



# Inovace zařízení pro aplikaci pěnového těsnění

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 3909T010 – Inovační inženýrství

*Autor práce:* **Bc. Jiří Čech**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# Innovation of foam seal applicator device

## Master thesis

*Study programme:* N2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 3909T010 – Innovation Engineering

*Author:* **Bc. Jiří Čech**  
*Supervisor:* prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Čech**  
Osobní číslo: **S15000519**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Inovační inženýrství**  
Název tématu: **Inovace zařízení pro aplikaci pěnového těsnění**  
Zadávací katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Proveďte inovaci zařízení pro aplikaci pěnového těsnění na výduchy klimatizačních jednotek. Zařízení bude součástí výrobní linky sloužící pro montáž klimatizací pro vozy BMW ve společnosti DENSO Manufacturing Czech s.r.o.

- 1) Inovujte stávající zařízení pro lepení pěnového těsnění na výduchy klimatizačních jednotek.
- 2) Popište stávající stav, proveďte jeho kritické hodnocení, průzkum trhu dostupných těsnění.
- 3) Navrhněte nové požadavky na stávající zařízení.
- 4) Proveďte 5 inovačních návrhů řešení a jejich zhodnocení.
- 5) Určete optimální variantu dle zvolených kritérií a k nim přiřazených váhových faktorů.
- 6) Sestavte rozhodovací tabulku a proveďte výběr varianty pro realizaci.
- 7) Udělejte na vybranou variantu úplný konstrukční návrh včetně výrobně technické dokumentace a ekonomického zhodnocení.




Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 50  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] PEŠÍK, L. *Části strojů. 1. díl.* Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0  
[2] PEŠÍK, L. *Části strojů. 2. díl.* Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7  
[3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. *Metody systematické kreativity.* Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3  
[4] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky.* Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4  
[5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. *Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku.* Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4  
[6] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku.* 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.  
[7] WILLIAMS, J. A. *Engineering tribology.* New York: Cambridge University Press, 2005, 488 s. ISBN 0-521-60988-7.  
[8] ROSENAU, M.: *Řízení projektů.* 3. vydání. Brno: Computer Press Brno, 2007. 344s. ISBN 978-80-251-1506-0]  
Databáze knihovny TUL

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
Katedra částí a mechanismů strojů  
Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Dopita  
Datum zadání diplomové práce: 12. listopadu 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 12. února 2017

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. listopadu 2015

## **PROHLÁŠENÍ**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a s konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a trpělivý přístup při vedení mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Valentovi a panu Ing. Martinovi Dopitovi ze společnosti Denso manufacturing Czech s.r.o. za spolupráci a kritické hodnocení mých nápadů a myšlenek při tvorbě této práce.

**TÉMA: INOVACE ZAŘÍZENÍ PRO APLIKACI PĚNOVÉHO TĚSNĚNÍ**

ANOTACE:

Tato diplomová práce pojednává o inovaci zařízení pro aplikaci pěnového těsnění ve společnosti Denso Manufacturing s.r.o. V práci je popsán průběh inovačního procesu počínaje analýzou stávajícího řešení, přes systematický návrh konceptů řešení, až po výběr finálního návrhu řešení. Volba finálního návrhu probíhá na základě definovaných kritérií a hodnocení schopnosti jednotlivých konstrukčních variant dané funkce plnit. Dále je v práci proveden kompletní návrh zvoleného konceptu. Závěrem práce je vyhodnocení přínosů tohoto zařízení a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: inovace, lepení, oddělování, automatizace, pneumatické systémy

**THEME: INNOVATION OF FOAM SEAL APPLICATOR DEVICE**

ANNOTATION:

This master thesis deals with the innovation of foam seal applicator device in Denso Manufacturing Czech s.r.o. The thesis describes innovative process starting with the analysis of current design, systematic creation of conceptual designs up to the selection of the final proposal of solution. The selection of the final solution is made upon the defined criteria and the evaluation of the ability of the constructional variants to perform the given function. There is also provided complete engineering proposal of the chosen design. As a conclusion, there is an assessment of the advantages of the device and the economical evaluation.

Keywords: innovation, stick, remove, automatization, pneumatic systems

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů

Počet stran: 80  
Počet příloh: 4  
Počet obrázků: 40  
Počet tabulek: 20  
Počet modelů  
nebo jiných příloh: 120

## OBSAH

Seznam zkratek a symbolů .....	6
Úvod.....	7
Představení společnosti .....	7
1 Technické zadání a cíle diplomové práce .....	8
2 Analýza stávajícího řešení .....	9
2.1 Montážní linka klimatizačních jednotek.....	9
2.2 Specifikace těsnění .....	10
2.3 Současný přípravek pro lepení těsnění .....	11
2.4 Pracovní postup.....	12
2.5 Objektivní hodnocení stávajícího přípravku.....	13
3 Benchmarking – možnosti lepení PU pěn.....	14
4 Inovační záměr.....	15
5 Návrh konceptů řešení .....	15
5.1 Koncept 1 .....	16
5.2 Koncept 2.....	20
5.3 Koncept 3.....	24
5.4 Koncept 4.....	28
5.5 Koncept 5.....	31
6 Způsoby hodnocení konceptů .....	34
6.1 Hrubé roztřídění konceptů .....	35
6.2 Volba výsledného konceptu.....	37
7 Konstrukční řešení zvolené varianty aplikačního zařízení .....	39
7.1 Návrh aplikační jednotky.....	39
7.2 Výpočet rozložení sil na aplikační jednotce .....	40
7.3 Návrh pneumatického válce posuvu aplikační jednotky .....	41
7.4 Návrh lineárního vedení aplikační jednotky.....	42



7.5	Návrh oddělovací jednotky .....	44
7.6	Vakuové ejektory .....	45
7.7	Efektory – chapadla – přísavky .....	47
7.8	Výpočet a návrh přísavek .....	49
7.9	Experiment – určení síly pro oddělení krycí pásky .....	51
7.10	Výpočet přídržné síly přísavky .....	53
7.11	Volba vakuového ejektoru .....	54
8	Návrh mechanismu otáčení aplikační jednotky .....	55
8.1	Rozbor kinematiky mechanismu .....	56
8.2	Výpočet rozložení sil – dolní poloha .....	59
8.3	Výpočet rozložení sil – horní poloha .....	62
8.4	Návrh průměru pístu pro otáčení aplikační jednotky .....	64
8.5	Výpočet ložisek – uložení čepu pro otáčení aplikační jednotky .....	65
8.6	Kontrola zatížení čepu pomocí FEM .....	67
8.7	Popis sestavy aplikační jednotky .....	68
8.8	Scénář aplikace pěnového těsnění aplikačním zařízením .....	69
9	Hodnocení výsledného řešení .....	71
9.1	Vyhodnocení časové náročnosti .....	72
9.2	Ekonomické hodnocení návratnosti zařízení .....	73
9.3	Hodnocení provozních nákladů .....	74
	Závěr .....	76
	Seznam použitých zdrojů .....	77
	Seznam obrázků .....	79
	Seznam tabulek .....	80

## Seznam zkratk a symbolů

A	Efektivní plocha přísavky [mm <sup>2</sup> ]
a	Zrychlení [ms <sup>-2</sup> ]
c	Délka dřívku [mm]
d <sub>A</sub>	Průměr pístu [mm]
d <sub>O</sub>	Průměr pístu [mm]
F	Síla pístu
F <sub>H</sub>	Přidržovací síla [N]
F <sub>O</sub>	Síla potřebná pro oddělení krycí pásky [N]
F <sub>P</sub>	Síla pístu P [N]
F <sub>V1</sub> ; F <sub>V2</sub>	Síly působící na vozíky lineárního vedení [N]
g	Tíhové zrychlení [ms <sup>-2</sup> ]
G <sub>A</sub>	Tíhová síla aplikační jednotky [N]
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning – klimatizační jednotka
l; j; k; l; m	Rozměry mechanismu [mm]
J <sub>O</sub>	Moment setrvačnosti [kgmm <sup>2</sup> ]
k	Součinitel bezpečnosti
m <sub>A</sub>	Hmotnost aplikační jednotky [kg]
M <sub>D</sub>	Dynamický moment [Nmm]
O	Odstředivá síla [N]
p	Měrný tlak [MPa]
p <sub>1</sub>	Tlak pneumatického obvodu [bar]
p <sub>u</sub>	Podtlak [bar]
R	Reakce v uložení A [N]
S	Bezpečnostní faktor pro návrh přísavky
T	Setrvačná síla [N]
T	Návratnost investice [rok]
W <sub>O</sub>	Průřezový modul v ohybu [mm <sup>3</sup> ]
x <sub>P</sub>	Poloha bodu P ve směru osy x [mm]
x <sub>T</sub>	Poloha těžiště ve směru osy x [mm]
y <sub>P</sub>	Poloha bodu P ve směru osy y [mm]
y <sub>T</sub>	Poloha těžiště ve směru osy y [mm]
α	Úhlové zrychlení [rad s <sup>-2</sup> ]
α, φ	Úhlové zrychlení [rad s <sup>-2</sup> ]
σ	Ohybové napětí [MPa]
φ	Úhel pootočení aplikační jednotky [rad]
ψ	Úhel sklonu pneumatického válce [rad]
ω; φ	Úhlová rychlost [rad s <sup>-1</sup> ]

## Úvod

Značný technologický pokrok a příznivé hospodářské podmínky v posledních letech s sebou přináší rapidní nárůst objemu výroby. S tímto nárůstem vzrůstá také poptávka firem po kvalitní pracovní síle, které je však na trhu práce akutní nedostatek. Z tohoto důvodu, jsou společnosti nuceny hledat cesty, jak efektivněji využívat lidskou práci svých zaměstnanců. Tento přístup vede k optimalizaci a zeštíhlování výrobních procesů, odstraňování plýtvání, prostojů a neefektivních činností ve výrobě.

Nedostatek lidské pracovní síly vede k uváženějšímu využívání potenciálu pracovníků. Stejně tak ve společnosti přibývá starších lidí, jejichž motorické funkce bývají často omezené. Tyto skutečnosti vedou k novému úhlu pohledu na výrobní systém a jeho uzpůsobení vůči pracovníkům. Moderním trendem je eliminace, či alespoň minimalizace škodlivých vlivů prostředí, působících na pracovníka. Častým problémem bývá kumulativní zátěž, či oddělování drobných komponent, které je náročné na haptické schopnosti rukou, stejně tak přesné umístování komponent bez přesného a jednoznačného umístění daného designem, může být pro pracovníky se zhoršeným zrakem komplikované až neřešitelné. V mnohých situacích je pak vhodné, především pak u monotónních opakujících se činností, zvolit možnost částečné nebo úplné automatizace.

Při vývoji jednoúčelových zařízení je zásadní využít inovativní přístup a kreativitu, aby výsledný návrh, byl konkurence schopný a v ideálním případě, umožňoval rychle a s co nejmenšími investicemi, reagovat na stále se měnící požadavky na výrobní zařízení, které s sebou přináší vývoj výrobku v jeho jednotlivých životních etapách.

## Představení společnosti

Společnost Denso Corporation patří mezi přední celosvětové výrobce automobilových dílů. Závod Denso Manufacturing Czech s.r.o. je orientován na výrobu klimatizačních jednotek a jejich komponent. Česká pobočka sídlí v Liberci. Zákazníky společnosti jsou přední automobilky jako Volkswagen, Toyota, Suzuki, Škoda auto, BMW, Audi, Lamborghini, Ford.

## 1 Technické zadání a cíle diplomové práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout inovaci přípravku pro lepení pěnového těsnění na výduchy klimatizačních jednotek, který je na Obr. 1. Zařízení bude součástí výrobní linky sloužící pro montáž klimatizací pro vozy BMW ve společnosti Denso Manufacturing Czech s.r.o. Inovace zařízení by měla zvýšit stupeň automatizace výrobní linky a tím snížit podíl monotónní opakující se práce člověka.

Pro efektivní návrh inovativního řešení je třeba analyzovat pracoviště, kde probíhá operace lepení, zjistit možné zdroje a omezení provázející proces lepení těsnění. Kritické hodnocení výrobní linky poskytne základní vstupy a informace, které poslouží pro co možná nejefektivnější návrh konstrukce zařízení, jeho pohonu a výběru vhodné metody pro aplikaci těsnění.

Pro objektivní zhodnocení přínosu inovovaného zařízení je třeba stanovit měřitelné ukazatele, podle kterých bude návrh hodnocen. Kritérii vytvořit bezobslužné zařízení pracující v taktu výrobní linky. Zařízení by mělo být, v rámci možností, co nejjednodušší, aby se snížila pravděpodobnost poruchy.



Obr. 1: Inovovaný přípravek pro lepení těsnění na klimatizační jednotku  
Zdroj: Vlastní

Automatizací pracoviště, v rámci optimalizace výrobní linky, lze docílit odebrání 1 operátora. Je požadováno zkrácení času aplikace pěnového těsnění minimálně o 5 % vůči aktuálnímu času operátora, který je 11,5 s. Operace se bude provádět v okamžiku, kdy klimatizační jednotka stojí na transportní paletě v bufferu před další operací. Ostatní operace prováděné operátorem budou rozloženy mezi ostatní operátory. Zařízení musí splnit ergonomické požadavky pro obsluhu zajišťující doplnění materiálu. Hodnocenými kritérii budou také provozní náklady (při třísměnném provozu), očekává se jejich snížení minimálně o 50 % vůči současnému stavu. Požadovaná návratnost zařízení je jeden rok.

## 2 Analýza stávajícího řešení

### 2.1 Montážní linka klimatizačních jednotek

Inovované zařízení je součástí montážní linky na výrobu klimatizačních jednotek pro automobilku BMW, jak je vyobrazena na Obr. 2. Montážní linka je tvořena jednotlivými pozicemi, na každé z nich se nachází jeden operátor výroby (člověk). Jednotlivá pracovní stanoviště jsou na sobě navzájem nezávislá. Finální výrobek je postupně montován na montážních paletách, které se mezi jednotlivými stanovišti posouvají na průběžném válečkovém dopravníku.



Obr. 2: Výrobní linka klimatizačních jednotek  
Zdroj: Vlastní

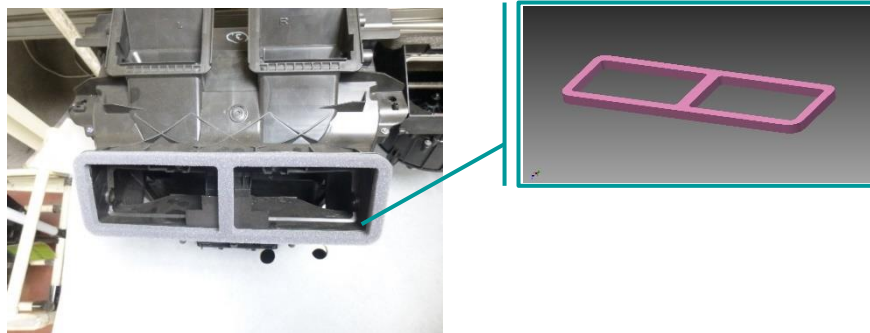
Výrobní proces na montážní lince je sledován a řízen pomocí počítačového programu, který řídí systém PLC, který zpracovává signály z mnoha signálních čidel a různých strojů a nástrojů používaných při montážních operacích ve výrobní lince. Výrobní linka disponuje systémem Poka-yoke, který zabraňuje vzniku chyb či opomenutí operátora.

Všechny tyto systémy a nástroje se neobejdou bez zdrojů (přívodů) energie, která zajistí jejich funkci. Montážní linka tedy disponuje zdroji přímo v systému, či nadsystému:

- Elektřina
- Vzduch (přívod stlačeného vzduchu)
- Světlo

## 2.2 Specifikace těsnění

Těsnění lepené na klimatizační jednotku na Obr. 3 slouží k utěsnění vůlí při montáži do vozidla. Jedná se o polyuretanovou pěnu, opatřenou oboustranně lepicí páskou s vrstvou tlakového lepidla opatřená krycí páskou – separator. Těsnění je vystřihováno do různých tvarů podle konkrétních typů klimatizačních jednotek. Přesné rozměry těsnění použitého pro tento typ klimatizace je na schématu na Obr. 4.

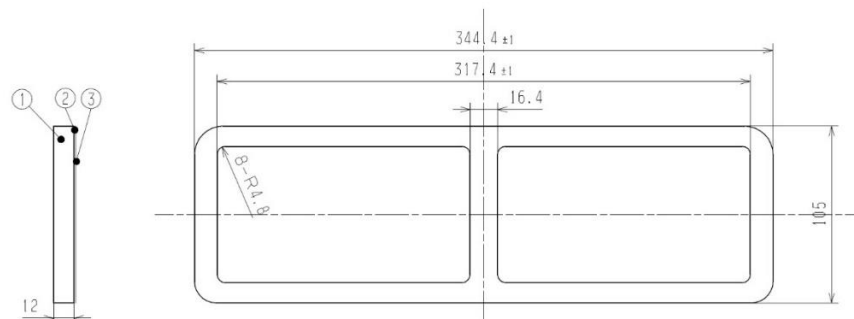


Obr. 3: Těsnění výduchu klimatizace  
Zdroj: Vlastní

V následující tabulce Tab. 1 jsou uvedeny základní charakteristiky těsnění:

Materiál	Polyether – polyuretanová pěna
Hustota	0,03 +/- 0,003 g/cm <sup>3</sup>
Teplotní odolnost	-40° C až 90° C
Tlakové zatížení podle EN ISO 3386	<3,5 kPa

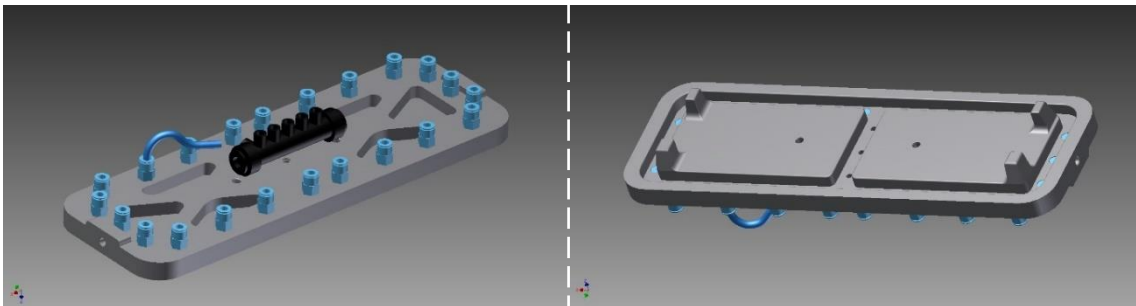
Tab. 1: Specifikace těsnění  
Zdroj: Interní materiály společnosti DMCZ



Obr. 4: Schéma rozměrů těsnění  
Zdroj: Interní materiály DMCZ

## 2.3 Současný přípravek pro lepení těsnění

Stávající přípravek byl navrhnout jako druhá generace přípravku pro lepení těsnění. V první generaci se nejednalo o autonomní zařízení, operátor lepení prováděl manuálně, což bylo po zacvičení relativně rychlé, ale nebylo možné zajistit, že těsnění bude nalepeno v požadované toleranci. Navíc, čas potřebný pro nalepení těsnění velmi fluktoval, protože byl přímo závislý na výkonu operátora. Z tohoto důvodu byl navržen přípravek tak, aby usnadnil a standardizoval práci operátora při odlepování krycí pásky lepidivé vrstvy na těsnění a současně zajistil nalepení těsnění na přesnou pozici v rámci předepsaných tolerancí. Naznačen pracovní postup operátora při práci s přípravkem.

