4.1.7 Pomocný přídržný mechanismus

Mechanismus slouží k uchycení a oříznutí tkaniny před jejím sevřením pneumatickými upínkami. Otevřeným mechanismus se mezi spodním a horním profilem provleče filtrační tkanina, která se následně zajistí sklopením mechanismu. V horním profilu je na vodním paprsku vyřezána drážka, která slouží jako vedení pro manuální oříznutí náviny tkaniny - obr. 4.37. Na spodním profilu je nalepena pryž, která zvyšuje koeficient tření mezi tkaninou a mechanismem a současně zabraňuje přílišnému otupení nože.

4.1.7



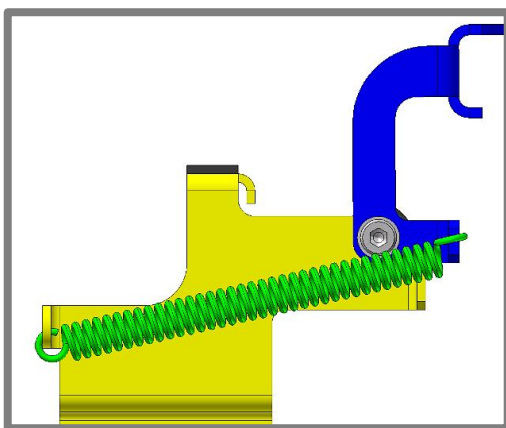
Obr. 4.36 Pomocný přídržný mechanismus – uzavřený stav (modrá – horní profil, žlutá – spodní profil, zelená pružina)



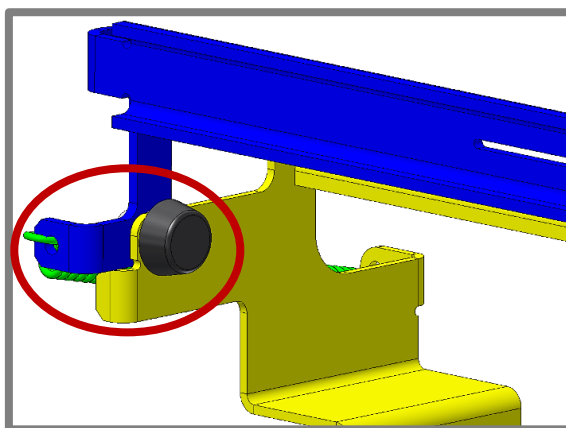
**Obr. 4.37** Pomocný předrzný mechanismus – otevřený stav, zvýrazněna drážka pro oříznutí tkaniny (modrá – horní profil, žlutá – spodní profil, zelená pružina)

Svírající síla mechanismu je vyvozena za pomoci dvojce tažných pružin, jedná se o jednoduchý přístup, kdy se otevřením mechanismu dostane uchycení pružiny na horním profilu přes jeho osu otáčení, čímž se změní charakter působení síly - obr. 4.38 a obr. 4.40. Tento přístup je často k vidění u krytování obráběcích strojů, sloupových vrtaček, apod.

Konstrukce je navržena pouze z ohýbaných plechů vyřezávaných na vodním paprsku.



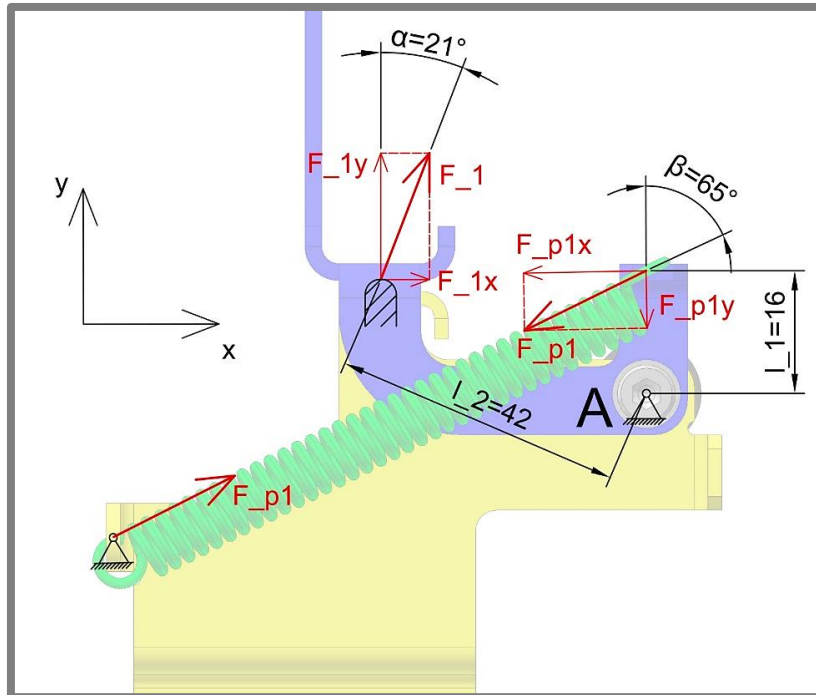
**Obr. 4.38** Otevřený mechanismus



**Obr. 4.39** Otevřený mechanismus – krajní poloha horního profilu, gumový doraz pojezdového vozíku

### Pružiny

Pro zjištění přitlační síly mechanismu byl proveden silový rozbor - obr. 4.40. Na jeho základě byly následně v prostředí programu Autodesk Inventor 2015 navrženy tažné pružiny.



Obr. 4.40 Silový rozbor pomocného přídržného mechanismu

$$\sum M_A = 0 \quad (4.6)$$

$$F_{p1} \cdot \sin \beta \cdot l_1 - F_1 \cdot l_2 = 0 \quad (4.7)$$

$$F_1 = \frac{F_{p1} \cdot \sin \beta \cdot l_1}{l_2} \quad (4.8)$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha \quad (4.9)$$

$$F_{1y} = \frac{F_{p1} \cdot \sin \beta \cdot l_1}{l_2} \cdot \cos \alpha \quad (4.10)$$

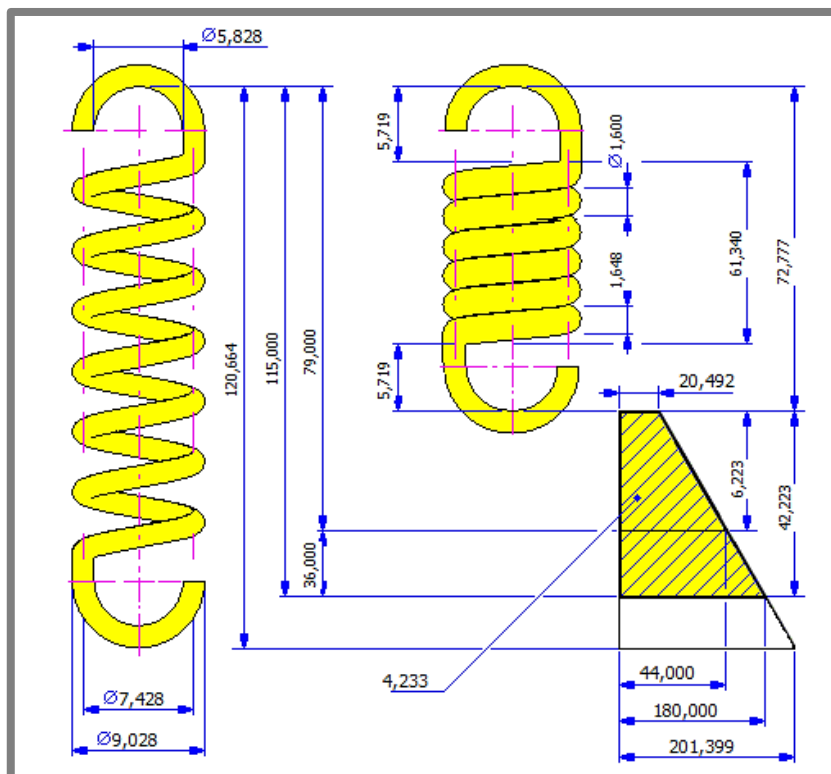
$$= \frac{90 \text{ N} \cdot \sin 65^\circ \cdot 16 \text{ mm}}{42 \text{ mm}} \cdot \cos 21^\circ = 29 \text{ N}$$

$$F_{\text{prit}} = n \cdot F_{1y} = 2 \cdot 29 \text{ N} = \mathbf{58 \text{ N}} \quad (4.11)$$

kde:

$M_A$	Nm	- moment k bodu A
$F_{p1}$	N	- síla pružiny ve sklopeném stavu
$F_{1y}$	N	- přítláčná síla mechanismu
$F_{\text{prit}}$	N	- celková přítláčná síla mechanismus
$\alpha$	°	- úhel dle obrázku
$\beta$	°	- úhel dle obrázku
$l_1$	mm	- délka ramene dle obrázku
$l_2$	mm	- délka ramene dle obrázku
$n$	-	- počet tažných pružin

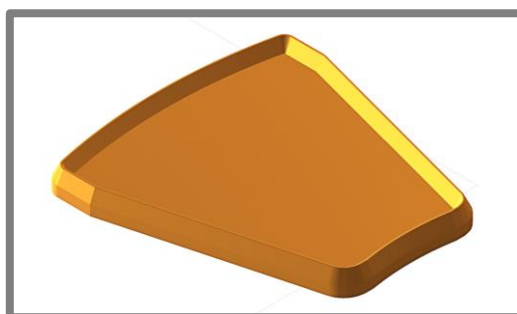
Pokud se na výpočet podíváme kriticky, je nutné poznamenat, že podobně jako ve většině konstrukčních výpočtů se dosazované hodnoty mohou mírně lišit od těch reálných. Nicméně i tak dostáváme představu o hodnotě navržené přítláčné síly, kterou lze případně zvětšit či zmenšit jednoduchou výměnou tažných pružin.



Obr. 4.41 Tažná pružina, tuhost pružiny 3,77 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015

#### 4.1.8 Tepelný nůž

Jak již bylo zmíněno, přivaření tkaniny prostřednictvím tepelného nože je probíhající vývoj firmy. Dle zadání práce tedy není cílem navrhnout konstrukci tepelného nože, ta tak bude do výsledného návrhu implementována až dodatečně. Požadavkem je však zajištění volného prostoru nad rámem segmentu a současně co nejnižší výšky konstrukce nad segmentem.



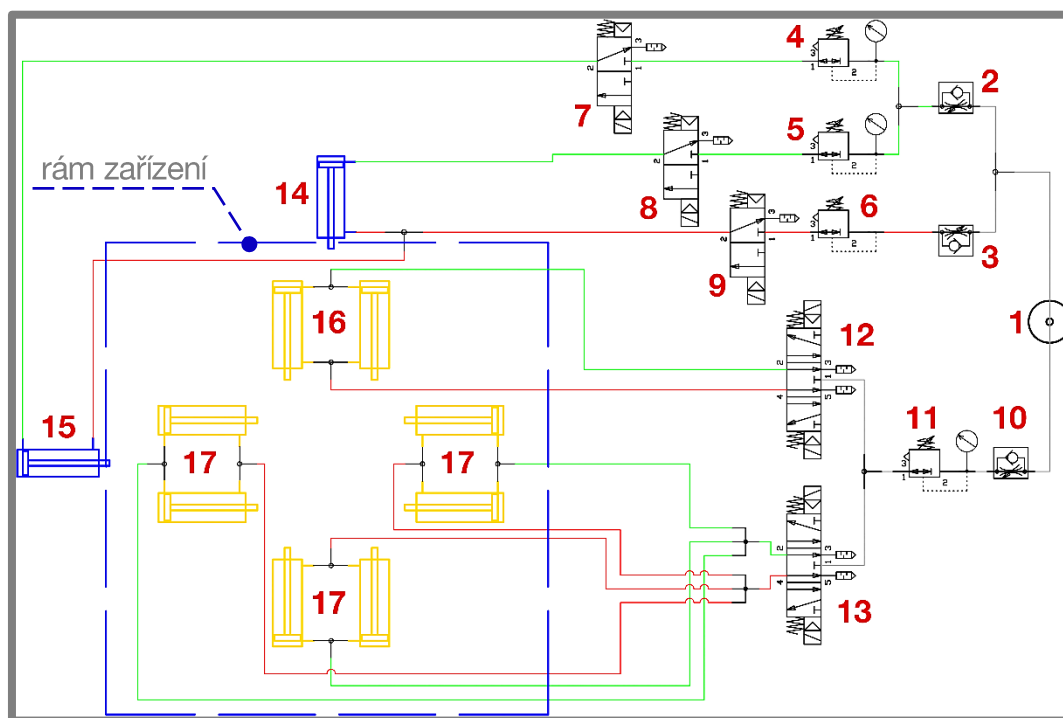
Obr. 4.42 Schématická vizualizace tvaru tepelného nože – pohled na kontaktní plochu

#### 4.2 Pneumatický systém

Schéma celého pneumatického systému je na obr. 4.43. Při pohledu z pravé strany je prvním prvkem zdroj stlačeného vzduchu – pozice 1. Na schématu nejsou

zobrazeny prvky pro úpravu stlačeného vzduchu, návrh počítá s připojením kompresorové jednotky, která je již tímto systémem vybavena.

Od přípoje stlačeného vzduchu se rozvod dělí do dvou hlavních větví, a sice pro připojení napínacích válců (horní větev) a pro pneumatické válce rychloupínek (dolní větev).



