

## **Manipulace se skleněnými polotovary pro operaci dělení**

### **Anotace**

Předložená diplomová práce se zabývá manipulací se skleněnými trubičkami a tyčinkami při novém způsobu jejich dělení za působení vysokého tlaku. Úkolem bylo navrhnout a zkonstruovat přesný manipulátor, který vyhovuje danému taktu stroje. Při řešení musela být zohledněna i křehkost a zakřivenost polotovarů při působení velké technologické síly. Na základě alternativní studie byla rozhodovací analýzou vybrána varianta, která je konstrukčně zpracovaná v příložené výkresové dokumentaci.

**Klíčová slova:** Skleněná tyčinka, manipulátor, polohování, upínač

## **Manipulation with glass semi-finished products for dividing process**

### **Annotation**

The diploma degree thesis is focused to gripping and manipulation with glass rods and tubes of small diameters for new dividing process. The objective was to design accurate and quick manipulator. With respect to the fragility of rods high pressure and technological force are applied to them during manipulation. Based on the research was selected a version which is processed in details in attached drawing documentation.

**Key words:** Glass rod, manipulator, positioning, gripping, grasping

## Poděkování

Děkuji panu *doc. Ing. Františku Novotnému, CSc.*, vedoucímu mé diplomové práce, *Ing. Marcelovi Horákovi, Ph.D.* a *Ing. Lubošovi Sajfřtovi*, mým konzultantům, za odborné vedení, cenné rady a připomínky a čas, který mi věnovali v průběhu řešení této diplomové práce.

Poděkoval bych také rád své rodině za podporu během studií.

Bc. Tomáš Mikan

## Seznam zkratek a symbolů

<i>Označení</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Název veličiny</i>
Ø	[mm]	průměr
l	[mm]	dráha působení síly
s	[mm <sup>2</sup> ]	průřez čela výrobku
E	[J]	energie
μ	[-]	součinitel statického tření
p	[MPa]	tlak
t	[s]	čas
v	[m/s]	rychlost
σ	[MPa]	napětí
F	[N]	síla
m	[kg]	hmotnost
a	[m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení
M	[Nm]	silový moment

## Obsah

1	Rozbor možností uchopení jednotlivé tyčinky .....	8
1.1	Definování vstupních hodnot.....	8
1.2	Rešerše.....	12
2	Alternativy provedení jednotlivých subsystémů.....	15
2.1	Varianty řešení subsystémů .....	17
2.1.1	Varianty provedení zásobníku .....	17
2.1.2	Řešení rázové síly .....	22
2.1.3	Varianty uspořádání hlavního manipulátoru.....	23
2.1.4	Varianty upínače hlavního manipulátoru.....	26
2.1.5	Přehled zvoleného řešení pro konstrukci .....	30
3	Konstrukční provedení.....	31
3.1	Konstrukce zásobníku a rámu.....	31
3.1.1	Rám.....	31
3.1.2	Zásobník.....	32
3.2	Konstrukce pomocného manipulátoru.....	37
3.3	Konstrukce dělicího zařízení .....	37
3.3.1	Popis funkce.....	38
3.3.2	Konstrukce .....	39
3.3.3	Cyklus dělení, sled operací v něm a doba cyklu.....	47
3.4	Popis sledu operací z hlediska řídicího systému .....	48
4	Zhodnocení technických a ekonomických přínosů .....	50
4.1	Technické zhodnocení .....	50
4.2	Odhad nákladů.....	50

## Seznam obrázků

Obr. 1 Dělicí zařízení .....	8
Obr. 2 Dělicí zařízení s tyčinkou .....	9
Obr. 3 Detail dělicího zařízení před a těsně po dělení.....	9
Obr. 4 Tlak v palné zbrani v závislosti na uražené vzdálenosti střely [1].....	10
Obr. 5 Pásový zásobník tyčových součástí [1].....	12
Obr. 6 Princip chapadla s pryžovou membránou [2].....	13
Obr. 7 Řez chapadlem s pryžovou membránou [3].....	13
Obr. 8 Princip metody uchopování pomocí pásků [1].....	14
Obr. 9 Uspořádání elastomerových vložek a hliníkových výztuh [1].....	14
Obr. 10 Vložky v kombinaci s tvarovými úchopnými prvky [1] .....	14
Obr. 11 Průběh axiální síly na tyčinku .....	16
Obr. 12 Schéma svislého přímočarého zásobníku.....	18
Obr. 13 Celkový pohled na revolverový zásobník .....	19
Obr. 14 Návaznost zásobníku a dělicího zařízení .....	20
Obr. 15 Detail lineárních kartáčů obklopujících tyčinku v řezu .....	20
Obr. 16 Uspořádání trychtýře a dělicího zařízení.....	21
Obr. 17 Schéma vodorovného dopravníku .....	22
Obr. 18 Časový průběh s jedním upínačem - začátek tyčinky .....	23
Obr. 19 Časový průběh s pevným a posuvným upínačem .....	24
Obr. 20 Klikový mechanismus s protichůdným lineárním pohybem.....	25
Obr. 21 Časový průběh s dvěma pohyblivými upínači .....	25
Obr. 22 Rozměry modelu analýzy MKP a zatěžující síly .....	27
Obr. 23 Působící síly a deformovaná poloha modelu.....	27
Obr. 24 Výsledky pevnostní analýzy – největší napětí .....	28
Obr. 25 Uchopování pomocí pásku .....	29
Obr. 26 Upínač s hyperelastickým materiálem .....	29
Obr. 27 Schéma konečné varianty .....	31
Obr. 28 Celkový pohled na rám .....	32
Obr. 29 Vyložení dělicího zařízení a pomocného manipulátoru .....	32
Obr. 30 Funkce zásobníku .....	33
Obr. 31 Nejnepříznivější uspořádání křivých tyčinek .....	33
Obr. 32 Řemen s unášeči .....	34
Obr. 33 Posuvné připevnění motoru k rámu .....	34
Obr. 34 Optosnímač.....	35
Obr. 35 Poslední pozice zásobníku - prizmatické lůžko dole .....	35
Obr. 36 Poslední pozice zásobníku - prizmatické lůžko nahoře .....	35
Obr. 37 Vedení a pneumotor ovládající prizmatické lůžko.....	36
Obr. 38 Pruhy navádějící obsluhu .....	36
Obr. 39 Uspořádání pomocného manipulátoru .....	37

Obr. 40 Dělicí zařízení .....	38
Obr. 41 Vsouvání nové tyčinky do dělicího zařízení .....	38
Obr. 42 Vyjímání nepoužité části tyčinky .....	39
Obr. 43 Příruba tlakové komory .....	40
Obr. 44 Pohled zdola na dělicí zařízení .....	40
Obr. 45 Rozměry svěrného spoje na přírubě tlakové komory .....	41
Obr. 46 Průběh pracovního zdvihu [13] .....	44
Obr. 47 Hydraulický upínač s můstkem řez .....	44
Obr. 48 Úchopný prvek .....	45
Obr. 49 Schéma pneumo-hydraulického obvodu .....	45
Obr. 50 Tlumič s lineární pružinou .....	47
Obr. 51 Pryžový doraz Festo [13] .....	47
Obr. 52 Časový průběh dělicího cyklu .....	48
Obrázek 53 Celé zařízení.....	49

## Úvod

Téma diplomové práce bylo zadáno společností Preciosa, a.s., Jablonec nad Nisou. Společnost se zaměřuje na výrobu bižuterie, lustrových ověsů, svítidel a skleněných figurek. V rámci zkvalitňování vyráběných skleněných komponent vyvíjí firma nový způsob dělení skleněných tyčinek a kapilár. Tento nový způsob dělení za vysokého tlaku kapaliny dosahuje diametrálně kvalitnějších povrchů místa řezu než doposud používané způsoby.

Úkolem práce bylo navrhnout vhodný způsob manipulace, při kterém jsou polotovary přesně dávkovány do dělicí komory a provést konstrukční řešení manipulátoru a zásobníku polotovarů.

V první kapitole, byl proveden podrobný rozbor dané manipulační úlohy a možností uchopení tyčinky. Z rozboru vyplynulo, že hlavními omezeními při manipulaci budou velká technologická síla při dělení ve vztahu ke křehkosti skla a křivosti manipulovaných tyčinek. Na základě rozboru uchopení byla provedena rešerše.

V druhé kapitole byla úloha rozdělena na dílčí problémy a provedena alternativní studie s cílem nalézt nejvhodnější řešení. Rozhodovací analýzou byla vybrána varianta uchopování polotovaru dvěma úchopnými prvky proti sobě. Zásobník byl zvolen vodorovný s polotovary položenými na stole.

Ve třetí kapitole je popsána konstrukce včetně zevrubného popisu funkce navrhovaného zařízení a příslušné výpočty.

Čtvrtá kapitola se zabývá technickými a ekonomickými přínosy práce a uvádí cenový odhad navrhnutého zařízení.

# 1 Rozbor možností uchopení jednotlivé tyčinky

V této kapitole jsou přesně definovány požadavky na manipulátor a omezení, která plynou především z materiálu a tvaru manipulovaných objektů. V druhé části je provedena rešerše.

## 1.1 Definování vstupních hodnot

### Manipulované objekty

Manipulováno bude se skleněnými tyčinkami a trubičkami. Zařízení musí být schopné po jednoduché přestavbě manipulovat s třemi průměry tyčinek.

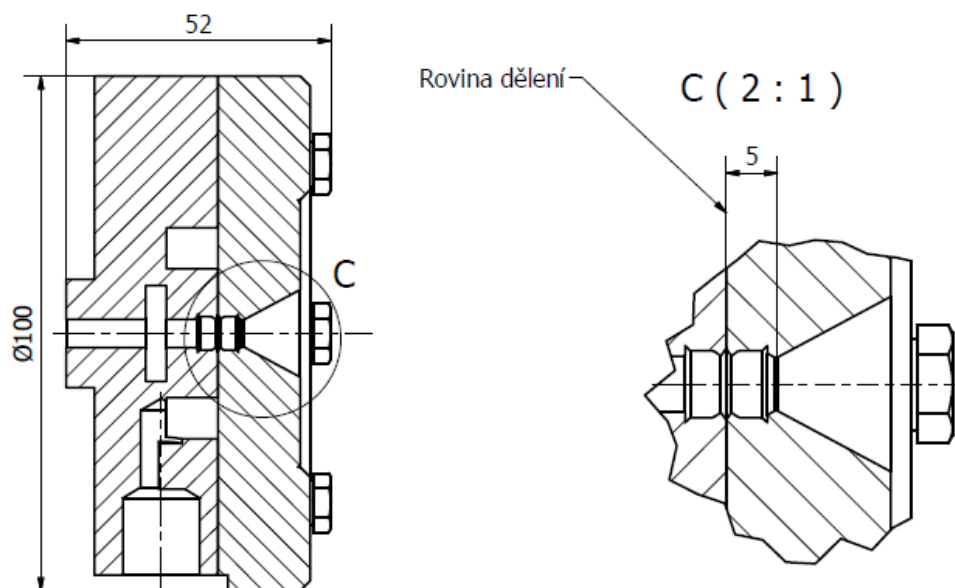
Rozměry tyčinek:  $\varnothing$  4, 5, 6 mm,  $\varnothing$  dírky u trubiček cca 1 mm, délka 800 mm +/- 10 mm.

Výrobní tolerance průměrů je +/- 0,2 mm, trubičky nejsou zcela válcovité a ani jejich osa není rovná. Přímost osy je z hlediska geometrické tolerance přibližně 20 mm na dané délce. Osa některých tyčinek je prostorová křivka, neleží tedy v jedné rovině. Tomu musí být přizpůsoben způsob manipulace i zásobník.

### Dělicí zařízení

Na hlavní manipulátor bude navazovat dělicí zařízení. Polotovary mají být děleny na válce stejného průměru jako délky. Protože je třeba manipulovat s třemi různými průměry tyčinek, znamená to také 3 hodnoty přísuvu. Takt posouvání je zadán minimálně 1/s. Technologický opad by neměl překročit 10 %.

Toto dělicí zařízení zkonstruované firmou Preciosa je vidět na obr. 1 Před dělením je nutné tyčinku po obvodu naškrábnout. Naškrabávač nemá být součástí této práce, ale je nutné s ním v layoutu počítat. Jeho umístění bude zřejmě nejvýhodnější až těsně před dělicím zařízením, aby tyčinka bylo oslabená jen v co nejkratší délce.



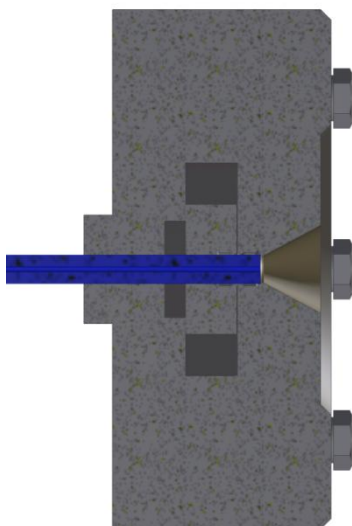
Obr. 1 Dělicí zařízení



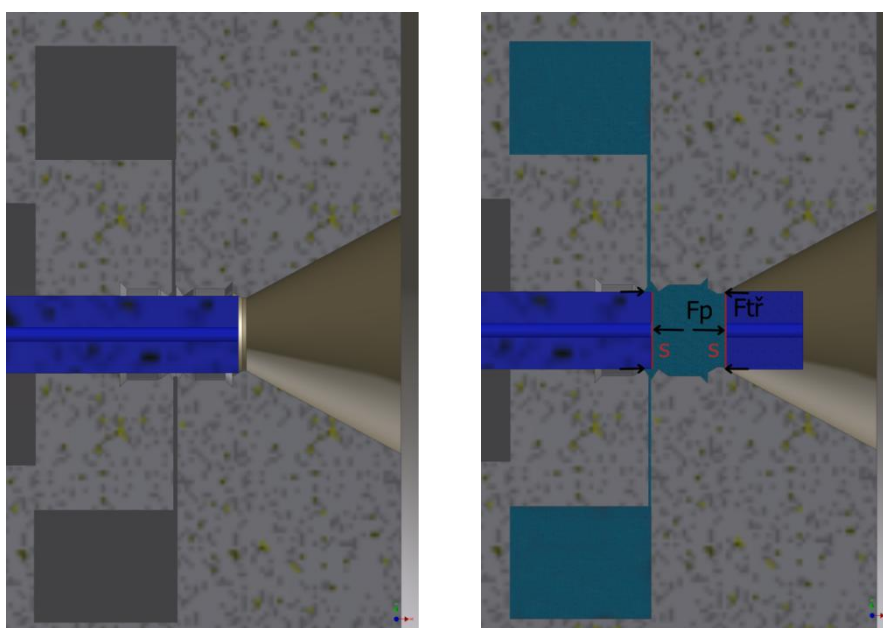
Tyčinka je do dělicího zařízení zasouvána zleva. Naškrábnuté místo je umístěno do roviny dělení, kde je utěsněno těsníci kroužky.

Síla potřebná k zasouvání tyčinky do dělicího zařízení je dána odporem pryžových těsnících kroužků uvnitř dělicího zařízení a byla naměřena 150 N. Je to součet odporových sil při průchodu konce tyčinky těsněním a odporu druhého těsnění na její stěně.

Při dělení je na tyčinku v místě naškrábnutí po celém obvodu přivedena tlaková kapalina o tlaku až 40 MPa. Vlivem tlaku je tyčinka rozdělena v místě naškrábnutí. Plocha, ve které došlo k rozdělení, má velmi kvalitní povrch. Při použití tohoto způsobu dělení ale vzniká již zmiňovaná rázová síla. Na obr. 2 je vidět, jak je do dělicího zařízení dělená tyčinka zleva zasouvána. Na obr. 3 je detail konce tyčinky v pozici pro dělení před zavedením kapaliny a poté v okamžiku těsně po dělení, kdy je oddělený výrobek v pohybu směrem ven ze zařízení. Je zde znázorněna i tlaková síla od kapaliny a třecí odporová síla od kroužku.



Obr. 2 Dělicí zařízení s tyčinkou



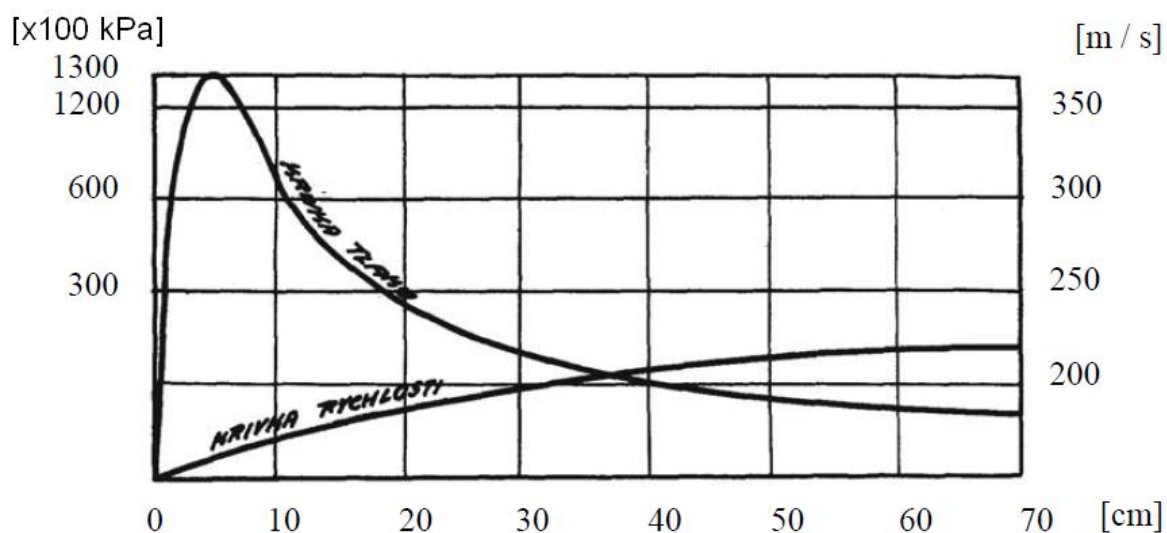
Obr. 3 Detail dělicího zařízení před a těsně po dělení

Tento nový způsob dělení skla na základě naškrábnutí a působení vysokého tlaku kapaliny má za následek doslova vystřelení obou částí dělené trubičky v axiálním směru směrem z dělicího zařízení. Dochází tedy k rázům působícím na trubičku a celý manipulátor. Rychlost vystřelení oddělené části je dle odhadu zadavatele srovnatelná se vzduchovou pistolí, ta se běžně pohybuje kolem **150 m/s** a střela má energii do **3 J**.

### ***Ověření odhadnutých hodnot teoretickým výpočtem***

V této části je výpočtem ověřena odhadnutá rychlost vstřelu a na jejím základě je vypočtena vznikající rázová axiální síla.

Protože se děj, který nastává po dělení výrobku, podobá výstřelu z pušky, byl použit výpočet z hlediska vnitřní balistiky. Vnitřní balistika se zabývá ději v hlavní palných zbraní. Jsou zde ovšem jisté rozdíly. Hlavním rozdílem je, že při střelbě z palných zbraní dochází ke spalování střelného prachu a tím je vyvozen tlak na střelu. U dělicího zařízení je tlak na skleněné trubičky vyvozován tlakovou kapalinou. Typický průběh tlaku a rychlosti střely palné zbraně v závislosti na dráze střely je vyobrazen na následujícím grafu.



Obr. 4 Tlak v palné zbraně v závislosti na uražené vzdálenosti střely [1]

U výpočtu dělicího zařízení byl tlak uvažován jako neměnný. Jako dráha působení tlakové síly je brána vzdálenost od roviny dělení směrem doprava k ústí dělicího zařízení, odkud vyletuje výrobek, viz obr. 1.

Je manipulováno se skleněnými tyčinkami i trubičkami. Ve výpočtu je počítáno s tyčinkou.

Rozměry výrobku  $\varnothing d = 6 \text{ mm}$ , délka  $l_1 = 6 \text{ mm}$

Hustota skla  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

Hmotnost výrobku:

$$m = l_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho = 0,424g$$

## Výpočet rychlosti vyletujícího výrobku

Pro výpočet rychlosti výrobku byla užita druhá základní rovnice vnitřní balistiky. Síla působící na střelu musí být v rovnováze s odporem střely a jejím zrychlením. [1] Odpor je v našem případě třecí síla mezi elastomerovou lamelou zajišťující těsnost a skleněným polotovarem. Byla naměřena odporová síla 30 N při tření obvodu tyčinky o těsnění na jedné straně dělicího zařízení.