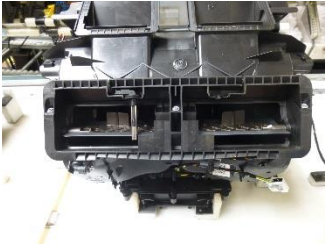







Obr. 5: Model stávajícího přípravku

Zdroj: Vlastní

Současná druhá generace přípravku využívala mechanického způsobu přidržení těsnění při ručním oddělení krycí pásky operátorem. Na Obr. 5 je naznačeno alternativní řešení ke konceptu navrženému v této práci. Toto řešení využívá nahrazení mechanického upínání těsnění pomocí podtlakového ejektoru. Nejedná se zde však o bezobslužné, plně automatizované řešení (jak bude dále popsáno v této diplomové práci). Jedná se stále pouze o nástroj, který je používán pracovníkem na výrobní lince.

## 2.4 Pracovní postup

#	Schematický obrázek	Popis operace	Čas operace [s]
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>Montážní paleta přijede s klimatizační jednotkou na výrobní pozici</li> </ul>	3,0
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>Operátor nastaví přípravek směrem drážkou pro těsnění vzhůru</li> </ul>	1,5
3		<ul style="list-style-type: none"> <li>Zalozí těsnění operátorem</li> <li>Automatické spuštění pneumatického systému a přichycení těsnění v drážce</li> </ul>	2,0
4		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sejmutí krycí pásky</li> </ul>	0,5
5		<ul style="list-style-type: none"> <li>Orientace přípravku do pracovní polohy</li> <li>Přitisknutí přípravku k výduchu těsnění</li> <li>Piny na čelní straně přípravku navedou těsnění do přesné pozice</li> </ul>	1,5
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>Po dokončení operace odjíždí paleta na další pracovní pozici</li> </ul>	3,0

Tab. 2: Pracovní postup  
Zdroj: Vlastní

**Celkový čas aplikace těsnění: 11,5 s**



## 2.5 Objektivní hodnocení stávajícího přípravku

Stávající zařízení se vyznačuje především jednoduchostí své konstrukce. Malý počet dílů přispívá k zvýšení pravděpodobnosti bezporuchového provozu zařízení. Vodící čepy na přední straně základní desky bezpečně navedou těsnění na správnou pozici v rámci předepsané tolerance. Nedostatkem však je velká spotřeba tlakového vzduchu, použitého pro přidržení těsnění v drážce. Materiál těsnění je pórovitý, proto je nutné pro dosažení podtlaku odsávat vzduch kontinuálně. Zásadním nedostatkem tohoto přípravku však zůstává nutná přítomnost operátora během operace. Operátor musí zajistit hlavní kroky operace, jako je sejmutí krycí pásky lepidla a dotlačení těsnění v přípravku ke klimatizační jednotce. Zde vzniká také prostor pro vznik vady. Kompletní automatizací zařízení by bylo možné zkrátit čas cyklu operátora na této pozici o čas potřebný k obsluze přípravku a zajistit standartní podmínky v opakujícím se výrobním cyklu. Souhrn kladů a záporů současného řešení je proveden v Tab. 3.

Klady	Zápory
+ Nízký počet dílů	- Neefektivní upínání – vysoká spotřeba vzduchu na vytvoření podtlaku
+ Přesné vystředění přípravku při lepení těsnění	- Vedení pomocí balancerů je nestabilní a kýve se
+ Snadná modifikace pro další pracoviště	- Operátor obsluhuje zařízení manuálně
+ Mechanické řešení řízené manuálně	- Manuální oddělování krycí pásky
	- Ergonomická zátěž pracovníka

Tab. 3: Souhrn kladů a záporů  
Zdroj: Vlastní

### 3 Benchmarking – možnosti lepení PU pěn

Pro určení inovačních příležitostí lepicího přípravku byl proveden zevrubný průzkum trhu. Byly určeny alternativní možnosti pro lepení pěnového polyuretanu. Lepení pórovitých materiálů provází mnohá specifika.

Polyuretanové pěny mají otevřenou strukturu, protože jsou velmi často formátovány řezáním. To způsobuje, že velmi účinně vstřebávají tekutiny – i lepidla. Účinnou metodou lepení PU pěn je nástřik lepidla. Jako vhodná se jeví kaučuková lepidla. Nástřik není prováděn kolmo k povrchu, ale ideálně pod úhlem 30-45°. Příkladem je lepidlo nové generace Unilep Spray H6 českého výrobce LEAR, a. s., Brno. Lepidlo je formulováno tak, aby nenarušovalo strukturu pěny, nezpůsobovalo její nabobtnání, neobsahovalo škodlivé aromatické uhlovodíky a aby měl lepený spoj dlouhou životnost při zachování měkkosti.

Dalším možným řešením, jak lepit PU pěny je použití vodou ředitelných dvousložkových lepidel. Používají se speciální lepidla pro tzv. sdružený nástřik lepidla a aktivátoru. Aktivátor je veden samostatným přívodem a vstříkují se do proudu lepidla až za tryskou. Aktivátor zajistí okamžitou kontaktní lepidlost vodou ředitelného lepidla. Tato lepidla mají ekologické výhody (žádné těkavé organické látky) a jsou při aplikaci nehořlavá. Nejlepší výsledky vykazují při lepení savých materiálů, protože voda obsažená v lepidle má lepší možnost úniku z místa spoje.

Současné řešení využívá tzv. lepidlo s trvale lepivým účinkem neboli tlakově citlivá lepidla „samolepky“. Nejčastěji se jedná o měkké akryláty s nízkou kohezí.

V průmyslu často využívanými lepidly jsou také tavná lepidla. Tavná lepidla jsou za běžných podmínek v tuhém stavu. Po nahřátí je možné okamžitě přitisknout spojované materiály k sobě. Výhodou tavných lepidel je právě schopnost okamžitého lepení, nepřítomnost emisí rozpouštědel či možnost lepení nesavých ploch.

[1]

## 4 Inovační záměr

Záměrem je navrhnout a zvolit nový koncept řešení lepicího přípravku. Přípravek by měl eliminovat monotónní opakující se práci operátora při aplikaci pěnového těsnění na výdych klimatizační jednotky, dále by měl zajistit vyšší přesnost a spolehlivost při aplikaci těsnění při nižších nákladech, než je stávající koncept řešení.

## 5 Návrh konceptů řešení

Pro návrh možných konceptů řešení budou využity dříve identifikované technologie vhodné pro lepení polyuretanové pěny. Každý z konceptů se vyznačuje svými specifickými výhodami pro řešení daného problému.

Výběr vhodného konceptu je zcela zásadním rozhodnutím, které má největší dopad na výsledný přínos navržené inovace.

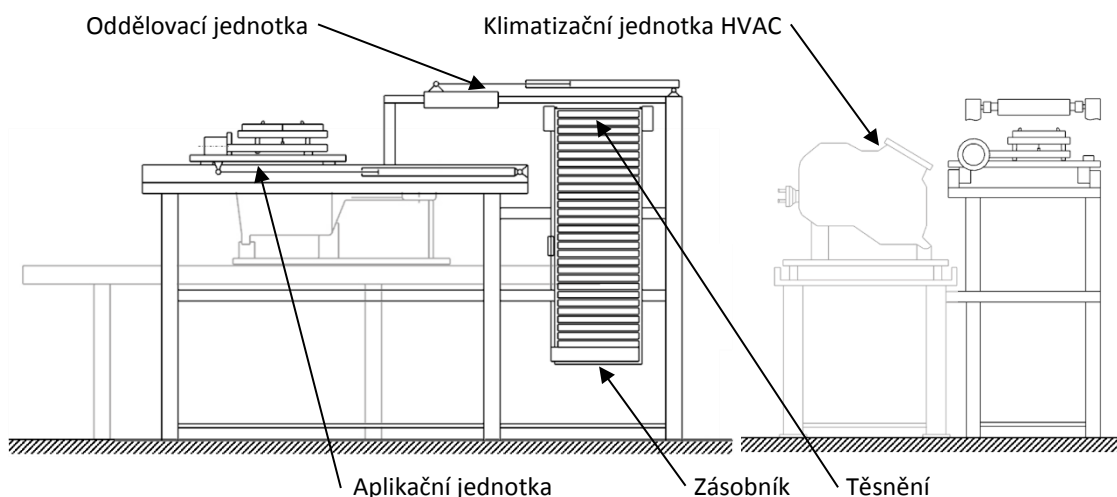
Na základě průzkumu moderních trendů v konstrukci jednoúčelových strojů bude navržen nosný aparát společný pro všechny koncepty nového zařízení. Vzhledem ke zdrojům poskytovaným moderní konstrukcí výrobní linky bude jako pohon použit tlakový vzduch, který je v lince dobře dostupný. Řídící a rozhodovací PLC jednotka bude napájena standardním zdrojem elektrické energie též zabudovaného ve výrobní lince.

Zařízení bude vždy tvořeno zásobníkem polyuretanových těsnění dimenzovaném tak, aby ho bylo možné doplňovat materiálem v čase logistického cyklu. Druhou část pak bude tvořit jednotka pro aplikaci lepidla. Pohyb jednotlivých částí jednotky/zásobníku zajistí pneumatické písty s lineárním vedením. V koncových polohách budou umístěny koncové senzory, které budou poskytovat zpětnou vazbu systému prostřednictvím PLC.

Zařízení bude integrováno na vyčkávací pozici „buffer“ před finálním automatickým stanovištěm kontroly hlučnosti, kde klimatizační jednotky HVAC vyčkávají, než se dokončí test předchozí jednotky. Test probíhá v čase cyklu montážní linky, tzn., že tento čas je možné využít pro aplikaci pěnového těsnění.

## 5.1 Koncept 1

První návrh řešení zachovává stávající těsnění s použitým na tlak citlivým lepidlem. Ke stávající konstrukci výrobní linky je přidáno zařízení, které zajistí oddělení krycí pásky lepidla na těsnění pomocí vakuového ejektoru, přemístění těsnění do montážní pozice a jeho následné nalepení na správnou pozici na výduchu klimatizační jednotky.

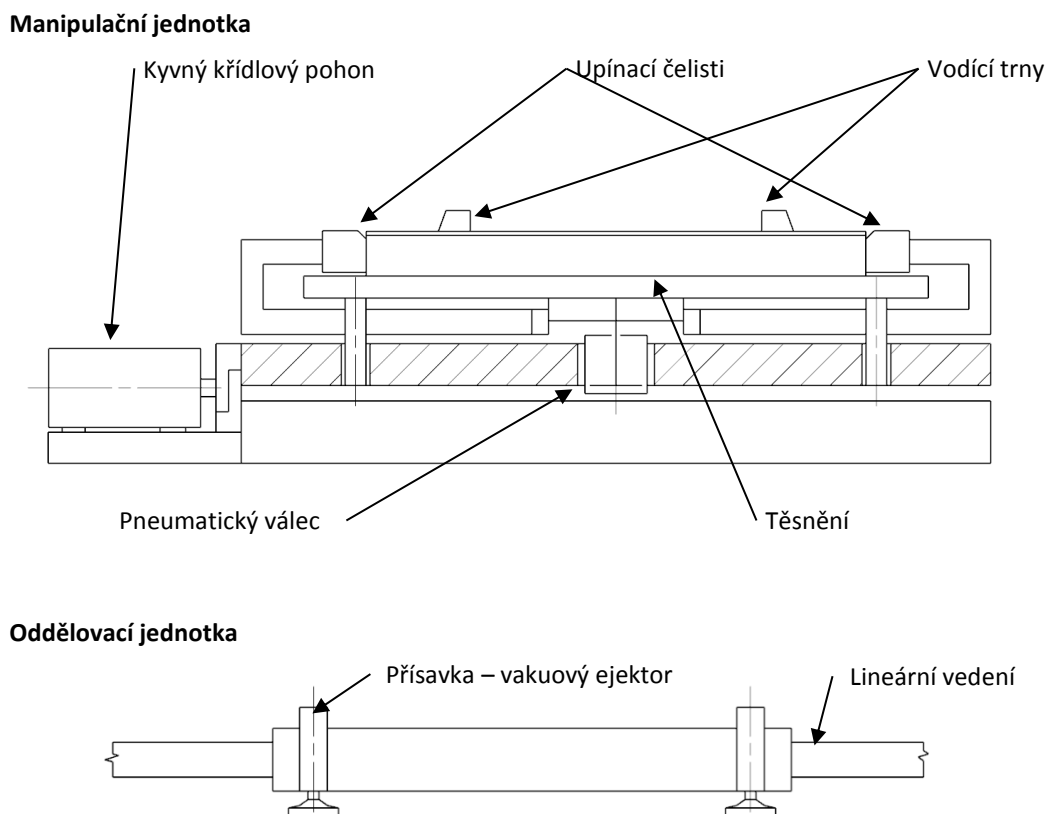


Obr. 6: Koncept 1 - schéma  
Zdroj: Vlastní

Zařízení se skládá ze tří základních částí, jak je schematicky vyobrazeno na Obr. 6. Řídící funkci celého stroje zajišťuje počítačový program v průmyslovém počítači, který dává povely jednotce PLC. Ta je zodpovědná za spouštění jednotlivých funkcí zařízení. Jako hlavní pohonné médium využívá stroj přívod nízkotlakého vzduchu, který je na výrobní lince k dispozici, dále je nezbytný i zdroj elektrické energie dostupný z rozvodné skříně umístěné na hlavním stole výrobní linky.

Zařízení bude umístěno na vyčkávací pozici před finálním automatickým stanovištěm kontroly hlučnosti, kde se klimatizační jednotky HVAC řadí, než se dokončí test předchozí jednotky. Montáž těsnění je prováděna zcela automaticky bez nutnosti zásahu pracovníka, čímž je omezeno riziko chyby způsobené lidským faktorem. Pozornost obsluhy bude vyžadována v pravidelných intervalech pro doplnění zásoby těsnění v zásobníku.

Posuvy jednotlivých jednotek budou realizovány lineárním vedením a pneumatickým pohonem tvořeným pneumatickými válci. Detailní popis manipulační a oddělovací jednotky je na Obr. 7.

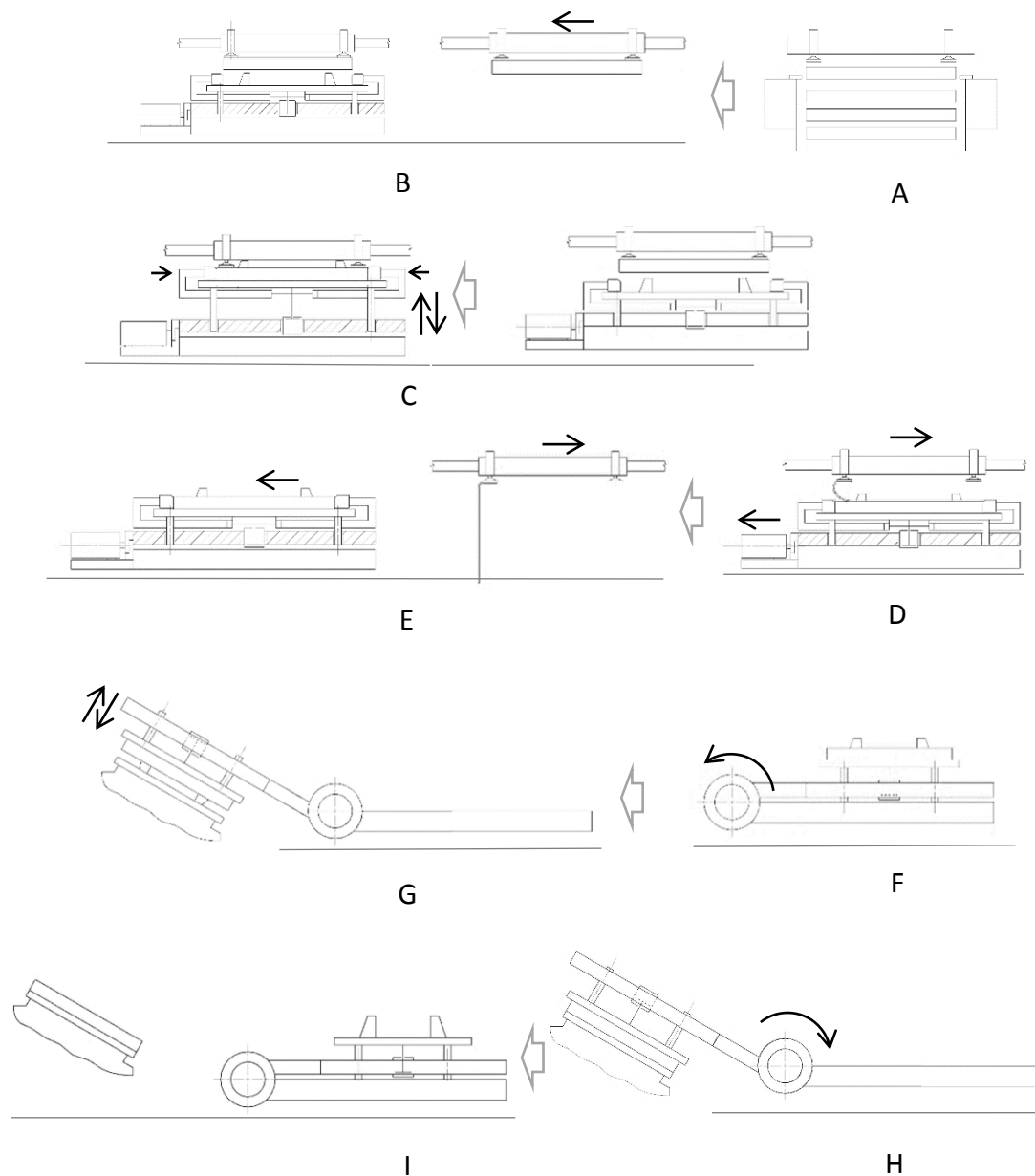


Obr. 7: Koncept 1 - manipulační a oddělovací jednotka  
Zdroj: Vlastní

### Popis funkce zařízení

Cyklus aplikace pěnového těsnění bude spuštěn na základě impulsu snímače po dojetí transportní palety na definovanou pozici. V základní pozici se nachází oddělovací jednotka v pozici nad zásobníkem s pěnovými těsněními, jak je naznačeno na Obr. 8 pozice A. Těsnění jsou v zásobníku posouvána směrem vzhůru za pomoci kladkového mechanismu a závaží. Po uvolnění zářezek se těsnění vysunou směrem vzhůru, kde se zastaví o čelní plochu oddělovací jednotky vybavené vakuovými ejektory. Vakuové ejektory, obdobně jako v původním konceptu řešení slouží k přidržení těsnění při manipulaci, avšak přísavka se může mnohem lépe přisát k hladké ploše krycí vrstvy a vytvořit tak požadovaný podtlak pro přenesení těsnění, zatím co v původním konceptu bylo nutné odsávat vzduch neustále vzhledem k otevřené pórovité struktuře polyuretanového těsnění. Z toho je patrná úspora tlakového vzduchu jako jeden z prvních přínosů této varianty.

Oddělovací jednotka s přísátým těsněním se dále přesune do své pracovní polohy - nad základní polohu aplikační jednotky viz Obr. 8 pozice B. Aplikační jednotka se vysune do horní pozice, za tímto účelem je opatřena pístem s nízkým zdvihem – Obr. 8 pozice C, D. Díky středícím trnům přesně navede těsnění do lůžka a následně ho upne pomocí čelistmi z boků.