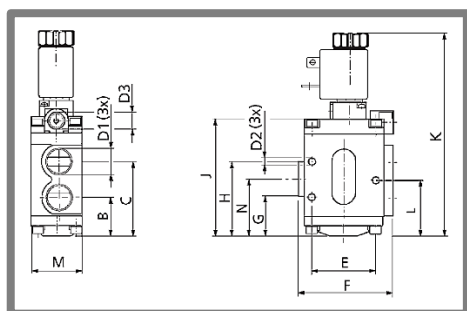
**Obr. 4.43** Pneumatické schéma (modrá – napínací pneum. válec, žlutá – pneum. válec rychloupínky, zelená – tlakové hadice pro předepnutí, respektive sevření kleštině, červená – tlakové hadice pro uvolnění předepnutí, respektive uvolnění kleštiny)

Průtok média horní větví je nastavován dvěma manuálně ovládanými škrtícími ventily (2, 3), tím je regulována rychlost napínání (2) a rychlost posunu napínacího mechanismu do výchozí polohy (3). Tlak větví pro napínání tkaniny je regulován dvojicí redukčních ventilů s manometrem (4, 5). Použití dvou redukčních ventilů a tedy rozdělení vedení pro horní (14) a levý (15) napínací válec je nezbytné, z důvodu rozdílných délek stran tkaniny a tím tedy i potřeby odlišných napínacích sil. Konkrétní hodnoty tlaků se experimentálně nastaví na napínacím zařízení za pomoci digitální či manuální měrky předpětí – viz kapitola 1.5 Měření předpětí. Přisun stlačeného vzduchu do válců je nastavován elektromagneticky nepřímě ovládanými 3/2 ventily s otevřenou klidovou polohou. Volba otevřené klidové polohy je nezbytná s ohledem na bezpečnost zařízení, kdy v případě poruchy či jiného kritického stavu se přes nouzové tlačítko, umístěné na ovládacím panelu, odpojí napájení cívek ventilů. Toto ostatně platí pro všechny použité ventily v zařízení, čímž se v případě potřeby odvdzušní celý pneumatický systém.

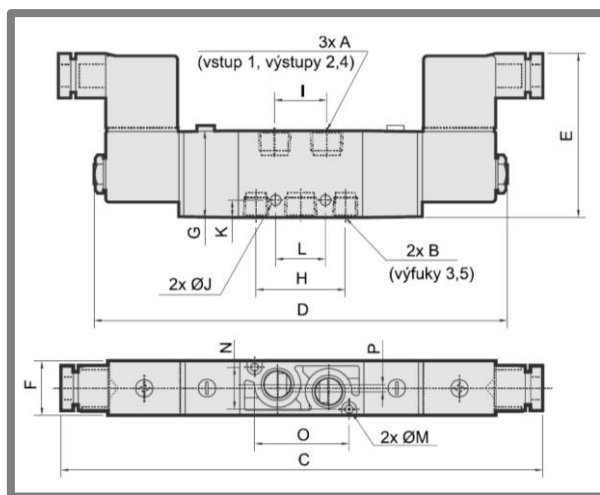
Navrácení napínacího mechanismu do výchozí polohy je zajištěno časováním či stiskem tlačítka a následného přepnutí polohy ventilů 7, 8 a 9. Manuálně ovládaný redukční ventil (6) slouží k nastavení síly dorazu napínacího mechanismu.

Dolní hlavní větev slouží k připojení válců pneumatických rychloupínek (16, 17). Průtok vzduchu, respektive rychlost sevření upínek je opět u zdroje

stlačeného vzduchu regulována manuálně ovládaným škrtícím ventilem (10). Za ním je umístěn redukční ventil s manometrem (11), kterým lze nastavit maximální tlak, respektive sílu sevření upínek. Dle popisu v kapitole **4.1.1 Popis jednotlivých výrobních kroků obsluhy zařízení** je činnost upínek rozdělena do dvou fází, kdy v první fázi dojde přes nožní pedál k sevření horních pneumatických upínek (16) a v druhé fázi současným stiskem dvou tlačítek k sevření ostatních upínek (17). Z tohoto důvodu je přístup vzduchu řízen elektromagneticky nepřímými ovládanými 5/3 ventily s otevřenou klidovou polohou (12, 13).

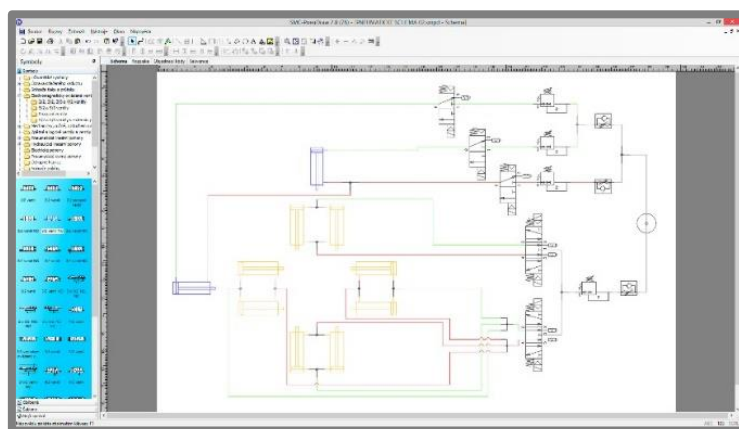


Obr. 4.44 Elektromagneticky nepřímý ovládaný 3/2 ventil – typ NAF firmy Stránský a Petržík [20]



Obr. 4.45 Elektromagneticky nepřímý ovládaný 5/3 ventil – typ MVSV firmy Stránský a Petržík [20]

Cívky ventilů jsou napájeny napětím 24 V DC, potřebný příkon cívky je 2,5 W (5/3 ventil) a 3,5 W (3/2 ventil). Pneumatický systém je omezen použitými prvky na maximální provozní tlak 0,8 MPa v případě napínací větve a 0,7 MPa v případě větve s pneumatickými rychloupínkami, přičemž stlačený vzduch je rozváděn tuhými pneumatickými hadicemi. Ty jsou spojeny šroubením s rychlospojky. Napínací válce dosahují maximální síly 2 244N při tlaku 0,8 MPa. Schéma pneumatického systému bylo vytvářeno v programu Pneudraw 2.8 společnosti SMC, jehož verze je volně šiřitelná. Nicméně použité pneumatické prvky, konkretizované v kapitole 4.5 Náklady, jsou od společnosti Stránský a Petržík, .

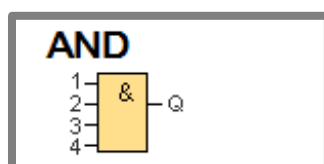


Obr. 4.46 SMC – Pneudraw 2.8

### 4.3 Řízení

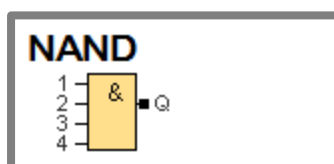
Řídicí program pro PLC automat byl vytvořen v prostředí LOGO!Soft Comfort V8 společnosti SIEMENS. Jako programovací jazyk byl zvolen grafický jazyk FBD (Function Blocks Diagrams), zejména pro jeho názornost a pro konstruktéry intuitivní programování. Byly použity funkce:

- **AND** – výstupem funkce AND je logická 1 pouze v případě, kdy jsou všechny vstupy rovny 1.



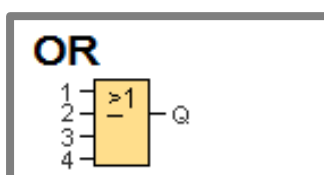
Obr. 4.47 Schématická značka základní funkce AND

- **NAND** – výstupem funkce NAND je logická 0 pouze v případě, kdy všechny vstupy obsahují logickou 1. Funkce NAND je tak negací funkce AND.



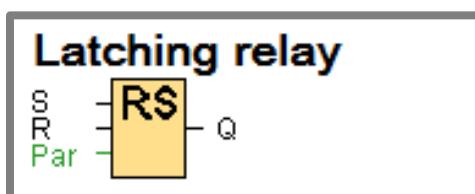
Obr. 4.48 Schématická značka základní funkce NAND

- **OR** – výstupem funkce OR je logická 1 v případě, kdy alespoň 1 vstup je logická 1.



Obr. 4.49 Schématická značka základní funkce OR

- **Latching relay** – na výstupu je nastavena logická 1 v případě signálu logické 1 na vstup S, přičemž v případě logické 1 na vstup R je výstup resetován (logická 0). Tato speciální funkce drží danou hodnotu výstupu, využít tak lze například při použití tlačítka (push button), které dává pouze krátký signál.

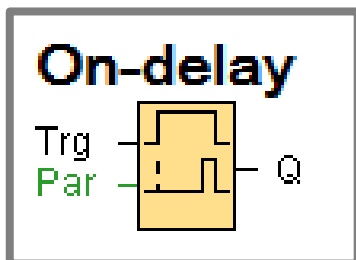


Obr. 4.50 Schématická značka speciální funkce Latching relay

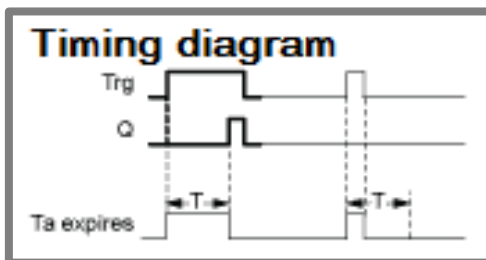
S	R	Q	Remark
0	0	x	Status unchanged
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	0	Reset

Obr. 4.51 Logická tabulka funkce Latching relay

- **On-delay** – při vstupu logické 1 je na výstupu po uplynutí definovaného času nastavena logická 1. Při vstupu logické 0 je na výstup nastavena logická 0 bez prodlžení.

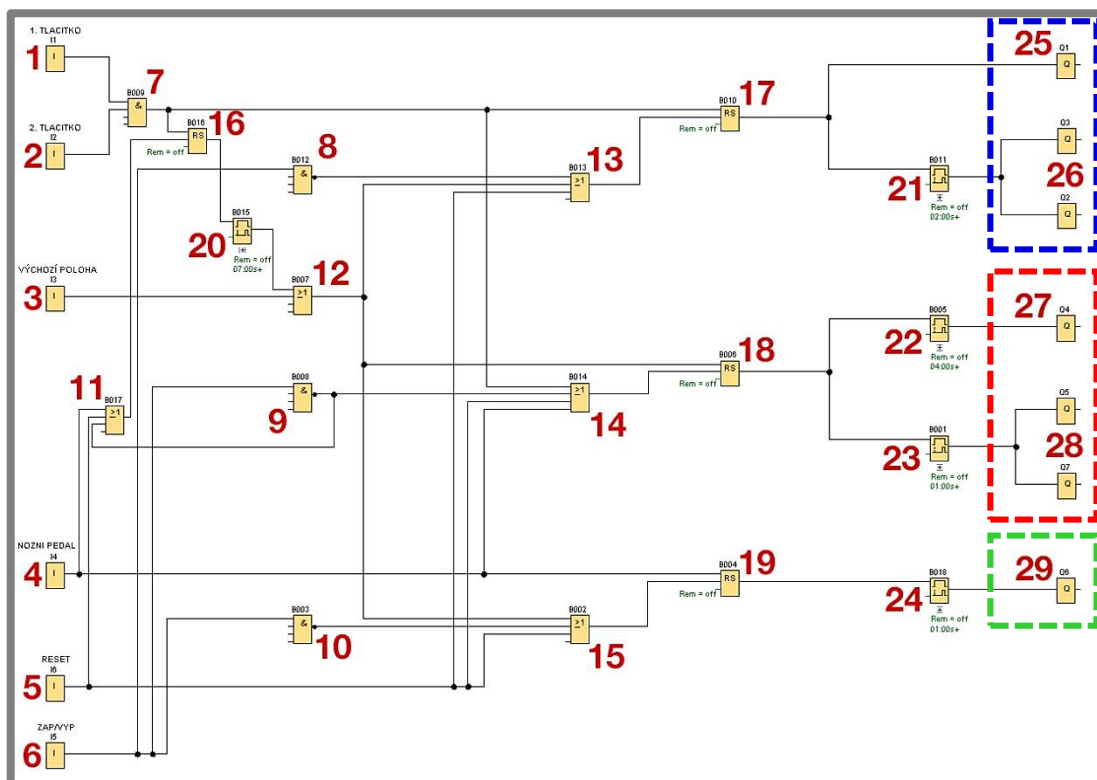


Obr. 4.52 Schématická značka speciální funkce On-delay



Obr. 4.53 Časový diagram speciální funkce On-delay

Řídicí program obsahuje **6 vstupů**, hlavní **vypínač** pro zařízení (6) a **tlačítko** pro resetování programu (5), dvojice napínacích tlačítek (1, 2), tlačítko pro uvedení zařízení do výchozí polohy (3) a připojení nožního pedálu (4). Program byl navržen dle postupu výroby popsáno v kapitole 4.1.1 Popis jednotlivých výrobních kroků obsluhy zařízení.