*Vstupní hodnoty:*

Počáteční rychlost  $v_0 = 0$  m/s

Třecí odpor tyčinky na jednom kroužku  $F_{tř} = 30$  N

Maximální zkoušený tlak  $p_{max} = 400$  bar = 40 MPa

Dráha působení síly na výrobek  $l = 5$  mm

Hmotnost výrobku:  $m = 0,424$  g

$$F \cdot dl = dE_1 = m \cdot v \cdot dv$$

$$(p \cdot s - F_{tř}) \cdot dl = dE_1 = m \cdot v \cdot dv$$

$E_1$  kinetická energie vystřelené části

$s$  průřez dna vystřelené části

$l$  délka hlavně

$v$  rychlost vystřelené části

$p$  tlak

Separací proměnných byl získán vztah pro rychlost.

$$(p \cdot s - F_{tř}) \cdot \int_0^l dl = m \int_0^v v \cdot dv$$

$$(p \cdot s - F_{tř}) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (p \cdot s - F_{tř}) \cdot l}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} - F_{tř}) \cdot l}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (40 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,006^2}{4} - 30) \cdot 0,005}{0,424 \cdot 10^{-3}}} = 161 \text{ m/s}$$

Pro výše uvedené hodnoty byla vypočítána rychlost výstřelu výrobku 161 m/s. Ta je porovnána s rychlostí odhadnutou zadavatelem, který ji přirovnal k výstřelu ze vzduchové pistole. Běžně se pohybuje kolem 150 m/s, případně 200 m/s u vzduchových pušek. Vypočtená a odhadnutá hodnota je podobná. Z toho lze usuzovat, že hlavní působící silou je síla tlaková.

Tlaková síla  $F = p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1131$  N

Axiální síla na tyčinku  $F_{ax} = F_p - F_{tř} = 1101$  N

Z velikosti axiální síly je tedy možné vycházet při výpočtu úchopných sil pro upínač, který bude navrhován.

## 1.2 Rešerše

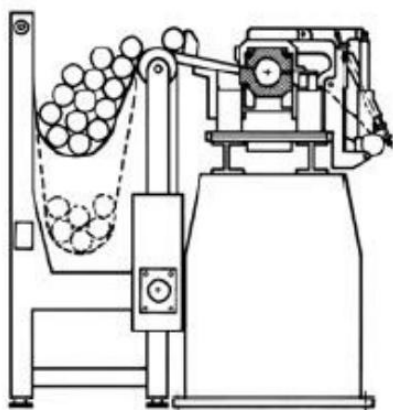
Rešerše je rozdělena na dvě části. První se věnuje zásobníkům a druhá úchopným prvkům a upínačům.

### **Zásobníky**

Při rešerši zásobníků byla brána zřetel hlavně na tvar manipulovaných tyčinek. Největším omezením byla jejich křivost. Byla provedena rešerše v oblasti zásobníků tyčových součástí. Požadavky na zásobník jsou ovšem natolik specifické (křivost a křehkost objektů), že v běžně vyráběných zásobnících nebyly výsledky nalezeny. Vyhledáváno bylo v češtině i angličtině. K výsledku vedla klíčová slova: Zásobník, tyčové součásti, bar feeder. Za zmínku stojí jen zásobník s tyčinkami uloženými na pásech.

### **Zásobník s tyčinkami uloženými na pásech**

Původně je tento zásobník vyvinut pro zásobování obráběcích strojů tyčovými součástmi. Zřejmě je vhodný jen pro vodorovné uspořádání. Tyče jsou u tohoto typu zásobníku umístěny na pásech, které se postupně navíjejí a tím dochází k jejich vyzdvihávání, až se jedna tyč oddělí. Výhodou tohoto řešení je jednoduchost a možnost vkládat tyčinky za chodu stroje. Doplnování tyčinek by také bylo velmi rychlé. Není však jasné, zda by nevadila křivost trubiček. Muselo by se to ověřit zkouškou. [1]



Obr. 5 Pásový zásobník tyčových součástí [1]

### **Úchopné prvky a upínače**

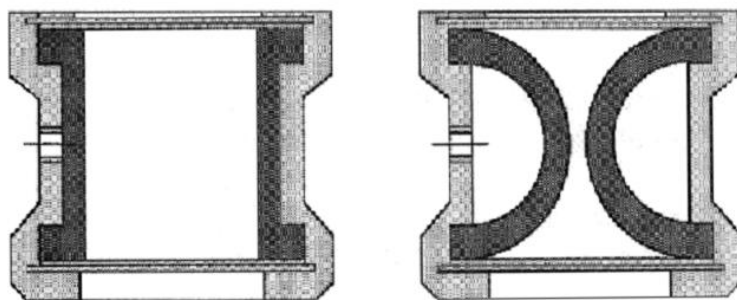
Dále byla rešerše zaměřena na chapadla, upínače a úchopné prvky. S ohledem na poznatky z kapitoly 1.1 byly hlavními požadavky velká úchopná síla a přizpůsobení povrchu, aby se minimalizovalo napětí v tyčince. Chapadla a upínače běžně vyvozují menší síly, než jaké jsou potřebné k zachycení rázové síly, která byla vypočtena v první kapitole, a proto nebylo nalezeno mnoho výsledků. Klíčová slova byla: gripper, grasping, upínač.

### **Chapadlo s pryžovou membránou**

Toto chapadlo se při zavedení tlakového vzduchu nafoukne směrem dovnitř, kde se nachází manipulovaný objekt a obklopí jej viz obr. 6. Na obr. 7 je vidět řez reálným chapadlem. Výhodou tohoto chapadla je jeho rovnoměrné přizpůsobení povrchu objektu, který nemusí být úplně souměrný. Tomuto chapadlu by nepůsobila problémy špatná kruhovitost skleněných trubiček. Úchopná síla je distribuována rovnoměrně díky Pascalovu

zákonu. Nevýhodou by mohla být menší úchopná síla a menší přesnost úchopu, způsobená deformací membrány. Tomu by se dalo nejspíš zabránit kordem zapuštěným do membrány. Běžně nabízená chapadla tohoto typu jsou určena pro součásti o hmotnosti přibližně 1 kg při průměru uchopované součásti 5 mm. Tato síla řádově nevyhovuje rázovému zatížení, při němž vzniká síla až 1000 N. [2], [3]

Řešením by mohla být podobná chapadla na bázi hydrauliky, která by měla vyšší úchopné síly. Hydraulická chapadla na tomto principu se bohužel zatím nevyrábějí.



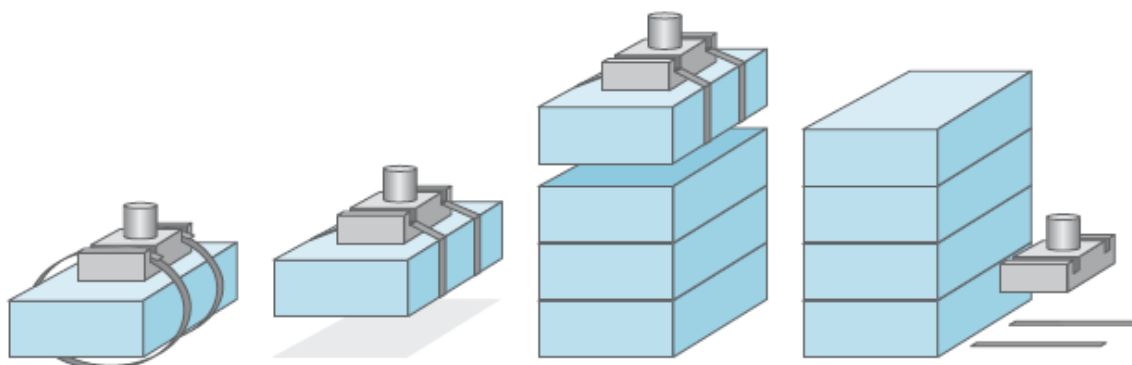
Obr. 6 Princip chapadla s pryžovou membránou [2]



Obr. 7 Řez chapadlem s pryžovou membránou [3]

### **Chapadlo na zavazadla (Baggage gripper)**

Toto chapadlo je určené k automatické manipulaci se zavazadly na letištích. Pomocí speciálního stroje je na každé zavazadlo připevněna dvojice pásků a za ty jsou pak zavazadla uchopována pomocí chapadla. Princip metody je na obr. 8.



Obr. 8 Princip metody uchopování pomocí pásků [1]

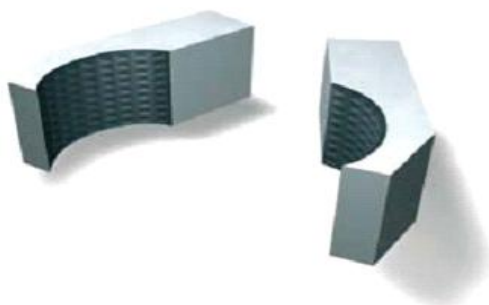
Při uchopování skleněných tyčinek by se dalo využít stejného principu. Tyčinky by byly obepnuty páskem, který by se kolem nich stáhl. Velkou výhodou by bylo, že pásek by se přizpůsobil jejich obvodu, který není přesně kruhový. Přesná poloha by pak byla definována pevným úchopným prvkem, na který by byly tyčinky přitlačeny.

#### **Adhezní vložky (adhesive cushions)**

Elastomerové adhezní vložky zvyšují tření mezi pracovním kusem a čelistmi chapadla. Jejich přínos při uchopování skleněných trubiček je i v tom, že mohou svou deformací vyrovnávat tvarové nepřesnosti uchopovaných kusů. Díky pyramidovému uspořádání dochází ke kontaktu s povrchem uchopované součásti i při menším přiblížení jejímu povrchu, než kdyby byly vložky jen ploché. Tyto vložky jsou navíc vyztužené hliníkovými pásky pro lepší stabilitu. (obr. 9). Je možné je i ohnout a vložit do tvarových čelistí (obr. 10).



Obr. 9 Uspořádání elastomerových vložek a hliníkových výztuh [1]



Obr. 10 Vložky v kombinaci s tvarovými úchopnými prvky [1]

## 2 Alternativy provedení jednotlivých subsystémů

V této kapitole je celý manipulátor rozčleněn do dílčích celků - subsystémů, na které jsou samostatně vypracována variantní řešení. Tyto celky na sebe navazují v prostorovém uspořádání stroje i v časovém průběhu operací. Cílem je nalezení nejvhodnější varianty podle definovaných kritérií. Jednotlivé subsystémy jsou:

### ***Zásobník schopný odjednocovat tyčinky***

Zásobník bude ručně plněn dávkou tyčinek stejného průměru. Musí obsáhnout dostatečné množství tyčinek, aby byl chod zařízení plynulý. To je při kadenci 1 výrobek za sekundu a doplňování každých 30 minut minimálně 15 kusů v zásobníku.

Musí dokázat odjednocovat tyčinky a to s přihlédnutím k faktu, že jsou tyčinky skleněné, tedy křehké a s přihlédnutím k jejich křivosti.

### ***Pomocný manipulátor***

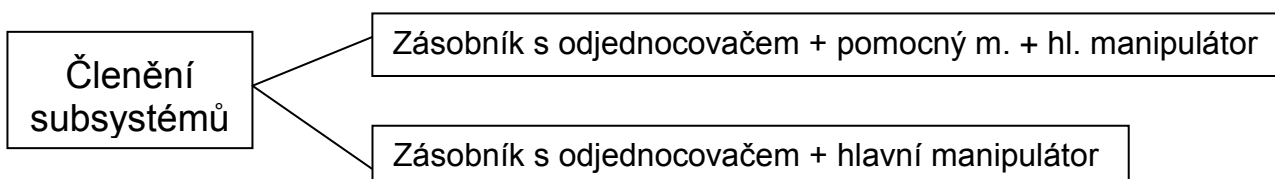
Tento manipulátor odebere tyčinku ze zásobníku a ustaví ji do výchozí polohy pro dávkování do dělicího zařízení, kde ji přebere hlavní manipulátor.

### ***Hlavní manipulátor***

Má za úkol posouvání tyčinky do dělicího zařízení vždy o stejnou hodnotu přísuvu. Jelikož výrobky mají být izometrické válce, je to o průměr tyčinky. Když tyčinka skončí, musí hlavní manipulátor provést několik operací. Bude nutné buď vyhodit nepoužitelný konec tyčinky (technologický odpad by neměl překročit 10 %) nebo pokud to konstrukce dovolí dostrčit celou tyčinku do dělicího zařízení.

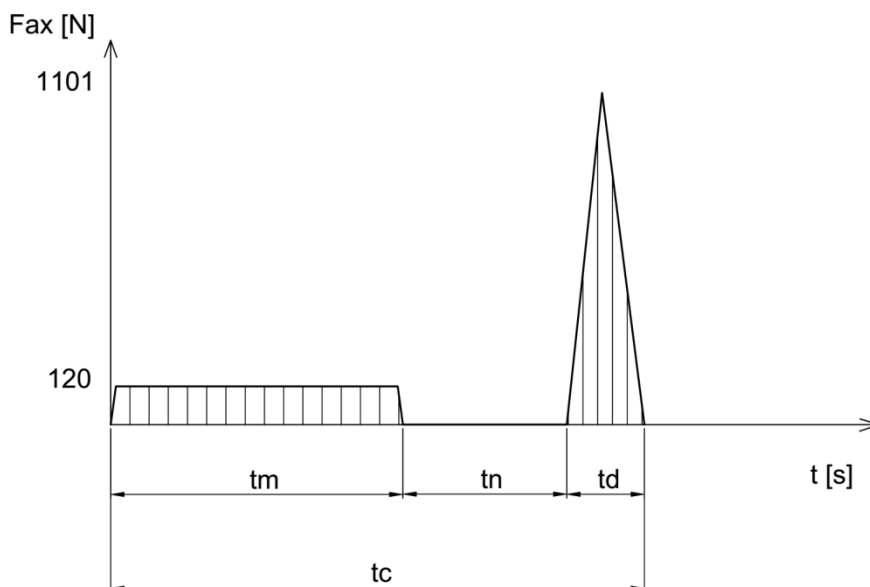
Pomocný manipulátor musí poté nabrat ze zásobníku odjednocenou tyčinku a podat ji hlavnímu manipulátoru tak, aby mohlo opět začít dělení.

Poznámka: Je možné, že oba manipulátory budou řešeny jako jeden manipulátor. Tento případ může nastat například, když se budou odjednocené kusy nacházet rovnou ve výchozí pozici pro dávkování, nebo bude-li mít hlavní manipulátor delší dosah.



### **Časový průběh axiální síly na tyčinku**

Z vypočtené axiální síly v kapitole 1.1 a naměřené odporové síly pro zasouvání tyčinky do dělicího zařízení je možné stanovit následující graf, který ukazuje průběh axiální síly působící na tyčinku.



Obr. 11 Průběh axiální síly na tyčinku

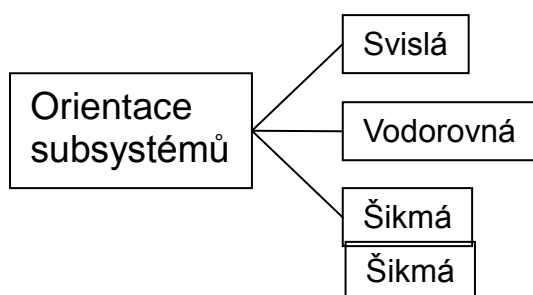
$t_m$  – čas manipulace

$t_n$  – čas naškrábnutí

$t_d$  – čas dělení

### ***Orientace a návaznost subsystémů***

Subsystémy mohou být různě orientovány a to ve třech základních orientacích podle polohy osy manipulované tyčinky a to vodorovně, svisle anebo šikmo. Protože manipulované objekty jsou velmi dlouhé a tenké, bude výhodnější během manipulace co nejméně měnit jejich orientaci. Z tohoto důvodu by všechny subsystémy měly být rovnoběžné, ideálně i souosé.



### **Svislá orientace**

U svislé orientace je možné využít pohybu tyčinek samospádem vlivem gravitace ze zásobníku do manipulátorů a dělicího zařízení. Dokonce by zde nejspíš nebylo třeba užívat manipulátoru 1. Nevýhodou je, že tento pohyb kontrolovaným brzděným pádem (například skrze kartáčový skluz) se špatně kontroluje. Skleněné tyčinky jsou křehké, a proto by bylo žádoucí plynulé zastavení v manipulátoru 2. Toho by se kvůli křivosti tyčinek těžko dosahovalo a bylo by to nejspíš složité na seřízení.

### **Vodorovná orientace**

Výhodou vodorovné orientace by bylo jednoduché umístění jednotlivých tyčinek v zásobníku. Jedná se například o různé variace prizmatických lůžek. Tyčinky by nebylo tím



pádem nutné přidržovat. Další výhodou by bylo lepší rozložení v prostoru, všechny části zařízení by byly přibližně ve stejné výšce.

Nebylo by ovšem možné využít posunu vlivem gravitace.

### Šikmá orientace

Šikmá orientace by mohla skloubit některé výhody obou předchozích variant.

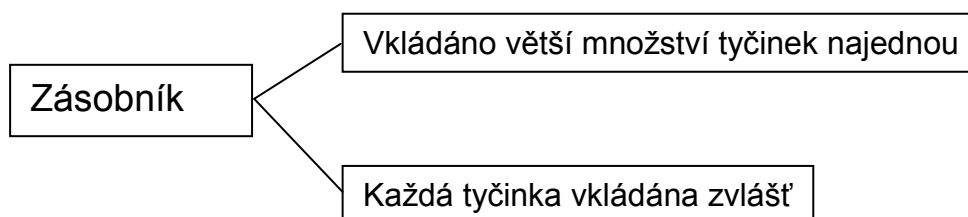
## 2.1 Varianty řešení subsystémů

V této části budou provedena variantní řešení jednotlivých subsystémů a na základě zvolených kritérií zvolena nejvhodnější řešení.

### 2.1.1 Varianty provedení zásobníku

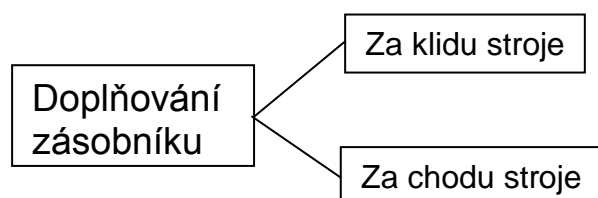
Stroj bude obsluhován jedním pracovníkem, který bude mít za úkol zakládat polotovary – tyčinky do zásobníku, nakládat s výrobky a při přechodu na jiný rozměr tyčinek seřídít stroj.

Zakládání tyčinek může být podle druhu zásobníku prováděno buď po jednom kuse, nebo po svazcích polotovarů. Při vkládání po jednom kuse by měl každý kus v zásobníku jasně vymezené místo a odjednocování by bylo jednodušší, kdežto při zakládání po více kusech by se muselo řešit odjednocování pravděpodobně složitěji.



V první kapitole jsem uvedl, že nejmenší kapacita zásobníku by měla být 15 kusů. Při takovém počtu není problém, aby obsluha zakládala každý kus zvlášť. Založení všech kusů by při potřebném čase 3 s pro jeden kus trvalo 45 s.

Doplňování polotovarů může probíhat buď za chodu stroje, což by samozřejmě bylo výhodnější, nebo pokud to konstrukce stroje nedovolí, za klidu.



Při výběru zásobníku byla brána v potaz tato kritéria:

- Spolehlivost odjednocení tyčinek
- Možnost doplňování za chodu
- Konstrukční složitost (potřeba pomocného manipulátoru)
- Kapacita

### Zásobník svislý přímočarý

Do zásobníku jsou vloženy tyčinky jednoho rozměru. Tyčinky jsou pružinami přes tlačník posouvány směrem ke konci zásobníku. Poslední tyčinka opouští zásobník dírou ve dně na konci zásobníku, k čemuž je nucena gravitační silou. Díra ve dně zásobníku musí být opatřena zavíracím mechanismem, který ji po vypadnutí jednotlivých tyčinek uzavře až do dalšího dávkování.

Zásobník je dole zúžený na rozměr jen o něco větší než průměr tyčinek. V této oblasti na sebe tyčinky těsně přiléhají a působí na ně i tlačník. Vrchní část zásobníku je širší, aby se tam mohla kompenzovat křivost tyčinek.