Obr. 8: Koncept 1 - schéma funkce zařízení

Zdroj: Vlastní

V okamžiku, kdy je těsnění upnuto, dojde k přerušení sání na pravé přísavce. Manipulační jednotka se vrátí dolů do základní polohy, čímž dojde k částečnému odlepení krycí pásky. Následným přesunem manipulační jednotky do pracovní polohy se odlepi krycí páska z celého těsnění - Obr. 8 pozice E.

Po dojetí manipulační jednotky do pracovní polohy Obr. 8 pozice F, G, kyvný křídlový pohon natočí jednotku o nastavený úhel pro lepení těsnění. V této pozici dojde k uvolnění čelistí, aby těsnění nebylo deformováno. Vysunutím pohyblivé části manipulační jednotky dojde k nalepení těsnění. Vycentrování těsnění je provedeno pomocí vodících trnů na manipulační jednotce a volnému uložení transportní palety na rolnách výrobní linky.

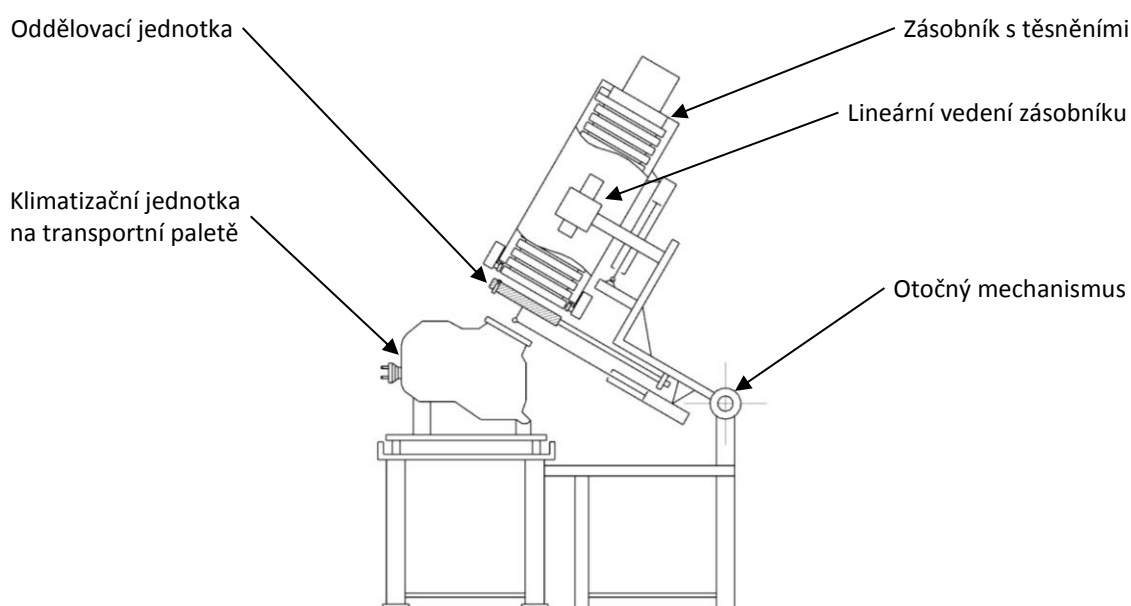
### Souhrnné hodnocení konceptu 1

Klady	Zápory
+ Jednoduché pohyby jednotek	- Velký počet pohybů a přeupnutí
+ Spolehlivé řešení oddělení krycí pásky	- Složitě seřízení úhlu natočení aplikační jednotky
+ Přesné vystředění přípravku při lepení těsnění	- Operátor obsluhuje zařízení manuálně
+ Snadná modifikace pro další varianty	- Při špatném seřízení natočení apl. jednotky nerovnoměrná přítlačná síla
+ Snadné doplnění zásobníku	- Vyšší pořizovací náklady (větší počet pneu. válců, senzorů, spotřeba vzduchu)

Tab. 4: Koncept 1 – souhrnné hodnocení  
Zdroj: Vlastní

## 5.2 Koncept 2

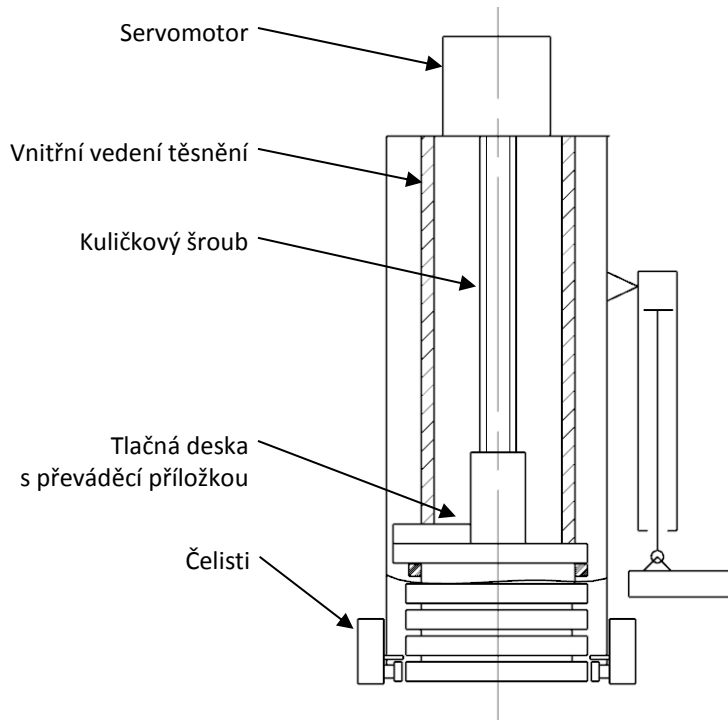
Tento koncept využívá stávajícího provedení těsnění s použitým tlakově citlivým lepidlem. Jedná se o alternativní technické provedení konceptu 1, které s sebou přináší mnohá positiva, ale také jiná omezení. Hlavní myšlenkou je snížení počtu potřebných pohybů a snížení celkové manipulace s těsněním od oddělení krycí pásky až po samotné nalepení těsnění. Menší počet pohybů přispívá ke zkrácení strojního času potřebného k nalepení těsnění na klimatizační jednotku. Základní schéma konceptu je naznačeno na Obr. 9.



Obr. 9: Koncept 2 - schéma  
Zdroj: Vlastní

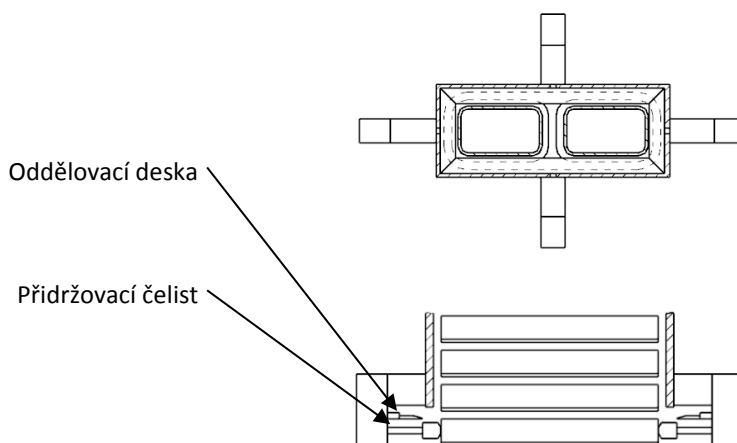
Nejvýraznější úpravou v tomto konceptu je převedení funkce posouvání těsnění manipulační jednotky přímo na zásobník těsnění, který je umístěn na lineárním vedení a jeho pohyb zajišťuje pneumatický píst. Detailní schéma zásobníku je na Obr. 10. Vzhledem k pracovní poloze zásobníku není jisté, že by se těsnění v zásobníku dopravovala do pracovní pozice pouze vlivem gravitace. Z tohoto důvodu je zásobník opatřen servomotorem s vřetenem a kuličkovým šroubem, který zajišťuje pohyb tlačné desky. Spouštění servomotoru je řízeno senzory. Dokud těsnění nedosedne na desku oddělovací jednotky, servomotor stále pracuje. Pokud deska dosáhne koncové polohy a v zásobníku již nejsou těsnění, vrátí se zpět do základní polohy a zařízení uvědomí obsluhu o potřebě doplnit těsnění.





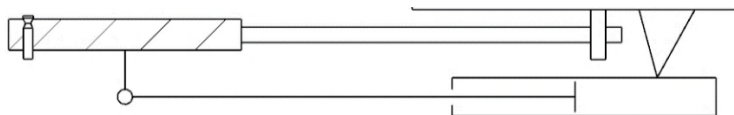
Obr. 10: Koncept 2 – zásobník  
Zdroj: Vlastní

Na Obr. 11 je naznačeno detailní provedení upínacích čelistí. Upínací čelisti mají za úkol udržet těsnění na svém místě v průběhu oddělování krycí pásky. Dále jsou zde použity oddělovací dorazy, jejichž účelem je oddělit těsnění v zásobníku od právě lepeného těsnění. Oddělení těchto prostor je nezbytné z důvodu zajištění stále přibližně stejné dojezdové vzdálenosti jednotky při lepení těsnění.



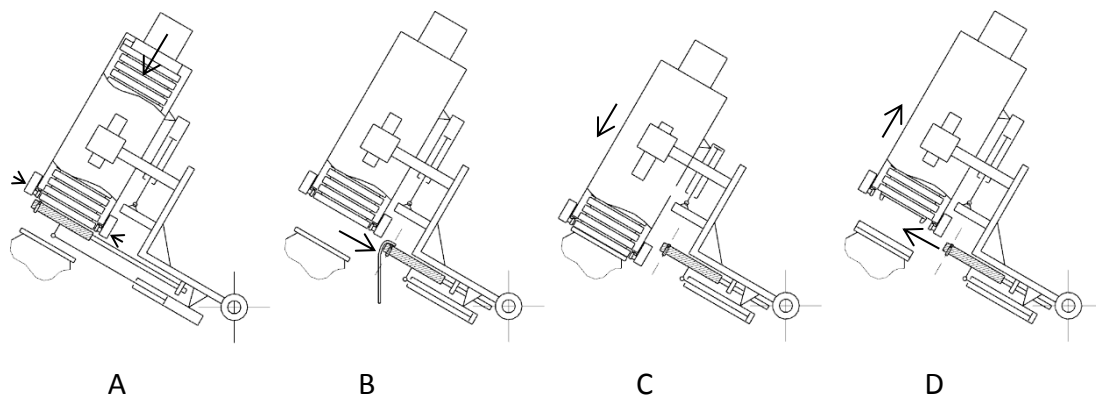
Obr. 11: Koncept 2 - detail čelistí  
Zdroj: Vlastní

Na Obr. 12 je schématicky naznačeno provedení oddělovací jednotky. Jednotka je tvořena základní deskou a vakuovým ejektorem – vůči konceptu 1 pouze na jedné straně, což je úspora jak na straně komponent z konstrukčního hlediska, tak i nižší spotřeba vzduchu na straně energetické náročnosti zařízení na provoz. Jednotka se pohybuje pomocí lineárního vedení, pohyb zajišťuje pneumatický válec.



Obr. 12: Koncept 2 – oddělovací jednotka  
Zdroj: Vlastní

### Popis funkce zařízení



Obr. 13: Koncept 2 - schéma funkce zařízení  
Zdroj: Vlastní

Zásobník zařízení se nachází v horní – základní pozici a oddělovací deska je vysunutá, jak je znázorněno na Obr. 13 pozice A. V tomto okamžiku pracuje servomotor a prostřednictvím kuličkového šroubu přitlačná deska vysune jedno těsnění na doraz k oddělovací jednotce. Poté, co je těsnění zaznamenáno senzory v základní desce oddělovací jednotky, je těsnění přichyceno přidržovacími čelistmi. Dále jsou zasunuty oddělovací desky a aktivuje se přísavka na oddělovací jednotce. V tomto okamžiku se oddělovací jednotka přesune do své základní pozice, jak je znázorněno na Obr. 13 pozice B, čímž dojde k oddělení krycí pásky z těsnění.

Když je plocha na tlak citlivého lepidla odkrytá, přidržovací čelisti se uvolní, aby nedocházelo k deformaci těsnění a celý zásobník se pohybuje po lineárním vedení do pracovní polohy – Obr. 13 pozice C. Pohyb zásobníku zajišťuje pneumatický válec s proporcionálním ventilem, jehož účelem je zajistit požadovanou přitlačnou sílu při lepení. Poloha zásobníku je kontrolována pomocí odměřování polohy na lineárním vedení a slouží pro kontrolu polohy zásobníku.

Po nalepení těsnění na výdouch klimatizační jednotky se zásobník vrátí opět do základní polohy a následně je vysunuta oddělovací jednotka – Obr. 13 pozice D.

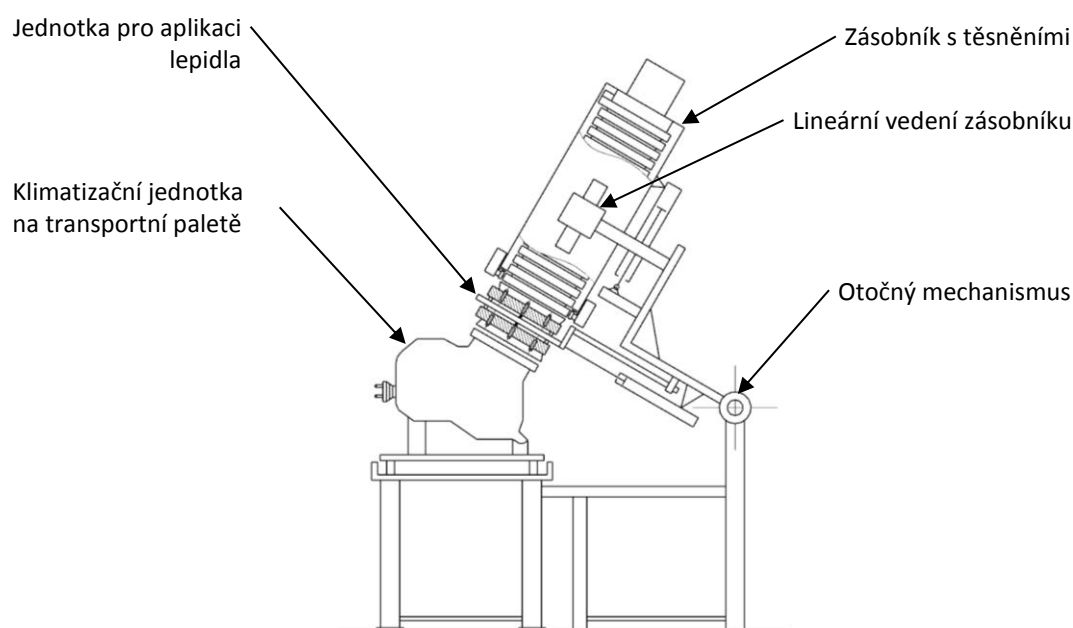
### Souhrnné hodnocení konceptu 2

Klady	Zápory
+ Jednoduché pohyby jednotek	- Mechanismus pro otočení zásobníku při doplňování těsnění
+ Nízký počet pohybů (krátký ct)	- Menší kapacita zásobníku
+ Spolehlivé řešení oddělení krycí pásky	- Servopohon pro podávání těsnění
+ Jednoduché vystředění přípravku při lepení těsnění	- Větší setrvačné síly při pohybu celého zásobníku – robustnost konstrukce
+ Rovnoměrně rozložená přitlačná síla při lepení těsnění	
+ Snadná modifikace pro další varianty	

Tab. 5: Koncept 2 - souhrnné hodnocení  
Zdroj: Vlastní

### 5.3 Koncept 3

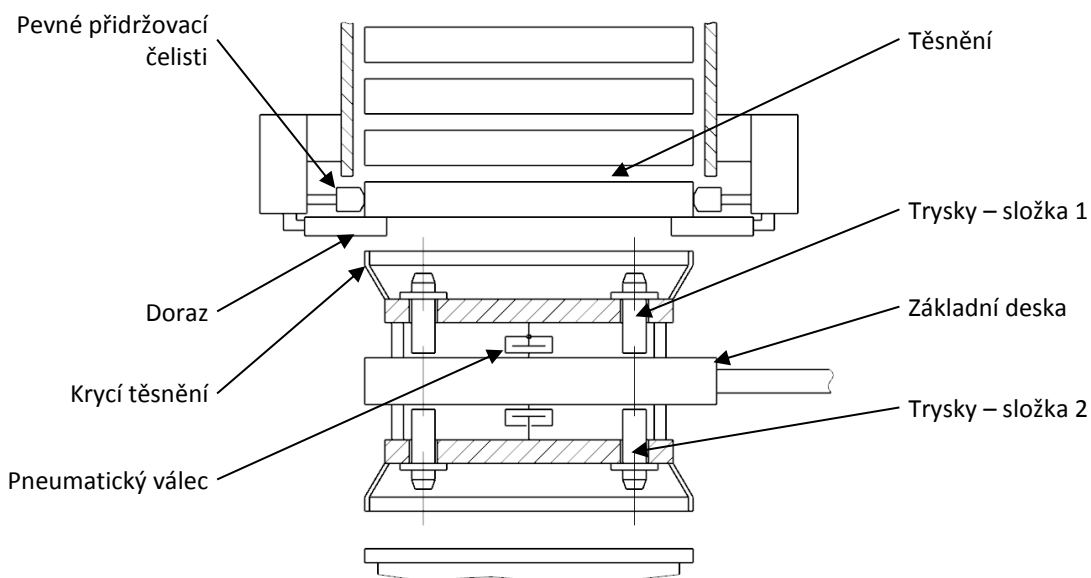
Základní konstrukce konceptu 3 je obdobná, jako u předcházejícího konceptu 2. Hlavní pohyby jsou na straně zásobníku, který zajišťuje manipulaci a přilepení těsnění na správnou pozici na klimatizační jednotce. Konstrukce zařízení je schematicky naznačena na Obr. 14. Základní myšlenkou tohoto konceptu je využití dvousložkového lepidla, které by bylo zvlášť nanášeno na těsnění a protilehlou plochu klimatizační jednotky. Jednotlivé složky lepidla jsou samy o sobě inertní a nedochází tak k chemické reakci. K reakci dojde až ve chvíli, kdy se spojí obě složky. Při aplikaci této varianty by bylo třeba provést úpravu designu stávajícího těsnění.



Obr. 14: Koncept 3 - schéma  
Zdroj: Vlastní

Místo těsnění z PU pěny a oboustranné lepicí pásky by bylo použito jen čisté PU těsnění a dvousložkové lepidlo. Výhodou je vytvoření trvalého pevného spoje založeného na chemické reakci na rozdíl od stávajícího na tlak citlivého lepidla, kde je vazba založena na fyzikálním principu. Dále zde nevzniká odpad v podobě krycích fólií, s kterým by bylo nutné dále manipulovat. Možnou komplikací může být výběr vhodného lepidla, vzhledem k otevřené struktuře PU těsnění. Lepidlo musí být dostatečně tekuté, aby ho bylo možné tryskou snadno nanést na povrch, ale při příliš vysoké viskozitě hrozí „zatečení/na vzlínání“ lepidla do pórů těsnění a tím zhoršení jeho mechanických vlastností – lepidlo ztvdne ve větší hloubce těsnění. Navíc v místě zatečení nemusí dojít ke správnému spojení.

Jádro tohoto konceptu tvoří jednotka pro aplikaci lepidla – Obr. 15. Jednotka je tvořena základní deskou, která se v pracovní poloze vysune do prostoru mezi zásobníkem s těsněními a klimatizační jednotkou. Písty s nízkým zdvihem vysouvají do pracovní polohy trysky pro nástřik jednotlivých složek lepidla. Vymezení prostoru nástřiku lepidla je provedeno krycím těsněním, které kopíruje tvar těsnění a výduchu klimatizační jednotky.