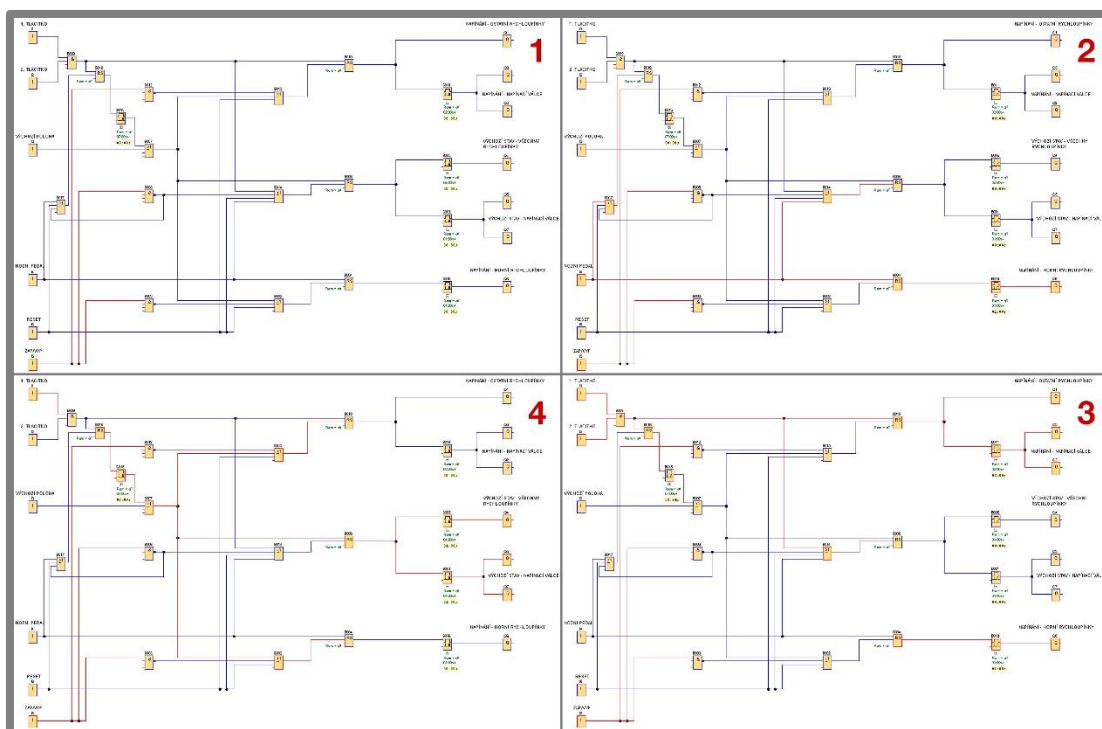


Obr. 4.54 Funkční blokové schéma řízení (1 až 6 – vstupy; 7 – AND; 8 až 10 – NAND; 11 až 15 – OR; 16 až 19 – Latching relay; 20 až 24 – On-delay; 24 až 29 výstupy; modrý rámeček – napínání, napívací válce a rychloupínky; červený rámeček – posun do výchozí polohy; zelený rámeček – napínání, horní rychloupínky)

Po zapnutí zařízení je přes nožní pedál (4) přiveden proud na cívky horních rychloupínek (29). Po přípravě tkaniny obsluhou výroby jsou současným stisknutím tlačítek (1, 2) ovládnuty cívky ventilů pro zbývající rychloupínky (25) a přes časovač

(21) je následně přiveden proud na cívky pro napínací válce (26). Následně dojde k přivaření tkaniny a po uplynutí nastaveného času (20) či stiskem tlačítka (3) dojde k navrácení napínacího mechanismu do výchozí polohy. Stiskem tlačítka (3) či po uplynutí nastaveného času (20) jsou nejprve přes časovač (23) změněny polohy 3/2 ventilů ovládající napínací válce (28) a následně časovačem (22) dojde k uvolnění všech pneumatických rychloupínek (27) a současně tak k navrácení napínacího zařízení do výchozí polohy. Potřebné časy se nastaví experimentálně na zařízení.

Pro snazší pochopení činnosti PLC jednotky je na následující obrázku ukázán celý cyklus činnosti zařízení s vyznačenými větvemi signálu s logickou 1.



Obr. 4.55 Cyklus činnosti zařízení (modrá větev – logická 0; červená větev – logická 1); 1 – zapnutí zařízení; 2 – sepnutí horních rychloupínek; 3 – napnutí tkaniny; 4 – návrat do výchozí polohy

V případě poruchy či jiné nestandardní činnosti zařízení je možný restart řídicího programu (tlačítko 5), který odpojí napájení všech výstupů. Z pohledu bezpečnosti návrh počítá s implementací nouzového vypínače, kterým se odpojí napájení celého PLC automatu.

Pro řízení byla vybrána PLC jednotka společnosti SIEMENS, typ s označením 6ED1052-2CC01-0BA8. Jedná se o jednotku s provozním napětím 24V DC, s 8 DI, případně se 4 AI a s 4 DO. K této univerzální jednotce je však nutné kvůli absenci dostatečného množství výstupů připojit rozšiřovací modul, typ 6ED1055-1CB10-0BA0. Rozšiřující modul přidává 8 DI a 8 DO.

Jednoduchým výpočtem lze zjistit potřebný výkon napájecího zdroje, kdy během činnosti zařízení jsou v jednom okamžiku napájené maximálně 4 cívky, jejichž celkový příkon je 9,5 W. Maximální spotřeba PLC jednotky je 1,2 W a rozšiřujícího modulu 1,5 W. Součtem výkonů se dostáváme na hodnotu 14,7 W. Pro dostatečnou rezervu a možnost připojení dodatečných prvků byl vybrán napájecí zdroj společnosti Comatec, typ TBD2/AR.0100.24/E8 s výkonem 24 W (24 V DC). Všechny elektrické prvky budou montovány na DIN lištu.



Obr. 4.56 PLC jednotka SIEMENS 6ED1052-2CC01-0BA8 [25]



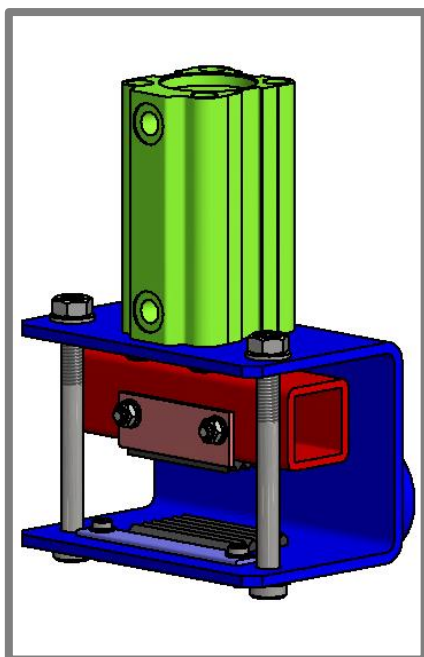
Obr. 4.57 Rozšiřovací modul SIEMENS 6ED1055-1CB10-0BA0



Obr. 4.58 Ukázka ovládacího panelu

#### 4.4 Experimentální kleština

Experimentální kleština umožňuje určit potřebnou přitlačnou sílu napínací kleštiny. Umožňuje testování více druhů tvarových řešení pryží a ověření nutnosti jejich zajištění ve směru napínání při požadované hodnotě předpětí filtrační tkaniny.



Obr. 4.59 Experimentální kleština, 3D model

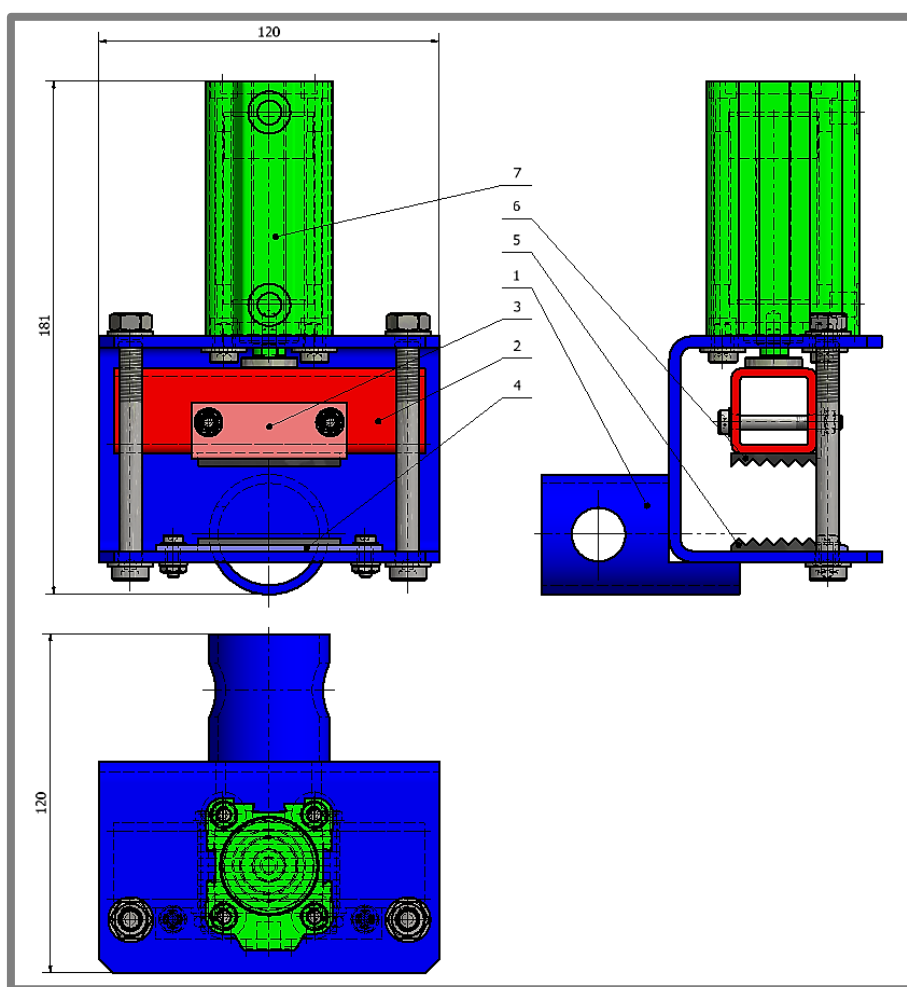


Obr. 4.60 Experimentální kleština, sestavení

Konstrukce byla navržena pro použití na zkušebním stroji Zwick umístěním na FSI. Šířka kleštiny je upravena na 50 mm, což vychází zejména z možností uchycení druhého konce testovaného vzorku tkaniny. Výsledky měření je proto nutné následně přepočítat na navržené rozměry kleštiny.

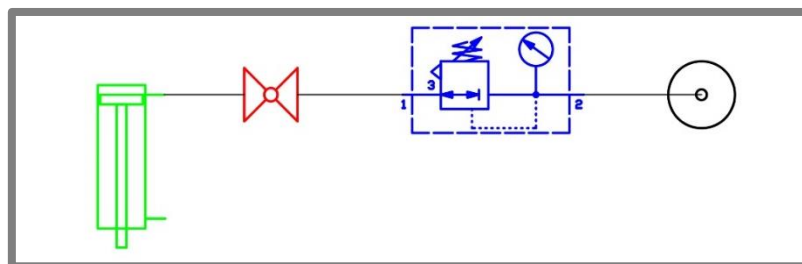
Zařízení se skládá ze základního nosného rámu – pozice 1 (obr. 4.61), ten je prostřednictvím válcové části a následným vložením válcového kolíku připojen k čepu trhacího zařízení. K základnímu rámu je přišroubován pneumatický válec s průměrem pístu 32 mm a zdvihem 50 mm – pozice 7. Připojením zdroje stlačeného vzduchu lze jednoduchým způsobem dle vzorce (1.1) spočítat přitlačnou sílu kleštiny. Maximální přitlačná síla pneumatického válce je při tlaku 1 MPa 803 N.

Horní část kleštiny tvoří čtvercový jeklový profil – pozice 2, na který dosedá pístnice pneumatického válce. Kontaktní části kleštiny představují zkoušené vzorky pryže – pozice 5 a 6, které jsou ke konstrukci připevněny oboustrannou lepicí páskou. Pro ověření nutnosti zajištění pryží ve směru napínání slouží odmontovatelné podpůrné plechy – pozice 3 a 4.



Obr. 4.61 Sestavení, 3D model

Zdroj tlakového vzduchu je realizován prostřednictvím tlakové láhve s redukčním ventilem. Pneumatické prvky jsou spojeny přes rychlospojky tuhými pneumatickými hadicemi. Pro možnost rychlého uzavření je do systému přidán kulový ventil.



**Obr. 4.62** Pneumatické schéma sestavení experimentální kleštiny (zelená – dvojitý pneumatický válec Ø32; červená – kulový ventil; modrá – redukční ventil; černá – zdroj stlačeného vzduchu (tlaková láhev)

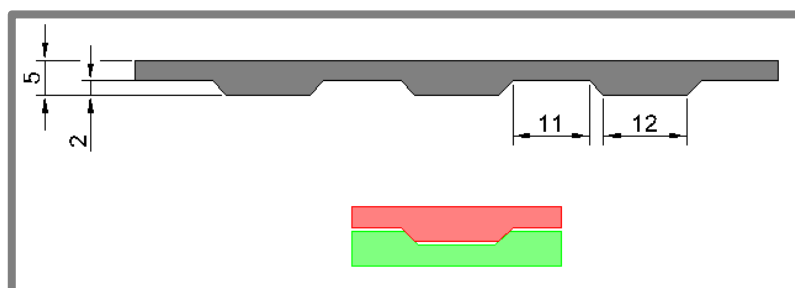
#### 4.4.1 Vzorky pryže

Níže uvedené vzorky byly zakoupeny ve společnosti Gumex, spol. s r.o..