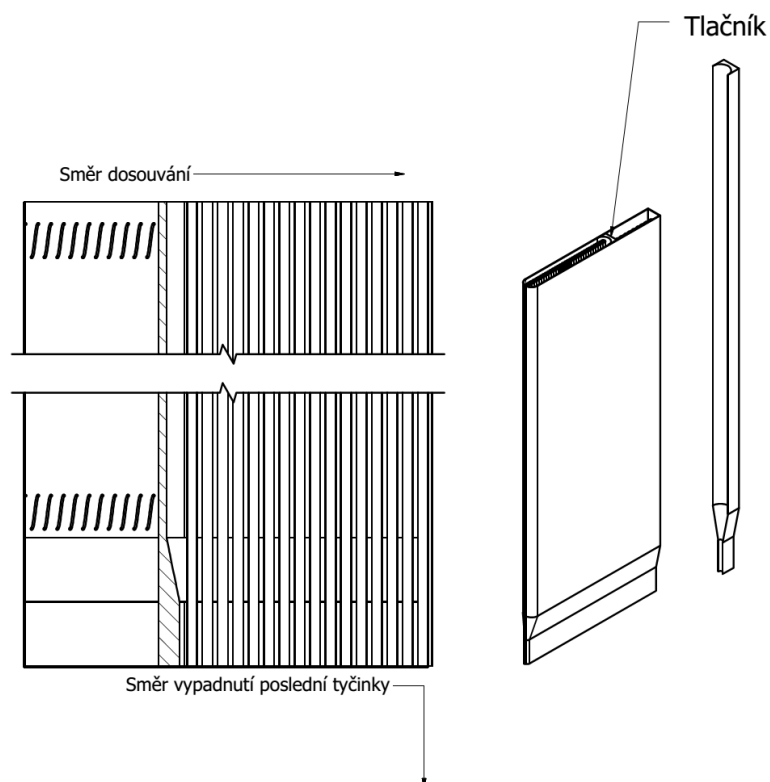
Pro doplnění zásobníku je nutné jej otevřít z čelní strany, stlačit tlačník proti pružinám, kde bude zaháknut a tyčinky rovnoměrně rozprostřít v zásobníku.

#### Výhody:

Tyčinky ze zásobníku vypadávají gravitační silou, čehož lze využít k jejich nadávkování přímo do hlavního manipulátoru. Do zásobníku se vejde při malých rozměrech velké množství tyčinek.

#### Nevýhody:

Spolehlivost tohoto zásobníku není zaručená. Tím, že se tyčinky uvnitř dotýkají jedna druhé, není úplně dána jejich pozice. Zásobník je možné doplňovat za chodu stroje jen pokud se to stihne v čase dělení jedné tyčinky. Pak je nutné jej pro dávkování zavřít.



Obr. 12 Schéma svislého přímočarého zásobníku

### Revolverový svislý zásobník

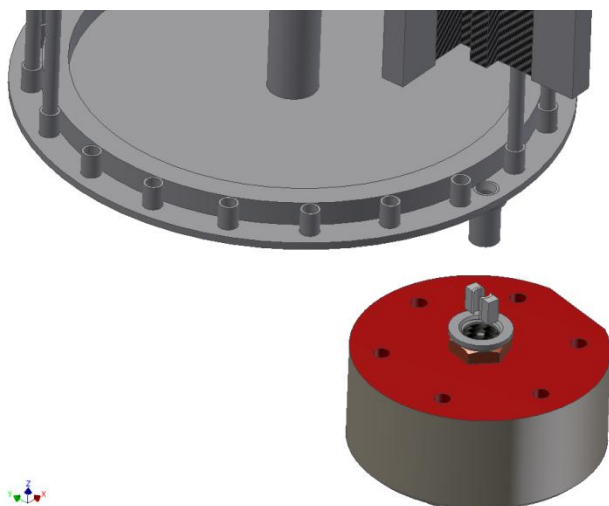
Do tohoto zásobníku jsou vkládány tyčinky po jedné a jsou uchycené pouze na koncích. Nejprve je tyčinka vsunuta do spodního kroužku (obr. 14) a pak je na její horní konec nasunut kroužek shora. Horní kroužky se pohybují v drážkách hliníkového profilu. Spodní kroužek je průchozí a tyčinka je při manipulaci koncem opřena o desku, která se neotáčí.



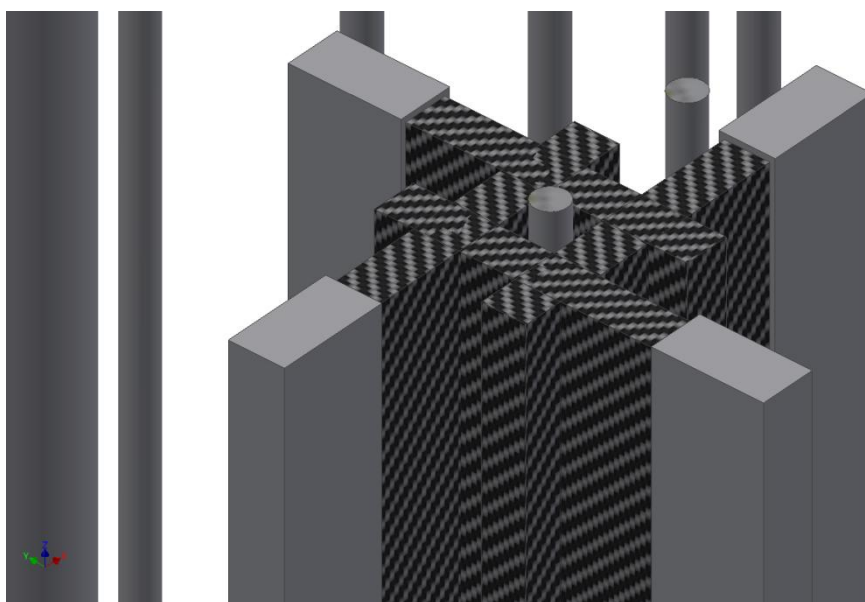
Obr. 13 Celkový pohled na revolverový zásobník

Pomocí kroužků je unášena po desce, až najede na díru v desce (obr. 14), kde se nachází trychtýř, který tyčinku navede přímo do pozice pro manipulaci.

Jako podpora tyčinky slouží čtveřice lineárních kartáčů, které se navzájem prolínají (můžou být umístěny i střídavě) a tvoří uprostřed čtverec (obr. 15). Kartáče jsou umístěny v dávkovací pozici – nad dírou v desce. Dva z kartáčů jsou uloženy otočně, aby dovolily tyčince vstoupit do mezery mezi nimi a pak se za ní zavřely.



Obr. 14 Návaznost zásobníku a dělicího zařízení

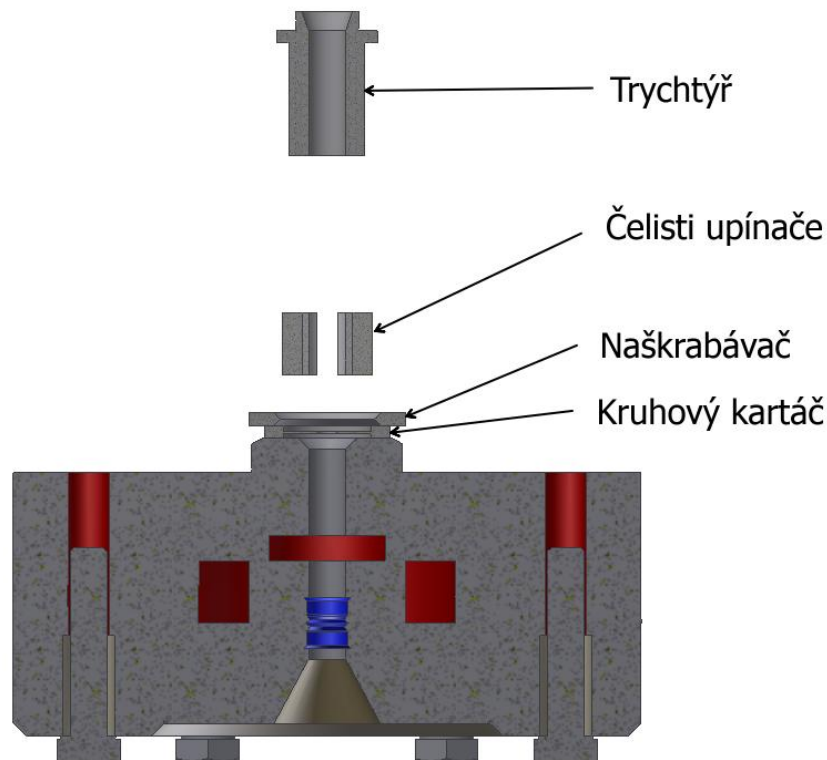


Obr. 15 Detail lineárních kartáčů obklopujících tyčinku v řezu

Tyčinka, jejíž nesouosost je maximálně 20 mm, při volném uchycení na obou koncích vybočuje nejvíce o něco 20 mm a to při konstantní křivosti ve své polovině. V momentě, kdy tyčinka dorazí na díru v desce a působením své tíhy začne padat do trychtýře, uvolní se z horního kroužku, který je jen 5 mm hluboký. V tuto chvíli její udržení ve vertikálním směru přebírají kartáče. Ve válcové části trychtýře je tyčinka uložena s vůlí, aby mohla volně klouzat směrem dolů. Bude-li uvažována opět nejkřivější tyčinka, dojde při srovnání osy na začátku tyčinky s osou trychtýře, vychýlí se horní konec tyčinky o 80 mm od svislé osy. Těžiště tyčinky se pak vychýlí o 40 mm. Tím vznikne v trychtýři moment a mohlo by dojít k vzpříčení. Aby se tyčinka vlivem tohoto momentu v trychtýři nevzpříčila, musí válcovitá část trychtýře být minimálně 14 mm dlouhá.

Po propadnutí tyčinky trychtýřem projede konec tyčinky otevřenými čelistmi upínače a skrz naškrabávač. Pomocí kruhového kartáče je zpomalen její pohyb směrem dolů, a také je

vystředěna tak, aby zajela do díry v dělicím zařízení. (obr. 16) Díra má sraženou hranu a dostatečnou vůli, aby tyčinka nenarazila do čela dělicího zařízení. K úplnému zastavení pohybu tyčinky dojde, až když narazí na těsnění uvnitř dělicího zařízení. Po té je tyčinka uchopena čelistmi upínače, poprvé posunuta o danou vzdálenost a může začít první dělení.



Obr. 16 Uspořádání trychtýře a dělicího zařízení

#### **Výhody:**

Tento zásobník je možné doplňovat za chodu stroje. Je poměrně konstrukčně jednoduchý a hlavně je z něj tyčinka nadávkována již přímo do pozice, kdy ji může uchopit hlavní manipulátor. Odpadá zde tedy pomocný manipulátor. Zásobník je možné dle průměru nadimenzovat na poměrně velké kapacity, přičemž nezabírá tolik prostoru jako předchozí varianta.

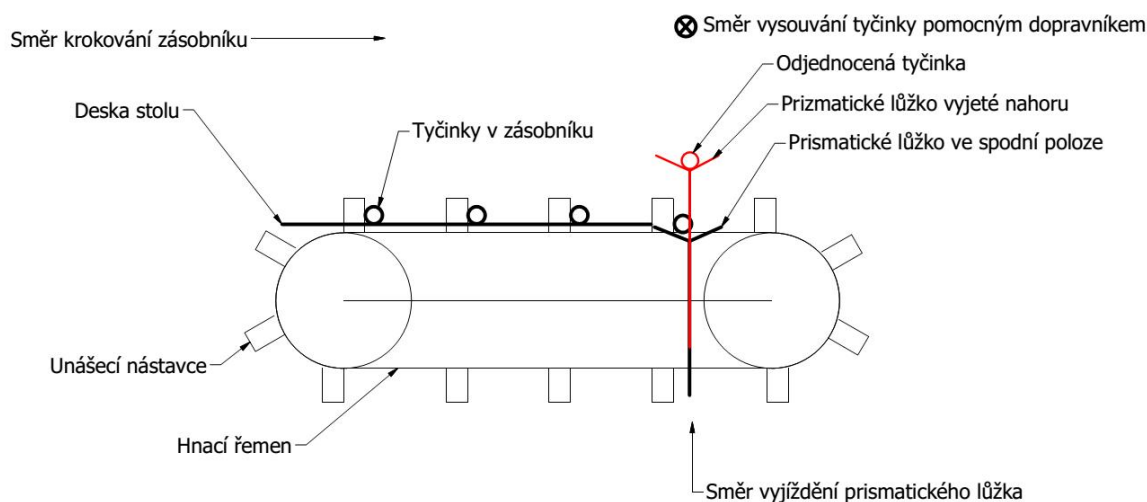
#### **Nevýhody:**

K dávkování je použito gravitačního principu, který nemusí být tak spolehlivý. Při uvážení různé zakřivenosti tyčinek by vznikalo na kartáčích různě velké tření a v nejhorším případě by mohlo dojít i k nenadávkování. Systém je složitější na seřízení kartáčů a varianta by musela být odzkoušena, aby bylo možné s jistotou říci, jak dobře funguje.

#### **Vodorovný zásobník s tyčinkami položenými na deskách**

Jednotlivé tyčinky jsou položeny na stole. Stůl je na dvou místech rozdělen a vyčnívají z něj unášecí nástavce připevněné k ozubenému hnacímu řemenu. Tyto nástavce posouvají tyčinky po stole. Dopravník se posouvá krokově vždy o rozteč nástavců a poslední tyčinka je

posunuta do prizmatického lůžka. Prizmatické lůžko vyjede i s tyčinkou směrem vzhůru a z něj je v osové směru tyčinka vysunuta pomocným manipulátorem do dělicího zařízení, viz obr. 17. Pomocný manipulátor je tvořen ozubeným řemen s nalepenými kvádry z tvarově přizpůsobivého pěnového materiálu. V porovnání s prizmatickým lůžkem musí mít vyšší třecí součinitel v kontaktu s tyčinkou.



Obr. 17 Schéma vodorovného dopravníku

### Výhody:

Jednoznačně zvláště založené tyčinky hned od začátku a tím pádem spolehlivé odjednocení. Tyčinky je do zásobníku možné doplňovat za chodu stroje. Kapacita zásobníku je téměř neomezená a je dána pouze jeho délkou.

### Nevýhody:

Odjednocená tyčinka nemá přesnou polohu, a proto nemůže být rovnou uchopena hlavním manipulátorem. Do hlavního manipulátoru musí být posunuta pomocným manipulátorem.

### Zhodnocení variant zásobníků

Po náležitém zvážení všech variant byla vybrána varianta **vodorovného zásobníku** s tyčinkami položenými na desce. Hlavním kritériem při výběru byla spolehlivost, která u obou ostatních variant byla podmíněna seřizováním nebo experimentem.

### 2.1.2 Řešení rázové síly

Při dělení bude vznikat rázová síla působící v ose trubičky. Tato síla bude muset být zachycena hlavním manipulátorem. Jsou dva přístupy k zachycení této síly.

#### Pevné uchopení

Při prvním přístupu bude uchycení v manipulátoru dostatečně silné a manipulátor udrží trubičku bez proklouznutí. Limitní zde není jen úchopná síla chapadla, které bude

trubičku držet, ale také pevnost a rázové vlastnosti skla. Zejména je třeba při konstrukci dát pozor na dostatečné podepření součásti po délce, aby nedošlo ke vzpěru. Pokud by u této možnosti docházelo k tlumení rázu, tak jen minimálně a to deformací materiálu chapadla.

### Uchopení se zákluzem

V druhém případě by tyčinka i s chapadlem vlivem působící síly konala osový pohyb směrem od dělicího zařízení. Tímto zákluzem by se absorbovala rázová energie a úchopná síla chapadla i síla působící v tyčince by byly menší.

Když bylo dělicí zařízení v Preciose zkoušeno, docházelo k proklouznutí tyčinky v upínači. Když byla tyčinka zapřena o pevnou zarážku, někdy se vlivem axiální síly tříštila. Pro rozhodnutí, která varianta má být zvolena by musel být proveden experiment. Bohužel v době psaní této práce dělicí zařízení nebylo provozuschopné.

### Zhodnocení

V konstrukci by měl být zákluz navrhnout, aby se předešlo náhodnému praskání tyčinky při dělení. Po zprovoznění dělicího zařízení bude na základě experimentů možné určit, zda je zákluz potřebný či ne.

## 2.1.3 Varianty uspořádání hlavního manipulátoru

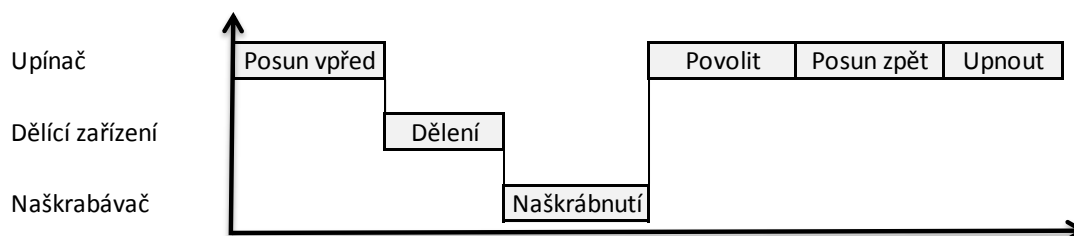
Hlavní manipulátor může mít jeden nebo dva upínače. Při zvažování rychlostí jednotlivých podoperací systému se předpokládá, že dělení a naškrábnutí jsou rychlejší operace než posouvání upínačů. Rychlost posunu je možné určit až výpočtem dle zvolené posuvové jednotky a přídavných hmot – např. chapadla.

Kritéria výběru:

- Rychlost dělení
- Přesnost polohování
- Konstrukční složitost (cena)

### Jeden upínač

Při použití jednoho upínače může ze začátku, dokud není konec tyčinky zasunut do těsnění, probíhat dělení a naškrábnutí pouze za upnutého stavu. Není možné využít čas, kdy se upínač pohybuje směrem dozadu.



Obr. 18 Časový průběh s jedním upínačem - začátek tyčinky

Čas cyklu bude roven součtu:

$$t_c = 2 \cdot t_p + t_d + t_n + 2 \cdot t_u$$

$t_p$  – čas posunu vpřed/zpět

$t_d$  – čas dělení

$t_u$  – čas upnutí/povolení

$t_n$  – čas naškrábnutí

### Výhody:

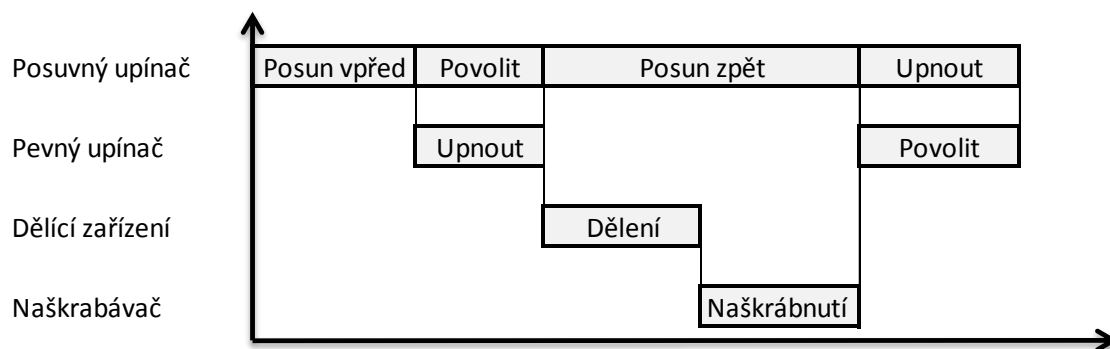
Konstrukčně nejjednodušší varianta, pokud bude rychlost manipulace dostatečná.

### Nevýhody:

Využití pasivních odporů v těsnění pro fixaci tyčinky během manipulace může vést ke snížení přesnosti. Nejpomalejší varianta.

### Dva upínače - pevný a posuvný

Budou-li použity dva upínače, jeden pevný a druhý posuvný, operace se zrychlí, poněvadž dělení i naškrábnutí bude možné realizovat během návratu upínače viz obr. 19.



Obr. 19 Časový průběh s pevným a posuvným upínačem

$$t_c = 2 \cdot t_p + 2 \cdot t_u$$

### Výhody:

Jeden upínač může být pouze k manipulaci a nemusí zachycovat rázovou sílu při dělení. Rychlejší varianta než předchozí. Tím, že si upínače tyčinku předávají a je stále aspoň jedním držena se zvyšuje přesnost.