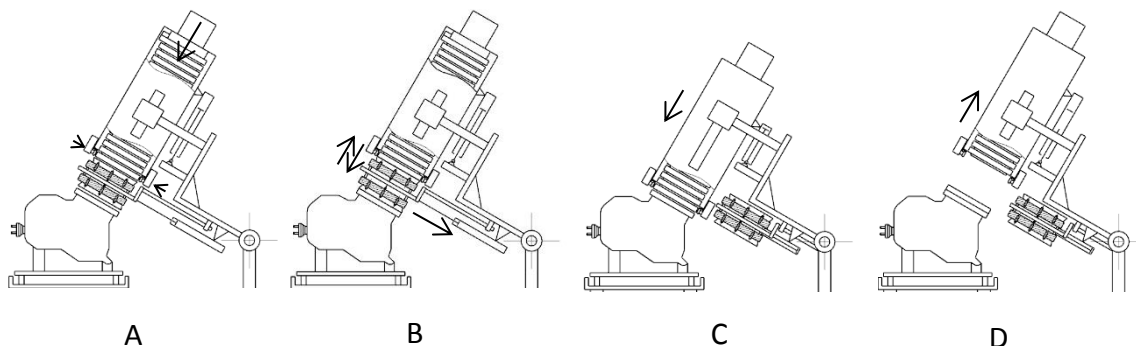


Obr. 15: Koncept 3 – jednotka pro aplikaci lepidla  
Zdroj: Vlastní

### Popis funkce zařízení

Před nástřikem lepidla je těsnění vysunuto tlačnou deskou na dorazy umístěné z boku zásobníku Obr. 16 pozice A. Posuv tlačné desky zajišťuje servomotor pohánějí kuličkový šroub. Těsnění je zachyceno mezi pevné čelisti, jejichž účelem je pouze přidržet těsnění během nástřiku a manipulace. Jednotka pro aplikaci lepidla se vysune pomocí pístů s nízkým zdvihem a provede nástřik jednotlivých složek lepidla na plochu těsnění a na danou plochu výduchu klimatizační jednotky. Po nanesení lepidla se jednotka vrací zpět do základní polohy mimo pracovní prostor Obr. 16 pozice B.

Dále celý zásobník s těsněním, připraveným k nalepení, sjede po lineárním vedení do pozice lepení Obr. 16 pozice C. Pozice je dána polohou odečítanou z odměřovacího systému. Pro spojení těsnění s klimatizační jednotkou není třeba použití větší síly, naopak je přímo nevhodné, aby na těsnění působila větší síla, došlo by k vtlačení lepidla do struktury těsnění a zhoršila se tak jeho funkce. Výhodou nízkých sil je, že zásobník může být zjednodušen o mechanismus pro oddělení těsnění, přítlačná síla může působit skrze všechna těsnění v zásobníku.



Obr. 16: Koncept 3 – schéma funkce zařízení  
Zdroj: Vlastní

Přítlačná síla je kontrolována prostřednictvím proporcionálního ventilu na pneumatickém válci zajišťujícím posuv zásobníku. Spojení složek lepidla a vznik chemické vazby vyžaduje jistý čas, což limituje rychlost cyklu stroje. Konkrétní čas je závislý na použitém typu lepidla.

V poslední fázi Obr. 16 pozice D se celý zásobník vrací do základní polohy a cyklus je dokončen.

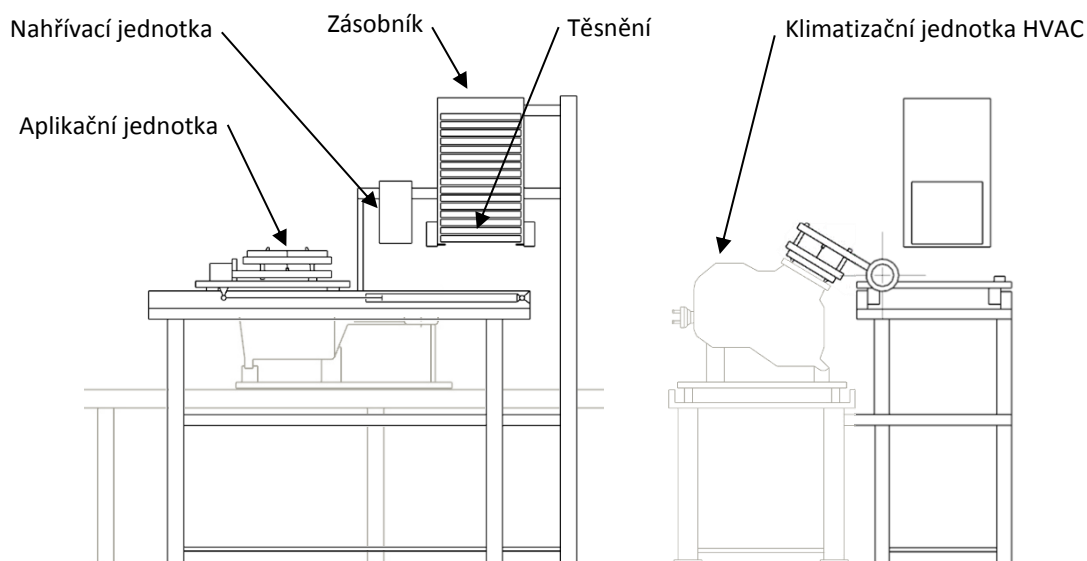
### Souhrnné hodnocení konceptu 3

Klady	Zápory
+ Jednoduché pohyby jednotek	- Mechanismus pro otočení zásobníku při doplňování těsnění
+ Nízký počet pohybů (krátký ct)	- Menší kapacita zásobníku
+ Spolehlivé řešení oddělení krycí pásky	- Servopohon pro podávání těsnění
+ Jednoduché vystředění přípravku při lepení těsnění	- Cena a objem spotřebovaného lepidla
+ Rovnoměrně rozložená přitlačná síla při lepení těsnění	- Složitá modifikace pro nasazení na dalších výrobních linkách
+ Snadná modifikace pro další varianty	

Tab. 6: Koncept 3 - souhrnné hodnocení  
Zdroj: Vlastní

## 5.4 Koncept 4

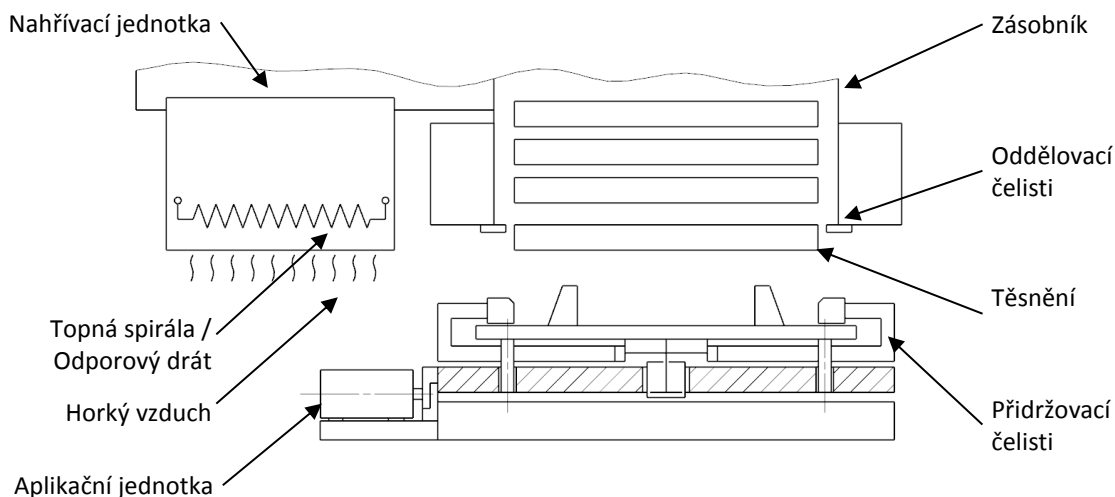
V tomto konceptu byla využita obdobná základní konstrukce zařízení, jako u konceptu číslo jedna. Princip zařízení je však v zásadě rozdílný. Hlavní předností je použití tavného lepidla, což z praktického hlediska přináší mnohé výhody. Především zde bylo docíleno celkově jednoduššího pracovního postupu s menším počtem manipulací s těsněním a tím i zkrácení času cyklu. Schéma celého zařízení je na Obr. 17.



Obr. 17: Koncept 4 – schéma  
Zdroj: Vlastní

Na místo současného na tlak citlivého lepidla by bylo nutné na těsnění nanést vrstvu tavného lepidla. Z hlediska konstrukce by došlo k několika zjednodušením, viz Obr. 18 dále. Zásobník je umístěn v horní části výrobní linky a díky tomu jsou těsnění dávkována pouze pomocí gravitace bez dalších přídatných mechanismů. Transport a aplikaci těsnění zajišťuje aplikáční jednotka. Médium pohánějícím zařízení je tlakový vzduch. Patrné je i to, že nebude nutné řešit svod krycích fólií, poněvadž se na těsnění nevyskytují.





Obr. 18: Koncept 4 - detail topné jednotky  
Zdroj: Vlastní

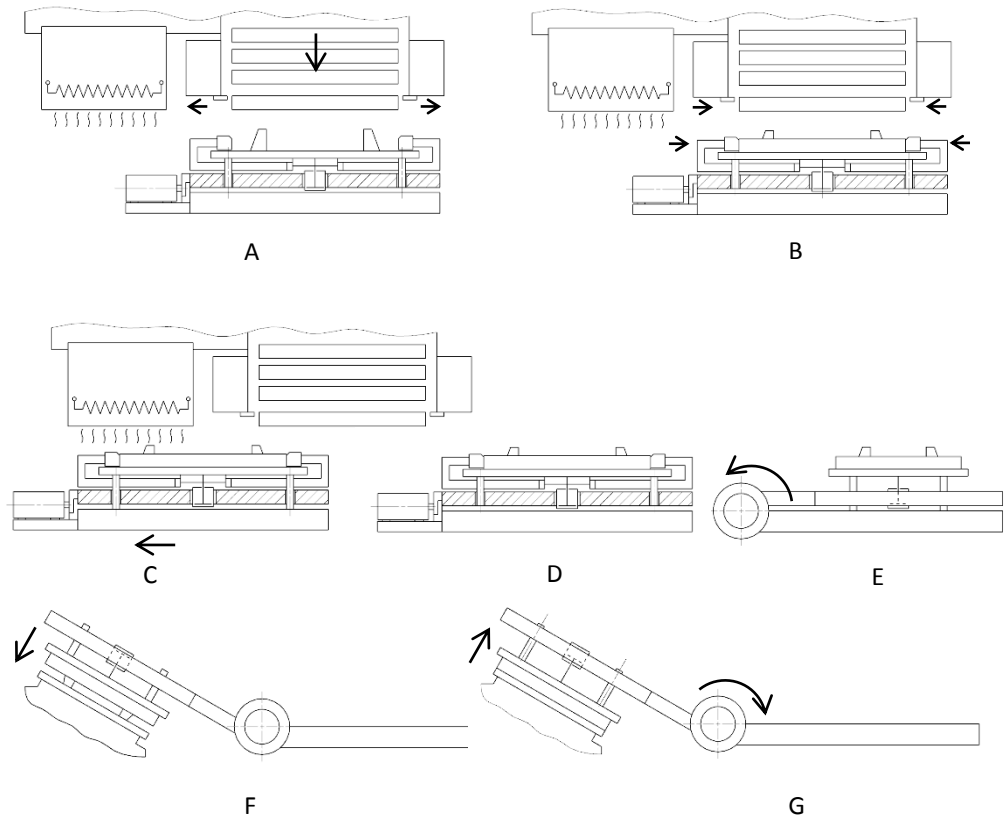
### Popis funkce zařízení

V základní poloze zařízení se aplikační jednotka s otevřenými upínacími čelistmi nachází v pozici pod zásobníkem těsnění na Obr. 19 pozici A. Díky svislé poloze zásobníku, po otevření oddělovacích čelistí vlivem gravitační síly a tíhy všech těsnění v zásobníku dojde k jejich posunutí. na Obr. 19 na pozici B se těsnění navede na naváděcí trny aplikační jednotky a je přichyceno přidržovacími čelistmi. Oddělovací čelisti se opět uzavřou.

Aplikační jednotka se začne přesouvat do pracovní polohy Obr. 19 pozice D, během svého pohybu projíždí pod nahřívací jednotkou Obr. 19 pozice C, která prouděním horkého vzduchu nataví tavné lepidlo. Celý přesun jednotky a následující postup musí probíhat velmi rychle, aby nedošlo k opětovnému ztuhnutí lepidla, ale zároveň je nutné, aby se lepidlo dostatečně natavilo.

V pracovní poloze pneumatický motor natočí pracovní desku s těsněním do pozice pro spojení Obr. 19 pozice E. Pneumatický píst s nízkým zdvihem se vysune a pouze malou silou přitlačí těsnění k ploše výduchu klimatizace Obr. 19 pozice F. Síla nesmí překročit mez, kdy by došlo k vtlačování lepidla hlouběji do struktury těsnění a tím ke ztrátě jeho vlastností.

Po uplynutí času potřebného k opětovnému ztuhnutí a vytvoření vazeb mezi lepidlem a spojovanými díly se základní deska stáčí zpět a jednotka se opět vrací do své základní polohy.



Obr. 19: Koncept 4 - schéma funkce zařízení  
 Zdroj: Vlastní

#### Souhrnné hodnocení konceptu 4

Klady	Zápory
+ Jednoduché pohyby jednotek	- Krátký čas mezi natavením lepidla a aplikací (tuhnutí lepidla)
+ Natavení lepidla za pohybu jednotky (snížení ct)	- Energetická náročnost (ohřev vzduchu)
+ Těsnění ze zásobníku posouvána gravitací	- Citlivost na přítlačnou sílu při lepení (zatlačení lepidla do pórů)
+ Snadná modifikace pro další varianty	- Při špatném seřízení natočení apl. jednotky – nerovnoměrný přítlak

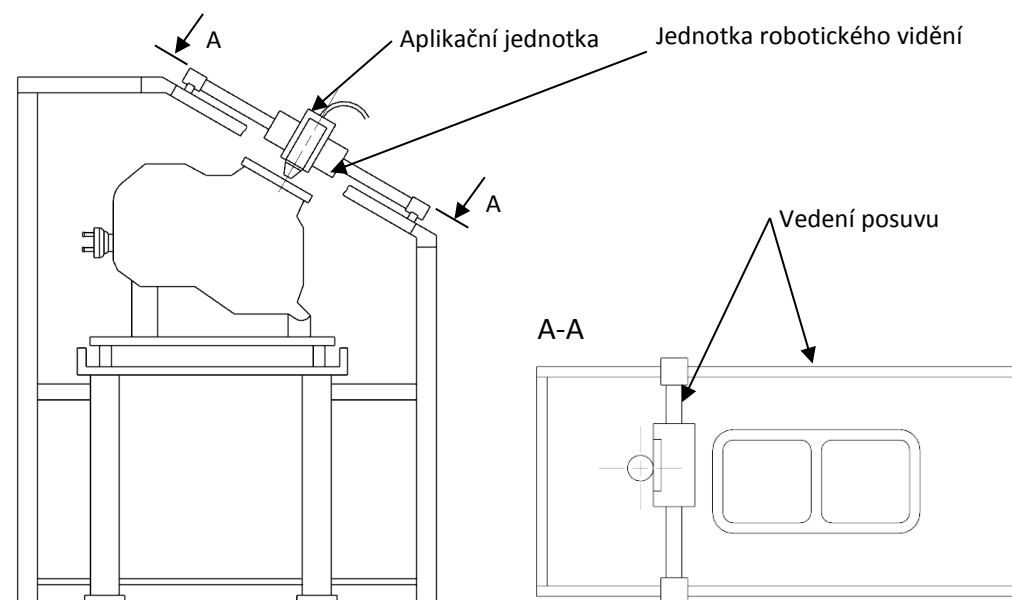
Tab. 7: Koncept 4 – souhrnné hodnocení  
 Zdroj: Vlastní

## 5.5 Koncept 5

Nejrazantnější změnu v řešení aplikace pěnového těsnění by přinesl koncept číslo pět. Toto řešení předpokládá opuštění konceptu pěnového těsnění spojovaného s výduchem klimatizace pomocí lepidla. Namísto předvyrobeného těsnění, dodaného výrobcem, bude nanášena přímo pěna na povrch výduchu klimatizace.

Granulát, dopravovaný ze zásobníku umístěného v blízkosti výrobní linky, je natavován v nanášecí jednotce. Ve vyfukovací trysce je do taveniny pod tlakem přiváděn inertní plyn a vzniká homogenní směs. Navíc plyn v tavenině vytvoří uzavřenou strukturu a až dvakrát zvětší objem vytlačovaného materiálu. Použití této technologie obecně přináší snížení spotřeby materiálu (až 50% než při vysekávání těsnění z pásu), absenci podpůrného materiálu a zvýšení produktivity. Největší výhodou je variabilitnost a flexibilita zařízení. Pouhou změnou programu je možné během okamžiku změnit vyráběnou konturu.

Proces nanášení je řízen automaticky počítačovým programem. Navádění a přesnost pohybu po definované dráze zajistí pokročilý systém strojního vidění. Nevýhodou tohoto řešení jsou vysoké náklady na pořízení i na pozdější provoz.



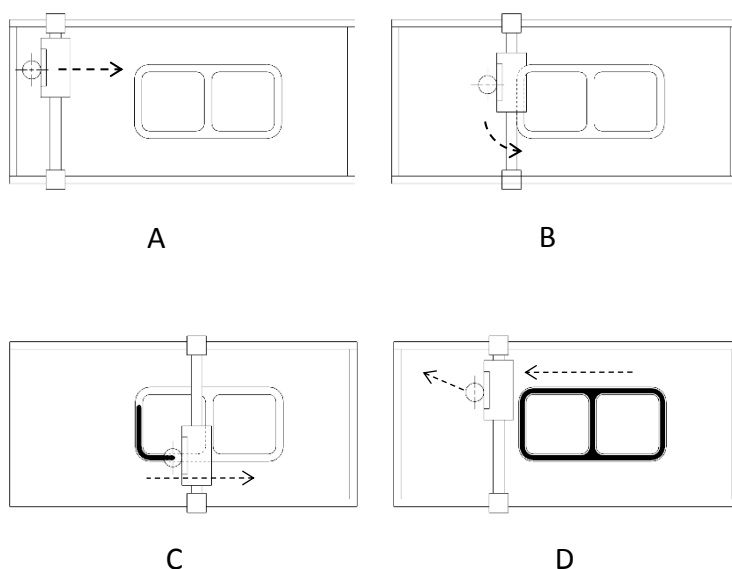
Obr. 20: Koncept 5 – schéma  
Zdroj: Vlastní

## Popis funkce zařízení

V základním stavu zařízení se nachází aplikační jednotka ve své domácí – referenční pozici, jak je vyobrazeno na Obr. 21 (pozice A). Po najetí transportní palety na montážní pozici Obr. 21 (pozice B) se aplikační jednotka přesune do pozice nad výdouch klimatizace. Robotické vidění zaměří přesnou polohu okrajů výduchu a program upraví dráhu trysky pro nanášení pěnového těsnění.

Podle naprogramované dráhy jednotka nanese pěnové těsnění po celé ploše okraje výduchu klimatizační jednotky, jak je naznačeno na Obr. 21 (pozice C). Během celého cyklu robotické vidění kontroluje dráhu a průběžně ji koriguje.