##### Vzorek č. 1

Průmyslová podlahovina společnosti Gumex prodávána pod označením „Podlahová pryž RW3 P9540“. Parametry [15]:

- Materiál: elastomer NBR-SBR (olejivzdorné)
- Tvrdost pryže: 65° Sh
- Pracovní teplota: -10 °C/+70 °C (krátkodobě -30 °C/+90 °C)



**Obr. 4.63** Vzorek č. 1; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština)

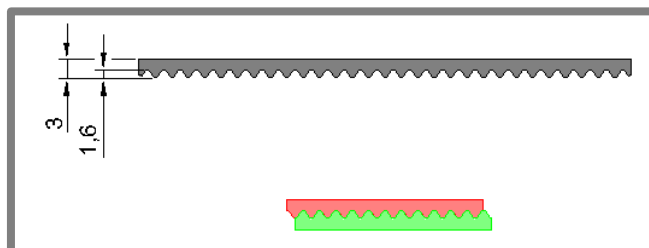


**Obr. 4.64** Připravený vzorek pryže

### Vzorek č. 2

Průmyslová podlahovina společnosti Gumex prodávána pod označením „Podlahová pryž S 3“. Parametry [15]:

- Materiál: elastomer NBR-SBR (olejivzdorné)
- Tvrdost pryže: 65° Sh
- Pracovní teplota: -10 °C/+70 °C (krátkodobě -30 °C/+90 °C)



Obr. 4.65 Vzorek č. 2; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština)

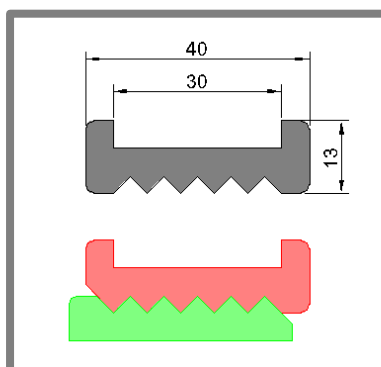


Obr. 4.66 Připravený vzorek pryže

### Vzorek č. 3

Pryžový profil společnosti Gumex prodávaný pod označením „Profil pryžový 30 mm, objímka“. Parametry [15]:

- Materiál: EPDM (odolný povětrnostním vlivům)
- Tvrdost pryže: 60° Sh
- Pracovní teplota: -40 °C/+100 °C



Obr. 4.67 Vzorek č. 2; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština)

Pro vytvoření kleštiny bylo nutné seříznout některé části pryže – viz následující obrázek.



Obr. 4.68 Připravený vzorek pryže

#### 4.4.2 Měření

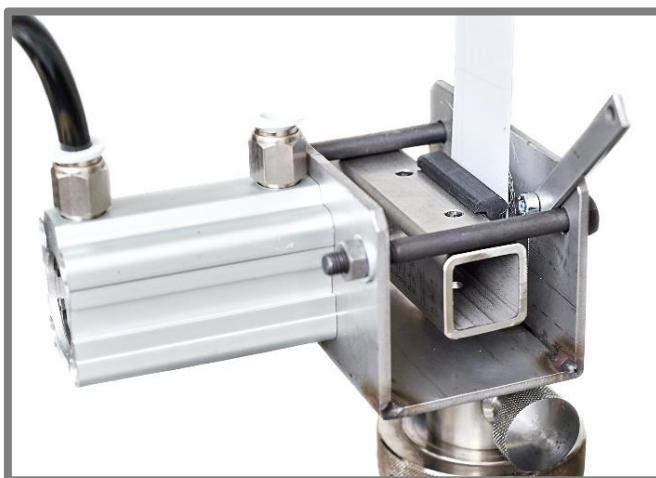
Všechny testy byly prováděny při předpětí tkaniny 35 N/cm. Testované vzorky tkanin šířky 50 mm byli napínání mezní silou 175 N s výdrží na této hodnotě. Měření probíhalo na zkušebním zařízení Zwick. Prokluz tkaniny byl kontrolován dle diagramu a dle posunutí kontrolních rysek na tkanině a zařízení.

Měření se sestávalo nejprve z ověření funkčnosti konstrukčního návrhu, kdy byly kleštiny sevřeny silou 1 500 N při délce kleštiny 150 mm. Ekvivalentem pro experimentální kleštinu je potom síla 500 N při délce kleštiny 50 mm a stejné šířce. Zkoušky byli prováděny na stejném sestavení 3x pro spolehlivější výsledky měření.

Dále byl hledán rozsah síly, kdy dojde k vyklouznutí tkaniny z kleštiny. Tyto testy byly pro jednotlivé varianty prováděny pouze 1.



Obr. 4.69 Zkušební zařízení



Obr. 4.70 Detail kleštiny během měření (vzorek č. 3)

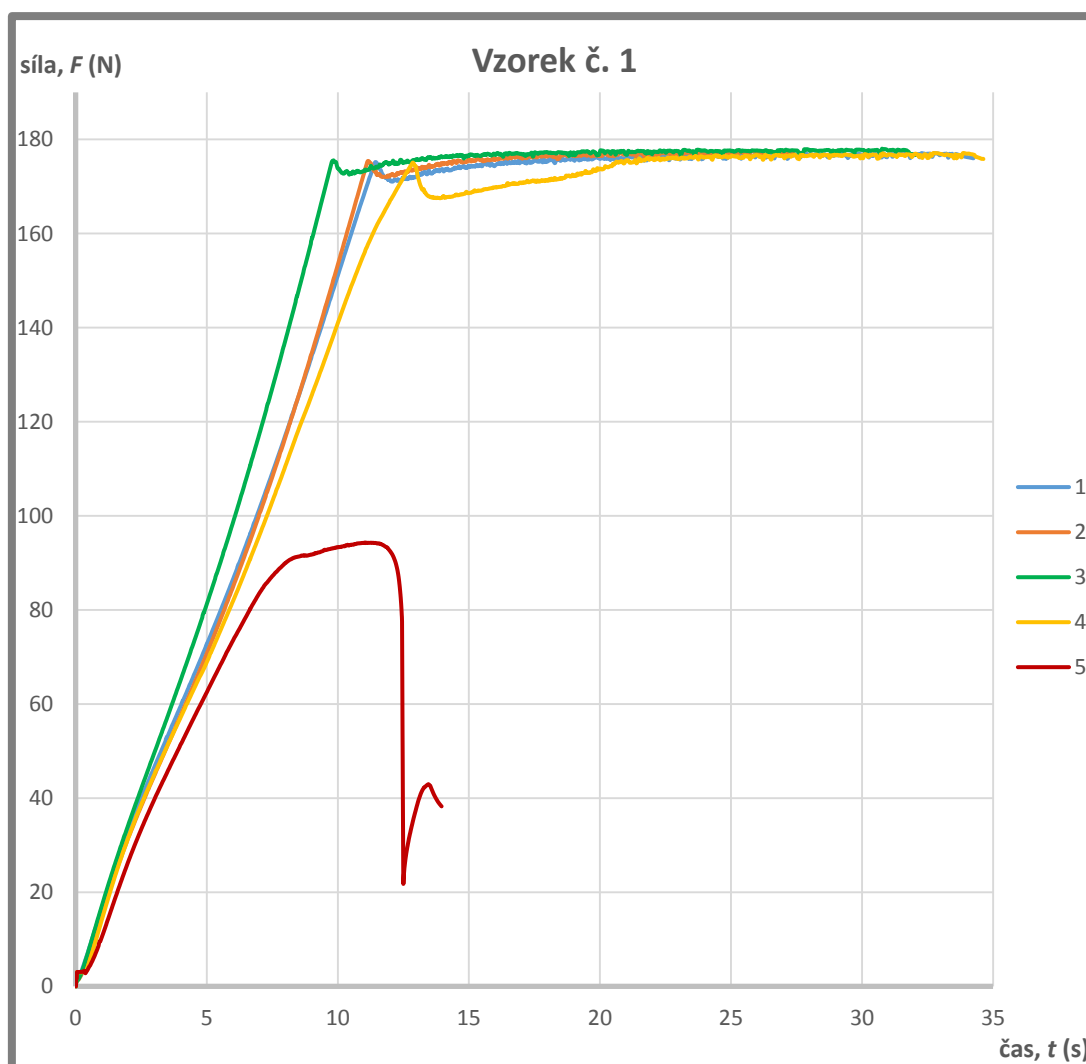
## Tkanina

Pro testy byly použity vzorky polyesterové tkaniny Monodur MON PES 13 s plátňovou vazbou a propustností 10  $\mu\text{m}$  (vzorek č. 6 a 7).

### Vzorek č. 1

Tab. 4.1 Výsledky měření, vzorek č. 1 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno)

č. m.	tlak ve válci [bar]	přítlačná síla [N]	1. měř.	2. měř.	3. měř.	č. tkan.	poznámka
1; 2; 3	6,2	500	OK	OK	OK	7.	nebyly použity podpůrné plechy
4	1,5	120	OK	X	X	7.	nebyly použity podpůrné plechy
5	0,8	64	U	X	X	7.	nebyly použity podpůrné plechy; <b>prokluz tkaniny v kleštině</b>

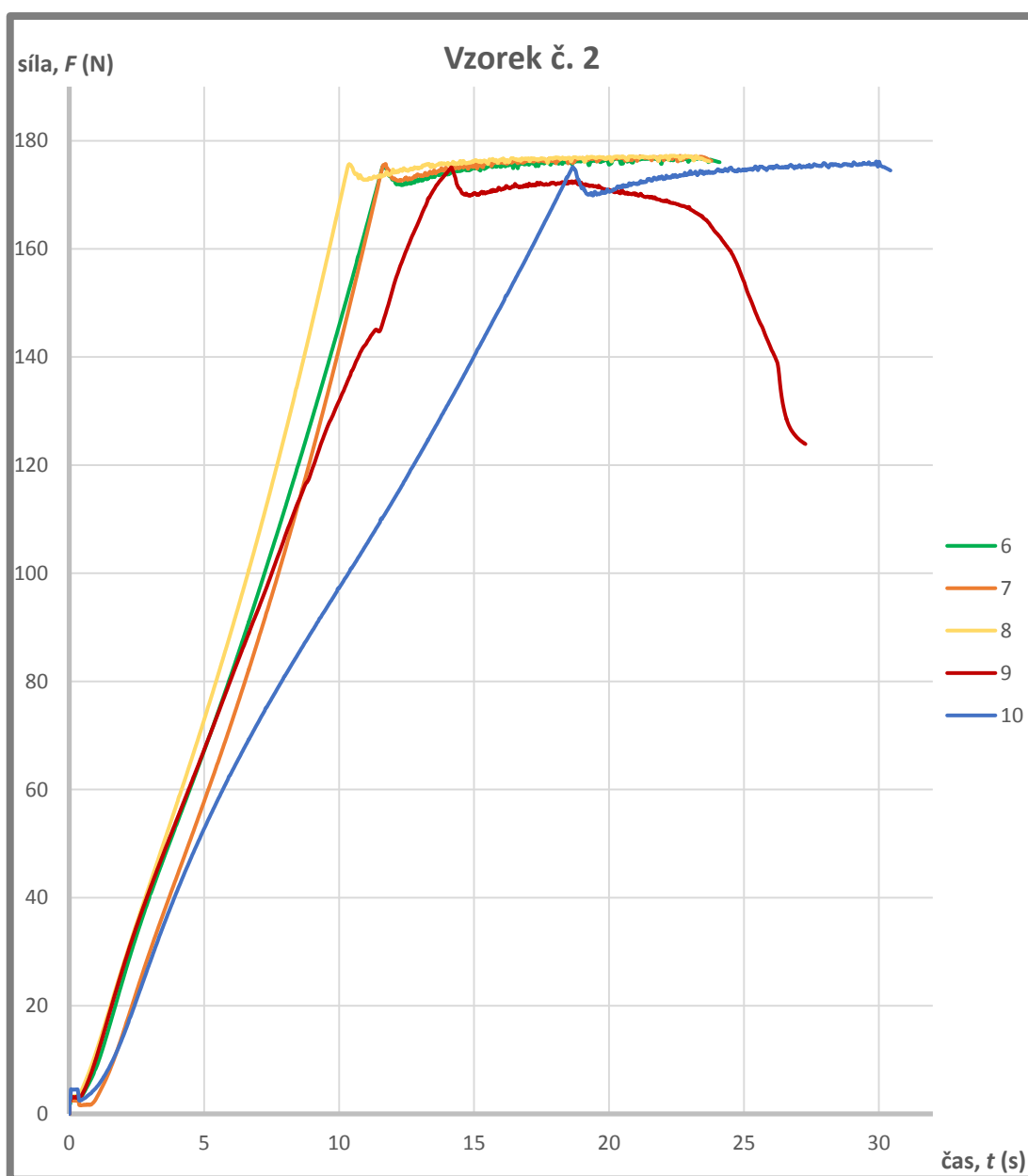


Obr. 4.71 Diagram měření, vzorek č. 1

Vzorek č. 2

Tab. 4.2 Výsledky měření, vzorek č. 2 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno)

č. m.	tlak ve válci [bar]	přítláčná síla [N]	1. měř.	2. měř.	3. měř.	č. tkan.	poznámka
6; 7; 8	6,2	500	OK	OK	OK	7.	nebyly použity podpůrné plechy
9	1,5	120	U	X	X	7.	nebyly použity podpůrné plechy; <b>prokluz tkaniny v kleštině</b>
10	2,5	200	OK	X	X	6.	nebyly použity podpůrné plechy