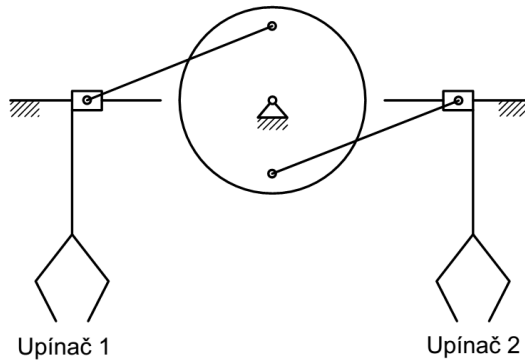
### Nevýhody:

Možnost vnesení radiálního zatížení tyčinky při špatném seřizení sousostí upínačů. Konstrukčně náročnější než první varianta.

### Dva posuvné upínače

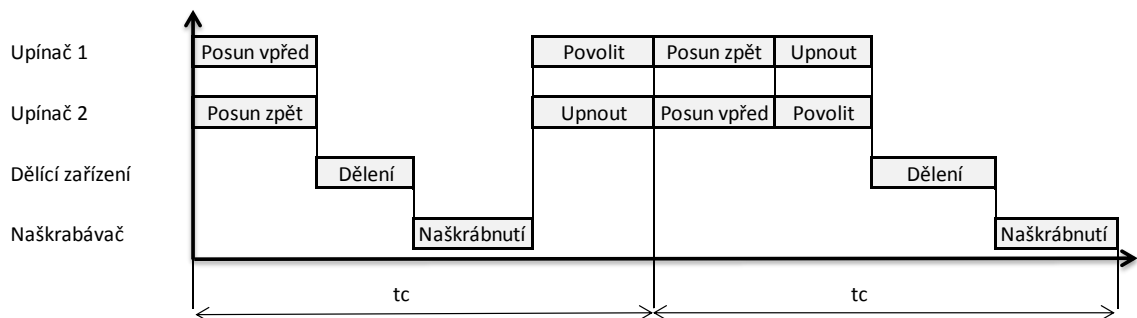
Nejrychlejší varianta je použití dvou pohyblivých upínačů, které budou kinematicky provázané a budou se pohybovat opačnými směry. Pro jejich pohon, při použití vhodného mechanismu, stačí jeden aktuátor. Příklad takového mechanismu je na obr. 20.





Obr. 20 Klikový mechanismus s protichůdným lineárním pohybem

Na obr. 21 je ukázáno časové uspořádání operací. Upínač 1 je blíže dělicímu zařízení než upínač 2. Střídají se zde dva cykly, které trvají stejně dlouho, ale mají jinou souslednost operací. To proto, aby při dělení byla tyčinka držena upínačem 1 blíže čelistem.



Obr. 21 Časový průběh s dvěma pohyblivými upínači

$$t_c = t_p + t_u + t_d + t_n$$

$t_n$  – čas naškrábnutí

### Výhody:

Rychlost dávkování polotovaru. Díky kinematickému provázání upínačů je varianta velmi přesná.

### Nevýhody:

Konstrukčně náročná varianta, a to hlavně kvůli nutnosti zachycování rázové síly pohonem manipulátoru. Další nevýhodou je problematické řešení zákluzu.

### Zhodnocení

S přihlédnutím ke všem kritériím byla zvolena varianta se dvěma upínači pevným a posuvným, a to hlavně kvůli přesnosti a dobré proveditelnosti zákluzu na pevném upínači k absorpci rázu.

## 2.1.4 Varianty upínače hlavního manipulátoru

Upínač hlavního manipulátoru má za úkol držet tyčinku v okamžiku dělení. Musí tedy zachytit rázovou sílu vznikající při dělení. V rámci cyklu musí rychle upnout a povolit tyčinku. Tyčinka se v něm nesmí posouvat, jinak by docházelo ke ztrátě přesnosti dělení. Upnutí i uvolnění musí být spolehlivé a bezproblémové a upínač musí být dobře zakomponovatelný do zbytku systému.

Kritéria výběru:

- Rychlost upnutí / uvolnění součásti
- Přesnost
- Konstrukční vhodnost
- Spolehlivost

### Dva úchopné prvky působící proti sobě

Tyčinka je uchopována pomocí chapadla se dvěma úchopnými prvky. Ty mají na vnitřním povrchu vložku z poddajného materiálu, pro zvýšení tření a přizpůsobení úchopného prvku nerovnému povrchu manipulované tyčinky. Nebylo jasné, zda by dva úchopné prvky nevytvářely ve skle příliš velké napětí. Pro přesnější určení napětí v tyčince byla úloha simulována pomocí MKP.

Bezpečnost byla stanovena s přihlédnutím ke způsobu uchopení objektu, dynamické charakteristice zatěžování tyčinky a stavu povrchu tyčinky.

$$k = 3$$

Třecí součinitel:

$$\mu_{\text{stat}} = 0,8$$

Úchopná síla:

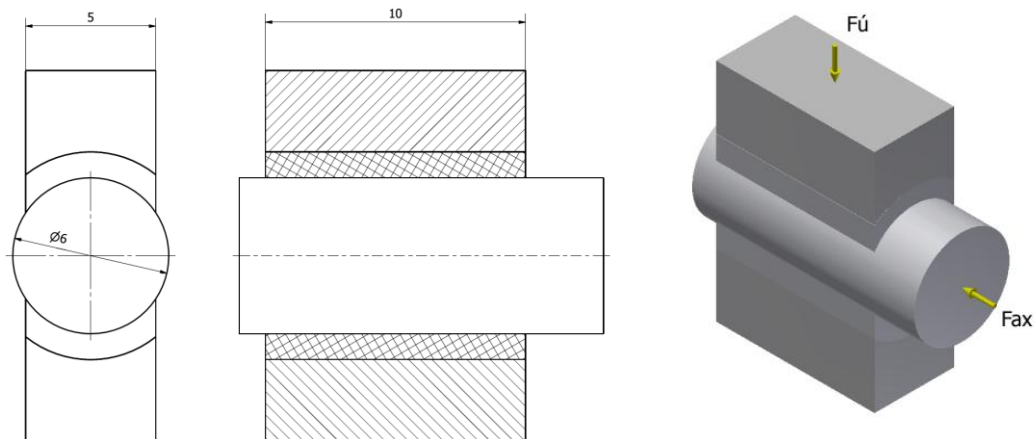
$$F_{\dot{u}} = k \cdot \frac{F_{ax}}{2} \cdot \frac{1}{\mu} = 3 \cdot \frac{1100}{2} \cdot \frac{1}{0,8} = 2132 \text{ N}$$

Simulace byla provedena pro tyčinku průměru 6 mm s úchopnými prvky dle obr. 22, kde vnitřní část úchopných prvků byla volena z plastu. Na dalším obr. jsou vidět působící síly.

Zatěžující síly:

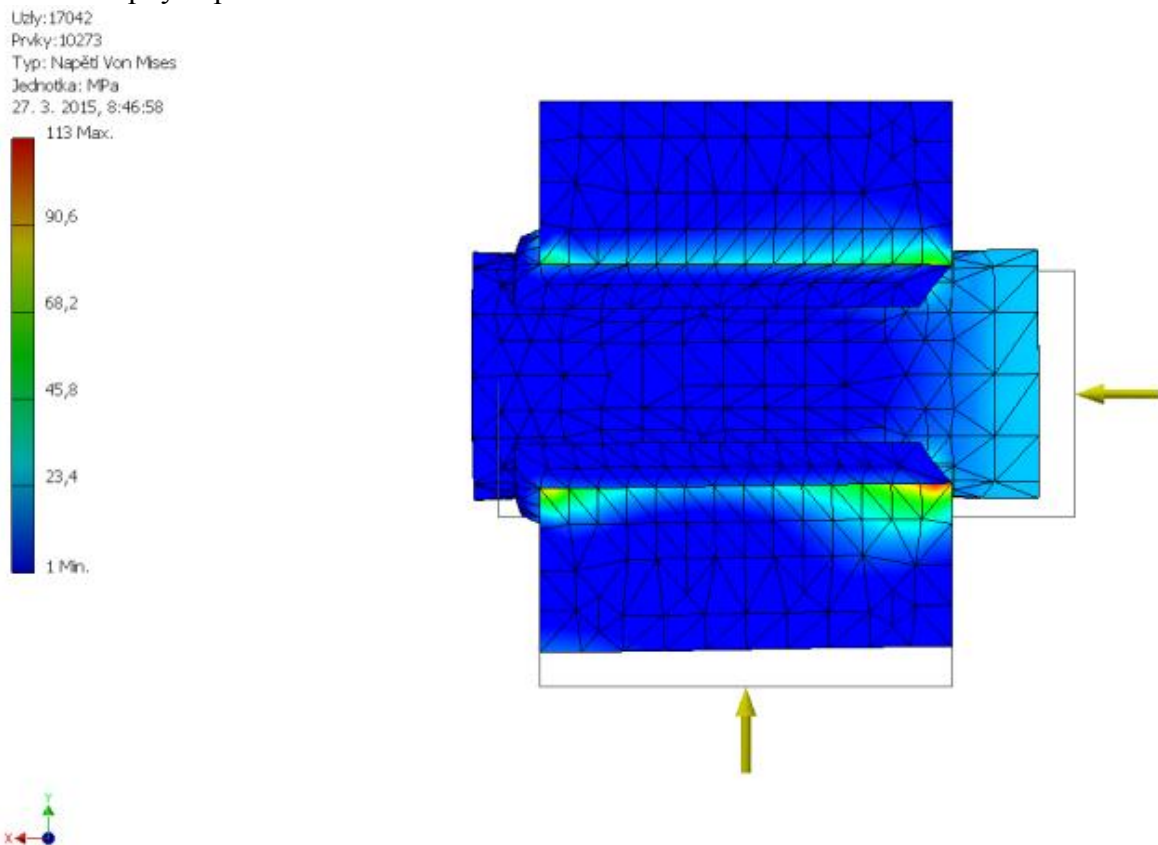
Úchopná síla  $F_{\dot{u}} = 2132 \text{ N}$

Axiální síla  $F_{ax} = 1100 \text{ N}$



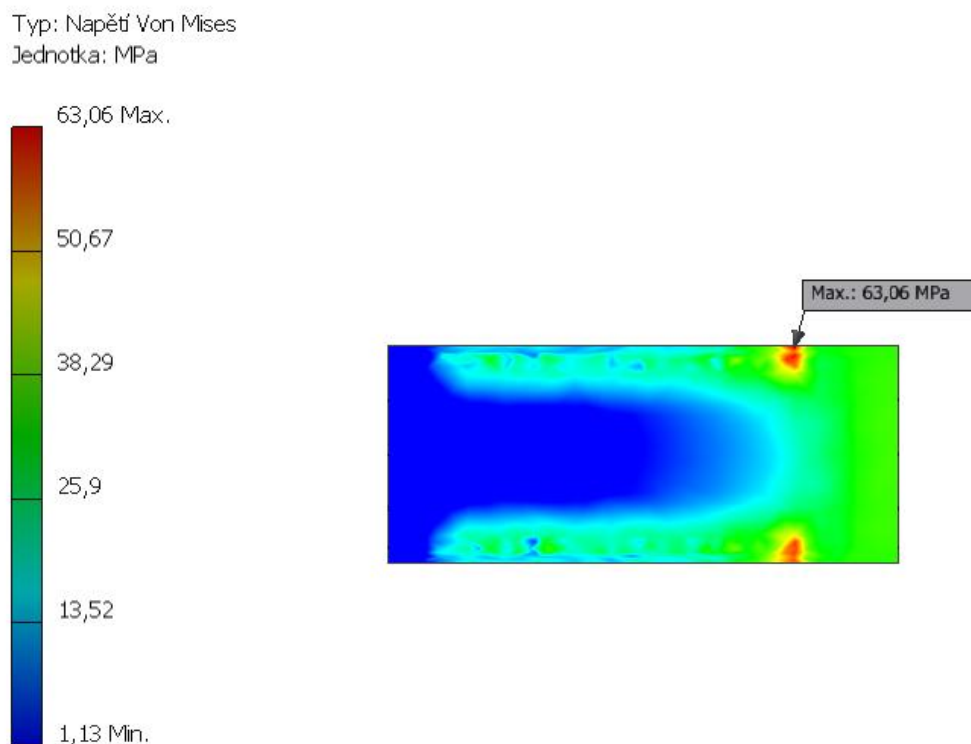
Obr. 22 Rozměry modelu analýzy MKP a zatěžující síly

Na obr. 23 je znázorněna síť konečných prvků a je zde patrná velká deformace plastových vložek úchopných prvků.



Obr. 23 Působící síly a deformovaná poloha modelu

Na obr. 24 je vidět rozložení napětí na skleněné tyčince. Jedná se o výsledky dle hypotézy HMM. Místo s největším napětím je v místě kontaktu s předním okrajem úchopných prvků a to 63 MPa.



Obr. 24 Výsledky pevnostní analýzy – největší napětí

#### **Výhody:**

Upnutí je možné realizovat velmi rychle a je díky radiálnímu posuvu čelistí vůči ose tyčinky dost přesné. Další výhodou je možnost vsouvání a vysouvání tyčinky do čelistí jak v ose, tak radiálně.

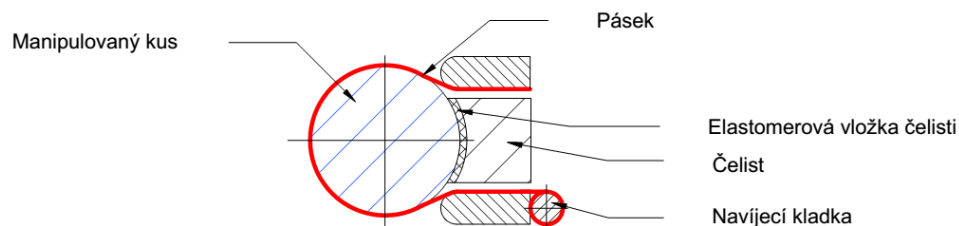
#### **Nevýhody:**

Protože úchopné prvky neobklopují tyčinku kolem dokola, není zde tak dobře rozloženo napětí, jak ukázala pevnostní analýza.

#### **Uchopení pomocí pásku**

K uchopení dochází stažením pružného pásku kolem tyčinky. Tento pásek ji přitáhne k úchopnému prvku, který bude mít vložku z plastu. Výhodou je, že tyčinka nemusí mít přesnou polohu vůči upínači. Při užití vhodného pásku vytvoří pásek očko, které se stáhne kolem tyčinky. Proto by pásek měl být z dostatečně tuhého materiálu, případně mít kord na vnější straně.

Další výhodou je, že se pásek tvarově přizpůsobí nerovnostem a nesouososti tyčinky. Pásek může být buď navíjen na buben anebo připojen na přímočarý aktuátor.



Obr. 25 Uchopování pomocí pásku

### Výhody:

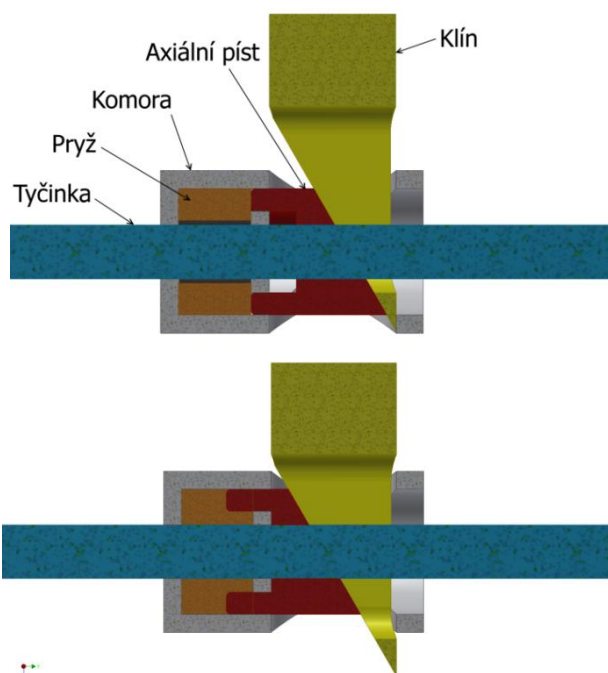
Rovnoměrněji rozložené napětí na tyčince a vyrovnání špatné kruhovitosti. Rychlé upnutí i uvolnění. Přesnost v axiálním směru je také dobrá.

### Nevýhody:

Tyčinka je do upínače vsouvána v osovém směru. Mohlo by být problematické upínač nastavit správně do osy, aby pevný úchopný prvek nekolidoval s tyčinkou při zasouvání. Tyčinku není možné vsouvat v radiálním směru.

### Upnutí hyperelastickým materiálem

V této variantě je využito nestlačitelnosti hyperelastických materiálů. Hyperelastický materiál (pryž) je uzavřen ve válcové komoře obklopující tyčinku a je osově stlačen. Jediný směr, kterým se může pohybovat, je radiálně na tyčinku a tím ji upne. Na obr. 26 je návrh uspořádání takového upínače s transformačním blokem tvořeným klínem a pístem. Klínem je píst vtlačěn do komory a deformuje její pryžovou náplň tak, aby tlačila na tyčinku po celém jejím obvodu.



Obr. 26 Upínač s hyperelastickým materiálem

### Výhody:

Velmi jemné upnutí a stejnoměrné rozložení tlaku po povrchu tyčinky. Možné využití deformace pryže jako tlumení rázu od úchopné síly.

### Nevýhody:

Kvůli pružnosti pryže by upnutí nemuselo být tak přesné. Tyčinku je možné do zařízení vsouvat pouze v osovém směru. Vlivem adheze mezi pryží a tyčinkou by mohlo docházet k problémům při uvolňování úchopu, takže upnutí by pravděpodobně bylo rychlé dostatečně, ale uvolnění by mohlo chvíli trvat.

### Rozhodovací analýza

Jelikož se jedná o klíčový problém, je v tomto případě rozhodnutí provedeno pomocí rozhodovací analýzy. Kritéria byla blíže popsána na str. 27.

- Varianty: A – Dva úchopné prvky proti sobě  
B – Uchopení pomocí pásku  
C – Hyperelastický materiál

Tabulka 1 Rozhodovací analýza

Párové srovnání kritérií					Matice užítivosti alternativ							
Poř	Název kritéria	Poč. voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota X		Varianta A		Varianta B		Varianta C	
					prostá	vážená	prostá	vážená	prostá	vážená	prostá	vážená
1	Rychlost úchopu	1	3	2	100	200	80	160	80	160	60	120
2	Přesnost	3	1	4	100	400	90	360	80	320	70	280
3	Konstr. vhodnost	0	4	1	100	100	70	70	50	50	70	70
4	Spolehlivost	2	2	3	100	300	80	240	50	150	60	180
Celkem						1500		830		680		650
Užitnost v relativním vyjádření						100%		55%		45%		43%
Pořadí alternativ podle užítivosti								1.		2.		3.

Podle rozhodovací analýzy byla vybrána varianta A **dva úchopné prvky proti sobě**.

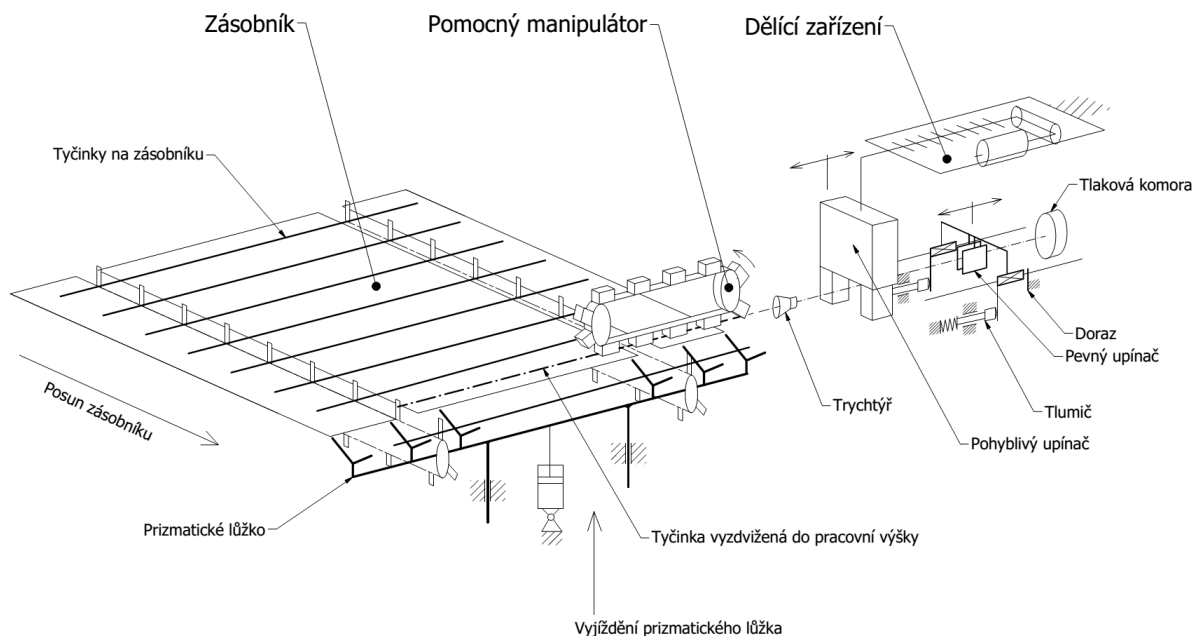
### 2.1.5 Přehled zvoleného řešení pro konstrukci

Zásobník byl zvolen vodorovný s tyčinkami smýkanými po desce stolu do prizmatického lůžka. To odjednocenou tyčinku nadzdvihne a pak je pomocí molitanového pásu posunuta v osovém směru do dosahu hlavního manipulátoru, který je tvořen dvojicí pevného a posuvného upínače.