Po dokončení cyklu se aplikační jednotka vrací do základní polohy, kde setrvává do zahájení dalšího cyklu.



Obr. 21: Koncept 5 - schéma funkce zařízení  
Zdroj: Vlastní

## Souhrnné hodnocení konceptu 5

Klady	Zápory
+ Jednoduché pohyby jednotek	- Velmi drahý systém řízení posuvů
+ Nanášení těsnicí pěny podle potřeby přímo na klim. jedn.	- Cena robotického vidění
+ Schopnost vytvořit jakýkoli tvar	- Operátor obsluhuje zařízení manuálně
+ Snadná modifikace pro další varianty	- Čas pro nanesení těsnicí pěny (delší ct)

Tab. 8: Koncept 5 – souhrnné hodnocení  
Zdroj: Vlastní

## 6 Způsoby hodnocení konceptů

Výběr konečného konceptu inovačního výrobku je iterativní proces, při který se zabývá zhodnocením vygenerovaných dílčích konceptů, porovnáváním jednotlivých konceptů a výběrem jednoho nebo několika konceptů pro další vývoj, zlepšování a testování. [2]

V zásadě je výběr finální varianty konceptu jeden z nejvýznamnějších kroků při návrhu inovace. Koncept, zvolený v tomto bodě, má velký vliv na úspěch a výslednou podobu inovovaného zařízení, proto je třeba tomuto kroku věnovat zvýšenou pozornost. Při výběru konceptů by mělo být vybráno takové řešení, které nejlépe splní všechny požadované funkce. Z hlediska inovace je naprosto nepřijatelné, aby došlo k zvolení nevhodného či špatného konceptu, a tak ke zhoršení schopnosti plnit danou funkci.

K volbě té nejvhodnější varianty lze využít různých metod, které se lze na různých úrovních kombinovat. Zpravidla je výběr výsledné varianty prováděn týmem složeným ze specialistů a zástupců různých odvětví v podniku i mimo něj. Některé z metod jsou uvedeny níže.

- **Intuitivní výběr** – výběr na základě pocitů hodnotitele
- **Externí posouzení konceptu** – konzultace se zákazníky, experty či externími poradci
- **Výběr osobní preferencí** – každý člen týmu vybere favorita podle svého uvážení
- **Volba** – každý člen týmu zvolí více konceptů. Vyhrává koncept s nejvíce hlasy
- **Analýza silných a slabých stránek** – inovační tým provede sestavení seznamu silných a slabých stránek
- **Testování prototypů** – testování a hodnocení prototypů, výběr podložen údaji z testování
- **Rozhodovací matice** – tým oceňuje každý koncept na základě předem stanovených kritérií, která mohou mít různé váhy

[2]

## 6.1 Hrubé roztřídění konceptů

Pro daný případ se jako nejvhodnější metoda prvního hodnocení konceptů jeví sestavení rozhodovací tabulky pro hrubé roztřídění konceptů. Pro hrubé roztřídění konceptů provedené v Tab. 9 bylo využito intuitivního vyhodnocení síly plnění jednotlivých, předem daných kritérií charakterizujících nejdůležitější vlastnosti navrhovaného zařízení.

### Kritéria hodnocení konceptů

- *Spolehlivost aplikace těsnění* – schopnost zajistit přesnou aplikaci pěnového těsnění v toleranci dle výkresových požadavků. Zajistit opakovatelnost výroby a stabilitu procesu dle požadavku zákazníka.
- *Složitost kinematických pohybů zařízení* – složitost pohybů vykonávaných jednotkou při aplikaci těsnění. Vliv na obtížnost seřízení zařízení v reakci na možné výkyvy ve výrobě plastových dílů klimatizačních jednotek.
- *Objemnost řešení* – požadavky zařízení na zástavbový prostor ve výrobní lince.
- *Složitost řídicího systému* – komplikovanost systému řízení celého stroje se projeví v požadavcích na kvalifikovanost údržby a náročnosti seřízení. Dále se promítne do pořizovací ceny zařízení.
- *Využití standardních dílů* – počet dílů použitých v sestavě zařízení má vliv na jeho celkovou složitost. Čím více použitých dílů je standardních, tím se zjednoduší dostupnost dílů v případě opravy. Velké množství unikátních dílů zvyšuje množství součástí, které je nutné držet skladem pro případ poruchy (vázaný kapitál).
- *Kapacita zásobníku* – velikost zásobníku je zásadním parametrem ovlivňujícím potřebu doplňovat těsnění do zásobníku a tím přítomnost pracovníka logistiky.
- *Hmotnost zařízení* – čím bude zařízení hmotnější, tím větší a robustnější konstrukce bude vyžadována. Naddimenzováním pohonů a pevnostních prvků dojde ke zvýšení provozních nákladů.
- *Energetická náročnost* – je dána spotřebou energie pro provoz zařízení.
- *Provozní náklady* – náklady vzniklé provozem zařízení. Zahrnuje energii potřebnou pro pohon zařízení, spotřebu podpůrných materiálů (lepidla, teplo, vzduch, tmel), náhradní díly držené skladem pro případ poruchy.

- *Pořizovací náklady* – náklady nutné na pořízení zařízení. Vynaloženy jednorázově, vázány na předpokládanou dobu návratnosti zařízení.
- *Komplexnost* – složitost úprav nutných pro rozšíření zařízení na další projekty (výrobní linky).
- *Integrace zařízení* – úprava designu výrobku v závislosti na použité technologii zařízení pro aplikaci pěnového těsnění.

Kritérium	Koncept				
	1	2	3	4	5
Spolehlivost aplikace těsnění	+	+	0	0	+
Složitost řídicího systému	0	+	+	0	-
Pořizovací náklady	+	+	-	-	-
Kapacita zásobníku	+	0	0	-	+
Provozní náklady	+	+	-	-	-
Komplexnost	0	-	-	0	+
Složitost kinematických pohybů zařízení	-	+	+	-	-
Energetická náročnost	0	0	-	-	0
Integrace zařízení	0	+	+	0	+
Využití standardních dílů	+	+	+	+	0
Objemnost řešení	-	0	0	0	0
Hmotnost zařízení	0	0	0	0	0
<b>Skóre</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>-4</b>	<b>0</b>
<b>Pořadí</b>	<b>2.</b>	<b>1.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>3.</b>
Další postup	Ano	Ano			

### Legenda

- + Silné plnění kritéria
- 0 Dostatečné plnění kritéria
- Slabé plnění kritéria

Tab. 9: Vyhodnocení konceptů - hrubé roztřídění

Zdroj: Vlastní

Koncepty zde mohly být ohodnoceny kladně (+) v případě významně silného plnění daného parametru. Neutrálně (0), pokud dostatečně splní dané požadavky a případně (-) pokud se spolehlivost/schopnost splnit dané kritérium vyznačuje, jako riziková.

Z Tab. 9 je patrné, že po výsledném součtu všech kladů a záporů, byly pro další posouzení zvoleny koncepty číslo jedna a dva.



## 6.2 Volba výsledného konceptu

Volba výsledného konceptu je nejzásadnějším bodem při návrhu výsledného řešení. Analýzou silných a slabých stránek bude rozhodnuto o podobě finálního návrhu. V tomto bodě je nejzásadnější správně určit významnost jednotlivých kritérií. Vyhodnocení proběhne na základě objektivního posouzení schopnosti jednotlivých konceptů je plnit. Výsledný koncept bude dále rozpracován.

Pro další vyhodnocení konceptů je nezbytné určit váhy jednotlivých hodnocených kritérií. K tomu je určena tabulka párového porovnání kritérií. Zde jsou kritéria navzájem srovnávána. Kritérium, které je z dané dvojice významnější získává bod. Následně je vypočteno, kolik procent všech udělených bodů, jednotlivá kritéria získala.

[3]

	Spolehlivost aplikace těsnění	Složitost kinematických pohybů zařízení	Objemnost řešení	Složitost řídicího systému	Využití standardních dílů	Kapacita zásobníku	Hmotnost zařízení	Energetická náročnost	Provozní náklady	Pořizovací náklady	Komplexnost	Integrace zařízení	Součet bodů	Procentuální váha kritéria
Spolehlivost aplikace těsnění	1	1			1	1		1	1	1		1	8	20%
Složitost kinematických pohybů zařízení			1	1			1			1	1		5	13%
Objemnost řešení						1	1					1	3	8%
Složitost řídicího systému		1					1	1	1				4	10%
Využití standardních dílů			1				1			1			3	8%
Kapacita zásobníku			1		1		1	1	1		1		6	15%
Hmotnost zařízení												1	1	3%
Energetická náročnost							1						1	3%
Provozní náklady										1			1	3%
Pořizovací náklady			1						1				2	5%
Komplexnost		1			1	1						1	4	10%
Integrace zařízení							1			1			2	5%
													40	100%

Tab. 10: Párové porovnání kritérií  
Zdroj: Vlastní

Pro výběr finálního konceptu byla vytvořena rozhodovací matice pro dva postupující koncepty. V této rozhodovací matici byla každému kritériu přiřazena procentuální váha podle jeho významnosti určené párovým porovnáním. Při hodnocení konceptů byla bodově ohodnocena (na stupnici 1 – nejhorší až 5 – nejlepší) míra plnění daných kritérií jednotlivými koncepty. Výsledné skóre bylo určeno jako součet vážených hodnot podle bodového ohodnocení.

Koncept	Váha	1		2	
		Hodnota	Vážená h.	Hodnota	Vážená h.
Spolehlivost aplikace těsnění	15%	3	0,45	4	0,60
Složitost řídicího systému	12%	2	0,24	2	0,24
Pořizovací náklady	10%	3	0,31	5	0,52
Kapacita zásobníku	9%	1	0,09	5	0,45
Provozní náklady	9%	3	0,27	3	0,27
Komplexnost	9%	3	0,27	3	0,27
Složitost kinematických pohybů zařízení	7%	2	0,15	4	0,30
Energetická náročnost	7%	4	0,30	2	0,15
Integrace zařízení	7%	4	0,30	4	0,30
Využití standardních dílů	6%	3	0,18	3	0,18
Objemnost řešení	4%	3	0,13	3	0,13
Hmotnost zařízení	3%	2	0,06	4	0,12
<b>Skóre</b>			<b>2,7</b>		<b>3,5</b>
<b>Pořadí</b>			<b>2.</b>		<b>1.</b>

Tab. 11: Rozhodovací matice – detailní hodnocení konceptů  
Zdroj: Vlastní

Na základě vyhodnocení rozhodovací matice je patrné, že koncept 2 nejlépe vyhovuje požadavkům na inovaci zařízení. Proto bude dále v této práci detailně rozpracován právě tento koncept.

## ZVOLENÁ VÁRIANTA: KONCEPT 2

## 7 Konstrukční řešení zvolené varianty aplikačního zařízení

V této kapitole bude proveden postupně návrh jednotlivých konstrukčních celků aplikačního zařízení, včetně potřebných výpočtů.

### 7.1 Návrh aplikační jednotky

Aplikační jednotka je tvořena zásobníkem pěnových těsnění, posuvným mechanismem, který zajišťuje vysunutí těsnění do pozice pro oddělení krycí pásky. V této pozici je těsnění přidržováno čelistmi, jejich pohyb zajišťuje mechanické paralelní chapadlo. Pneumaticky zavírané chapadlo je standardním komponentem od společnosti FESTO®, zabývající se výrobou pneumatické a manipulační techniky. [4]

#### Určení hmotnosti aplikační jednotky

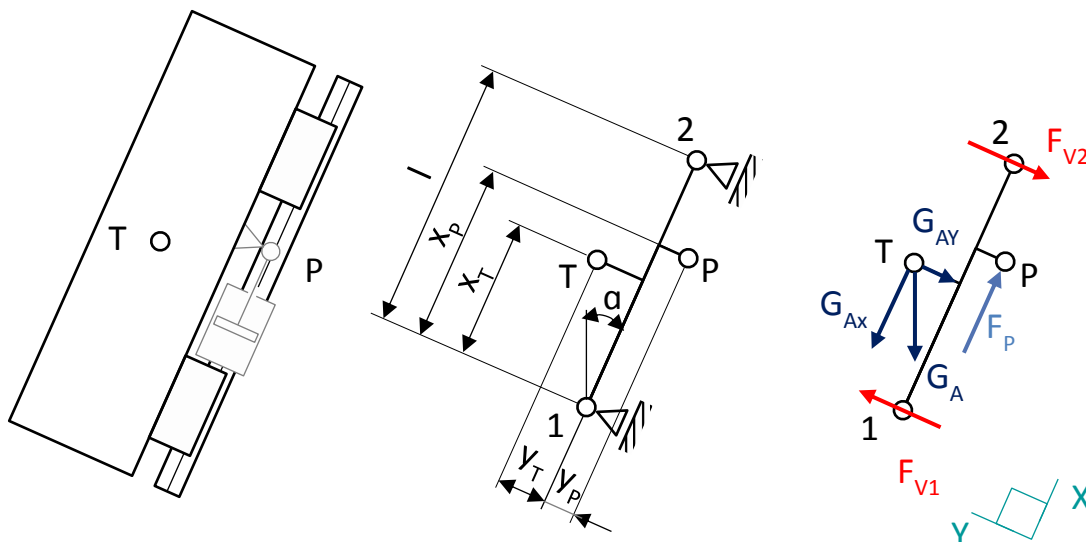
Určení hmotnosti manipulované sestavy je základním parametrem pro následné výpočty pro návrh lineárního vedení a výpočet průměru pístu zajišťujícího pohyb aplikační jednotky. V následující tabulce (Tab. 12) jsou uvedeny dílčí hmotnosti jednotlivých dílů, jejich hmotnosti byly definovány na základě 3D návrhu nebo dle technické specifikace výrobce daného dílů. Celková hmotnost aplikační jednotky je dána součtem všech dílčích hmotností.

Název dílu	Počet kusů [ks]	Hmotnost [kg]
Základní deska	1	2,40
Zadní stěna	1	4,20
Vedení střed	2	6,00
Středící trn	2	0,18
Vozík	4	0,30
Rám	1	1,70
Bezpečnostní válec	1	2,50
Podavač	1	0,40
Chapadlo	1	1,70
Upínací čelist	2	0,20
Kryt	2	1,20
Těsnění	60	0,01
Ostatní spojovací a pneu. Materiál	1	5,0
<b>Celková hmotnost aplikační jednotky <math>m</math></b>		<b>34,56 [kg]</b>

Tab. 12: Určení hmotnosti aplikační jednotky  
Zdroj: Vlastní

## 7.2 Výpočet rozložení sil na aplikační jednotce

Pro zjednodušení výpočtu bude uvažována symetrie aplikační jednotky podél roviny XY. Při výpočtu sil, bude symetrie brána v potaz a síly zatěžující vozíky tak budou mít poloviční velikost a budou označeny indexem „2“.



Vstupní parametry

$$\begin{aligned} m_A &= 34,6 \text{ [kg]} & y_T &= 137,0 \text{ [mm]} \\ \alpha &= 20,0 \text{ [}^\circ\text{]} & x_T &= 190,4 \text{ [mm]} \\ l &= 400,0 \text{ [mm]} & y_P &= 30,0 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Obr. 22: Rozložení sil na aplikační jednotce

Zdroj: Vlastní

Zatěžující síla  $G_A$  – tíhová síla aplikační jednotky

$$G_A = m_A \cdot g = 34,56 \cdot 9,81 = 343,4 \text{ [N]} \quad (1)$$

Rozložení síly  $G_A$  do složek podle souřadného systému

$$G_{Ax} = G_A \cdot \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$G_{Ay} = G_A \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

Rovnice statické rovnováhy pro aplikační jednotku

$$\rightarrow x : F_P - G_{Ax} = 0 \quad (4)$$

$$\uparrow y : F_{V1} - G_{Ay} - F_{V2} = 0 \quad (5)$$

$$\curvearrowright A : G_{Ay} \cdot x_T - G_{Ax} \cdot y_T + F_{V2} \cdot l - F_P \cdot y_P = 0 \quad (6)$$

### 7.3 Návrh pneumatického válce posuvu aplikační jednotky

Pohyb aplikační jednotky bude zajištěn jedním pneumatickým válcem. Jeho pohyb bude řízen aplikací v závislosti na jeho poloze – hodnota je získávána z odměřovacího systému přímo na pneumatickém válci. Síla pneumatického válce bude průběžně vyhodnocována řídicí aplikací. Síla bude regulována pomocí protitlaku a proporcionálními ventily umístěnými na obou přívodech stlačeného vzduchu do válce. Pozice pneumatického válce byla navržena tak, aby jeho pohyb probíhal rovnoběžně s posuvem aplikační jednotky.

Výpočet zdvihové síly pneumatického válce  $F_P$

- Síla  $F_P$  bude vyjádřena z rovnice statické rovnováhy (4)

$$F_P = G_A \cdot \cos \alpha = 343,4 \cdot \cos 20^\circ = 322,6 \text{ [N]} \quad (7)$$

Určení průměru pístu  $d_A$

$$p = \frac{F_P}{S} = \frac{F_P}{\frac{\pi \cdot d_A^2}{4}} \Rightarrow d_A \quad (8)$$

$$d_A = \sqrt{\frac{4 \cdot F_P}{\pi \cdot p}} \cdot k = \sqrt{\frac{4 \cdot 322,6}{\pi \cdot 0,6}} \cdot 1,2 = 31,4 \text{ [mm]} \cong 32 \text{ [mm]} \quad (9)$$

Vstupní parametry pro volbu pneumatického válce

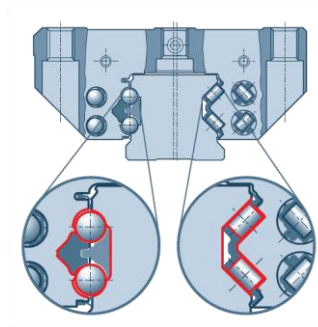
$p$	=	0,6 [MPa]	tlak v pneumatickém obvodu
$k$	=	1,2	součinitel bezpečnosti
$l$	=	150 [mm]	zdvih válce

Z katalogu výrobce Festo® byl zvolen válec s průměrem pístu 32 mm:

**DSBC-32-150-C-PPSA**

## 7.4 Návrh lineárního vedení aplikační jednotky

Celá jednotka se bude pohybovat po lineárním vedení ve vertikálním směru natočená o úhel  $20^\circ$  tak, aby čelní rovina aplikační jednotky byla paralelní vůči ploše výduchu klimatizace, kam má být těsnění aplikováno. Lineární vedení musí zajistit plynulý a přesný pohyb s co nejmenším koeficientem tření a požadovanou tuhostí a přesností. Pro tuto aplikaci bylo zvoleno lineární vedení od společnosti Rexroth využívající valivých elementů, čímž je koeficient valivého tření snižen jen na 2 %. Profilovaná kolejnice umožňuje vozíku zachytit síly ve vertikálním i horizontálním směru. [5]



Obr. 23: Příklad kuličkového (vlevo) a válečkového (vpravo) provedení lineárního vedení s valivými členy  
Zdroj: [5]

Výpočet sil zatěžujících vozíky pojíždějící po lineárním vedení

- Vztahy pro výpočet sil působících na vozíky budou odvozeny z výrazů (5) a (6)
- Vzhledem k symetrii řešené úlohy, budou vypočtené síly působící na vozíky vyděleny dvěma, protože zatížení, i zatěžující síly se rovnoměrně rozdělí mezi obě strany pojezdu.

$$(6) \rightarrow F_{V2} = \frac{G_{Ax} \cdot y_T + F_P \cdot y_P - G_{Ay} \cdot x_T}{l} \quad (10)$$

$$F_{V2} = \frac{G_A \cdot \cos \alpha \cdot y_T + F_P \cdot y_P - G_A \cdot \sin \alpha \cdot x_T}{l}$$

$$F_{V2} = \frac{343,4 \cdot \cos(20^\circ) \cdot 137 + 322,6 \cdot 30 - 343,4 \cdot \sin(20^\circ) \cdot 190,4}{400}$$

$$F_{V2} = 82,2 \text{ [N]}$$

$$(5) \rightarrow F_{V1} = G_{Ay} + F_{V2} \quad (11)$$

$$F_{V1} = G_A \cdot \sin \alpha + F_{V2} = 343,4 \cdot \sin(20^\circ) + 82,2$$

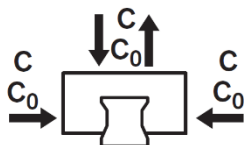
$$F_{V1} = 199,6 \text{ [N]}$$

Upravené síly  $F_{V1}$  a  $F_{V2}$  pro návrh vhodného vozíku (vozík 1 a 2 viz Obr. 22 lineárního vedení).

$$F_{V1-1} = \frac{1}{2} \cdot F_{V1} = \frac{1}{2} \cdot 199,6 = 99,8 \text{ [N]} \quad (12)$$

$$F_{V2-1} = \frac{1}{2} \cdot F_{V2} = \frac{1}{2} \cdot 82,2 = 41,1 \text{ [N]} \quad (13)$$

Pro volbu vozíku byla uvažována větší z obou vypočtených sil –  $F_{V1-1}$ . Vzhledem k vertikálnímu pohybu jednotky a relativně nízké hmotnosti aplikační jednotky, bylo zvoleno profilové kolejničové vedení s vozíky typu SNS R1622. Dle katalogových parametrů udávaných výrobcem bude plně vyhovovat velikost vozíku 20. Přehled parametrů zvoleného typu vozíku je uveden v Tab. 13. [5]



Obr. 24: Lineární vedení  
Zdroj: [5]

### Charakteristika lineárního vedení

Rychlost posuvu	vmax	5	[ms <sup>-1</sup> ]
Zrychlení	amax	500	[ms <sup>-2</sup> ]
Povolené zatížení	C	23 400	[N]
	C0	29 800	[N]
	Mt	300	[Nm]
	Mt0	380	[Nm]
	ML	200	[Nm]
	ML0	260	[Nm]

Tab. 13: Charakteristika lineárního vedení  
Zdroj: [5]

## 7.5 Návrh oddělovací jednotky

V této variantě řešení bude pro oddělení krycí pásky použit systém využívající vakua. Pomocí přísavky dojde k zachycení krycí pásky. Následně, pomocí kyvného ramena otáčeného pneumatickým kyvným pohonem, dojde k oddělení pásky. Potřebný podtlak pro manipulaci s krycí páskou bude zajišťovat vakuový ejektor. Parametry přísavky a vakuového ejektoru budou navrženy v následujících odstavcích.