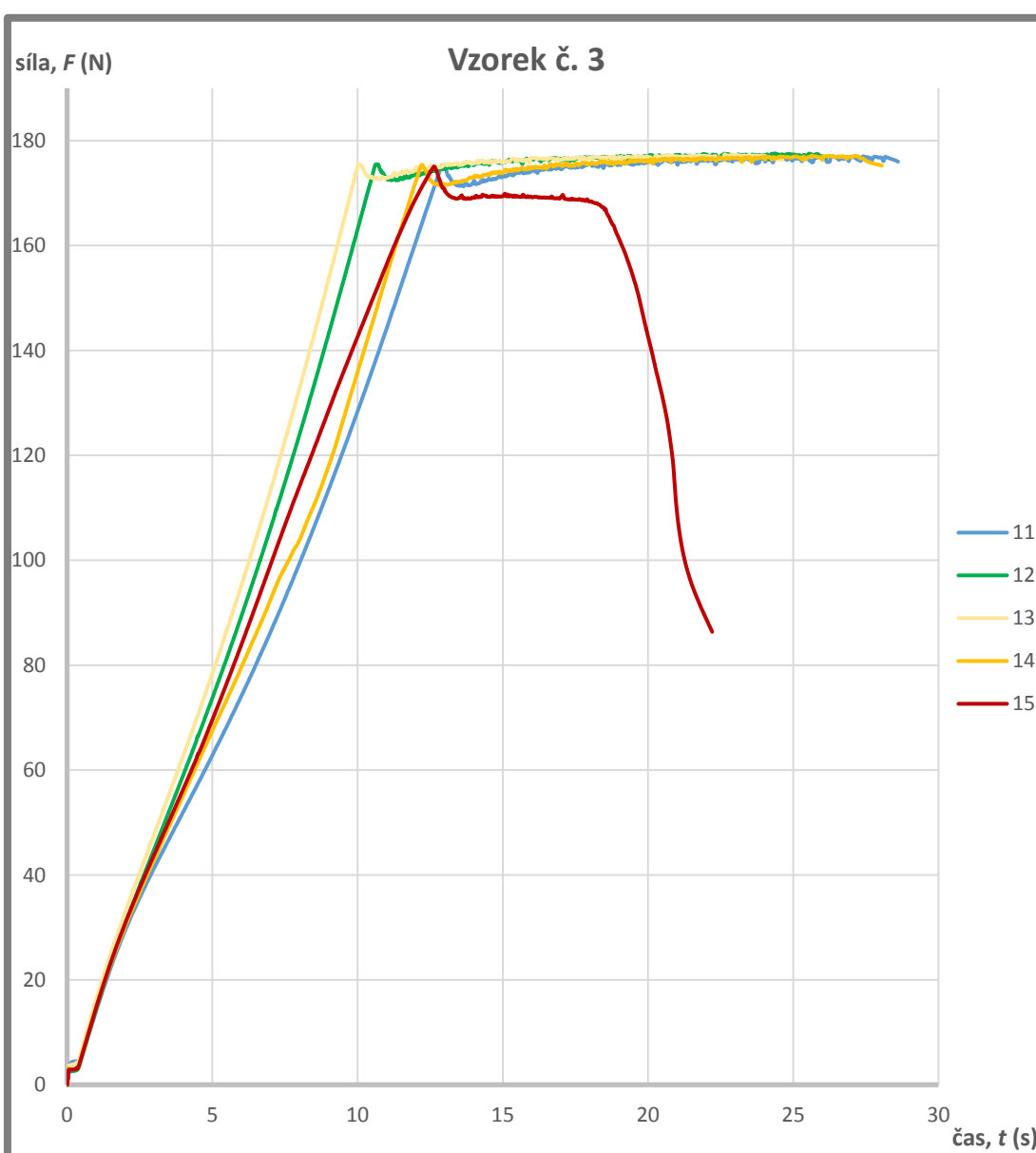


Obr. 4.72 Diagram měření, vzorek č. 2

## Vzorek č. 3

Tab. 4.3 Výsledky měření, vzorek č. 1 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno)

č. m.	tlak ve válci [bar]	přítlačná síla [N]	1. měř.	2. měř.	3. měř.	č. tkan.	poznámka
11; 12; 13	6,2	500	OK	OK	OK	6.	nebyly použity podpůrné plechy
14	1,5	120	OK	X	X	6.	nebyly použity podpůrné plechy
15	0,9	72	U	X	X	6.	nebyly použity podpůrné plechy; <b>prokluz tkaniny v kleštině</b>



Obr. 4.73 Diagram měření, vzorek č. 3

#### 4.4.3 Přepočet síly

Výsledky měření je nutné dále přepočítat na délku kleštin použitou v návrhu napínacího zařízení. Přepočet je založen na zachování stejného svírajícího tlaku mezi kleštinami při zachování stejné šířky kleštiny ( $b$ ).

$$p = \frac{F}{S} \quad (4.12)$$

$$S_1 = a_1 \cdot b \quad (4.13)$$

$$S_2 = a_2 \cdot b \quad (4.14)$$

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad (4.15)$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{a_2}{a_1} \quad (4.16)$$

kde:

$a_1$	mm	- délka experimentální kleštiny
$a_2$	mm	- délka navržené kleštiny
$b$	mm	- šířka kleštiny
$F_1$	N	- přítlačná síla experimentální kleštiny
$F_2$	N	- přítlačná síla navrhované kleštiny

Následující tabulka uvádí minimální hodnoty sil sevření kleštiny přepočítané dle výše uvedeného vztahu na délky kleštiny 150 mm a 170 mm, vycházející z návrhu napínacího zařízení.

Tab. 4.4 Přepočet minimálních sil sevření navržené kleštiny

$F_2$ [N]	délka 150 mm ( $a_{2,1}$ )	délka 170 mm ( $a_{2,2}$ )
vzorek č. 1	360	408
vzorek č. 2	600	680
vzorek č. 3	360	408

#### 4.4.4 Hodnocení experimentální kleštiny

Navržené zařízení umožňuje ověřit velikost potřebné svírající síly. Bylo zkoušeno více druhů pryží v kombinaci s polyesterovou filtrační tkaninou s propustností 10  $\mu\text{m}$ .

Testy byly prováděny na zkušebním zařízení Zwick. Byly měřeny svírající síly vycházející z dosavadního návrhu napínací kleštiny, jakož to i rozsah sil, kdy dojde k prokluzu tkaniny v kleštině. Svírající síla byla vyvozena pneumatickým válcem, přičemž hodnota potřebného tlaku byla odečtena z redukčního ventilu tlakové láhve. Naměřené výsledky byly zpracovány v programu Excel. Získané hodnoty sil byly dále přepočítány na navržené délky kleštin při zachování stejného kontaktního tlaku mezi nimi. Hodnoty sil se mohou mírně lišit v důsledku přesnosti odečtu a samotné přesnosti manometru redukčního ventilu.

Z výsledku vyplývá, že původní navržená svírající síla 1 500 N při délce kleštiny 150 mm je více než dostatečná, dodatečně tak mohla být síla snížena na 1 063 N. Jako nejvýhodnější se pak jeví použití vzorků č. 1 a 3. Přičemž s uvážením

dělení a potřebných dodatečných úprav pryže byl vybrán **vzorek č. 1**. Zároveň není nutné zajistit pryž vůči posuvu ve směru napínání, během testů stačilo použití oboustranné lepicí pásky.

## 4.5 Náklady

4.5

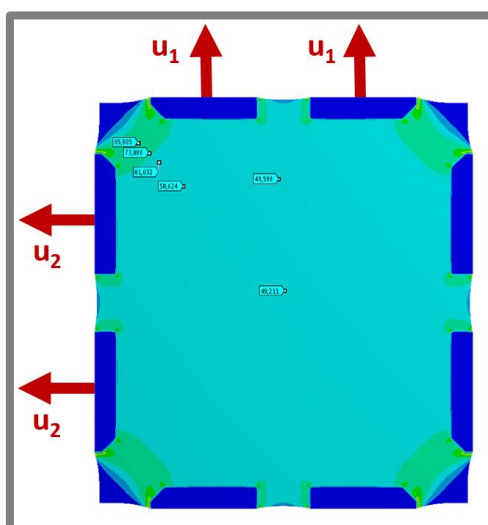
Tab. 4.5 Rozpis odhadu nákladů, ceny platné k 15. 5. 2015

název	kusů	cena celkem, Kč s DPH	Typ	dodavatel
<b>Konstrukce</b>				
Polotovary	-	20 000,-	-	sklad IN-EKO Team, s.r.o.
LinRol – rolna	32	18 100,-	RK-902-Z, RK-902-E	T.E.A. Technik, s.r.o.
LinTrek – vodící kolejnice	8	2 800,-	FS2	T.E.A. Technik, s.r.o.
Výroba	-	50 000,-	-	IN-EKO Team, s.r.o.
Ostatní prvky (pryž, stav. nohy, pružiny, apod.)	-	5 000,-	-	-
<b>Pneumatika</b>				
Dvojitinné válce Ø63 mm	2	5 000,-	1200110010630100	Stránský a Petržík, s.r.o.
Rychloupínky	8	28 900,-	703 – pneumatické upínky	ZAMET, s.r.o.
Ventil 3/2	3	5 458,-	NAF25210G61	Stránský a Petržík, s.r.o.
Ventil 5/3	2	3 850,-	2x PMVSC3004E2RD24; 1x PMVSC3004E1D24	Stránský a Petržík, s.r.o.
Redukční ventil	4	7 700,-	NPRPG-008-002	Stránský a Petržík, s.r.o.
Škrtící ventil	3	1 700,-	NDRV37	Stránský a Petržík, s.r.o.
Ostatní prvky (hadice, šroubení, apod.)	-	3 000,-	-	Stránský a Petržík, s.r.o.
<b>Řízení</b>				
PLC jednotka	1	3 490,-	6ED1052-2CC01-0BA8	Conrad Electronic Česká republika, s.r.o.
Rozšiřující modul	1	3 560,-	6ED1055-1CB10-0BA0	Conrad Electronic Česká republika, s.r.o.
Zdroj	1	1 190,-	TBD2/AR.0100.24/E8	Conrad Electronic Česká republika, s.r.o.
Ostatní prvky (kabeláž, elektroinstalační krabice, apod.)	-	3 500,-	-	-
<b>CELKEM</b>				
<b>Cena celkem</b>			<b>163 200,- s DPH</b>	

## 5 DISKUZE

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem semiautomatizovaného zařízení určeného pro napínání a upevnění filtrační tkaniny na plastové rámy segmentů diskových filtračních zařízení.

Pro návrh zařízení byla klíčová schopnost predikování chování filtrační tkaniny během napínání, z tohoto důvodu byla provedena MKP analýza chování tkaniny různých tvarů výstřihu v rámci tvorby koncepčních návrhů. Zde je důležité poukázat, že analýza slouží pro kvalitativní zhodnocení variant, kdy uvedené číselné hodnoty napětí nekorespondují s realitou. To je dáno tvorbou výpočetního modelu, speciálně definováním modelu a způsobem odvození materiálových vlastností tkaniny. Ty nejsou výrobcí poskytovány a byly proto odvozeny iteračním přístupem porovnáním deformací provedených tahových zkoušek vzorků tkanin a výpočetního modelu vzorku.

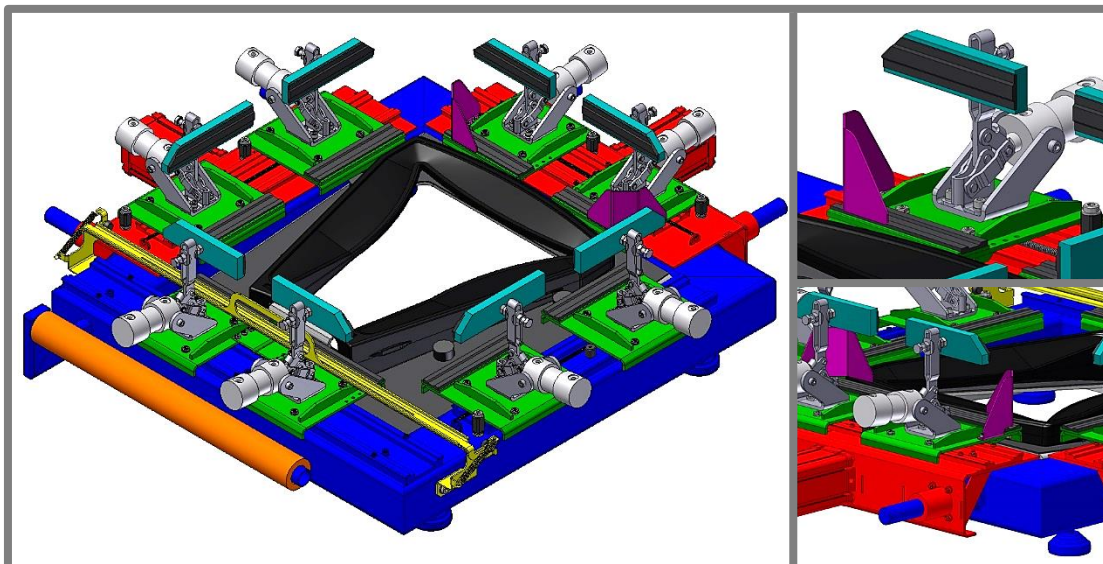


Obr. 5.1 MKP analýza napínání filtrační tkaniny – výsledný návrh

Z pohledu reálné aplikace výsledků MKP analýzy na napínací zařízení lze největší odchylky očekávat v důsledku nepřesností (rozdílného) upnutí tkaniny do zařízení a dále možnými rozdíly v materiálových vlastnostech jednotlivých výstřihů tkaniny. Jistým zjednodušením je zanedbání sil rolničkového vedení pojezdových vozíků působících proti směru pojezdu a dále zanedbání deformace gumové části kleštiny. Ta však naopak přispívá k lepšímu rozložení špičkových napětí v oblasti, kde je tkanina nejvíce namáhána.

Konstrukční návrh je koncipován pro velkosériovou výrobu, kdy firma počítá s výrobou 80 kusů segmentů denně, respektive 160 výrobních operací denně. Při standartní pracovní době 8 hodin tak připadá orientační čas na výrobu jednoho segmentu 6 minut. Výrobní proces je proto automatizován, respektive jeho časově nejnáročnější fáze představující upnutí tkaniny pneumatickými kleštinami, napnutí tkaniny a její následné přivaření tepelným nožem. Přivaření filtrační tkaniny na rám segmentu, respektive návrh konstrukce a řízení činnosti tepelného nože bude plně v kompetenci firmy IN-EKO Team. Je nutné poznamenat, že v době psaní diplomové práce byl tepelný nůž ve fázi vývoje, byly však konkretizovány požadavky na návrh konstrukce napínacího zařízení, aby byla možná jeho dodatečná implementace.