Pro pevný upínač, který zachycuje rázovou sílu vznikající při dělení, byl vybrán princip dvou protichůdných úchopných prvků a účinek rázové síly na tyčinku bude zmírněn pomocí zákluзу.

### 3 Konstrukční provedení

Konstrukce je rozčleněna do tří hlavních subsystémů a to zásobníku, pomocného manipulátoru a dělicího zařízení. Jednotlivé subsystémy na sebe navazují tak, jak je popsáno na konci druhé kapitoly a na obr. 27 je vidět jednotlivé subsystémy. Dělicí zařízení sestává z pohyblivého a pevného upínače hlavního manipulátoru a tlakové komory, kde dochází k dělení. Větší schéma je k dispozici v přílohách.



Obr. 27 Schéma konečné varianty

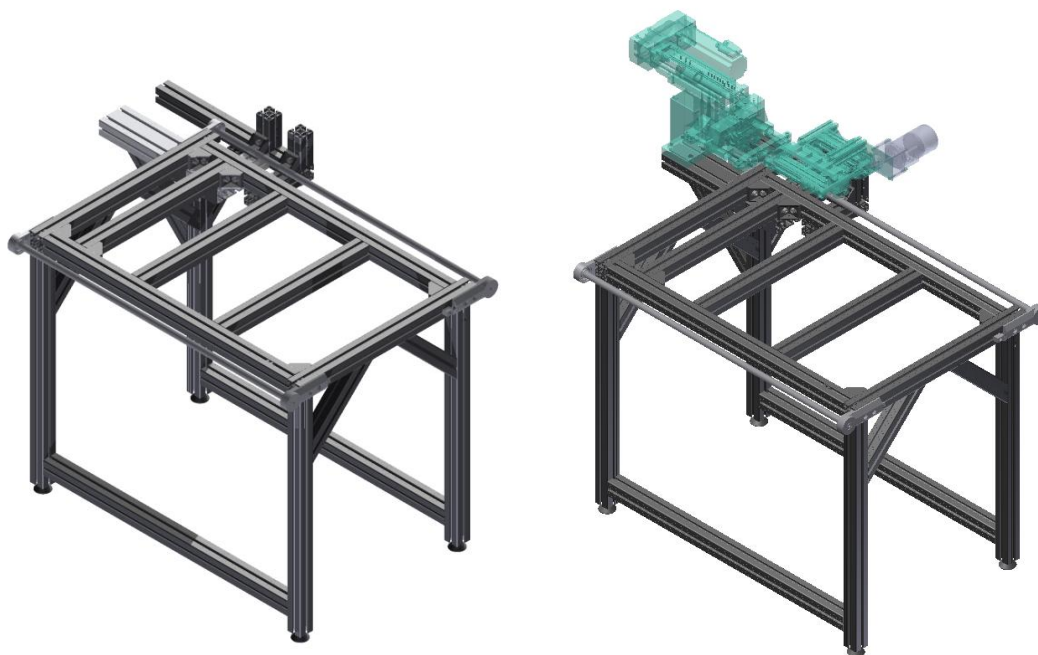
#### 3.1 Konstrukce zásobníku a rámu

Zásobník je největší částí konstrukce, a proto jsou k jeho rámu připojeny ostatní subsystémy.

##### 3.1.1 Rám

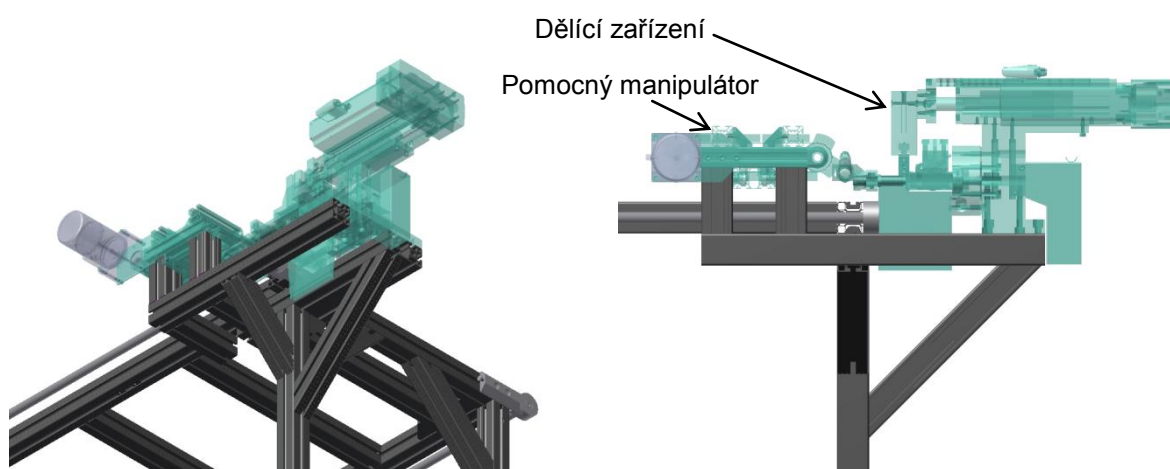
Rám zásobníku je tvořen z hliníkových profilů čtvercového průřezu Maytec rozměr 45 x 45 mm lehká řada. Základ rámu tvoří obdélníková konstrukce posazená na nohou, tak aby desky na rám položené byly ve výšce 760 mm a umožňovaly obsluhu snadné a ergonomické pokládání tyčinek na zásobník.

Tento obdélník je k nohám připevněn ještě profily pod úhlem 45° pro zvýšení tuhosti (obr. 28) a dvě a dvě nohy jsou ještě těsně nad zemí spojeny příčkami, aby rám tvořil uzavřený řetězec. Ke spojení rámu jsou užity úhelníky a konektory.



Obr. 28 Celkový pohled na rám

V místech, kde bylo nutné z rámu vyložit profily, které nesou dělicí zařízení a pomocný manipulátor (obr. 29), jsou profily podepřeny zdola. Dvojprofil (90 x 45), který hlavně nese dělicí zařízení je z těžké řady profilů.



Obr. 29 Vyložení dělicího zařízení a pomocného manipulátoru

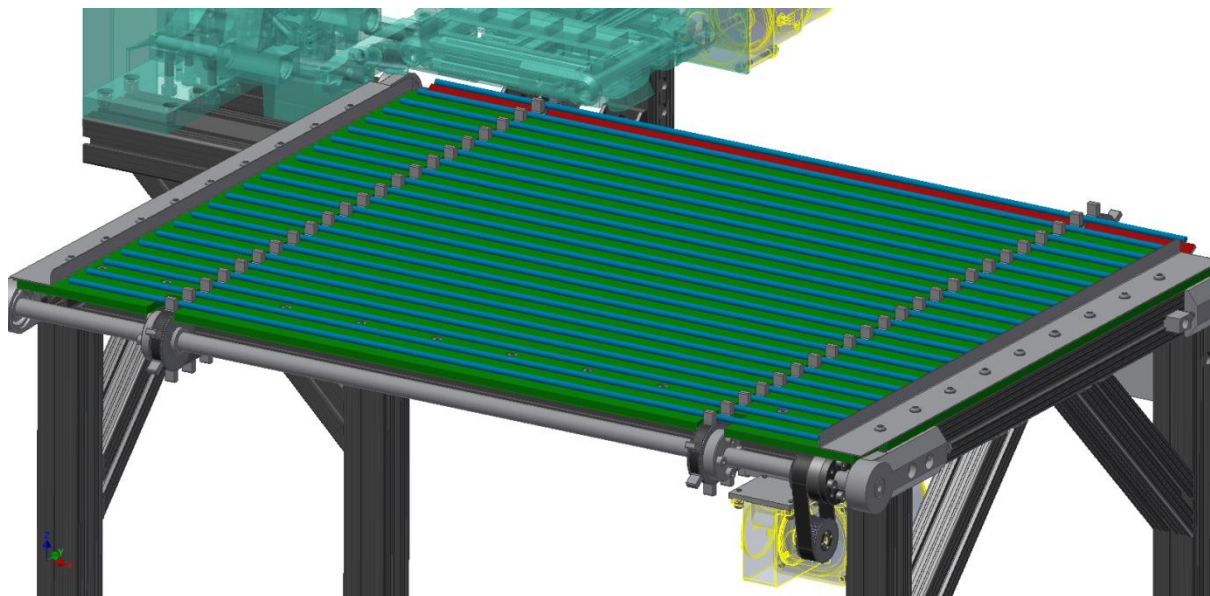
### 3.1.2 Zásobník

Zásobník má kapacitu 22 tyčinek. Délka tyčinek je 800 mm. Nevyužitý zbytek tyčinky je přibližně 80 mm. Při největším průměru tyčinky 6 mm se z tyčinky dá vyrobit přibližně 120 ks výrobků. Při kadenci stroje 1 ks/s jsou ke zpracování 1 tyčinky potřeba 2 minuty. Zásobník se tedy vyprázdní za **44 minut** a do pohybu se dává každé **2 minuty**, kdy provede posun o jednu rozteč unášecích nástavců, tedy **30 mm**. Je možné jej ale průběžně doplňovat.

Tyčinky leží na stole z plastových desek s hladkým povrchem a nízkým koeficientem tření, mezi deskami se pohybují unášecí nástavce ozubeného řemene. Ty při krokování tlačí tyčinky po stole, viz obr. 30. Po stranách jsou umístěny vodící plechy, které vymezují axiální

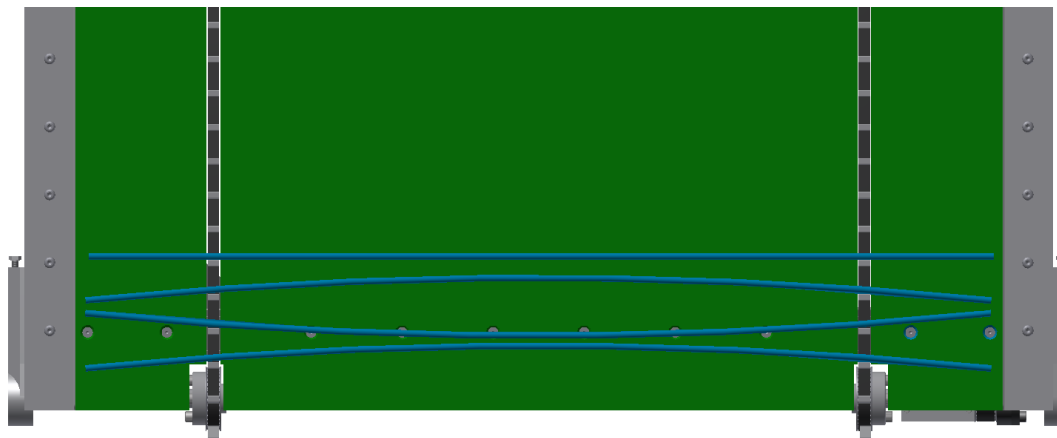


polohu tyčinek na stole. Na obrázku je také vidět uchycení hřídele do ložiskových domků na kraji stolu a poloha řemenic.



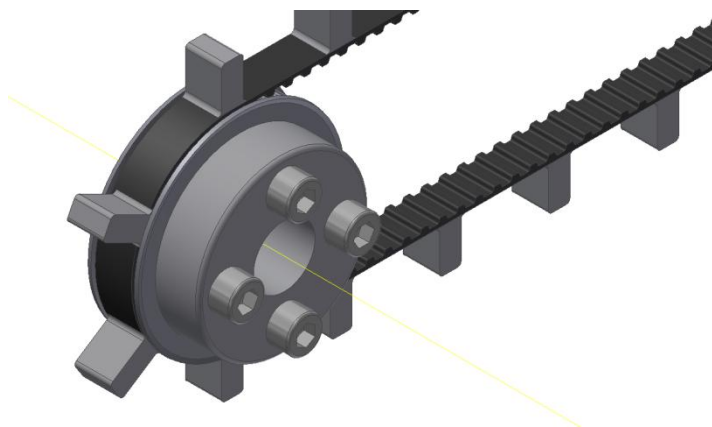
Obr. 30 Funkce zásobníku

Rozteč unášecích nástavců byla zvolena s ohledem na nejkřivější tyčinky, tak aby při nejméně vhodném nadávkování tyčinky nekolidovaly, jak je vidět na obr. 31. Vzdálenost řemenů od sebe byla volena tak, aby různě zakřivené tyčinky měly vždy těžiště přibližně stejně umístěné, aby nedocházelo k problémům při zvedání součástí prizmatickým lůžkem.



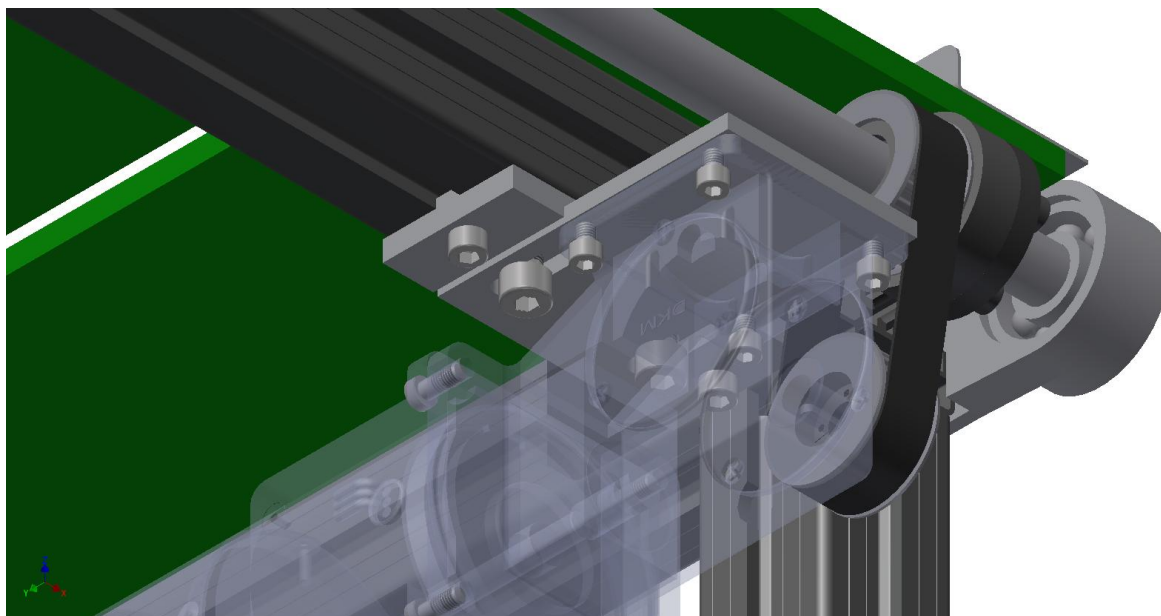
Obr. 31 Nejnepříznivější uspořádání křivých tyčinek

Byl zvolen řemen T5 šířky 10 mm od firmy Forbo Siegling s navařenými plastovými unášeči. Kladky jsou připevněné k dutému hřídeli pomocí samostředících svěrných pouzder zn. Tollok viz obr. 32.



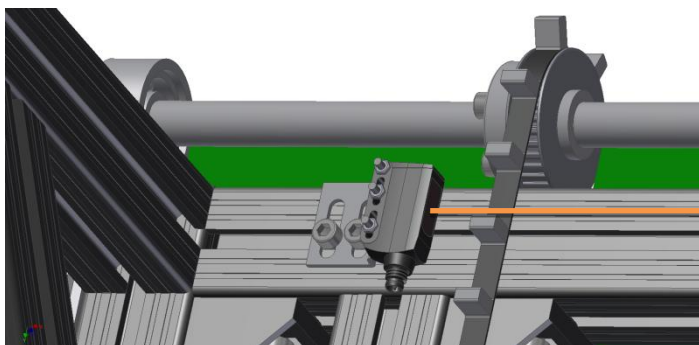
Obr. 32 Řemen s unášeči

Pohon řemene je realizován asynchronním motorem firmy DKM o výkonu 25 W s brzdou a šnekovou převodovkou umístěnou pod stolem viz obr. 33. Výstupní otáčky motoru jsou 15 ot/min. S hřídelí zásobníku je spojen ozubeným řemenem. Motor je uchycen posuvně, aby se řemenový převod mohl nezávisle napínat.



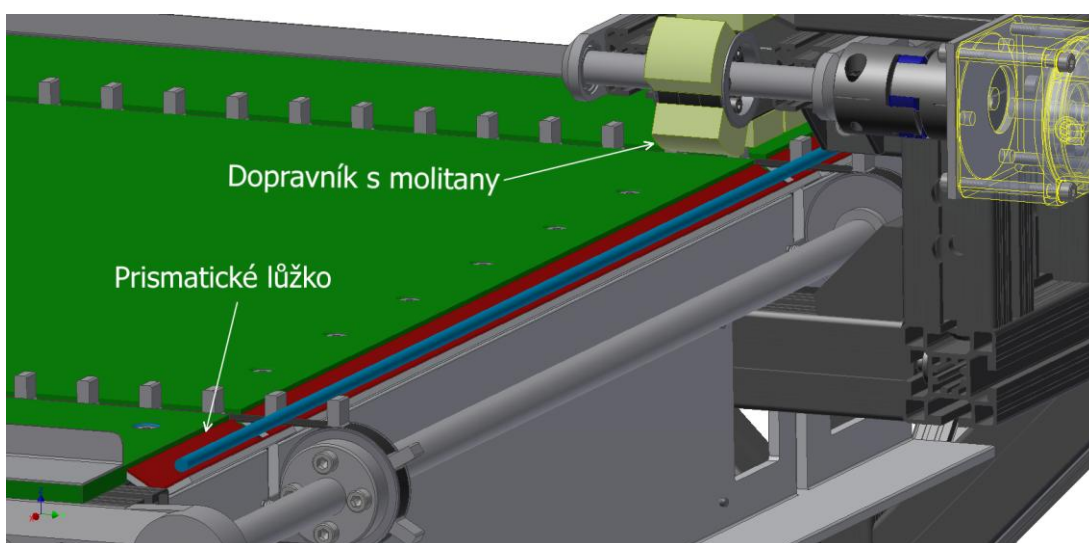
Obr. 33 Posuvné připevnění motoru k rámu

Ve spodní části zásobníku je umístěn optosnímač zn. Sick, který dává pokyn k zastavení řídicímu systému. Snímač je namířen na unášecí nástavce a je možné jej posouvat k doladění správné polohy zastavení, jak je zřejmé z obr. 34. Světelná stopa snímače je naznačena oranžovou barvou.