### Definice vakua

*„Vakuum je stav plynu, kdy je hustota jeho částic nižší než hustota částic zemské atmosféry na úrovni hladiny moře. Tlak se u pneumatické techniky všeobecně specifikuje jako kladný nebo manometrický tlak (proti okolnímu tlaku) To naopak znamená, že vakuum je vždy vyjadřováno jako záporná hodnota (měřená směrem dolů od úrovně okolního tlaku). Jednotkami, které se obvykle používají, je bar nebo milibar (mbar) (1 bar = 1 000 mbar). Tato jednotka je odvozena od jednotky tlaku podle soustavy jednotek SI, pascalu (Pa). Dříve běžně používané jednotky tlaku, jako jsou torr, kp/cm<sup>2</sup>, at, atm, mWS a mmHg, by se již neměly používat.“* [6]

V závislosti na požadované aplikaci a od toho odvíjející se hloubky vakua, je možné k vytvoření podtlaku využít proudové (ejektor) či mechanické vývěvy (kompresoru). Vakuové ejektory jsou nejrozšířenější především v oblasti robotiky, kde jsou využívány k uchopování a manipulaci s břemeny, kdy je vyžadováno rychlé upnutí a odčerpává se vzduch z relativně malého objemu. Pro aplikace, kde je čerpán relativně velký objem vzduchu či se jedná o odsávání větších komor, je využíváno např. rotačních vývěv (Rootsova vývěva, difuzní vývěva, ...). V tabulce Tab. 14 jsou uvedeny možné způsoby vytvoření podtlaku a jejich významné vlastnosti.

### Generátory podtlaku

JEDNOSTUPŇOVÉ EJEKTORY	VÍCESTUPŇOVÉ EJEKTORY	VÝVĚVY
Kompaktní a lehké	Střední velikost a hmotnost	Velké a těžké
Rychlá reakce	Středně pomalá reakce	-
Nejmenší průtok	Střední průtok	Největší průtok
Nejnižší pořizovací náklady	Střední pořizovací náklady	Nejvyšší pořizovací náklady
Bez údržby	Citlivější na nečistoty	Nejvyšší náklady na údržbu

Tab. 14: Generátory podtlaku

Zdroj: [7]

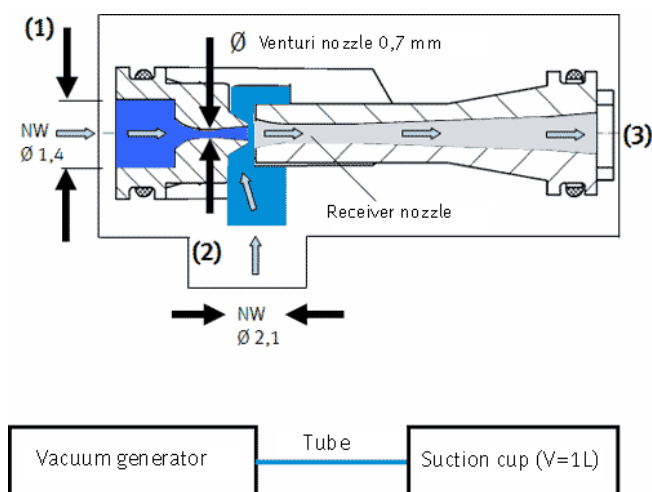


## 7.6 Vakuové ejektory

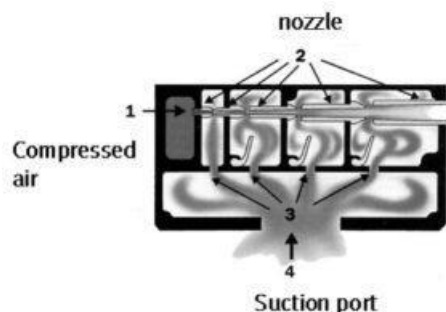
Vakuové ejektory jsou zařízení, jehož pomocí lze dosáhnout/vytvořit podtlak neboli vakuum. případě vakuového ejektoru je, k vytvoření vakua, využíváno Venturiho principu, kdy tlak v proudící tekutině je nepřímo úměrný rychlosti proudění tekutiny. Stlačený vzduch proudící od místa připojení tlakového vzduchu je urychlován ve zúžení, tvořeném difuzorem např. Lavalovou tryskou.

Po výstupu z trysky vzduch zvýší svůj objem a proudí přes trysku přijímače do výstupního otvoru zakončeného tlumičem hluku. Během tohoto procesu se tvoří vakuum v komoře mezi tryskou difuzoru a tryskou přijímače, které způsobují nasávání vzduchu z otvoru připojení vakua. Nasátý vzduch i odpadní vzduch proudí následně ven přes výstupní otvor (tlumič hluku). Vakuové ejektory mohou být jednostupňové i vícestupňové. Výhodou je, že ejektory neobsahují žádné mechanické části.

[6] [7] [8]



Obr. 25: Schéma vakuového ejektoru  
Zdroj: [6]



Obr. 26: Vícestupňový ejektor  
Zdroj: [7]

## Základní typy ejektorů

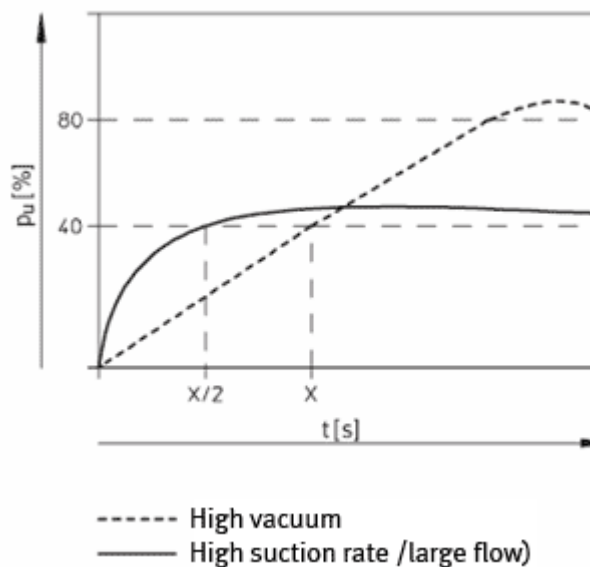
U vakuových ejektorů lze rozlišit dvě rozdílné konstrukce:

**H = hluboké vakuum** - Typ H je optimalizován pro vytváření hlubokého vakua  $> -0,4$  baru. Je vhodný pro použití ve všech standardních aplikacích.

**L = vysoká sací rychlost (velký průtok)** - Typ L je optimalizován pro zajištění vysokých sacích rychlostí při středních úrovních vakua do  $-0,4$  baru. Může být s velkými výhodami používán v kombinaci s porézními výrobky. Díky zvýšené sací rychlosti je lepší reakce na netěsnosti.

[6]

Rozdíl mezi jednotlivými variantami je naznačen v grafu Graf 1:



Graf 1: Porovnání ejektorů typu H a L

Zdroj: [6]

## 7.7 Efekторы – chapadla – přísavky

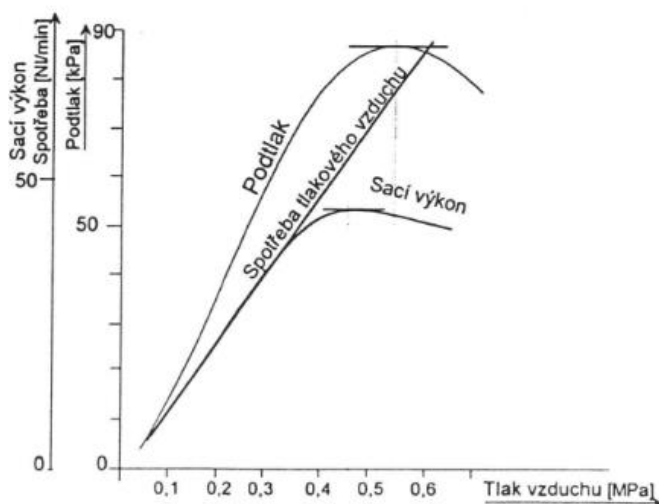
Přísavky jsou nejčastěji využívány v oblasti robotiky, kde slouží jako zakončení efektorů průmyslových robotů. Přísavky zprostředkovávají styk mezi úchopnou hlavicí a manipulovaným předmětem. K uchopení tělesa může být využito působení aktivní či pasivní síly.

**Pasivní** - úchopná síla je vyvozována pasivně, př. silou pružiny

**Aktivní** - úchopná síla je vyvozována aktivně prostřednictvím pohonu.

[9]

Manipulace pomocí přísavek nabízí jednoduché, cenově dostupné, spolehlivé a bezpečné řešení. Ve své podstatě přísavka není k manipulovanému předmětu přisáta, ale je k předmětu přitlačována vnějším atmosférickým tlakem. Větší přitlačné síly je možné dosažením většího podtlaku uvnitř přísavky. Zvyšování úrovně vakua s sebou však přináší narůstající náklady, což je nezbytné zvážit při návrhu přísavky. Například, jak udává [8], zvýšení úrovně vakua -60 kPa na -90 kPa se zvětší přídržná síla dané přísavky o cca. 20–30 %, ale spotřeba energie stoupne zhruba desetkrát. Závislost vytvořeného podtlaku vakuovým ejektorem a spotřeba tlakového vzduchu je naznačena na grafu níže (Graf 2).



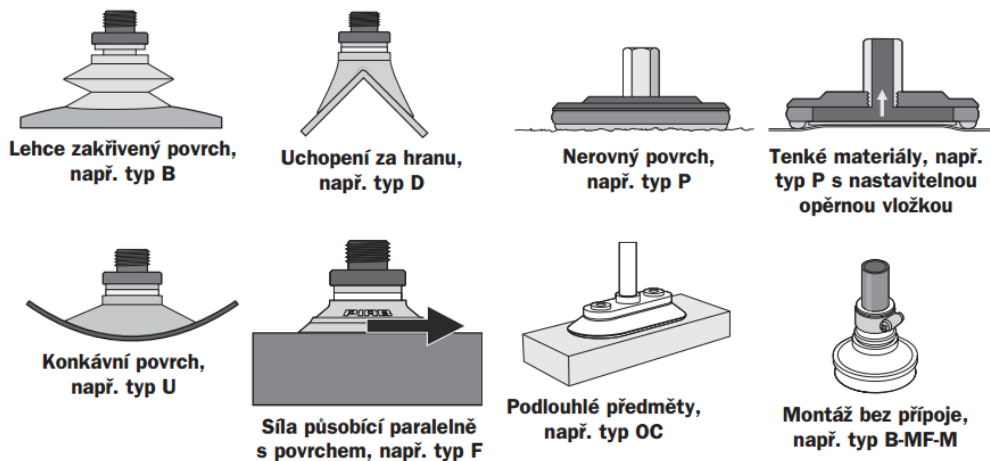
Graf 2: Závislost podtlaku na sacím výkonu ejektoru

Zdroj: [9]

S ohledem na tuto skutečnost je nutné při volbě přísavky a ejektoru volit optimální řešení. Tím může být volba větší přísavky, nebo rozložení síly mezi více přísavek při zachování úrovně vakua.

## Typy přísavek

Manipulované předměty mohou mít různé tvary a povrchy, což si žádá také různé tvary ucpávek, viz Obr. 27.



Obr. 27: Typy přísavek  
Zdroj: [8]

## Materiály přísavek

- FMP (fluorkaučuk)
- NBR (nitrilkaučuk)
- BR (butadien-kaučuk)
- VMQ (silikon)
- PUR (polyuretan)
- Vulkollan®

[8]

## 7.8 Výpočet a návrh přísavky

Stanovení velikosti přísavky je možné zjednodušeně provést na základě zatížení a dostupné úrovně vakua. Do úvahy je však nutno zahrnout i další faktory.

**Teoretická přídržná síla  $F_t$**  – síla působící kolmo na plochu předmětu.  $\Delta p$  je rozdíl tlaku mezi okolím tlakem a tlakem systému,  $A$  je efektivní plocha přísavky.

$$F_t = \Delta p \cdot A \quad (14)$$

**Koeficient tření  $\mu$**  – je dalším aspektem při návrhu přísavky. Koeficient aproximuje vztah mezi třecí silou a normálovou silou.

olejnatý povrch = 0,1

vlhký nebo mokrý povrch = 0,2 až 0,4

sklo, kámen a suchý plast = 0,5

drsne povrchy = 0,6

**Bezpečnostní faktor  $S$**  – obdobně, jako u jiných konstrukčních návrhů, je nezbytné zohlednit faktor bezpečnosti. Při teoretickém výpočtu přídržných sil nelze zahrnout, a v praxi není ani možné odhadnout všechny vnější vlivy, které mohou potřebnou velikost přídržovací síly ovlivnit. Bezpečnostní faktor by měl být nejméně 1,5–2, v případě rychlých operací s kývavým pohybem nebo otáčením, doporučují výrobci volit bezpečnostní faktor i 2,5 a vyšší, aby bylo zajištěno dobré uchopení a bezpečnost v okolí pracoviště.

[10]

K výpočtu přídržné síly je potřeba znát hmotnost manipulovaného předmětu a další materiálové vlastnosti pro určení koeficientu tření. Jedná se o pórovitost (porézní nebo hermeticky utěsněný) a povrch (hladký/drsny). Případně pak, hraje roli, zda je povrch suchý, či mastný.

[6]

## Výpočet přidržovací síly

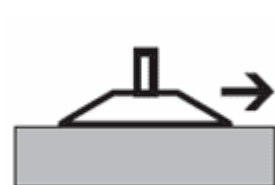
Vztah pro výpočet přidržovací síly je závislý na dané situaci, ve které se vůči sobě nachází předmět a přísavka a v jakém směru probíhá manipulace.

### Situace 1



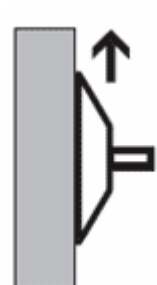
$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot S \quad (15)$$

### Situace 2



$$F_H = m \cdot (g + a/\mu) \cdot S \quad (16)$$

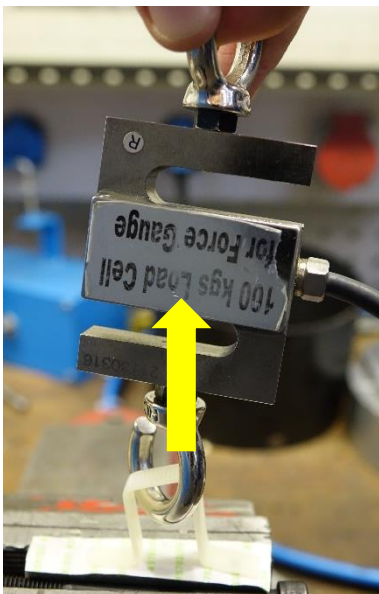
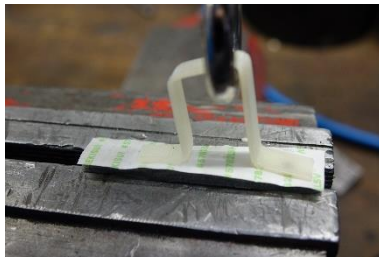
### Situace 3



$$F_H = \frac{m}{\mu} \cdot (g + a) \cdot S \quad (17)$$

## 7.9 Experiment – určení síly pro oddělení krycí pásky

Účelem tohoto experimentu bylo určení síly, potřebné k oddělení krycí pásky od pěnového těsnění. Během experimentu byly simulovány předpokládané podmínky, za kterých by probíhalo odlepování pásky při výrobě.



- Největší síla je předpokládána v počáteční fázi oddělení krycí pásky od vrstvy na tlak citlivého lepidla. V této chvíli je páska přilepena na největší ploše, a proto bude nejvyšší i potřebná síla k oddělení. Během postupujícího oddělování je styčná plocha stále zmenšuje a úhel, pod kterým je krycí páska oddělována, je příznivější. V první fázi oddělení síla působí kolmo k ploše krycí pásky.
- Na krycí pásku bylo připevněné plastové oko pro zavěšení tenzometru. Vzorek pěnového těsnění byl následně upnut do svěraku, přičemž mezera mezi čelistmi odpovídá mezeře při uzavření upínače navrhovaného zařízení na Obr. 29.
- Po stisknutí pěnového těsnění dojde k jeho deformaci, jak je vidět na Obr. 29. Tím se zmenší styková plocha mezi krycí páskou a lepidlovou vrstvou.
- Po připojení tenzometru do daného oka je plynule navyšována síla ve svislém směru, dokud nedojde k oddělení krycí pásky. Nejvyšší hodnota (peak) je zaznamenána na displeji tenzometru.