Zejména se jednalo o zajištění volné manipulační plochy a minimální výšky konstrukce nad rámem segmentu a možnosti připojení dodatečných el. prvků k PLC automatu. Návrh ovládacího panelu a konkrétní uložení pneumatických a řídicích prvků bude realizováno firmou IN-EKO Team.



Obr. 5.2 3D model konstrukčního návrhu napínacího zařízení

Výroba napínacího zařízení je uvažovaná z nerezového materiálu, důvodem jsou především výrobní možnosti firmy, ta ve své činnosti zpracovává pouze nerezový materiál a je tak nepřijatelné zpracovávat například běžnou uhlíkovou ocel, čímž by došlo k zanesení koroze do výrobního prostředí. Současně volbou korozně odolného materiálu odpadá nutnost dodatečného lakování či aplikace jiné protikorozní ochrany konstrukce, která by v některých případech mohla komplikovat návrh konstrukčních uzlů. Související finanční zátěž kompenzují nízké nákupní ceny polotovarů, kterých firma dosahuje v důsledku velkého odběru materiálu.

Řídicí program je v této fázi připraven pro realizaci prototypu, návrh a realizace se však v praxi často liší, proto lze očekávat nutnost změn v řízení v závislosti na reálném testování prototypu. Zejména se jedná o nastavení časových návazností jednotlivých kroků a z pohledu pneumatického systému nastavení tlaku v jednotlivých tlakových větvích.

Vzhledem k velmi dobrým kluzným vlastnostem používaných tkanin bylo nutné provést ověření funkčnosti návrhu upínacích kleštín. Návrh tohoto konstrukčního uzlu byl inspirován již realizovanými řešeními v oblasti sítotisku, přičemž hlavním bodem provedeného experimentu bylo určení vhodnosti různých tvarů pryží v kontaktní části kleštiny a její mezní přitlačné síly. Nalezení mezní přitlačné síly bylo prováděno iteračním přístupem na zkušebním zařízení Zwick s použitím experimentální kleštiny, která byla navržena speciálně pro toto měření. Byla hledána síla, respektive interval sil, při kterém dojde k prokluzu tkaniny v kleštině. Vzhledem k časové náročnosti měření (3 testované vzorky pryží) byly krajní hodnoty intervalu ověřeny pouze jedním měřením, přičemž pro navrženou přitlačnou sílu byla provedena 3 měření. Délka testovaných vzorků tkaniny byla omezena možnostmi zkušebního zařízení, proto byly testy prováděny s kratší délkou (50 mm) a výsledky měření bylo nutné následně přepočíst. Odchytky oproti

experimentu lze očekávat v absenci síly působící kolmo ke směru napínání, která je v napínacím zařízení vyvozena druhým pneumatickým válcem. S uvážením zjištěné přitlačné síly (bezpečnost na prokluz tkaniny 3,7), lze však toto zjednodušení zanedbat (tab. 4.4). Na základě výsledků experimentu tak byla následně snížena přitlačná síla na 1 063 N oproti původním 1 500 N při délce kleštiny 150 mm.

Předběžný odhad ceny zařízení je 163 000,- Kč s DPH, v níž je zahrnuta i výroba, která bude prováděna zadavatelskou firmou, a která má zároveň největší podíl na výsledný finanční odhad. Do ceny se také významně promítla volba kvalitního rolnického vedení, jakožto i cena pneumatických prvků, které jsou pro požadovaný stupeň automatizace nezbytné.

## 6 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh zařízení sloužícího pro napínání a upevnění filtrační tkaniny na plastové rámy segmentů, používaných v diskových filtračních zařízeních. Úvodní část práce je proto věnována obecnému popisu diskových jednotek, jejich významu a principu funkce se spojitostmi, které z toho vyplývají. Navazující část popisuje samotné filtrační tkaniny spolu s používanými rámy segmentů, jakožto i jejich chování pod napětím. Nedílnou součástí bylo také studium pneumatických prvků a systémů řízení, které jsou pro požadovaný stupeň automatizace výroby nezbytné.

Konstrukce je inspirována přístupem v oblasti sítotiskových zařízení, které pracují na podobném principu, avšak samotný návrh, respektive koncepční návrhy byly založeny na predikci MKP analýzy chování tkaniny během jejího napínání. Zohledněním finančního aspektu metráže tkaniny a dosahovaných hodnot napětí byla vybraná varianta dále optimalizována, kdy se jednalo o úpravu velikosti, tvaru a umístění uchycujících kleštin. Cílem bylo dosáhnout co nejrovnoměrnějšího předpětí tkaniny.

Zařízení je určeno pro velkosériovou výrobu, s čímž se nutně pojí jistá míra automatizace výroby, která odpovídá požadovanému výrobnímu objemu 80 kusů segmentů denně. V práci je proto také nalezen podrobný popis jednotlivých kroků obsluhy výroby. V konstrukci jsou pro zjednodušení a snížení ceny výroby použity především svarky z ohýbaných plechů. Dle probíhajícího vývoje firmy IN-EKO Team a zadání práce je tkanina přivařena na plastový rám prostřednictvím tepelného nože, přičemž jeho návrh a dodatečná implementace do celého zařízení (konstrukce, pneumatický a řídicí systém) je v kompetenci zadavatelské firmy. Výsledné zařízení splňuje zadané požadavky na dostatečný operační prostor nad rámem segmentu, který je určen pro následné přidání tepelného nože.

Pro výše zmíněnou automatizaci výroby je konstrukce doplněna pneumatickým systémem sestávajícím se především z napínacích válců a pneumatických rychloupínek. S přidáním pneumatického systému se nutně pojila i nezbytnost oživení zařízení. Byl proto zhotoven řídicí program pro PLC jednotku ovládající cívky elektromagneticky řízených ventilů, kdy jedním z aspektů bylo i zohlednění bezpečnosti.

Filtrační tkaniny vykazují výborné kluzné vlastnosti, klíčová a zároveň obtížně předvídatelná byla proto volba přítlačné síly a tvaru kontaktní plochy napínací kleštiny. Pro ověření jejího návrhu byla vytvořena experimentální kleština, se kterou byla na zkušebním zařízení provedena série testů různých pryžových materiálů. Na základě naměřených výsledků byla vybrána pryž s označením RW3 P9540 firmy Gumex s.r.o. s přítlačnou silou kleštiny 1 063 N.

Z pohledu ceny je předběžný finanční náhled stanoven na 163 000,- Kč s DPH, kde značnou část představují náklady na výrobu, ta bude realizována firmou IN-EKO Team.

Konečné řešení splňuje všechny stanovené cíle, zařízení tedy umožňuje rovnoměrné poloautomatizované předepínání filtračních tkanin až do hodnot 40 N/cm. Prostor pro další vývoj je zejména v oblasti tepelného nože a v případné automatizaci ořezu přebytečné tkaniny. V příloze je dodán výkres sestavení zařízení a experimentální kleštiny, na příloženém CD je k dispozici 3D model a řídicí program.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SUTHERLAND, Ken. *Filters and filtration handbook* [online]. 5th Edition. Boston, MA: Elsevier, 2008, 506 s [cit. 2014-05-13]. ISBN 978-185-6174-640. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHTT00001/handbook-technical-textiles>
- [2] HORROCKS, A.R. Anand, S.C. *Handbook of technical textiles* [online]. Cambridge, England: Woodhead Pub. Ltd., in association with The Textile Institute, 2000 [cit. 2014-04-15]. ISBN 978-185-5733-855. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHTT00001/handbook-technical-textiles>
- [3] IN-EKO TEAM. *DISKOVÉ FILTRY – INOVAČNÍ ŘEŠENÍ V OBLASTI TERCIÁLNÍHO DOČIŠTĚNÍ* [online]. Tišnov, 2014, s. 4 [cit. 2015-04-01]. Dostupné také z: <http://www.in-eko.cz/data/uploadHTML/files/fd.pdf>
- [4] SINNOTT, Ray a Gavin TOWLER. *Chemical Engineering Design - SI edition* [online]. 5th ed. Boston: Elsevier, 2009, s. 1230 [cit. 2015-05-15]. ISBN 978-008-0942-490. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCEDSIEE1/chemical-engineering>
- [5] MPO: FR-T13/699. *Pevnostní zkoušky síťoviny 10 µm: diskové filtry pro ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012.
- [6] MPO: FR-T13/699. *Analýza segmentu disku: diskové filtry pro ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013.
- [7] MPO: FR-T13/699. *Analýza deformačního chování filtračního segmentu: diskové filtry pro ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013.
- [8] ADAMS, R.D. *Adhesive bonding: science, technology and applications* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2005, 543 s. [cit. 2014-01-15]. ISBN 08-493-2584-6. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpABSTA002/adhesive-bonding-scienc>
- [9] GOSS, Bob. *Practical guide to adhesive bonding of small engineering plastic and rubber parts* [online]. Shrewsbury, U.K: Smithers, 2010 [cit. 2014-01-16]. ISBN 978-162-1988-182. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPGABSEP1/practical-guide-adhesive/practical-guide-adhesive>
- [10] WULFHORST, Burkhard, Thomas GRIES a Dieter VEIT. *Textile technology* [online]. [English ed.]. Munich: Hanser Publishers, 2006 [cit. 2014-01-15]. ISBN 978-161-3443-064. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTT000012/textile-technology/textile-technology>
- [11] PARR, Andrew. *Hydraulics and Pneumatics a technician's and engineer's guide* [online]. 3rd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2011 [cit. 2014-03-25]. ISBN 978-008-0966-755. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHPATEG01/hydraulics-pneumatics-2/hydraulics-pneumatics-2>
- [12] VANČURA, Tomáš. *Pneumatické akční členy a jejich řízení* [online]. 2007, s. 28 [cit. 2015-01-20]. Dostupné také z: <http://vanto.sweb.cz/mk/Pneumatika.doc>

- [13] BOROVIČKA, Petr. *Konstrukce pneumatického manipulátoru s proměnlivým programem*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2011, 112 s. Dostupné také z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/15367>. Vedoucí diplomové práce Ing. David Sámek, Ph.D..
- [14] VOSYNEK, Petr. MPO: FR-T13/699. *Posouzení MS pružnosti segmentu trubkového filtru: diskové filtry pro ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013.
- [15] GUMEX, SPOL. S R.O. *GUMEX katalog 2014/2015*. Strážnice, 2014, s. 292.
- [16] NORDIC WATER PRODUCTS. *Dynadisc disc filter* [online]. 2014, s. 8 [cit. 2014-04-11]. Dostupné také z: <http://www.nordicwater.com/en/index.cfm/product-groups/dynadisc/dynadisc/>
- [17] BAŇOCH, Ondřej. *Měření průhybu filtrační tkaniny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013, s. 54. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Brandejs, CSc..
- [18] SEFAR. *Sefar Screen Printing Accessories*. Switzerland, 2013, s. 8. Dostupné také z: <http://www.sefar.us/data/docs/en/10859/PS-PDF-SEFAR-Accessories-LL-EN.pdf>
- [19] T.E.A. TECHNIK S.R.O. *Lineární vedení LinRol* [online]. Brno, 2007 [cit. 2014-12-15]. Dostupné také z: [http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/linearni\\_vedeni\\_linrol.pdf](http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/linearni_vedeni_linrol.pdf)
- [20] STRÁNSKÝ A PETRŽÍK, PNEUMATICKÉ VÁLCE S.R.O. *Katalog pneumatických prvků* [online]. 13. Bílá Třemešná, 2015, s. 256 [cit. 2015-03-16]. Dostupné také z: [http://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog\\_stransky\\_a\\_petrzik\\_13\\_150401.pdf](http://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_stransky_a_petrzik_13_150401.pdf)
- [21] SEFAR. *Printing Solutions Equipment*. Heiden, 2013, s. 8.
- [22] SEFAR. *Screen printing mesh – Article list: SEFAR® PET 1500*. Heiden, 2014.
- [23] PNEUMATICKÉ UPÍNKY. *JC-METAL* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné také z: <http://www.jcmetal.cz/produkt/33-240-p.html>
- [24] VODOROVNÉ UPÍNKY. *JC-METAL* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné také z: <http://www.jcmetal.cz/produkt/43-120-uz.html>
- [25] SIEMENS, S.R.O. *LOGO! Nyní dvojnásobně výkonné: Mikrosystémy* [online]. Praha, 2013, s. 12 [cit. 2015-01-05]. Dostupné také z: [http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data\\_files/automatizacni\\_systemy/mikrosystemy/logo/brochure\\_logo\\_2012\\_cz.pdf](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/logo/brochure_logo_2012_cz.pdf)