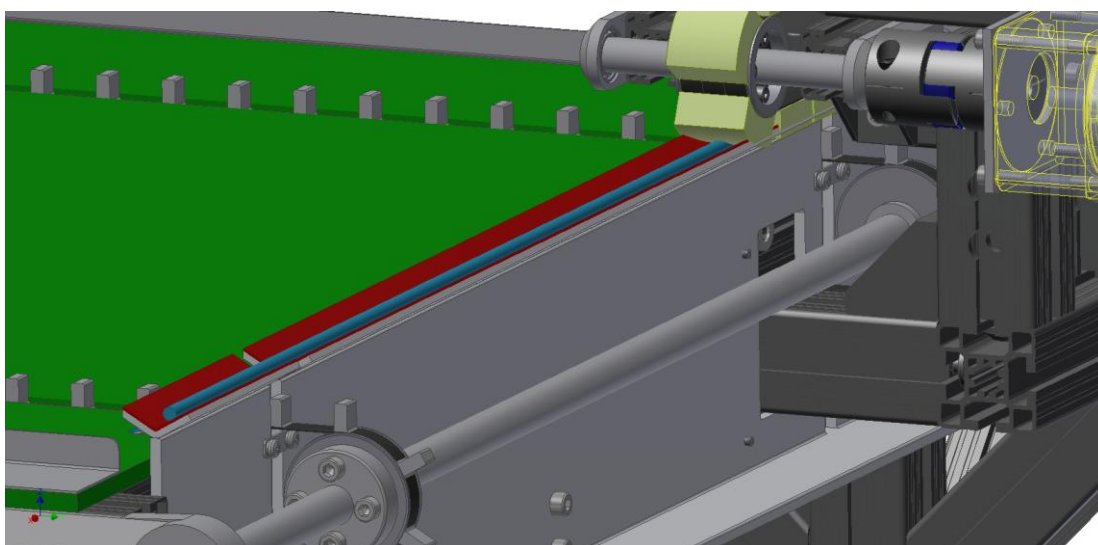


Obr. 34 Optosnímač

V poslední pozici zásobníku je tyčinka přenesena nad prizmatické lůžko, které s ní pak vyjede směrem vzhůru a přitlačí ji na řemenový dopravník s molitany, jak je znázorněno na obr. 35 a 36.



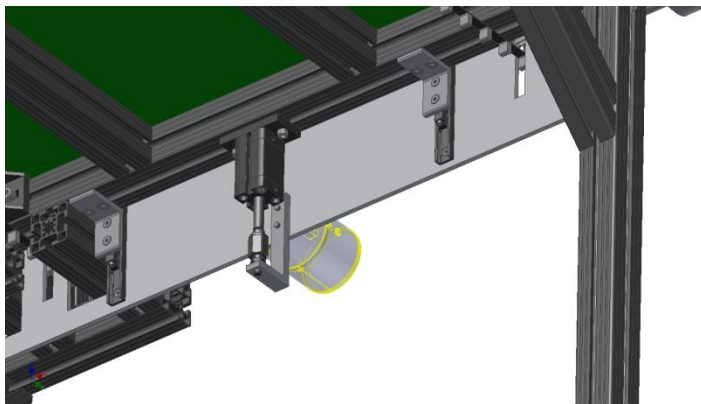
Obr. 35 Poslední pozice zásobníku - prizmatické lůžko dole



Obr. 36 Poslední pozice zásobníku - prizmatické lůžko nahoře

Jednotlivé části prizmatického lůžka jsou přivařené k duralové desce. Prizmatické lůžko je vyloženo tenkou vrstvou plastu s nízkým koeficientem tření (červená barva). Ke

zvedání prizmatického lůžka slouží pneumotor umístěný pod stolem, jak je zřejmé z obr. 37. Vedení je zajištěno dvojicí kladičkových vedení zn. Rollon. Aby se předešlo namáhání pístnice válce vlivem nesouososti vedení a válce, je pístnice k desce připojena přes pružnou spojku. Polohu desky vůči válci lze doladit zašroubováním pístnice motoru.



Obr. 37 Vedení a pneumotor ovládající prizmatické lůžko

Volba pneumotoru:

Zrychlení systému je velmi malé, proto byla setrvačná síla ve výpočtu zanedbána.

Hmotnost pohyblivých částí:  $m = 2 \text{ kg}$

Potřebná síla pneumotoru:  $F_{pn}$

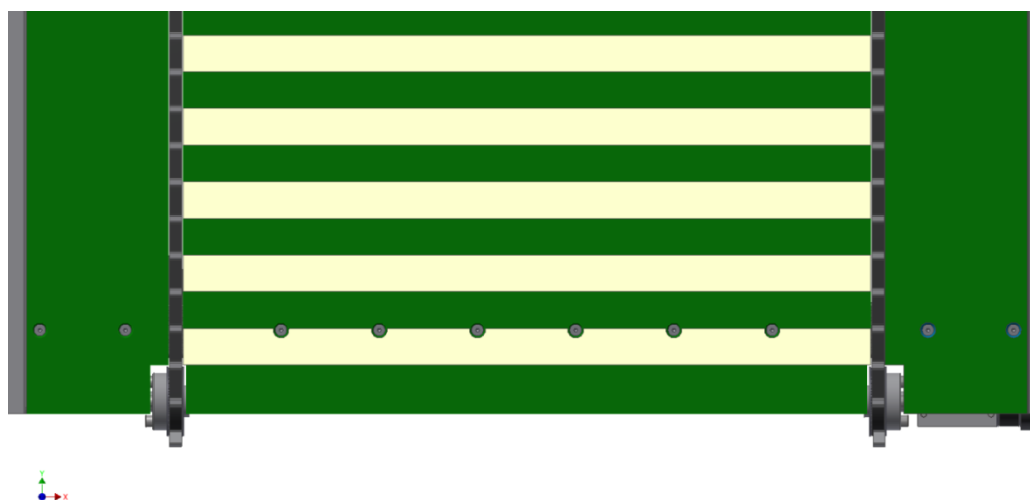
Bezpečnost:  $k = 3$

$$F_{pn} = k \cdot F_G = k \cdot g \cdot m = 3 \cdot 9,81 \cdot 2 = 59 \text{ N}$$

Pro pohon byl zvolen válec s krátkým zdvihem Festo ADN 20, průměr pístu je 20 mm. Zdvih směrem vzhůru je realizován v poloze, kdy se píst zasouvá.

Zásuvná síla válce je dle údajů výrobce při tlaku 6 bar 141 N.

Při zakládání tyčinek by mohlo docházet chybou obsluhy stroje k založení tyčinky šikmo a to zejména u ohnutých tyčinek. Proto by bylo dobré na desky zásobníku namalovat pruhy vyznačující oblasti mezi jednotlivými unašeči viz obr. 38.



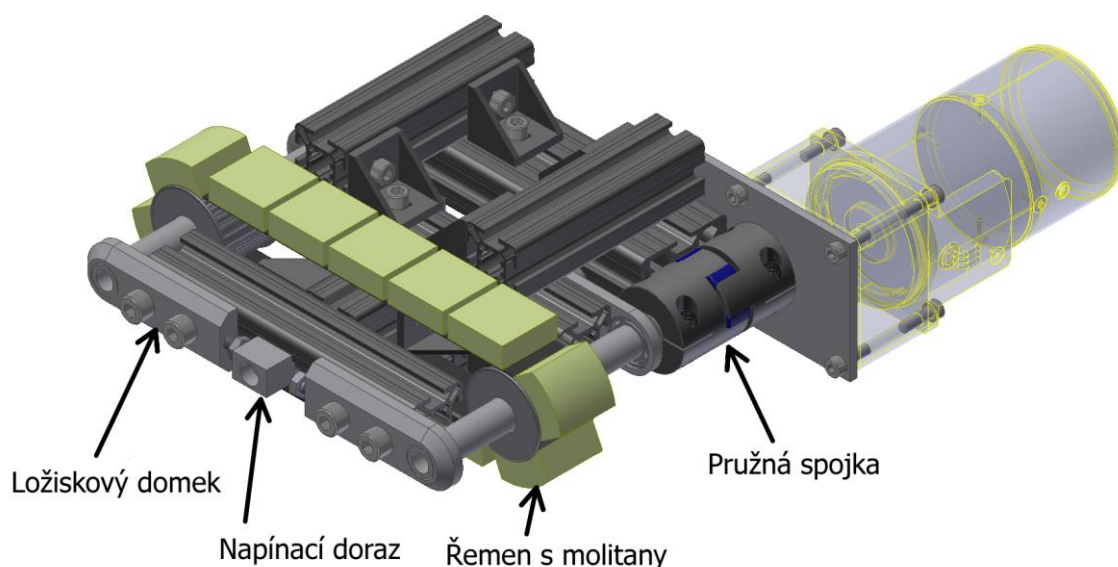
Obrázek 38 Pruhy navádějící obsluhu

### 3.2 Konstrukce pomocného manipulátoru

Pomocný manipulátor je tvořen ozubeným řemenem T5 šířky 32 mm od firmy Forbo, na který jsou nalepeny po obvodu molitanové kvádry. Tyto kvádry mají dvě funkce. Přitlačují tyčinku do prizmatického lůžka, takže v dané oblasti je tyčinka na dně lůžka a má přesnou pozici. Manipulátor je vůči délce tyčinky krátký, přibližně 1:4 a to proto, aby se volný konec křivé tyčinky mohl vztyčit z prizmatického lůžka.

Druhá funkce je, že při pohybu řemene unášejí tyčinku v osovém směru. Proto mají oproti materiálu prizmatického lůžka vyšší koeficient tření. Při nedostatečném tření by se dal třecí koeficient ještě zvýšit nanesením např. latexu na molitanové kvádry.

Na obr. 39 je vidět uspořádání manipulátoru. Konstrukce je z profilů 30 x 30 mm od firmy Maytec, spojených úhelníky. K rámu stroje je manipulátor připevněn jen na jedné straně, a proto je chycen dvěma profily z vrchu a jedním dvojprofilem 60 x 30 mm ze spodu.



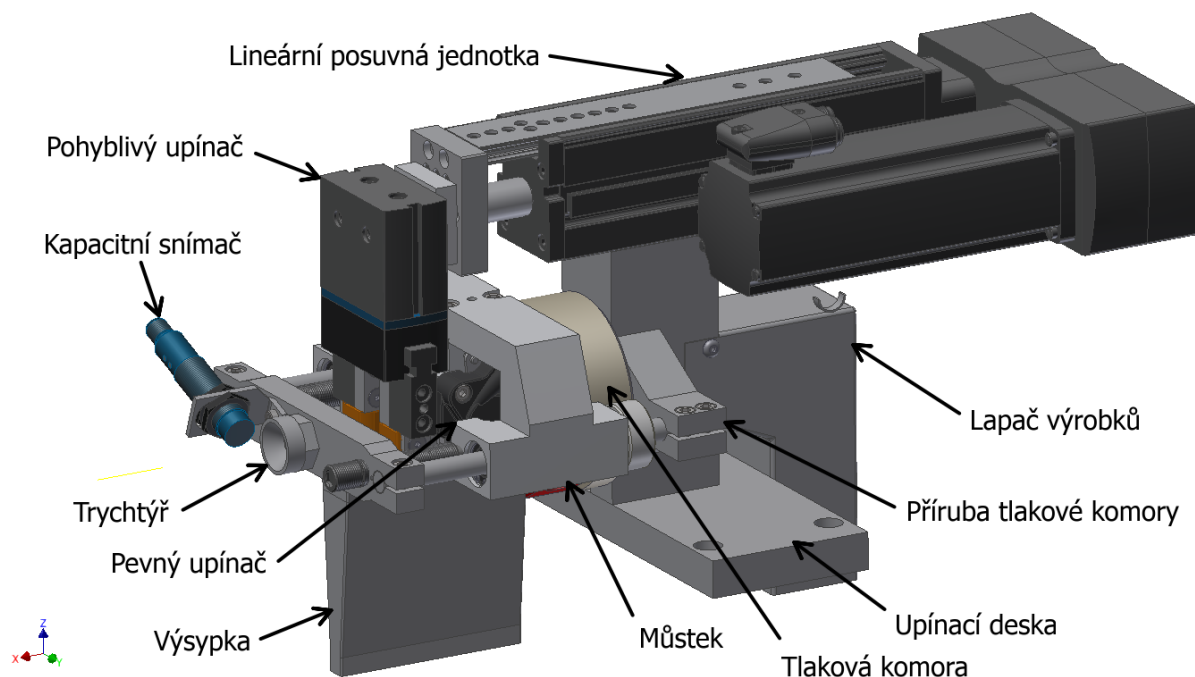
Obr. 39 Uspořádání pomocného manipulátoru

Ložiskové domky slouží zároveň jako napínače řemenu. Řemenice jsou k dutému hřídeli připevněny pomocí samostředících svěrných pouzder Tollok.

Pro pohon byl vybrán asynchronní motor s brzdou firmy DKM o výkonu 15 W s převodovkou s čelními koly. Výstupní maximální otáčky jsou 20 ot/min. Tyčinku je třeba vysunout pouze o vzdálenost cca 70 mm. Motor je k rámu upevněn pomocí příruby, která je přišroubována do drážky profilu třemi šrouby s kameny. Motor je možné posunovat jen v jednom směru, a proto je s manipulátorem spojen pružnou spojkou od Misumi.

### 3.3 Konstrukce dělicího zařízení

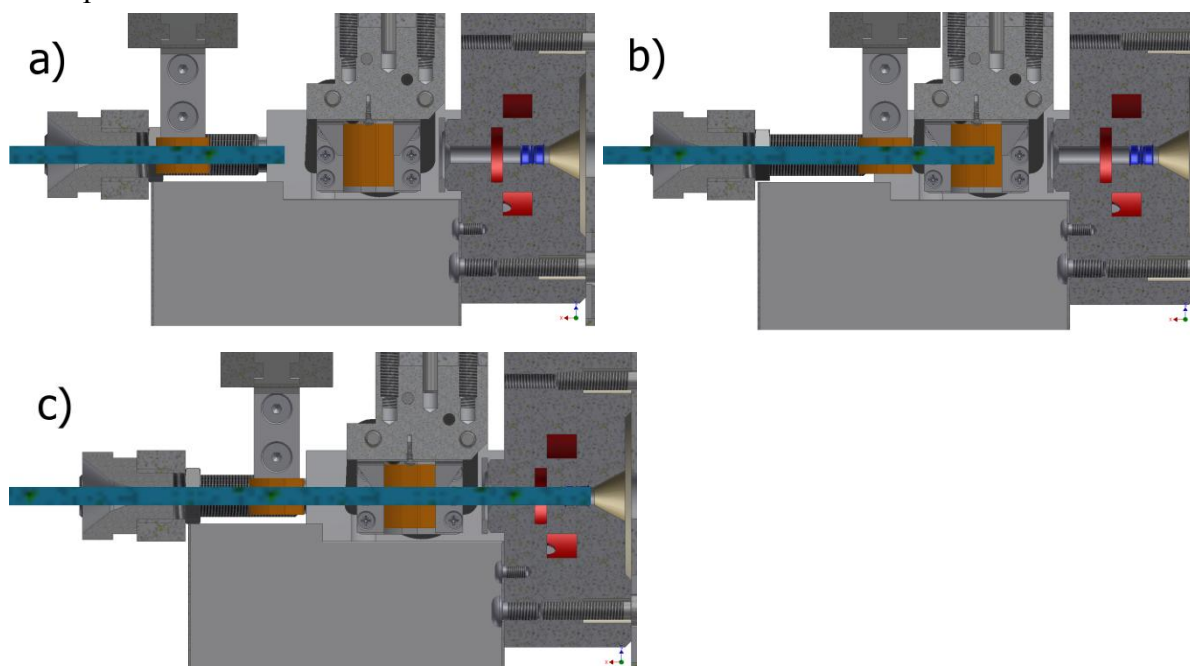
Hlavní funkční části dělicího zařízení jsou trychtýř, pevný a pohyblivý upínač a tlaková komora viz obr. 40.



Obr. 40 Dělicí zařízení

### 3.3.1 Popis funkce

Při posunu tyčinky z pomocného manipulátoru je konec tyčinky indikován při průchodu pod kapacitním snímačem. Poté vstupuje skrze trychtýř do pracovního prostoru pohyblivého upínače (obr. 41 a). Ten jej uchopí a posune upínači pevnému, který je umístěn na můstku (obr. 41 b). Střídavým uchopováním a posunováním je tyčinka dostrčena až do místa dělení (obr. 41 c). Cestou ji musí ještě naškrábnout naškrabávač, který je umístěn až těsně před tlakovou komorou.

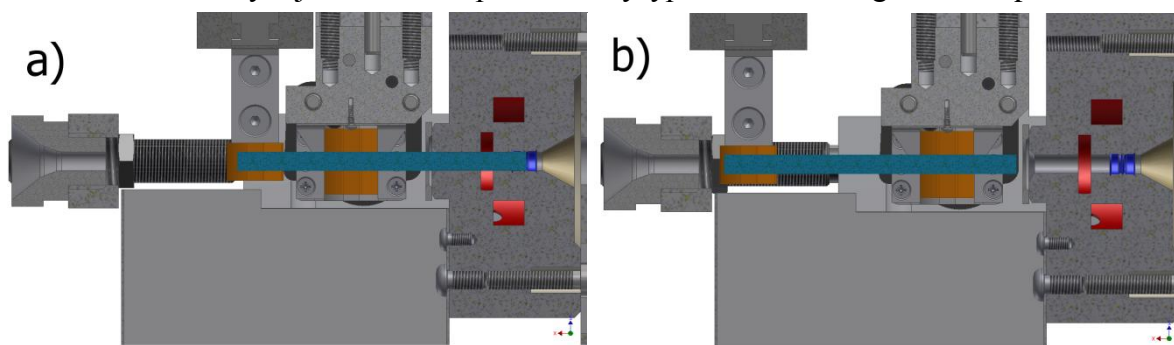


Obr. 41 Vsouvání nové tyčinky do dělicího zařízení

Naškrabávač nemá být součástí řešení, proto mu zde není věnována velká pozornost. Je zde znázorněn jako prstenec kolem tyčinky těsně před dělicím zařízením. V práci je počítáno s tím, že k naškrabávači bude připojen ještě další mechanismus. Mohlo by se jednat o mechanismus s translací po kruhové dráze, takže by prstenec svou vnitřní hranou naškrábl tyčinku po celém obvodu. Mechanismus může být umístěn stranou, čímž je v manipulační oblasti ušetřen prostor. Zvětšováním mezery před pevným upínačem se totiž zvětšuje technologický odpad.

Při dělení je tyčinka vždy uchopena pouze pevným upínačem. Ten ve skutečnosti není úplně pevný. Je mu umožněn pohyb ve směru osy tyčinky směrem dozadu proti vratné pružině – zákluz, který zmírňuje rázové účinky na tyčinku. Výrobky vyletují v ose posouvání a jsou zpomalovány v lapači. Z něj poté vypadávají směrem dolů.

Konec dělicího cyklu je signalizován opět kapacitním snímačem, který začne signalizovat, že pod ním už není tyčinka. Upínače provedou takový počet dělení, aby se konec tyčinky zastavil v čelistech pohyblivého upínače viz obr. 42 a. V této poloze dojde k poslednímu dělení. Poté je tyčinka vytažena zpátky pohyblivým upínačem a zaujme polohu jako na obr. 42 b. Nyní je uvolněna a padá skrz výsypku do technologického odpadu.

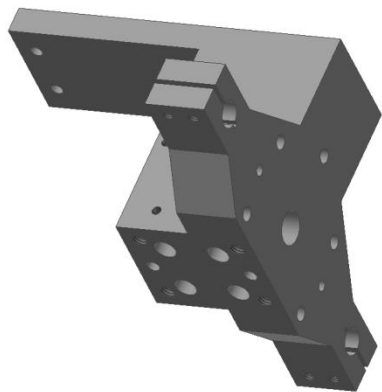


Obr. 42 Vyjímání nepoužité části tyčinky

Při zadávání práce byl jeden z požadavků, aby technologický odpad byl do 10 %. V tomto uspořádání vychází nepoužitá část tyčinky na délku 90 mm. Z délky tyčinky 800 mm je to tedy přibližně 11 %. Kvůli stísněným podmínkám se nepodařilo dosáhnout hodnoty technologického odpadu méně než 10 %, ale této hodnotě se velmi přiblížit.