Obr. 28: Upnutí vzorku pěnového těsnění  
Zdroj: Vlastní

Pozice před sevřením čelistí



Pozice po sevření čelistí



Obr. 29: Uchycení těsnění v čelistech  
Zdroj: Vlastní



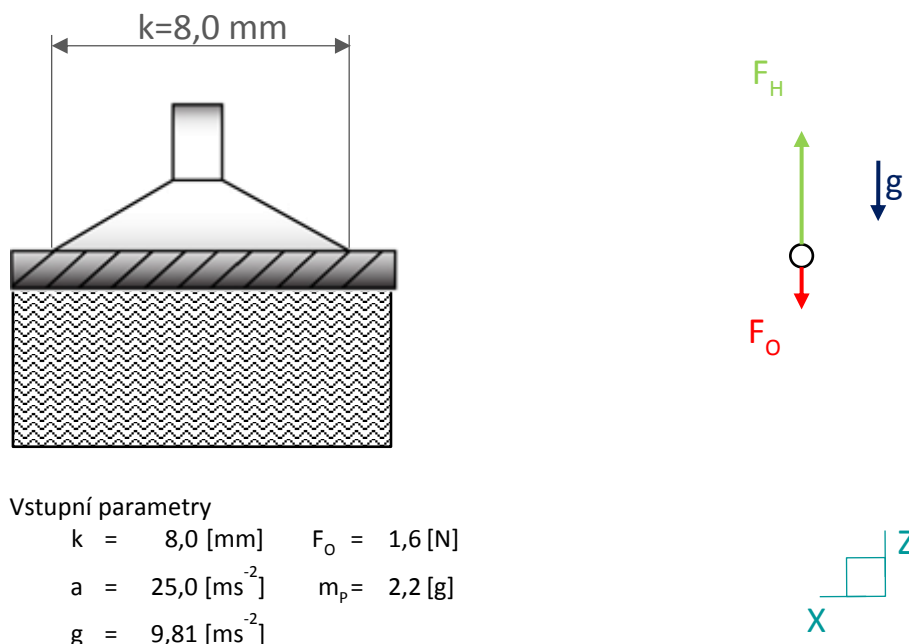
Obr. 30: Tenzometr - naměřená hodnota  
Zdroj: Vlastní

Výsledná síla, naměřená během experimentu, dosáhla hodnoty 1,6 N.



## 7.10 Výpočet přídržné síly přísavky

Při oddělení krycí pásky se předpokládá pohyb po kruhové dráze. Ve chvíli odtržení bude přísavka kolmo na rovinu krycí pásky. Na krátkém úseku, kde dojde k oddělení pásky od těsnění, lze považovat dráhu za přímou a výpočet přísavky je možno provést obdobně jako pro zdvihací sílu ve svislém směru podle vztahu (15). Ve vztahu je však nutné zohlednit oddělovací sílu  $F_0$  potřebnou pro oddělení krycí pásky od lepidla části těsnění. Velikost síly  $F_0$  byla určena experimentálně v kapitole 7.9, její hodnota je 1,6 N. Pro pneumatický kyvný pohon, zajišťující rotační pohyb přísavky, lze na základě empirických vztahů uvažovat zrychlení  $a = 25 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$  a součinitel bezpečnosti  $S = 2,5$ , protože se jedná o rotační pohyb. Hmotnost krycí pásky činí  $m = 2,2 \text{ [g]}$ .



Vstupní parametry

$$\begin{aligned} k &= 8,0 \text{ [mm]} & F_0 &= 1,6 \text{ [N]} \\ a &= 25,0 \text{ [ms}^{-2}\text{]} & m_p &= 2,2 \text{ [g]} \\ g &= 9,81 \text{ [ms}^{-2}\text{]} \end{aligned}$$

Obr. 31: Schéma pro návrh přísavky

Zdroj: Vlastní

Upravený vztah pro výpočet přídržovací síly  $F_H$

$$F_H = [m_p \cdot (g + a) + F_0] \cdot S \quad (18)$$

$$F_H = [2,2 \cdot 10^{-3} \cdot (9,81 + 25) + 1,6] \cdot 2,5$$

$$F_H = 4,2 \text{ [N]}$$

Z katalogu výrobce byla vybrána vhodná oválná přísavka o rozměrech 6x20 mm s přídržnou silou  $F_{H \text{ PŘÍSAVKA}} = 5,9 \text{ [N]}$  při jmenovitém provozním tlaku  $p_u = -0,7 \text{ [bar]}$ .

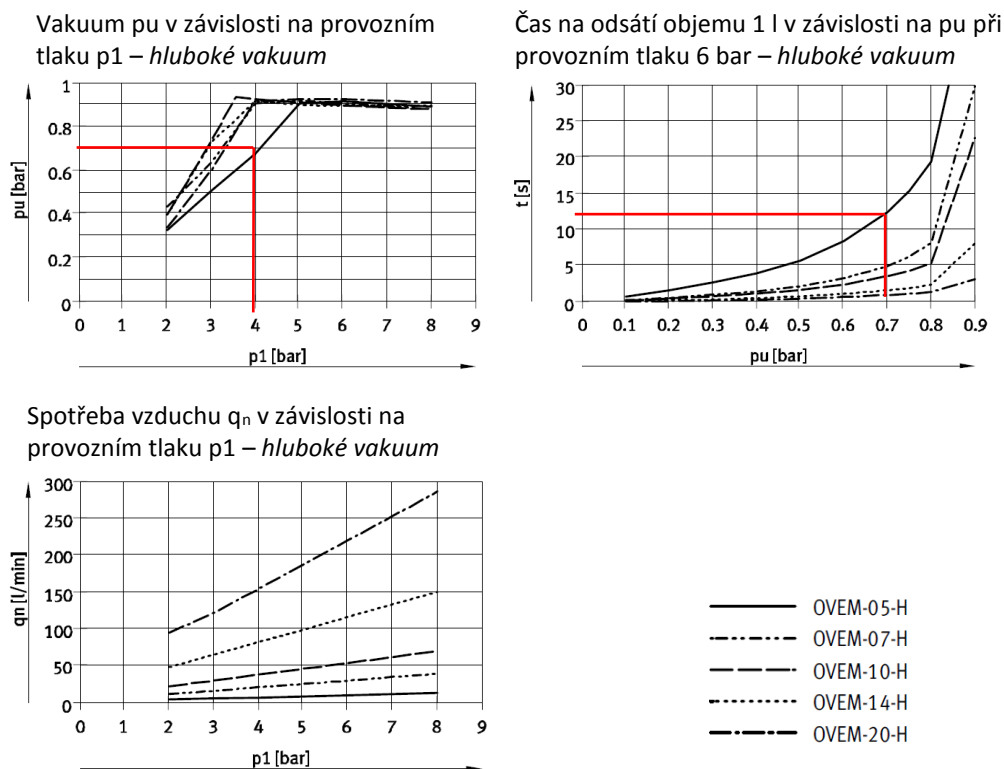
## 7.11 Volba vakuového ejektoru

Vakuový ejektor bude zvolen z katalogu společnosti FESTO® shodně s ostatními komponentami pro pneumatický obvod. Pro volbu správného ejektoru je nutné vzít v úvahu provozní parametry a veškeré vstupní podmínky. Na základě výpočtu přidržovací síly přísavky, je požadovaný podtlak  $p_u = -0,7$  bar, pracovní tlak pneumatického obvodu zařízení činí  $p_1 = 6$  bar. Vzhledem k tomu, že krycí páska není porézní materiál, není nutné odčerpávat vzduch po celou dobu přidržování pásy a lze volit ejektor pro hluboké vakuuum.

Vakuový ejektor bude v klidu v uzavřené poloze a nebude tvořit vakuuum. Po přisátí krycí pásy a jejím oddělení, bude v koncové poloze využít vyfukovací impuls pro odhození krycí pásy do sběrného skluzu.

Pro zvolenou aplikaci bude vyhovovat vakuový ejektor s označením:

OVEM-05-H-B-QO-CE-N-1PD jehož parametry jsou specifikovány dále v Graf 3.



Graf 3: Charakteristiky vakuových ejektorů

Zdroj: [11]

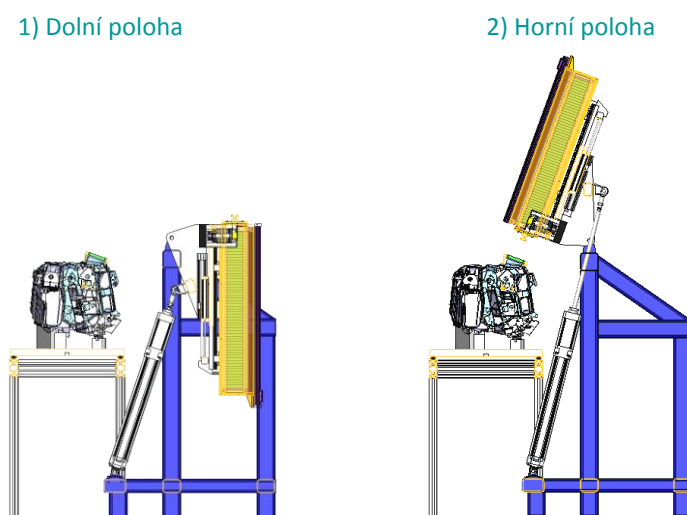
Z uvedených závislostí v grafech lze odečíst předpokládané hodnoty pro následné vyhodnocení efektivnosti návrhu a ekonomického hodnocení. Čas potřebný pro odsání přísavky bude  $t_s = 0,1$  s, objem spotřebovaného vzduchu  $q_n = 0,1$  l/min.

## 8 Návrh mechanismu otáčení aplikační jednotky

Zásobník aplikační jednotky má pouze omezenou kapacitu, z čehož vyplývá potřeba opětovného doplnění materiálu pracovníkem logistiky. Zásobník je dimenzován na 1 hodinu výrobního provozu. Po spotřebování zásoby v zásobníku se musí aplikační jednotka otočit do svislé polohy aplikační částí vzhůru, aby bylo možné doplnit materiál.

Pro otáčení jednotky bylo navrženo otáčení pomocí pneumatického válce. Během pracovního cyklu válec zajišťuje natočení aplikační jednotky vůči výrobku. Válec typu DNCKE od společnosti FESTO® je navržen navíc tak, aby sloužil jako bezpečnostní prvek v případě náhlého výpadku energie a poklesu tlaku. Nastavení a bezpečná fixace v libovolné poloze zároveň umožňují snadné nastavení koncové polohy. Potřebný průměr pístu válce byl stanoven na základě výpočtu níže.

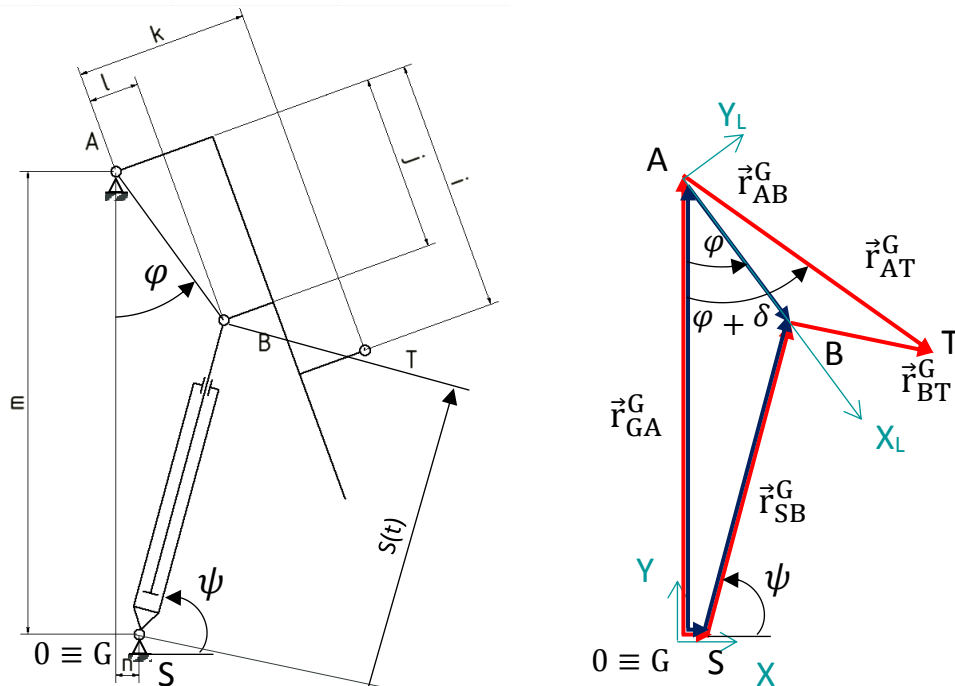
Při výpočtu byly uvažovány mezní polohy pohybu mechanismu (dolní a horní) pro výpočet působících sil. Vstupní parametry pro výpočet dynamických sil v jednotlivých polohách budou určeny na základě sestavených kinematických rovnic.



Obr. 32: Mezní polohy při otáčení aplikační jednotky  
Zdroj: Vlastní

## 8.1 Rozbor kinematiky mechanismu

Určení vztahu mezi rychlostí pohybu pneumatického válce otáčejícího jednotku a radiálním zrychlením aplikační jednotky. Pohyb jednotky zajišťuje mechanismus s jedním stupněm volnosti. Jedná se o řešení první úlohy kinematiky, kdy jsou předem známy trajektorie pohybu a budou odvozovány síly působící na mechanismus. Mechanismus tvoří základna aplikační jednotky, uložená volně na čepech a pneumatický válec. Na Obr. 33 je vyobrazeno schéma mechanismu (vlevo) a znázornění smyček vektorů pro sestavení kinematických rovnic (vpravo).



Obr. 33: Kinematické schéma mechanismu  
Zdroj: Vlastní

Sestavení vztahu popisujícího polohu bodu T v globálním souřadném systému.

$$\begin{aligned}\vec{r}_T^G &= \vec{r}_{GA}^G + \vec{r}_{AT}^G \\ \vec{r}_T^G &= \vec{r}_{GA}^G + T^{GL} \cdot \vec{r}_{AT}^A = \begin{pmatrix} 0 \\ m \end{pmatrix} + T^{GL} \begin{pmatrix} i \\ k \end{pmatrix} \\ \vec{r}_T^G &= \begin{pmatrix} 0 \\ m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ k \end{pmatrix} \\ \vec{r}_T^G &= \begin{pmatrix} i \cdot \sin \varphi + k \cdot \cos \varphi \\ m - i \cdot \cos \varphi + k \cdot \sin \varphi \end{pmatrix} \quad (19)\end{aligned}$$

Derivací prvního řádu podle času ( $t$ ) vztahu (19) získáme vztah vyjadřující úhlovou rychlost bodu T.

$$(5) \rightarrow \frac{d\vec{r}_T^G}{dt} = \begin{pmatrix} i \cdot \sin \varphi + k \cdot \cos \varphi \\ m - i \cdot \cos \varphi + k \cdot \sin \varphi \end{pmatrix} \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\vec{v}_T^G = \begin{pmatrix} i \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} - k \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ i \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} + k \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{pmatrix} \quad (20)$$

Derivací druhého řádu podle času ( $t$ ) vztahu (19) získáme vztah vyjadřující úhlové zrychlení bodu T.

$$(5) \rightarrow \frac{d^2\vec{r}_T^G}{dt^2} = \begin{pmatrix} i \cdot \sin \varphi + k \cdot \cos \varphi \\ m - i \cdot \cos \varphi + k \cdot \sin \varphi \end{pmatrix} \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

$$\vec{a}_T^G = \begin{pmatrix} i \cdot \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi} - i \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \varphi - k \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \cos \varphi - k \cdot \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi} \\ i \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} - k \dot{\varphi}^2 \cdot \sin \varphi + k \cdot \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi} + i \cdot \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi} \end{pmatrix} \quad (21)$$

Rovnice (22) popisuje rovnost vektorů (červená a modrá smyčka na Obr. 33) vyjadřující polohu bodu T v globálním souřadném systému.

$$\vec{r}_{GA}^G + \vec{r}_S^G = \vec{r}_{GB}^G + \vec{r}_{BS}^G \quad (22)$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ m \end{pmatrix} + T^{GL} \begin{pmatrix} j \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n \\ 0 \end{pmatrix} + T^{GB} \begin{pmatrix} s \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} j \cdot \sin \varphi + i \cdot \cos \varphi \\ m + i \cdot \sin \varphi - j \cdot \cos \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n + s \cdot \cos \psi \\ s \cdot \sin \psi \end{pmatrix}$$

$$j \cdot \sin \varphi + i \cdot \cos \varphi - n = s \cdot \cos \psi \quad / \wedge^2$$

$$m + i \cdot \sin \varphi - j \cdot \cos \varphi = s \cdot \sin \psi \quad / \wedge^2$$

$$(j \cdot \sin \varphi + i \cdot \cos \varphi - n)^2 = (s \cdot \cos \psi)^2$$

$$(m + i \cdot \sin \varphi - j \cdot \cos \varphi)^2 = (s \cdot \sin \psi)^2$$

$$(j \cdot \sin \varphi + i \cdot \cos \varphi - n)^2 + (m + i \cdot \sin \varphi - j \cdot \cos \varphi)^2 = s^2 \quad (23)$$

Úpravou vztahu (23) se vyjádří závislost úhlu pootočení  $\varphi$  na dráze pístu  $s$ .

$$\varphi = \pm 2 \cdot$$

$$\arctan \left( \frac{2 \cdot j \cdot n - 2 \cdot i \cdot m + \sqrt{2 \cdot i^2 \cdot m^2 - 2 \cdot i^2 \cdot j^2 - i^4 + 2 \cdot i^2 \cdot n^2 + 2 \cdot i^2 \cdot s^2 - j^4 + 2 \cdot j^2 \cdot m^2 + 2 \cdot j^2 \cdot n^2 + 2 \cdot j^2 \cdot s^2 - m^4 - 2 \cdot m^2 \cdot n^2 + 2 \cdot m^2 \cdot s^2 - n^4 + 2 \cdot n^2 \cdot s^2 - s^4}}{i^2 + 2 \cdot i \cdot n + j^2 + 2 \cdot j \cdot m + m^2 + n^2 - s^2} \right)$$

(24)

Derivací vztahu (23) podle času se vyjádří úhlová rychlost  $\dot{\varphi}$

$$\dot{\varphi} = \frac{s \cdot \dot{s}}{i \cdot m \cdot \cos \varphi - j \cdot n \cdot \cos(\varphi) + i \cdot n \cdot \sin(\varphi) + j \cdot m \cdot \sin(\varphi)}$$

(25)

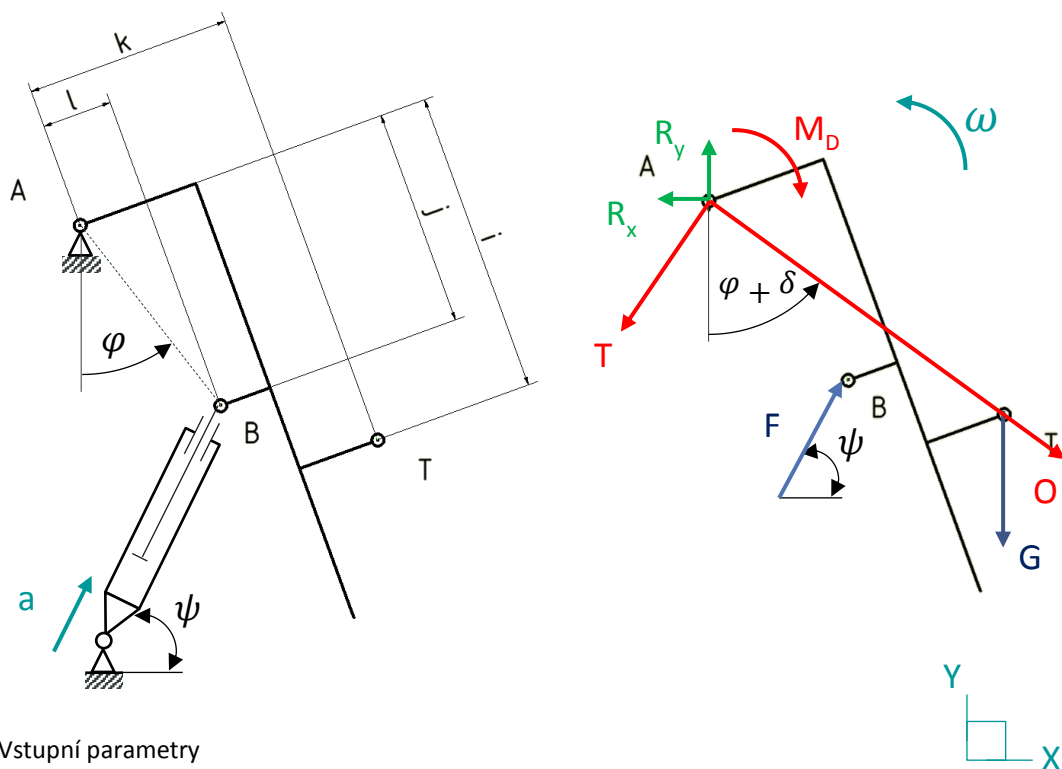
Druhou derivací vztahu (23) se vyjádří zrychlení  $\ddot{\varphi}$

$$\ddot{\varphi} = \frac{s \cdot \ddot{s} + \dot{s}^2 - i \cdot n \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \cos(\varphi) - j \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \cos(\varphi) + i \cdot m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin(\varphi) - j \cdot n \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot \sin(\varphi)}{i \cdot m \cdot \cos(\varphi) - j \cdot n \cdot \cos(\varphi) + i \cdot n \cdot \sin(\varphi) + j \cdot m \cdot \sin(\varphi)}$$

(26)

## 8.2 Výpočet rozložení sil – dolní poloha

Při rozboru silových účinků v dolní poloze je předpokládáno rovnoměrné zrychlení pneumatického pístu v okamžiku započetí pohybu o velikosti  $a=2 \text{ ms}^{-2}$ , který otáčí základnou aplikační jednotky. Po počátečním zrychlení je uvažován pohyb pístu jako rovnoměrný.