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$p$	MPa	- tlak ve válci
$F$	N	- vysouvací síla válce
$S$	mm <sup>2</sup>	- plocha pístu
$d$	mm	- průměr pístu
$M_{max}$	Nmm	- „maximální moment“
$M_{návrh}$	Nmm	- „moment návrhu“
$l_{max}$	mm	- délka ramene maximální upínací síly
$l_{návrh}$	mm	- délka ramene navržené upínací síly
$F_{max}$	N	- maximální upínací síla
$F_{návrh}$	N	- navržená upínací síla
$k$	-	- statická bezpečnost zatížení rolen delší strany tkaniny
$F_{max}$	N	- maximální napínací síla na delší stranu tkaniny
$F_S$	-	- koeficient zatížitelnosti rolny
$F_{stat}$	N	- statická únosnost rolny
$n$	-	- počet rolen
$f$	N/cm	- předpětí tkaniny
$l_{max}$	mm	- napínaná delší strana výřezu tkaniny
$M_A$	Nm	- moment k bodu A
$F_{pl}$	N	- síla pružiny ve sklopeném stavu
$F_{1y}$	N	- přítláčná síla mechanismu
$F_{prit}$	N	- celková přítláčná síla mechanismus
$\alpha$	°	- úhel dle obrázku
$\beta$	°	- úhel dle obrázku
$l_1$	mm	- délka ramene dle obrázku
$l_2$	mm	- délka ramene dle obrázku
$n$	-	- počet tažných pružin

FEM	Finite Element Method
MKP	Metoda konečných prvků
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLC	Programmable Logic Controller
FBD	Function Blocks Diagrams
DI	Digital Input
DO	Digital Output
AI	Analog Input
AO	Analog Output
DC	Direct Current
NC	Normally closed
NO	Normally open

**9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ**

Obr. 1.1 Diskový filtr [16].....	16
Obr. 1.2 Diskový filtr [2].....	17
Obr. 1.3 Monofilament [2] .....	18
Obr. 1.4 Multifilament [2] .....	18
Obr. 1.5 Fibrilové vlákno [2].....	19
Obr. 1.6 Staplové vlákno [2] .....	19
Obr. 1.7 Ukázka plátňové vazby (PW – plain weave), keprové vazby (twill weave) [22] .....	19
Obr. 1.8 Přesnost filtrace tkaniny [22] .....	20
Obr. 1.9 Anizotropní vlastnosti - porovnání výsledků horizontálního a vertikálního vzorku - Monodur MON PES 13 - polyester (suchý) [5].....	21
Obr. 1.10 Izotropní vlastnosti - tahové zkoušky síťoviny SEFAR PET 1500 180/460-27Y PW - polyester [6].....	21
Obr. 1.11 3D model rámu segmentu, vyznačeno místo vyztužení ocelovými plechy	22
Obr. 1.12 Hodnoty bezpečnosti těla segmentu v závislosti na liniovém zatížení tkaniny při oboustranném napnutí tkaniny [14] .....	22
Obr. 1.13 MKP analýza – deformace rámu segmentu při oboustranném napnutí tkaniny (mm), liniové zatížení 5 N/cm [14] .....	23
Obr. 1.14 MKP analýza – redukované napětí (dle HMH) těla segmentu při oboustranném napnutí tkaniny (MPa), liniové zatížení 5 N/cm [14] .....	23
Obr. 1.15 Schéma napínacího zařízení společnosti SEFAR [21] .....	24
Obr. 1.16 Tvary napínacích kleštín .....	24
Obr. 1.17 Napínací kleština firmy SEFAR s přímým napojením pneumatického válce [18] .....	24
Obr. 1.18 Digitální měřidlo předpětí tkaniny – SEFAR TENSOCHECK 100 [18]...	25
Obr. 1.19 Vytvrzování kyanoakrylátových lepidel [9].....	26
Obr. 1.20 Vliv pryžových částic [9] .....	26
Obr. 1.21 Obecné schéma pneumatického systému [11].....	28
Obr. 1.22 Schéma hydraulického systému [11].....	28
Obr. 1.23 Manuální vodorovná rychloupínka [24].....	29
Obr. 1.24 Pneumatická vodorovná rychloupínka [23] .....	29
Obr. 1.25 Jednočinný pneumatický válec s klidovou polohou: a) se zasunutou pístnicí (vlevo); b) s vysunutou pístnicí (vpravo) [13].....	30
Obr. 1.26 Dvojčinný pneumatický válec .....	31
Obr. 1.27 Značka elektromagneticky nepřímo ovládaného 5/3 ventilu NC.....	32
Obr. 1.28 Značka elektromagneticky přímo ovládaného 3/2 ventilu NO .....	32
Obr. 1.29 Schéma PLC řízení [13] .....	33
Obr. 1.30 HMI modul s dotykovým displejem společnosti SIEMENS [13].....	34
Obr. 1.31 Příklad programu v jazyce Ladder Logic [13] .....	34
Obr. 1.32 Příklad programu v jazyce Function Block Diagram [13] .....	34
Obr. 1.33 Příklad programu v jazyce Structured Text [13] .....	35
Obr. 1.34 Příklad programu v jazyce Instructions List [13].....	35
Obr. 1.35 Příklad programu v jazyce Sequential Function Charts [13] .....	35
Obr. 3.1 Základní uvažované tvary výstřihu tkaniny pro MKP analýzu.....	38
Obr. 3.2 Okrajové podmínky .....	39
Obr. 3.3 Celková deformace – maximální deformace 35 mm.....	39
Obr. 3.4 Redukované napětí – maximální hodnota $\sigma_{red,HMH} = 157$ MPa.....	39

Obr. 3.5	Definice materiálových vlastností v programu ANSYS Workbench 14.5..	39
Obr. 3.6	Varianty napínání (červená – uchycující kleštiny; modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání).....	40
Obr. 3.7	Model tkaniny .....	40
Obr. 3.8	Mesh, ± 54 000 prvků, ± 57 000 uzlů.....	40
Obr. 3.9	Okrajové podmínky .....	41
Obr. 3.10	Výsledky MKP analýzy, $\sigma_{red,HMH}$ (modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání).....	41
Obr. 3.11	Varianty napínání (červená – uchycující kleštiny; modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání), 507x553 mm .....	42
Obr. 3.12	Výsledky MKP analýzy, $\sigma_{red,HMH}$ (modrá – stupně volnosti kleštin; zelená – směr napínání), 507x553 mm .....	42
Obr. 3.13	Modifikovaná varianta číslo 401, $\sigma_{red,HMH}$ .....	43
Obr. 3.14	Zvýrazněno problematické místo spoje tkaniny .....	44
Obr. 3.15	Zobrazení napnutí tkaniny vzhledem k rámu segmentu – koncepční návrh konstrukce číslo 111 s manuálními rychloupínkami .....	44
Obr. 3.16	Zobrazení napnutí tkaniny vzhledem k rámu segmentu – vybraný koncepční návrh konstrukce číslo 401 .....	44
Obr. 4.1	Schéma konstrukce, 1 000 x 1 100 mm.....	45
Obr. 4.2	3D model konstrukce.....	46
Obr. 4.3	Výchozí stav zařízení.....	46
Obr. 4.4	1. krok – odsunutí pojezdových vozíků.....	47
Obr. 4.5	2. krok – vložení rámu segmentu.....	47
Obr. 4.6	3. krok – pomocný přídržný mechanismus - žlutá.....	48
Obr. 4.7	4. krok – umístění a zajištění tkaniny horními pneumatickými rychloupínkami .....	48
Obr. 4.8	5. krok – oříznutí tkaniny .....	49
Obr. 4.9	6. krok – ustavení pojezdových vozíků .....	49
Obr. 4.10	7. krok – napnutí tkaniny .....	50
Obr. 4.11	8. krok – přivaření tkaniny tepelným nožem.....	50
Obr. 4.12	Sestava rámu (modrá – svarek rámu, zelená – vodící tyče, červená – lineární vedení, žlutá – uchycení pístní tyče napínacích pneumatických válců, šedá – stavitelné nohy).....	51
Obr. 4.13	Uchycení vodících tyčí (Ø25 mm) - řez.....	51
Obr. 4.14	Uchycení pístní tyče napínacího pneumatického válce - řez.....	51
Obr. 4.15	Vodící kolejnice lineárního vedení - řez.....	51
Obr. 4.16	Napínací mechanismus – horní pohled (červená – svarek plechu, modrá – lineární vedení, žlutá – kuličková objímka s přírubou (tandemová), zelená – napínací pneumatický válec) .....	52
Obr. 4.17	Napínací mechanismus – spodní pohled (červená – svarek plechu, modrá – lineární vedení, žlutá – kuličková objímka s přírubou (tandemová), zelená – napínací pneumatický válec) .....	52
Obr. 4.18	Napínací mechanismus – řez, čárková čára – samolepící teflonová fólie, mazivo.....	53
Obr. 4.19	Gumový doraz pojezdového vozíku – řez .....	53
Obr. 4.20	Horní pojezdový vozík – horní pohled (zelená – svarek, modrá – pneumatická rychloupínka, žlutá – kleština, fialová – krytování).....	54

Obr. 4.21 Horní pojezdový vozík – spodní pohled (zelená – svarek, modrá – pneumatická rychloupínka, žlutá – kleština, fialová – krytování).....	54
Obr. 4.22 Horní pojezdový vozík – boční pohled, odklopená kleština .....	54
Obr. 4.23 Horní pojezdový vozík – boční pohled, sklopená kleština.....	54
Obr. 4.24 Tvar kleštiny.....	55
Obr. 4.25 Excentrická rolna LinRol společnosti T.E.A. TECHNIK s.r.o. [19] .....	56
Obr. 4.26 Napínací mechanismus s pojezdovými vozíky, $\frac{3}{4}$ řez (červená – napínací mechanismus, modrá – lineární vedení, zelená – pojezdový vozík) .....	57
Obr. 4.27 Rám zařízení s pojezdovými vozíky, řez (modrá – rám zařízení, červená – lineární vedení, zelená – pojezdový vozík) .....	57
Obr. 4.28 Pojezdový vozík, vyznačeno uchycení pružin .....	57
Obr. 4.29 První pružina, tuhost pružiny 0,833 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015.....	58
Obr. 4.30 Druhá pružina, tuhost pružiny 0,5 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015.....	58
Obr. 4.31 Nastavení výchozí polohy spodních vozíků, řez .....	59
Obr. 4.32 Podpůrný plech segmentu (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment) .....	60
Obr. 4.33 Rám segmentu – místo vyztužení.....	60
Obr. 4.34 Podpůrný plech segmentu – vodorovný boční pohled (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment).....	61
Obr. 4.35 Podpůrný plech segmentu (zelená – podpůrný plech segmentu, červená – konzole, žlutá – segment) .....	61
Obr. 4.36 Pomocný přídržný mechanismus – uzavřený stav (modrá – horní profil, žlutá – spodní profil, zelená pružina) .....	61
Obr. 4.37 Pomocný přídržný mechanismus – otevřený stav, zvýrazněna drážka pro oříznutí tkaniny (modrá – horní profil, žlutá – spodní profil, zelená pružina) ...	62
Obr. 4.38 Otevřený mechanismus .....	62
Obr. 4.39 Otevřený mechanismus – krajní poloha horního profilu, gumový doraz pojezdového vozíku.....	62
Obr. 4.40 Silový rozbor pomocného přídržného mechanismu.....	63
Obr. 4.41 Tažná pružina, tuhost pružiny 3,77 N/mm, generováno softwarem Autodesk Inventor 2015.....	64
Obr. 4.42 Schématická vizualizace tvaru tepelného nože – pohled na kontaktní plochu .....	64
Obr. 4.43 Pneumatické schéma (modrá – napínací pneum. válec, žlutá – pneum. válec rychloupínky, zelená – tlakové hadice pro předepnutí, respektive sevření kleštině, červená – tlakové hadice pro uvolnění předepnutí, respektive uvolnění kleštiny) .....	65
Obr. 4.44 Elektromagneticky nepřímo ovládaný 3/2 ventil – typ NAF firmy Stránský a Petržík [20] .....	66
Obr. 4.45 Elektromagneticky nepřímo ovládaný 5/3 ventil – typ MVSV firmy Stránský a Petržík [20] .....	66
Obr. 4.46 SMC – Pneudraw 2.8 .....	66
Obr. 4.47 Schématická značka základní funkce AND .....	67
Obr. 4.49 Schématická značka základní funkce NAND .....	67
Obr. 4.51 Schématická značka základní funkce OR .....	67
Obr. 4.53 Schématická značka speciální funkce Latching relay .....	67

Obr. 4.54 Logická tabulka funkce Latching relay .....	67
Obr. 4.55 Schématická značka speciální funkce On-delay .....	68
Obr. 4.56 Časový diagram speciální funkce On-delay .....	68
Obr. 4.57 Funkční blokové schéma řízení (1 až 6 – vstupy; 7 – AND; 8 až 10 – NAND; 11 až 15 – OR; 16 až 19 – Latching relay; 20 až 24 – On-delay; 24 až 29 výstupy; modrý rámeček – napínání, napínací válce a rychloupínky; červený rámeček – posun do výchozí polohy; zelený rámeček – napínání, horní rychloupínky) ....	68
Obr. 4.59 Cyklus činnosti zařízení (modrá větev – logická 0; červená větev – logická 1); 1 – zapnuté zařízení; 2 – sepnutí horních rychloupínek; 3 – napnutí tkaniny; 4 – návrat do výchozí polohy .....	69
Obr. 4.61 PLC jednotka SIEMENS 6ED1052-2CC01-0BA8 [25] .....	70
Obr. 4.62 Rozšiřovací modul SIEMENS 6ED1055-1CB10-0BA0 [25] .....	70
Obr. 4.63 Ukázka ovládacího panelu .....	70
Obr. 4.64 Experimentální kleština, 3D model .....	70
Obr. 4.65 Experimentální kleština, sestavení .....	70
Obr. 4.66 Sestavení, 3D model .....	71
Obr. 4.67 Pneumatické schéma sestavení experimentální kleštiny (zelená – dvojitý pneumatický válec Ø32; červená – kulový ventil; modrá – redukční ventil; černá – zdroj stlačeného vzduchu (tlaková láhev) .....	72
Obr. 4.68 Vzorek č. 1; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština) .....	72
Obr. 4.69 Připravený vzorek pryže .....	72
Obr. 4.70 Vzorek č. 2; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština) .....	73
Obr. 4.71 Připravený vzorek pryže .....	73
Obr. 4.72 Vzorek č. 2; ukázka sestavení kleštiny (červená – horní kleština; zelená – spodní kleština) .....	73
Obr. 4.73 Připravený vzorek pryže .....	74
Obr. 4.74 Zkušební zařízení .....	74
Obr. 4.75 Detail kleštiny během měření (vzorek č. 3) .....	74
Obr. 4.76 Diagram měření, vzorek č. 1 .....	75
Obr. 4.77 Diagram měření, vzorek č. 2 .....	76
Obr. 4.78 Diagram měření, vzorek č. 3 .....	77
Obr. 5.1 MKP analýza napínání filtrační tkaniny – výsledný návrh .....	80
Obr. 5.2 3D model konstrukčního návrhu napínacího zařízení .....	81