### 3.3.2 Konstrukce

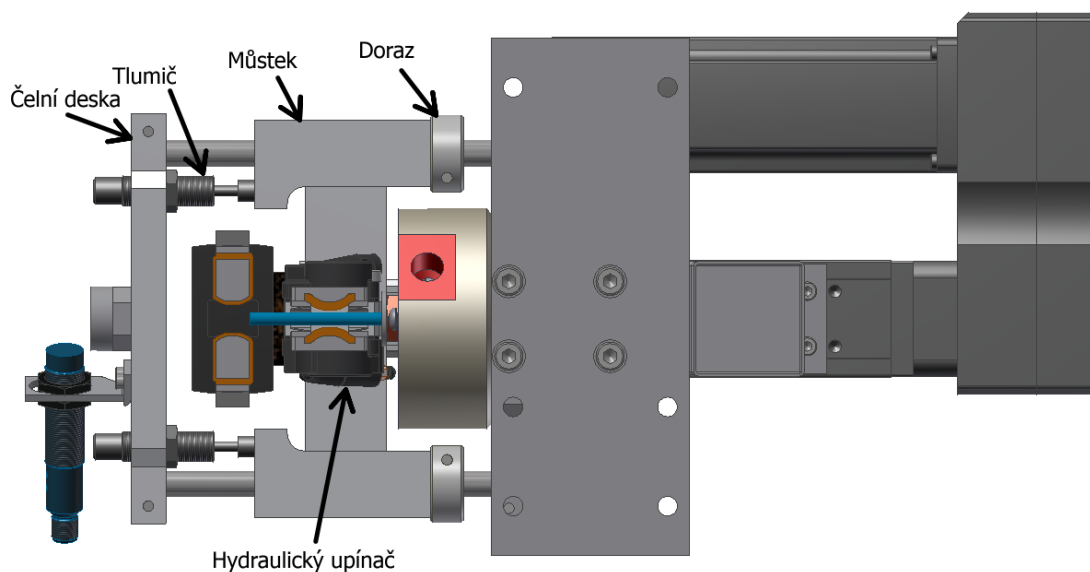
Ústředním konstrukčním uzlem dělicího zařízení je příruba tlakové komory, ke které je přišroubovaná a na 2 kolících uložená tlaková komora. Dále je její součástí svěrný spoj, který drží hřídele, na nichž je posuvně uložen pevný upínač a čelní deska s trychtýřem. Z vrchu je k ní připevněna pomocí šroubů a středících dutinek lineární posuvová jednotka, která je spojena s pohyblivým upínačem. Zdola je přes distanční kostku šrouby připevněna k upínací desce. V zadní části je k ní připevněn lapač výrobků. Prostředkem zadní strany je vyvrtán otvor, kudy proletují výrobky do lapače. Příruba je vyrobena frézováním z duralu.



Obr. 43 Příruba tlakové komory

### Výpočet svěrného spoje na přírubě

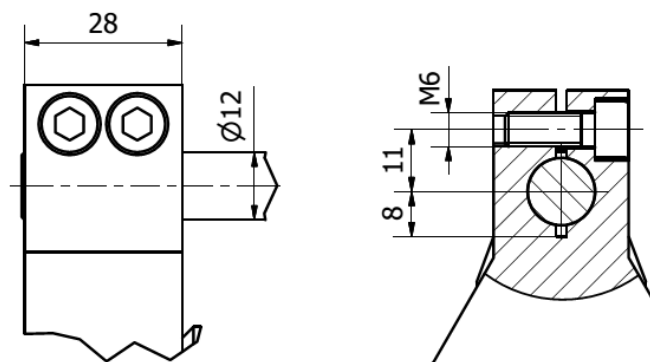
Aby mohlo být lépe vysvětleno zatížení svěrného spoje, je třeba se nejdříve podívat na obr. 44. Je to pohled zdola na dělicí zařízení. Při dělení je tyčinka držena hydraulickým pevným upínačem, který je umístěn na můstku. Můstek je uložen posuvně na vodících tyčích a je tlačěn tlumiči na dorazy. Těmi je dána jeho poloha. Při dělení se síla přenáší přes můstek na tlumiče a čelní desku. Namáhá tedy vodící tyče na tah a svěrné spoje, ve kterých jsou tyče uloženy axiální silou.



Obr. 44 Pohled zdola na dělicí zařízení

Svěrný spoj na přírubě dělicího zařízení je navíc ještě namáhán klopným momentem, způsobeným tíhou vodících tyčí, můstku, pevného upínače, čelní desky a komponent na ní připojených. Na obr. 45 jsou rozměry svěrného spoje na přírubě tlakové komory.





Obr. 45 Rozměry svěrného spoje na přírubě tlakové komory

Celkový klopný moment  $M_{kl}$  na jednu stranu byl vypočítán superpozicí dílčích klopných momentů od jednotlivých součástí. Axiální síla  $F_a$  je polovina axiální síly vznikající při dělení, protože v některých uspořádáních se počítá i s pevným uchycením můstku bez tlumení.

$$M_{kl} = 0,66 \text{ Nm}$$

$$F_a = 550 \text{ N}$$

Výpočet minimálního kontaktního tlaku ve svěrném spoji [12]:

$$p_{minF} = \frac{k_w \cdot F_a}{\pi \cdot \mu \cdot l \cdot d_p}$$

Bezpečnost přenosu  $k_w = 2$

Třecí součinitel ocel dural  $\mu = 0,2$

Délka spoje  $l = 28 \text{ mm}$

Průměr hřídele  $d_p = 12 \text{ mm}$

$$p_{minF} = 5,22 \text{ MPa}$$

Výpočet montážní síly od axiální síly:

$$F_{Ma} = p_{minF} \cdot l \cdot d_p = 1755 \text{ N}$$

Montážní síla bude ještě zvýšena o sílovou dvojici způsobenou klopným momentem.

Ten je zachycován na rameni rovném délce spoje.

$$F_{Mkl} = \frac{M_{kl}}{l} = 24 \text{ N}$$

Celková montážní síla tedy bude:

$$F_M = F_{Mkl} + F_{Ma} = 1780 \text{ N}$$

Minimální síla, kterou je třeba vytvořit šroubovým spojem je z rovnice rovnováhy na jedné polovině náboje, rozměry z obr. 45.

$$F_Q = \frac{F_M \cdot 8}{8 + 11} = 749 \text{ N}$$

Jelikož jsou zde šrouby 2, bude na každý z nich připadat síla 375 N.

### Svěrný spoj na čelní desce

Tyče jsou uchyceny dvěma svěrnými spoji, jedním k přírubě a druhým k čelní desce. Svěrný spoj v čelní desce má stejné rozměry, až na to, že je zde užit jen jeden šroub. Nepůsobí zde totiž klopný moment.

Pro čelní desku platí stejná hodnota montážní síly od axiální síly a ta je rovna celkové montážní síle.

$$F_{Ma}=F_M = 1755 \text{ N}$$

Minimální síla šroubového spoje je tedy:

$$F_Q = \frac{F_M \cdot 8}{8 + 11} = 739 \text{ N}$$

Pevnostní kontrola bude tedy provedena pro tento spoj. Je použit šroub M6,  $d_3 = 4,7$  mm.

$$\sigma_t = \frac{F_Q}{S_j}$$

Průřez jádra šroubu  $S_j$

$$S_j \cong \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = 17,3 \text{ mm}^2$$
$$\sigma_t = 43 \text{ MPa}$$

Je tedy možné užit běžné šrouby, nicméně by hrozilo stržení závitu v duralových protikusech. Proto je raději použita matice a podložka.

### Čelní deska

Čelní deska je duralová a kromě upevnění vodících tyčí má uprostřed závitovou díru, do které je namontován trychtýř a také je na ní upevněn zmiňovaný kapacitní snímač přítomnosti tyčinky.

Kapacitní snímač je upevněn el profilem suvně v drážce, aby bylo možné nastavit dle provozních podmínek vzdálenost od osy i od čelní desky. Je volen snímač s dosahem až 25 mm vzhledem k malým rozměrům tyčinek. Snímání menším snímačem bylo vyzkoušeno a tyčinka musela být až těsně nad povrchem snímače.

Trychtýř má za úkol navést tyčinku při vysouvání z prizmatického lůžka do svého středu, kde má válcovitý tvar. Tyčinka je zde uložena s malou vůlí, aby z trychtýře vycházela již v ose s co nejmenší odchylkou. Největší průměr trychtýře je poměrně předimenzován a počítá se, že za běžného provozu zařízení, bude mít tyčinka již před vstupem do trychtýře polohu v ose s odchylkami do cca 3 mm.

### Pohyblivý upínač

Pohyblivý upínač slouží k rychlé manipulaci s tyčinkou a nezachycuje rázovou sílu od dělení, tu zachycuje pevný upínač. Působí na něj kromě malé setrvačné síly tyčinky (hmotnost tyčinky je cca 50g) pouze odporová síla při zasouvání tyčinky ve směru osy do tlakové komory od těsnících kroužků. Tato síla byla změřena, jak je popsáno v kapitole 1 a dosahuje až 120 N.

Úchopné prvky mají povrch z kůže, která má dobré třecí vlastnosti se sklem a při tloušťce 2 mm slouží i k vyrovnání nerovnoměrnosti kontaktu a rozložení napětí na tyčinku.

Výpočet úchopné síly pro 2 úchopné prvky:

Třecí součinitel sklo/kůže:  $\mu = 0,8$

Axiální síla na tyčinku:  $F_{ax} = 150 \text{ N}$

Bezpečnostní součinitel zvolen:  $k = 2,5$

$$F_{\dot{u}} = k \cdot \frac{F_{ax}}{2} \cdot \frac{1}{\mu} = 2,5 \cdot \frac{150}{2} \cdot \frac{1}{0,8} = 235 \text{ N}$$

Protože síla není příliš velká, je zde užito standartní pneumatické chapadlo s paralelními úchopnými prvky firmy Festo s průměrem pístu 25 mm.

Chapadlo je pomocí příruby připojeno k lineární pohybové jednotce rovněž od firmy Festo. Pohybová jednotka se skládá ze saní Mini EGSL 55 s vedením řadovým kuličkovým ložiskem a pohybovým šroubem, poháněným bezkartáčovým servomotorem. Velikost saní byla určena podle maximálního osového zatížení do 300 N. Bylo zkontrolováno i momentové zatížení, protože chapadlo je poměrně vyložené.

Výpočet zatěžujícího momentu  $M_z$ :

Vyložení chapadla (vzdálenost příruby saní od místa úchopu):  $l = 145 \text{ mm}$

Zátěžná síla:  $F_{ax} = 150 \text{ N}$

Přípustný moment chapadla v daném směru:  $M_y = 33,3 \text{ Nm}$

$$M_z = F_{ax} \cdot l = 22 \text{ Nm}$$

$$M_z < M_y$$

Pohon byl zvolen pomocí programu Festo Positioning Drives. Vstupní hodnoty jsou:

Hmotnost zátěže (chapadlo, tyčinka a příruba): 1 kg

Požadovaná přesnost polohování:  $\pm 0,05 \text{ mm}$

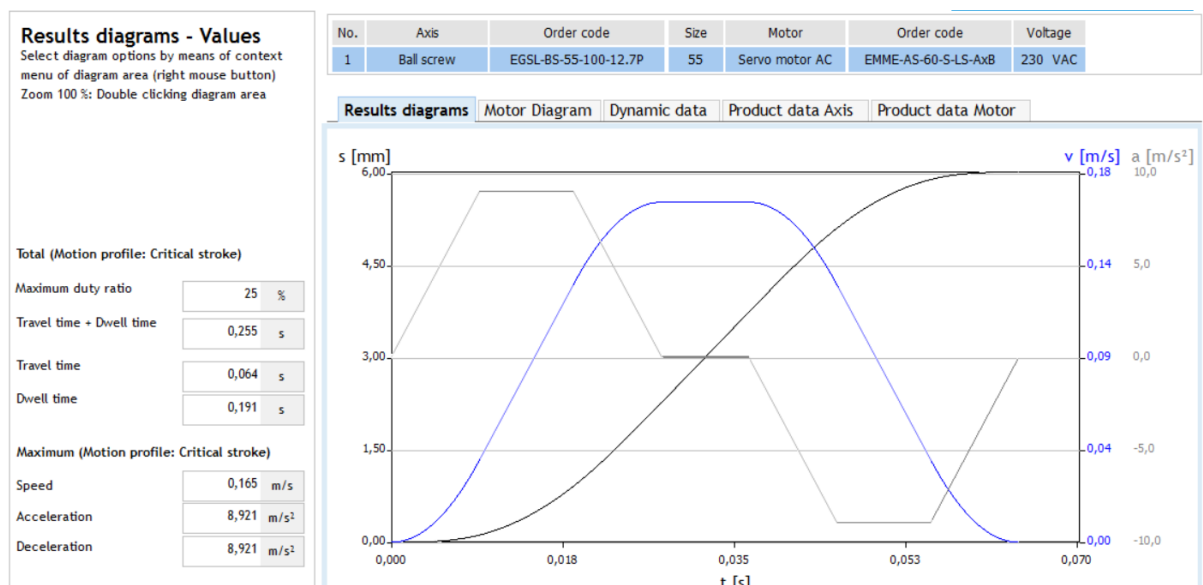
Přídavná síla (těsnící kroužky na tyčince): 150 N

Čas přejíždění:  $\leq 0,2 \text{ s}$

Zdvih v daném zrychlení: 6 mm

Pro pohon byl vybrán bezkartáčový synchronní servomotor s permanentním magnetem EMME-AS-60-S. Na obr. 46 je vidět průběh kinematických veličin. Doba přejezdu je 0,064 s.

Lineární pohybová jednotka je shora přišroubovaná k přírubě tlakové komory a do přesné polohy je ustavena dvojicí středících dutinek.

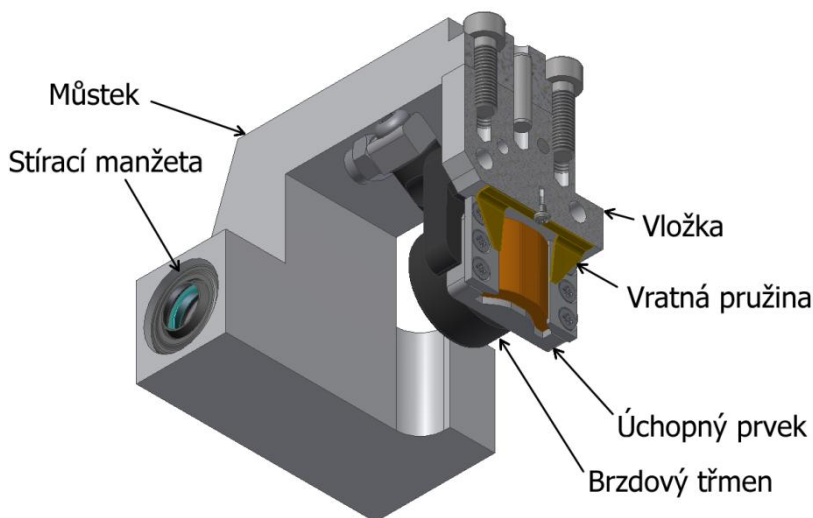


Obr. 46 Průběh pracovního zdvihu [13]

### Pevný upínač

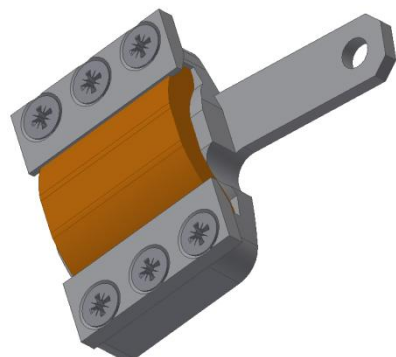
Pevný upínač byl zvolen hydraulický vzhledem k omezenému prostoru a potřebě vyvození velké úchopné síly. Ta byla spočítaná v kapitole 1 na str. 11 a vychází 2132 N. Jelikož je zapotřebí, aby upínání a uvolňování bylo rychlé, byla zvolena střídavá hydraulika. Jako hydraulický válec je zde užita cyklistická brzda Hayes Mag. Byl proveden ověřovací výpočet, jaké síly jsou běžně cyklistickými hydraulickými brzdami vyvozovány. Vstupními hodnotami byly síla stisku lidské ruky, geometrie brzdové páčky, kde se jedná o pákový převod a průměry primárního a sekundárního válce. Výsledkem výpočtu bylo, že při síle stisku ruky 100 N je síla pomocí pákového mechanismu a hydraulického převodu zesílena na hodnoty převyšující potřebných 2132 N. Vybraná brzda má průměr válců 22 mm.

Aby bylo daný brzdový třmen možné užít, bylo nutné zkonstruovat úchopné prvky ve tvaru brzdových destiček a mezi poloviny třmenu umístit vložku. Ta má za úkol vymezit potřebnou vzdálenost mezi úchopnými prvky, vede hydraulickou kapalinu mezi třmeny a za její pomoci je brzda upevněná k můstku. Řez vložkou je vidět na obr. 47.



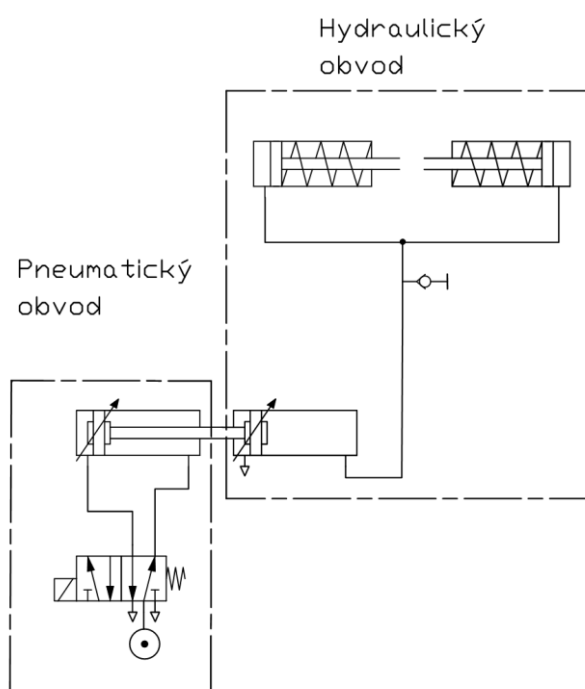
Obr. 47 Hydraulický upínač s můstkem řez

Úchopné prvky jsou do původní polohy vráceny pružinou. Ve správné poloze jsou udržovány tvarovou vazbou po stranách a čepem na vysunutém konci viz obr. 48. Kontaktním materiálem úchopného prvku je vrstvený pás kůže s plastovým středem tloušťky 3,2 mm, který je upnut dvěma upínacími lištami.



Obr. 48 Úchopný prvek

Ovládání hydraulického upínače je navrženo pneumo-hydraulicky, kdy je pomocí pneumotoru působeno na uzavřený hydraulický obvod viz obr. 49. Pneumatický obvod je rychlý a potřebná síla je vyvozena volbou malého průměru primárního hydraulického válce.



Obr. 49 Schéma pneumo-hydraulického obvodu

Můstek je uložen na vodících tyčích pomocí lineárních ložiskových pouzder firmy Misumi. Můstek je vyfrézován z duralu EN AW 7021 s vysokou pevností ( $R_{p0,2} = 340 \text{ MPa}$ ) a dobrou obrobiteľnosťí. Je na něj, jak je patrné přenášena technologická síla od dělení.

## Zákluz

Při konzultacích práce se zadavatelem bylo zjištěno, že při původním testování dělení docházelo k proklouznutí tyčinky v upínači a byla-li na konci podepřena o pevnou podporu, docházelo někdy k roztržení vlivem rázové síly.

Protože v průběhu práce nebyla reálná tlaková komora provozuschopná, nebylo možné provést experimenty, které by ujasnily, zda při způsobu upnutí dvojicí úchopných prvků na pevnou podporu nebude docházet k destrukci tyčinky.

Z tohoto důvodu je v řešení navržen zákluz, který bude absorbovat část rázové síly. Jak je patrné z obr. 44 na str. 40, můstku je umožněn pohyb dozadu oproti tlumičům a jeho poloha je dána dorazy.

Zařízení je navrženo tak, že na něm lze testovat různé druhy tlumičů a pružin včetně úplného zabrzdění můstku. Pohyblivá hmota zákluzu se skládá hlavně z hmotnosti můstku, kuličkových pouzder a vložky s brzdou, ostatní části jako tyčinka mají vůči nim malou hmotnost.

Výpočet kinetické energie pohyblivé části zákluzu:

Hmotnost pohyblivých částí zákluzu:  $m_2 = 1,01 \text{ kg}$

Hmotnost vystřeleného výrobku:  $m_1 = 0,424 \text{ g}$

Rychlost vystřeleného výrobku:  $v_1 = 161 \text{ m/s}$

Působící axiální síla na tyčinku:  $F_{ax} = 1101 \text{ N}$

$m_1$ ,  $v_1$ ,  $F_{ax}$  jsou spočítány v kapitole 1.

Z první impulzové věty lze vypočítat čas, po který síla působí na výrobek a tento čas se rovná i času, po který působí na upnutou stranu tyčinky.