**10 SEZNAM TABULEK****10**

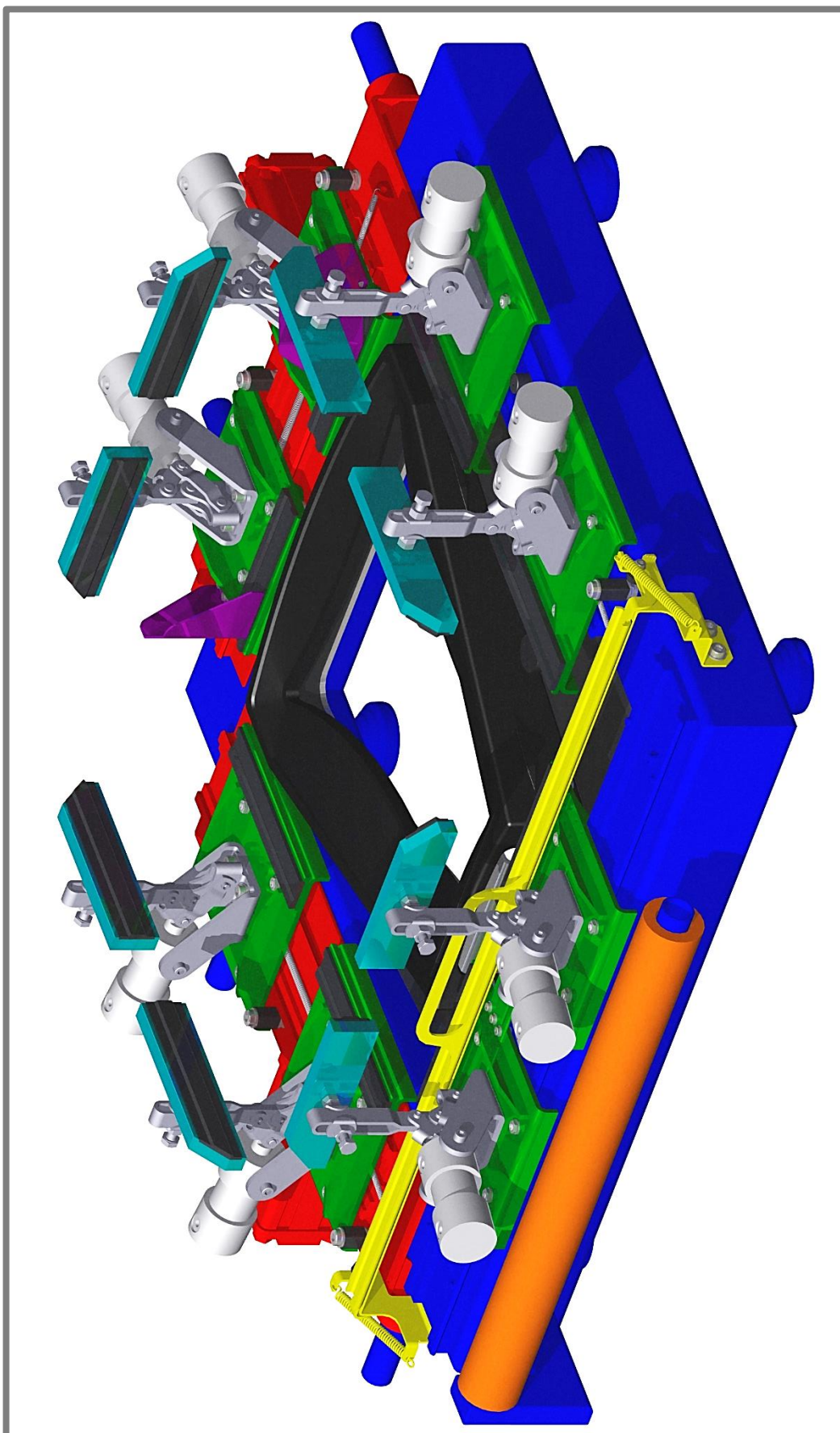
---

Tab. 4.1 Výsledky měření, vzorek č. 1 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno).....	75
Tab. 4.2 Výsledky měření, vzorek č. 2 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno).....	76
Tab. 4.3 Výsledky měření, vzorek č. 1 (legenda: OK – nedošlo k uvolnění tkaniny; U – uvolnění tkaniny; X – nebylo měřeno).....	77
Tab. 4.4 Přepočet minimálních sil sevření navržené kleštiny .....	78
Tab. 4.5 Rozpis odhadu nákladů, ceny platné k 15. 5. 2015 .....	79

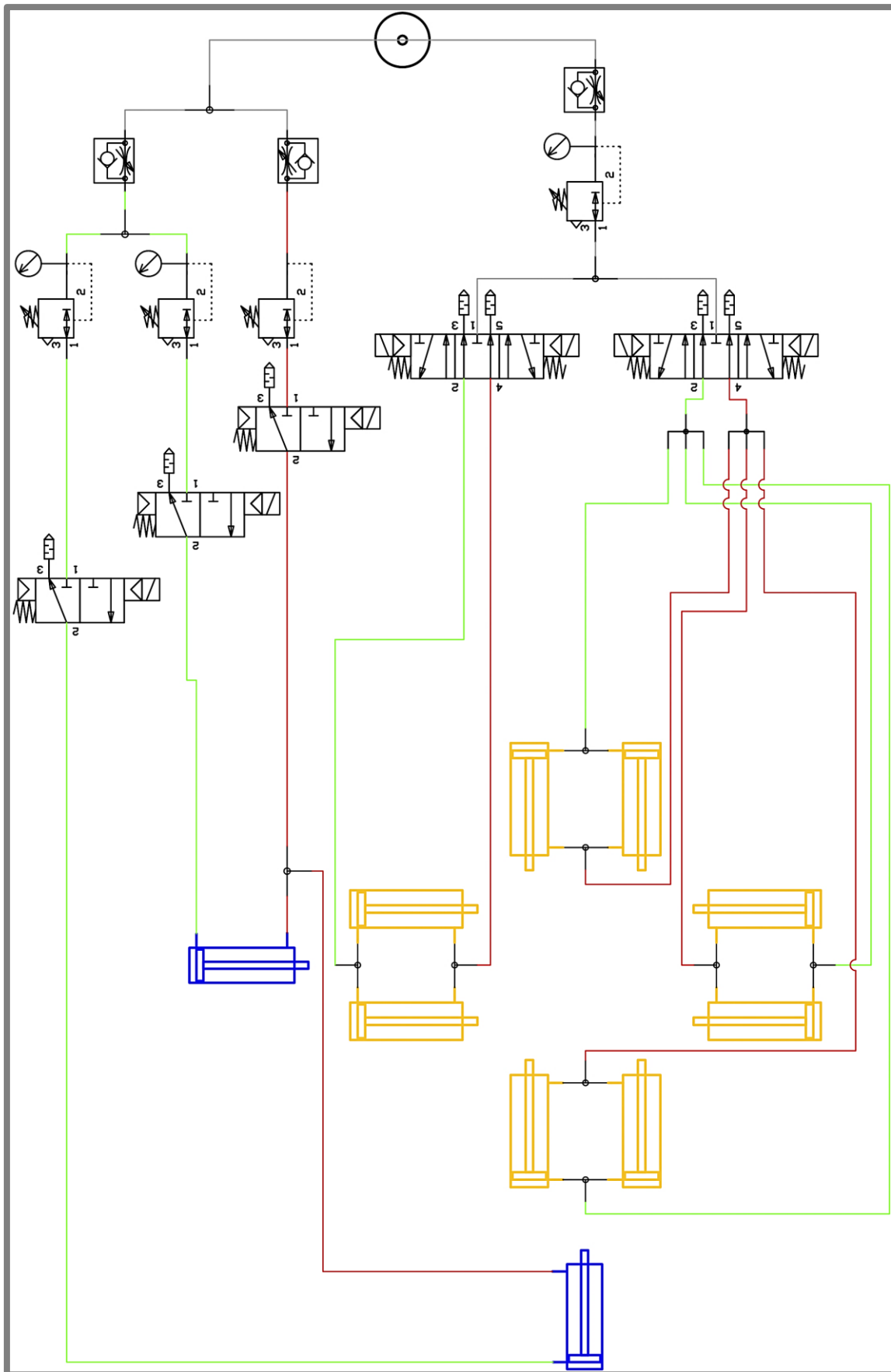
## **11 SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1: Vizualizace konstrukčního řešení
- Příloha 2: Pneumatické schéma
- Příloha 3: Schéma řízení
- Příloha 4: Fotodokumentace experimentální kleštiny
- Příloha 5: Výkres sestavení napínacího zařízení
- Příloha 6: Výkres sestavení experimentální kleštiny

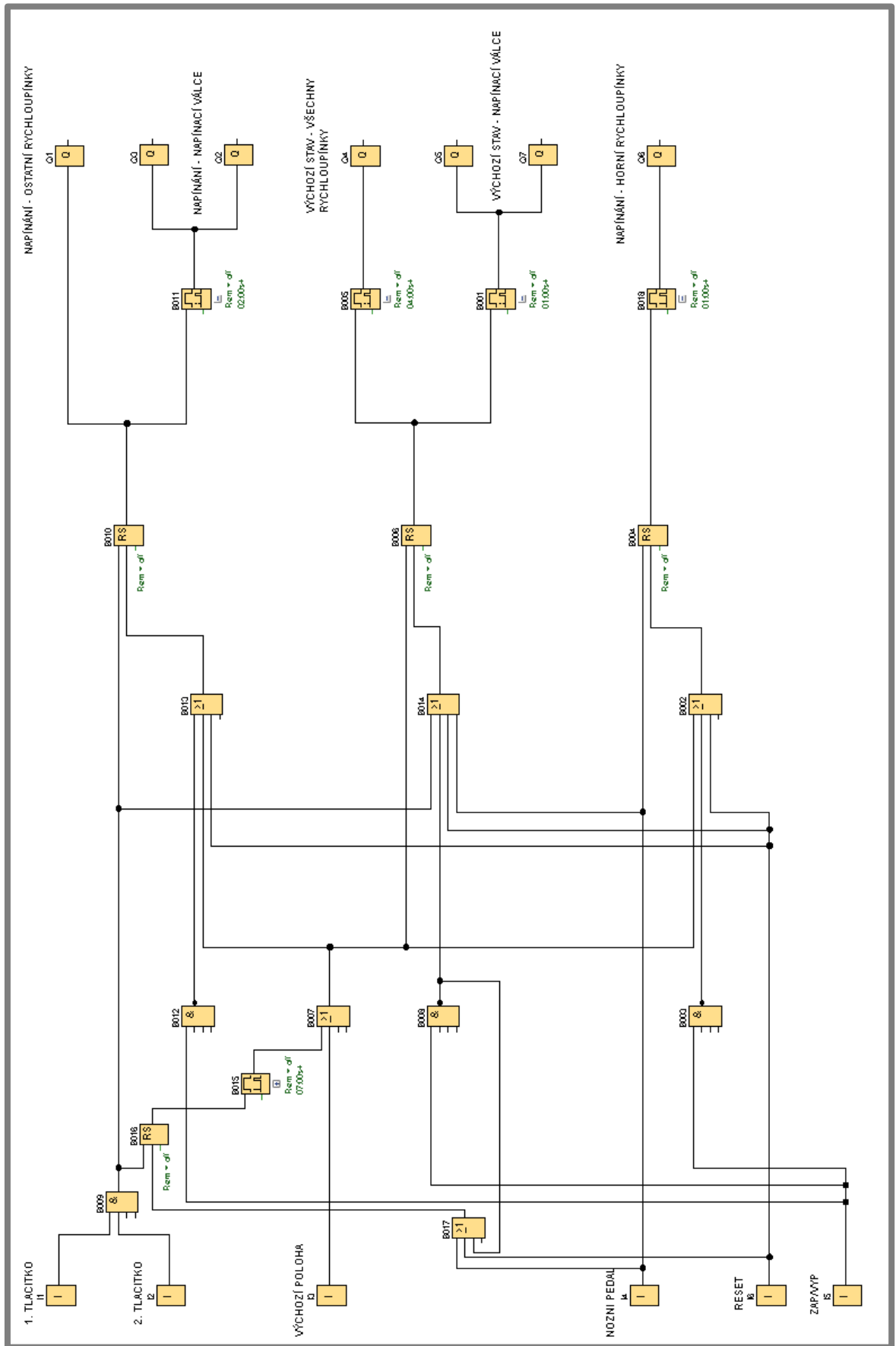
Příloha 1: Vizualizace konstrukčního řešení



Příloha 2: Pneumatické schéma



Příloha 3: Schéma řízení



Příloha 4: Fotodokumentace experimentální kleštiny