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$
$$\Delta t = \frac{m \cdot \Delta v}{F}$$

V případě vystřelení výrobku:

$$\Delta t = \frac{m_1 \cdot v_1}{F_{ax}} = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Nyní je na základě znalosti času působení síly vypočtena rychlost udělená zákluzové hmotě  $m_2$ .

$$v_2 = \frac{F_{ax} \cdot \Delta t}{m_2} = 0,068 \text{ m/s} = 68 \text{ mm/s}$$

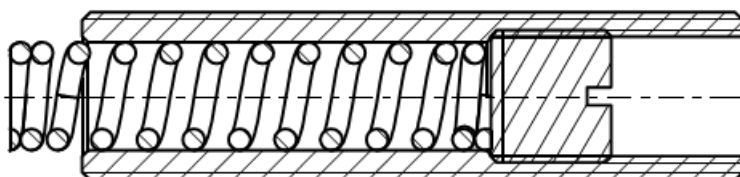
Rychlost zákluzové části je tedy poměrně nízká a její kinetická energie je:

$$E_{K2} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Zákluz má za úkol nejen zmírnit rázovou sílu na tyčince, ale musí ji také vrátit přesně do původní polohy, jinak by dělení nebylo přesné. Pokud tyčinka vyjede při zpětném pohybu z těsnících kroužků, musí být vratná síla vyšší než 150 N, což je síla pro zasunutí tyčinky skrze těsnění.

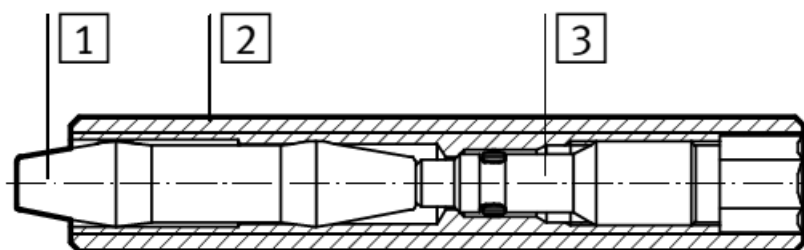
Jsou navržena tři řešení, ze kterých bude vybráno vhodné až při otestování na zařízení. Jsou to **hydraulický tlumič**, **lineární pružina** a **pryžový tlumič rázu** s pevným nastavitelným dorazem. Všechny tři je možné namontovat do závitových děr M14x1 v čelní

desce. Na obr. 50 je řez tlumiče s lineární pružinou. Sílu a délku chodu lze nastavovat zašroubováním vnitřní zátky a posouváním celého pouzdra vůči čelní desce. Pracovní síla pružiny je  $F_1$  je 150 N.



Obr. 50 Tlumič s lineární pružinou

Obdobně je nastavitelný i pryžový doraz. Byl zvolen doraz firmy Festo DYEF- M14 - Y1F a jeho funkční řez je na obr. 51. Tento doraz má nelineární charakteristiku z pohledu tuhosti, která se stlačením vzrůstá. [13]



Obr. 51 Pryžový doraz Festo [13]

### Lapač výrobků

Funkcí lapače je zbrzdit vyletující výrobek, aniž by při tom byl poškozen a usměrnit ho směrem dolů do připraveného kontejneru na výrobky. Lapač není součástí zadání, proto zde uvádím jen možnost, jak může být řešen.

Jedná se o plechovou součást, uvnitř které je do dráhy letícího výrobku umístěna tkanina z kevlarových vláken. Podobné záchytné sítě se užívají např. v lukostřelbě.

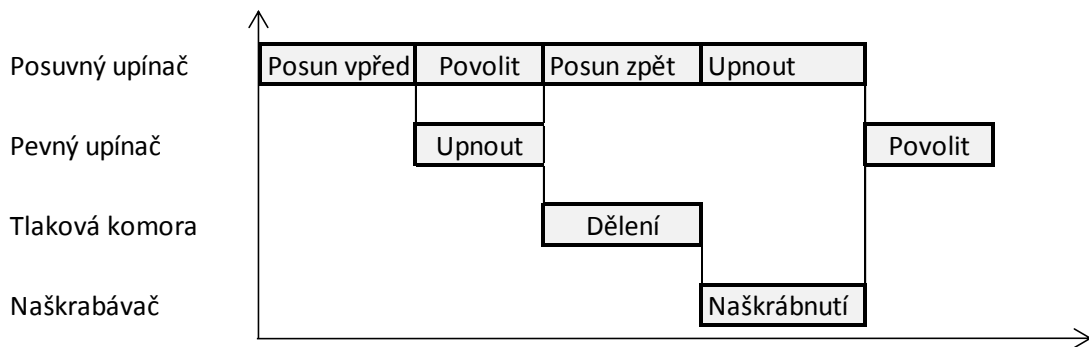
### Kontejnery na výrobky a technologický odpad

Pod dělicím zařízením je umístěna dvojice plechových kontejnerů. Do menšího z nich padá technologický odpad a do většího výrobky. Kontejner na výrobky je zavěšen pomocí háků na čepech připevněných k rámu a kontejner na technologický odpad je zavěšen na osazených kolíčkách přišroubovaných rovněž k rámu. Oba kontejnery lze jednoduše vyháknout a vyprázdnit, ale jejich poloha v zařízení je jasně určená.

### 3.3.3 Cyklus dělení, sled operací v něm a doba cyklu

Nejprve je tyčinka uchopena pohyblivým upínačem, posunuta o pracovní přísuv do dělicího zařízení, nyní je tyčinka uchopena pevným upínačem a zároveň ji pohyblivý upínač uvolní. Pohyblivý upínač odjíždí směrem od dělicího zařízení o pracovní přísuv. Jakmile pohyblivý upínač zahájí pohyb a tím uvolní prostor zákluzu, dojde při upnutí pouze pevným upínačem k přivedu tlakové kapaliny do tlakové komory a tím k dělení. Po dělení následuje naškrábnutí naškrabávacem. Od tohoto kroku se celý cyklus opakuje. Pro názornost je časový

průběh operací znázorněn na obr. 52. Pracovní přísuv je roven průměru dělené tyčinky, protože výrobky jsou izometrické válce.



Obr. 52 Časový průběh dělicího cyklu

Čas posouvání je 64 ms viz str. 43. Čas, po který bude tyčinka muset být upnutá při dělení, byl kvalifikovaně odhadnut zadavatelem na méně než 100 ms a na stejnou hodnotu i čas pro naškrábnutí. Rychlost upnutí pohyblivým upínačem (chapadlem) je dle údajů výrobce 63 ms a povolení 48 ms. Doba upnutí hydraulickým pevným upínačem závisí na volbě pneumatického válce, který bude působit na hydraulický obvod a byla odhadnuta s přihlédnutím k reakční době automobilových brzd (přibližně 60 ms) na dobu menší než 100 ms.

Délka cyklu je tedy:

$$t_c = t_p + t_{up} + t_d + t_n + t_{up}$$

$t_p$  – čas posunu vpřed/zpět

$t_{up}$  – čas upnutí/povolení pevného upínače

$t_d$  – čas dělení

$t_n$  – čas naškrábnutí

$$t_c = 64 + 100 + 100 + 100 + 100 = 464 \text{ ms}$$

Doba cyklu, která je i kadencí stroje, je tedy menší než 0,5 s. Zadavatelem byla požadována kadence 1 s. Tomuto požadavku je tedy vyhověno a dělení může probíhat dokonce s dvojnásobnou rychlostí. Omezení, které by mohlo nastat, je zvýšená doba návratu zákluzu, kterou bude nutné ověřit po zprovoznění zařízení.

### 3.4 Popis sledu operací z hlediska řídicího systému

Dokud bude kapacitní snímač přítomnosti tyčinky sepnut, bude probíhat cyklus dělení, jak byl popsán v předchozí kapitole. Jakmile projde konec tyčinky pod snímačem, prizmatické lůžko sjede dolů a dojde jen k takovému počtu dělení, aby tyčinka byla ještě upnutelná za konec pohyblivým upínačem viz obr. 42 a) na str. 39. Tento počet cyklů bude závislý na pracovním přísuvu. Po posledním dělicím cyklu je tyčinka upnuta pohyblivým upínačem, posunuta zpět, jak je popsáno v kapitole 3.3.1 na straně 38 a upuštěna do výsypky.

Simultánně s touto operací je po té, co prizmatické lůžko dosáhne dolní polohy, která je snímána snímačem na pneumotoru lůžka, spuštěn zásobník. Signál k zastavení zásobníku je



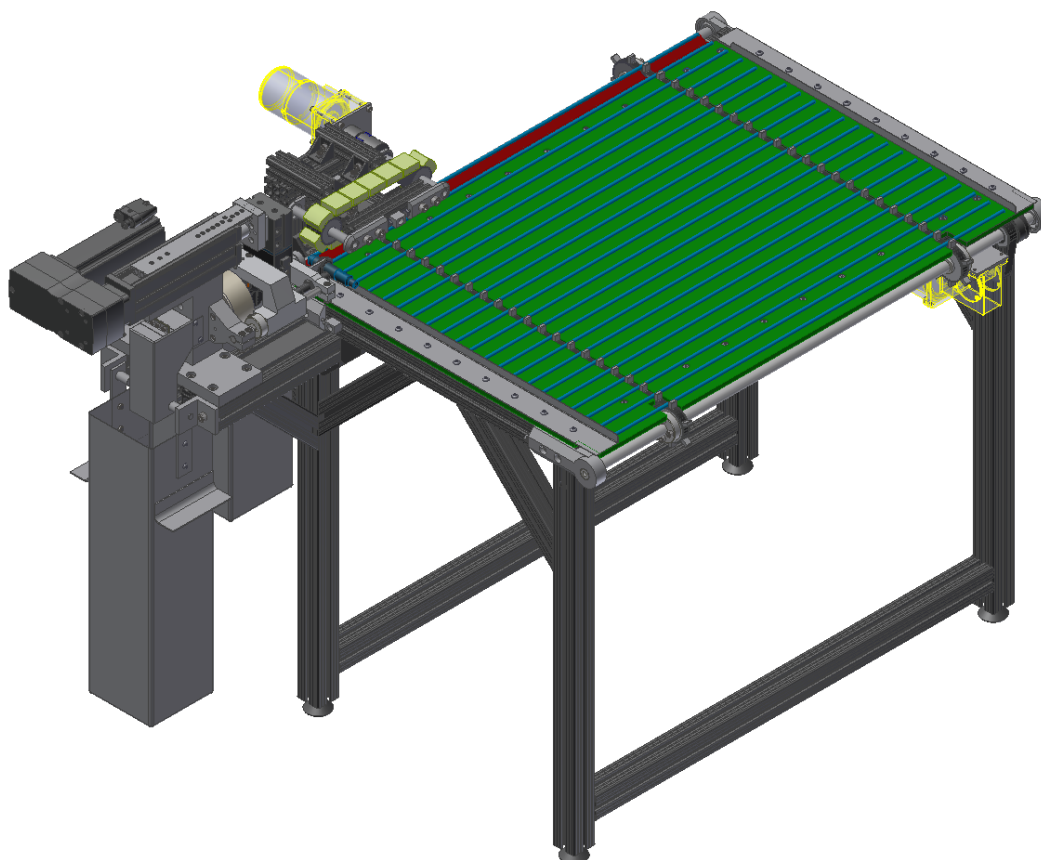
dáván optosnímačem umístěným pod zásobníkem. Optosnímač snímá unašeče řemene dopravníku a jakmile je sepnut, zastavuje brzděný motor zásobníku. Přesná poloha zastavení zásobníku je nastavitelná posunutím optosnímače vůči unašečům. Po zabrzdění zásobníku vyjede prizmatické lůžko do pracovní polohy. Ta je opět signalizovaná snímačem na pneumotoru.

Po jejím dosažení je spuštěn motor pomocného dopravníku. Po té, kdy konec tyčinky dosáhne úrovně kapacitního snímače na dělicím zařízení, bude motor se zpožděním vypnut, tak aby tyčinka zastavila v poloze, ve které ji bude možné uchopit pohyblivým upínačem viz obr. 41 a) na str. 38.

Pohyblivý upínač tyčinku uchopí a vysune ji do polohy, kde ji bude moct uchopit i pevný upínač. Pevný upínač tyčinku upne, pohyblivý ji povolí a pohyblivý upínač vyjede znovu do polohy nejbliž k trychtýři. Zde tyčinku upne, pevný upínač ji povolí a v tomto okamžiku již může začít pracovní cyklus. První přísuv cyklu je delší, protože začíná z nejdlejší vzdálenosti a tyčinka je zasunuta do tlakové komory a dále již probíhá cyklus úplně stejně, jak byl popsán v předchozí kapitole.

### **Změna průměru tyčinky**

Při změně průměru dělených tyčinek je nutné změnit nastavení řídicího systému, aby se změnil pracovní přísuv. Také je nutné vyměnit trychtýř za trychtýř s příslušným průměrem. Oba upínače jsou schopné uchopovat tyčinky všech tří zadaných průměrů 4, 5 a 6 mm.



Obrázek 53 Celé zařízení

## 4 Zhodnocení technických a ekonomických přínosů

V této kapitole jsou zhodnocena technická řešení a proveden odhad nákladů na zařízení.

### 4.1 Technické zhodnocení

Byla provedena zevrubná analýza výchozích informací a byly provedeny výpočty, které ověřily teoretické předpoklady o chování tyčinky při dělení a to hlavně o působících silách. Bylo dokonce postaveno zařízení na měření rychlosti vystřeleného výrobku na principu balistického kyvadla. Bohužel zadavatel práce nakonec neměl testované zařízení provozuschopné a tak nebyl experiment realizován.

Na základě údajů získaných v první části a také z rešerše byly navrženy varianty řešení zásobníku, uspořádání hlavního manipulátoru a upínače hlavního manipulátoru.

Zvolena byla varianta s vodorovným zásobníkem, pomocným manipulátorem, hlavním manipulátorem složeným z pevného a pohyblivého upínače, které uchopují tyčinku dvěma úchopnými prvky. Nejlépe vyhověla zvoleným kritériím a to především přesnosti a spolehlivosti.

Hlavní důraz v konstrukci byl kladen na dělicí zařízení, které zachycuje rázové síly od dělení a musí pracovat tak, aby tyčinka nebyla při dělení poškozena. Pro zmírnění účinků této osově síly není upnutí řešeno úplně pevně. Upínač je umístěn na můstku, který se může pohybovat dozadu proti tlumiči, a je mu tedy umožněn zákluz. Zařízení bylo nakonec zkonstruováno jako zkušební modul, na kterém je možné otestovat různé druhy tlumení rázu včetně zabrždění můstku, tedy žádného tlumení.

Při řešení se podařilo požadovaný takt stroje zmenšit na poloviční, tedy 0,5 s. Technologický odpad byl požadován do 10 %, navržený stroj má procento technologického odpadu o něco vyšší, zhruba 11 %. Požadovaná přesnost dělení byla +/- 0,2 mm. Přesnost polohování navrženého zařízení je +/- 0,05 mm (lineární jednotka). Mohlo by docházet k dalším nepřesnostem při střídavém uchopování oběma upínači, zejména vlivem deformace úchopných prvků. Stále je zde ale rezerva v přesnosti 0,15 mm.

### 4.2 Odhad nákladů

Je obtížné stanovit dobu návratnosti zařízení vzhledem k tomu, že se jedná o manipulátor pro nyní vyvíjenou technologii, při níž bude vznikat nový výrobek. Navíc je zprovoznění zařízení spojené s provedením testů. Tyto testy nejsou ve zhodnocení zohledněny.

Hlavní přínos nového způsobu dělení je zvýšení kvality dělených výrobků. Oproti stávajícímu způsobu, kdy jsou tyčinky sekány, mají nové výrobky mnohem lepší povrch lomu. Nedochozí zde k odštipování hran a lom je hladký.

Celkové náklady na zařízení (tab. 2) jsou odhadnuty na 257 000 Kč. V těchto nákladech není zahrnuta cena řídicí jednotky a ovladačů motorů.

Tabulka 2 Odhad nákladů

Duralové profily a jejich příslušenství	30 000 Kč
Spojovací materiál	3 000 Kč
Vyráběné díly	36 000 Kč
Pohony řemenů	10 000 Kč
Lineární pohybová jednotka s chapadlem	68 000 Kč
Plastové díly	4 000 Kč
Vedení a pohon pr. lůžka	12 000 Kč
Vedení můstku, tlumiče, hyd. brzda	44 000 Kč
Řemenové dopravníky	20 000 Kč
Náklady na montáž a zprovoznění	15 000 Kč
Režijní náklady	15 000 Kč
Celkové náklady	257 000 Kč

## Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem manipulátoru se zásobníkem pro nový způsob dělení skleněných tyčinek a trubiček.

Na začátku byla podrobně definovaná manipulační úloha s cílem přesně a rychle polohovat jednotlivé polotovary do dělicí tlakové komory. Byly určeny všechny okrajové podmínky a z nich vyplývající problémy. Asi největší problém byla axiální rázová síla působící na tyčinky při dělení. Na základě definovaných požadavků byla provedena rešerše v oblasti zásobníků tyčových součástí a upínačů.

V druhé kapitole bylo navrženo několik variant řešení daných problémů a dle zvolených kritérií vybrány ty nejvhodnější ke zpracování ve třetí kapitole.

Zvolena byla varianta uchopování dvěma posuvnými úchopnými prvky s poddajným kontaktním materiálem. Z vodorovného zásobníku jsou tyčinky vysunovány pomocným manipulátorem do hlavního. Výpočtem bylo ověřeno, že nebude při zvoleném typu úchopu tyčinka příliš namáhána.

Ve třetí kapitole je daná varianta konstrukčně zpracovaná. Jsou zde provedeny výpočty, podrobně popsány jednotlivé části konstrukce, funkce a časový sled operací. Aby tyčinka nebyla při dělení porušena rázovou silou, byl upínači umožněn zákluz. Protože nebylo možné během práce provést experimenty na dělicím zařízení, bylo řešení navrženo jako testovací modul s možností různými způsoby tlumit rázovou sílu. Vhodnou volbou uspořádání upínačů bylo dosaženo téměř dvojnásobné kadence oproti zadání.

Konec práce patří technickým a ekonomickým přínosům navrženého řešení. Největším přínosem je patrně zvýšení kvality výrobků oproti konvenčním způsobům dělení skleněných tyčinek.

- [1] VODA, Pavel. *Konstrukce podavače tyčového materiálu pro CNC soustruh*. Brno, 2012. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6676](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6676)  
2. diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] SCHWARCZ, Vladimír. *Teoría strelby*. Dostupné z: [www.shooting.sk/download\\_file\\_f.php?id=9964](http://www.shooting.sk/download_file_f.php?id=9964)
- [3] SEDLÁČEK, Stanislav. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ PARDUBICE. *Vnitřní balistika*. 1. vyd. Pardubice, 1982.
- [4] KADAŇKA, Vladimír. *Vnitřní balistika hlavních zbraní*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1985.
- [5] MONKMAN, Gareth, Stefan HESSE, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Robot Grippers*. Weinheim: WILEY-VCHVerlagGmbH&Co.KGaA, 2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [6] NOVOTNÝ, František. *EFEKTORY ROBOTŮ: Chapadla pro automatickou manipulaci*.
- [7] SCHUNK, H., R. STEINMANN a A. WOLF. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlín: Springer-Verlag, 2005. ISBN 10.5860/choice.43-2830.
- [8] Pneumatic Air Gripper - Selection Guide. MF AUTOMATION. [online]. 2013. vyd. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: [http://www.mf-automation.com/pdf/22\\_greifer\\_au%C3%9Fengreifer.pdf](http://www.mf-automation.com/pdf/22_greifer_au%C3%9Fengreifer.pdf)
- [9] HORÁK, Marcel. *Efektory průmyslových robotů, TU Liberec 2015, 116s.*
- [10] Grippers for Specific Tasks: Exterior Grippers. *Sommer Automatic* [online]. 2015. vyd. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: [http://sommerautomatic.com/web/catalogue/fileadmin/content/Documents\\_pdf/en/s\\_rg\\_gb.pdf](http://sommerautomatic.com/web/catalogue/fileadmin/content/Documents_pdf/en/s_rg_gb.pdf)
- [11] MONKMAN, Gareth, Stefan HESSE, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Robot Grippers*. Weinheim: WILEY-VCHVerlagGmbH&Co.KGaA, 2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [12] PEŠÍK, Lubomír. 2010. *Části strojů: Stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2 sv. (226, 236 s.). ISBN 978-80-7372-574-7.
- [13] *Festo, internetová prezentace firmy* [online]. 2000 [cit. 2015 -04 -13]. Dostupné z WWW: <[www.festo.cz](http://www.festo.cz)>.
- [14] LEINVEBER, J a VÁVRA P. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003, xv, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.
- [15] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991, 269 s. ISBN 80-030-0567-1.
- [16] CHVÁLA, Břetislav, J NEDBAL a D. GEJZA. *Automatizace*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985.