Vstupní parametry

$i = 285,0 \text{ [mm]}$	$m_{AP} = 102,0 \text{ [kg]}$
$j = 230,0 \text{ [mm]}$	$\alpha = 5,65 \text{ [rad s}^{-2}\text{]}$
$k = 210,7 \text{ [mm]}$	$\delta = 0,64 \text{ [rad]}$
$l = 18,0 \text{ [mm]}$	$\varphi = 0,064 \text{ [rad]}$
$r_t = 354,0 \text{ [mm]}$	$\psi = 1,15 \text{ [rad]}$
$J_0 = 1,57 \times 10^7 \text{ [kg mm}^2\text{]}$	$\omega = 0,64 \text{ [rad s}^{-2}\text{]}$

Obr. 34: Rozložení sil – dolní poloha  
Zdroj: Vlastní

Výpočet celkové tíhové síly aplikační jednotky včetně otočné základny

$$G = m_{AP} \cdot g = 102 \cdot 9,81 = 1\,000,3 \text{ [N]} \quad (27)$$

Vyjádření sil, vznikajících vlivem dynamických účinků na těleso.

$$M_D = J_0 \cdot \alpha \quad (28)$$

$$T = m \cdot r_t \cdot \alpha \quad (29)$$

$$O = m \cdot r_t \cdot \omega^2 \quad (30)$$

### D' Lambertovi rovnice

$$\begin{aligned} \curvearrowright A: M_D + G \cdot k \cdot \cos(\varphi + \delta) + G \cdot i \cdot \sin(\varphi + \delta) - F \cdot \cos \psi \cdot \sqrt{j^2 + l^2} \cdot \cos(\varphi) \\ - F \cdot \sin \psi \cdot \sqrt{j^2 + l^2} \cdot \sin(\varphi) = 0 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\rightarrow x: -R_x + F \cdot \cos \psi + O \cdot \sin(\varphi + \delta) - T \cdot \cos(\varphi + \delta) = 0 \quad (32)$$

$$\uparrow y: R_y - G + F \cdot \sin \psi - O \cdot \cos(\varphi + \delta) - T \cdot \sin(\varphi + \delta) = 0 \quad (33)$$

### Výpočet velikosti sil – dolní poloha

Ze vztahu (31) lze odvodit výraz pro výpočet síly  $F$  pneumatického pohonu pro otáčení aplikační jednotky. Velikost počátečního zrychlení ( $\alpha=5,65 \text{ rads}^{-2}$ ) při úhlu pootočení ( $\varphi=0,064 \text{ rad}$ ) byla vypočtena dosazením vstupních parametrů do kinematických rovnic sestavených v kapitole 8.1. Hodnota setrvačného momentu ( $J_0=1,57 \times 10^7 \text{ kgmm}^2$ ) byla určena analýzou hmotových účinků v programu Creo. Obdobně úhel sklonu pneumatického válce vůči základní rovině ( $\psi = 1,15 \text{ rad}$ ) byl odměřen z 3D modelu.

$$F = \frac{J_0 \cdot \alpha + G \cdot k \cdot \cos(\varphi + \delta) + G \cdot i \cdot \sin(\varphi + \delta)}{\sqrt{j^2 + l^2} \cdot (\cos(\varphi) + \sin(\varphi))} \quad (34)$$

$$F = \frac{1,57 \times 10^7 \cdot 5,65 + 1000,3 \cdot 210,7 \cdot \cos(0,064 + 0,64) + 1000,3 \cdot 285 \cdot \sin(0,064 + 0,64)}{\sqrt{230^2 + 18^2} \cdot (\cos(1,15) + \sin(1,15))}$$

$$F = 2\,590,7 \text{ [N]}$$



Ze vztahů (32) a (33) a po dosazení za dynamické síly T a O budou odvozeny složky  $R_x$  a  $R_y$  reakční síly R v bodě otáčení A.

$$(32) \rightarrow R_x = m \cdot r_T \cdot \sin(\varphi + \delta) \cdot \omega^2 + F \cdot \cos(\psi) - m \cdot \alpha \cdot r_t \cdot \cos(\varphi + \delta) \quad (35)$$

$$R_x = 102 \cdot 354 \cdot \sin(0,064 + 0,64) \cdot 0,64^2 + 2\,590,7 \cdot \cos(1,15) - 102 \cdot 5,65 \cdot 354 \cdot \cos(0,064 + 0,64)$$

$$\mathbf{R_x = 1\,216,7 [N]}$$

$$(33) \rightarrow R_y = m \cdot r_t \cdot \cos(\varphi + \delta) \cdot \omega^2 + G + F \cdot \sin(\psi) + m \cdot \alpha \cdot r_t \cdot \sin(\varphi + \delta) \quad (36)$$

$$R_y = 102 \cdot 354 \cdot \cos(0,064 + 0,64) \cdot 0,64^2 + 1000,3 + 2\,590,7 \cdot \sin(1,15) + \\ + 102 \cdot 5,65 \cdot 354 \cdot \sin(0,064 + 0,64)$$

$$\mathbf{R_y = 1\,224,1 [N]}$$

Výsledná reakční síla R působící v bodě otáčení A.

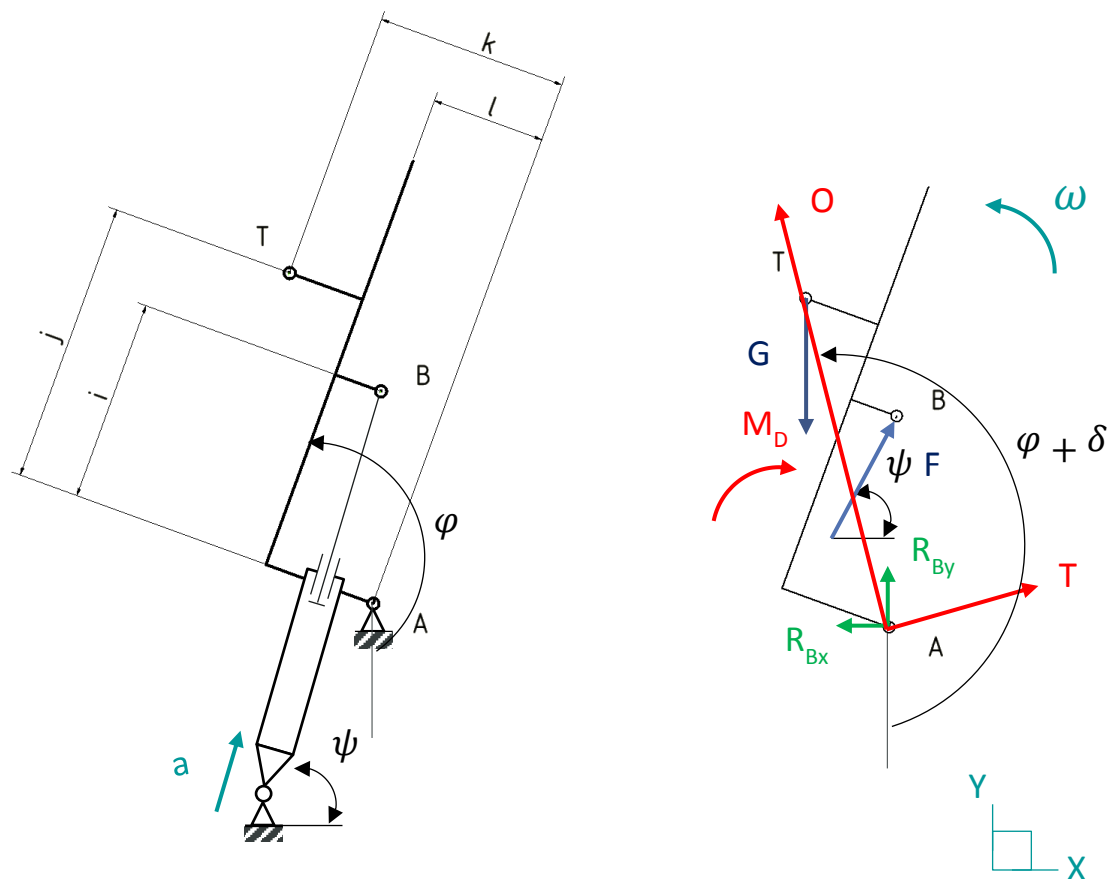
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (37)$$

$$R = \sqrt{(1\,216,7)^2 + (1\,224,1)^2}$$

$$\mathbf{R = 1\,725,9 [N]}$$

### 8.3 Výpočet rozložení sil – horní poloha

V okamžiku, kdy se aplikační jednotka blíží do horní polohy (skloněna vůči základní rovině o  $20^\circ$ ), vestavěné tlumící prvky v pneumatickém válci zajistí plynulý dojezd bez rázu do koncové polohy. Pro výpočet bude uvažována stejná hodnota zrychlení – zbrzdění pneumatického válce  $a = -2 \text{ ms}^{-2}$ . V tomto případě má zrychlení zápornou hodnotu.



Vstupní parametry

$i = 285,0 \text{ [mm]}$	$m_{AP} = 102,0 \text{ [kg]}$
$j = 230,0 \text{ [mm]}$	$\alpha = -6,50 \text{ [rad s}^{-2}\text{]}$
$k = 210,7 \text{ [mm]}$	$\delta = 0,64 \text{ [rad]}$
$l = 18,0 \text{ [mm]}$	$\varphi = 2,79 \text{ [rad]}$
$r_t = 354,0 \text{ [mm]}$	$\psi = 1,13 \text{ [rad]}$
$J_0 = 1,57 \times 10^7 \text{ [kg mm}^2\text{]}$	$\omega = 0,71 \text{ [rad s}^{-2}\text{]}$

Obr. 35: Rozložení sil – horní poloha

Zdroj: Vlastní

### D' Lambertovi rovnice – horní poloha

Do vztahu (34) budou dosazeny vypočtené či změřené hodnoty pro výpočet síly  $F$  pneumatického pohonu pro otáčení aplikační jednotky v horní poloze.

$$F = \frac{1,57 \times 10^7 \cdot (-6,5) + 1000,3 \cdot 210,7 \cdot \cos(2,79 + 0,64) + 1000,3 \cdot 285 \cdot \sin(2,79 + 0,64)}{\sqrt{230^2 + 18^2} \cdot (\cos(2,79) + \sin(2,79))}$$

$$\mathbf{F = 966,7 [N]}$$

Dosazením do vztahů (35) a (36) hodnot pro horní polohu aplikační jednotky budou vypočteny složky  $R_x$  a  $R_y$  reakční síly  $R$  v bodě otáčení A.

$$R_x = 102 \cdot 354 \cdot \sin(2,79 + 0,64) \cdot 0,71^2 + 966,7 \cdot \cos(1,13) + 102 \cdot 6,5 \cdot 354 \cdot \cos(2,79 + 0,64)$$

$$\mathbf{R_x = 342,8 [N]}$$

$$R_y = 102 \cdot 354 \cdot \cos(2,79 + 0,64) \cdot 0,71^2 + 1000,3 + 966,7 \cdot \sin(1,13) - 102 \cdot 6,5 \cdot 354 \cdot \sin(2,79 + 0,64)$$

$$\mathbf{R_y = -160,3 [N]}$$

Výsledná reakční síla  $R$  působící v bodě otáčení A, po dosazení hodnot do vztahu (37) pro horní polohu aplikační jednotky.

$$R = \sqrt{(342,8)^2 + (-160,3)^2}$$

$$\mathbf{R = 378,5 [N]}$$

V Tab. 15 jsou shrnuty hodnoty vypočtené síly  $F$  a reakce  $R$  v uložení v bodě  $A$  ve vyšetřované dolní a horní poloze. Z vypočtených hodnot je patrné, že největší zatížení na čepy a největší síla  $F$  pneumatického pohonu, otáčejícího aplikační jednotku, je v dolní poloze. S těmito hodnotami bude proveden výpočet návrhu průměru pístu a navržen průměr čepů.

Poloha	Síla pístu $F$	Reakce $R$
Dolní poloha	2 590,7 [N]	1 725,9 [N]
Horní poloha	966,7 [N]	378,5 [N]

Tab. 15: Souhrn vypočtených sil ve vyšetřovaných polohách natočení  
Zdroj: Valstní

## 8.4 Návrh průměru pístu pro otáčení aplikační jednotky

Potřebný průměr pístu válce pro otáčení aplikační jednotky bude určen na základě vypočtené síly  $F$ . Z výše provedených výpočtů vyplývá, že největší hodnota síly  $F$  byla v horní poloze.

Určení průměru pístu  $d_o$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}} \Rightarrow d_o \quad (38)$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} \cdot k = \sqrt{\frac{4 \cdot 2\,590,7}{\pi \cdot 0,6}} \cdot 1,2 = 88,9 \text{ [mm]} \cong 100 \text{ [mm]} \quad (39)$$

Vstupní parametry pro volbu pneumatického válce

$F = 2\,590,7$ [N]	síla působící na píst
$p = 0,6$ [MPa]	tlak v pneumatickém obvodu
$k = 1,2$	součinitel bezpečnosti
$l = 420$ [mm]	zdvih válce



Z katalogu výrobce Festo® byl zvolen válec s průměrem pístu 100 mm:

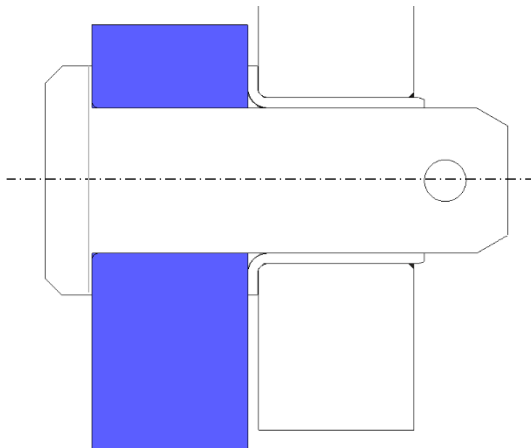
### DNCKE-100-420-PPV-A-S

Tento pneumatický pohon je přímo určený pro použití v bezpečnostních částech řízení kategorie 1 podle EN ISO 13849-1 (ověřený konstrukční díl). Statická přídržná síla může být až 8000 N. Píst dokáže vyvinout sílu až 4 712 N.

## 8.5 Výpočet ložisek – uložení čepu pro otáčení aplikační jednotky

Pro výpočet průměru kluzných ložisek a čepů bude použita nejvyšší vypočtená hodnota zatížení silou  $R_B$  v horní poloze aplikační jednotky. Kluzná ložiska jsou uložena téměř symetricky, proto pro potřeby výpočtu bude počítáno s touto symetrií a vypočtená reakce  $R_B$  bude rozdělena na polovinu.

### Výpočet průměru čepu



Vstupní parametry

Materiál : 11 500

$R = 1\,725,9$  [N]

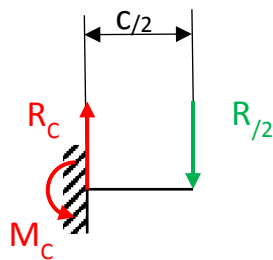
$c/2 = 7,5$  [mm]

$d = 230,0$  [mm]

$l = 30,0$  [mm]

$\sigma_{Do} = 150$  [MPa]

$K = 1,2$  [N]



Síla  $R_{/2}$  působící na jeden čep

$$R_{/2} = \frac{1}{2} \cdot R = \frac{1}{2} \cdot 1\,725,9 = 863 \text{ [N]} \quad (40)$$

Základní ohybová rovnice

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{R_{/2} \cdot c/2}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad (41)$$

Ze vztahu (41) bude odvozen vztah pro výpočet minimálního průměru čepu  $d$

$$(41) \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot R_{/2} \cdot c_{/2}}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} \cdot k = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 863 \cdot 7,5}{\pi \cdot 150}} \cdot 1,2 = 9,1 \text{ [mm]}$$

Zvoleno:  $d = 14,0 \text{ [mm]}$

### Kontrola měrného tlaku působícího na kluzné ložisko

Pro tuto konstrukci byla zvolena kluzná ložiska společnosti GGB, která je lídrem na trhu a vyrábí ložiska do všech odvětví průmyslu.

Zvolená ložiska DP4 jsou vyrobená z materiálu kovo-polymerový kompozit.

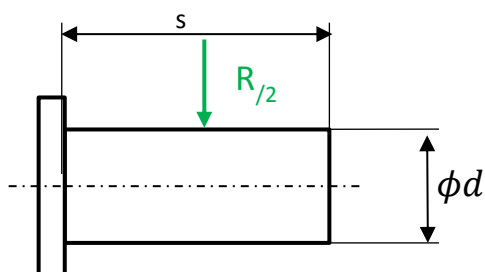
[12]

Parametry ložiska:

Průměr  $d = 14 \text{ mm}$

Šířka  $s = 15 \text{ mm}$

Dovolený měrný tlak  $p_D = 140 \text{ MPa}$  (statický / dynamický)



Výpočet měrného tlaku v ložisku

$$p = \frac{F}{S} = \frac{R_{/2}}{d \cdot s} = \frac{863}{14 \cdot 15} = 4,1 \text{ [MPa]}$$

(42)

$$p = 4,1 \text{ [MPa]} < p_D = 140 \text{ [MPa]}$$

*Ložisko vyhovuje*

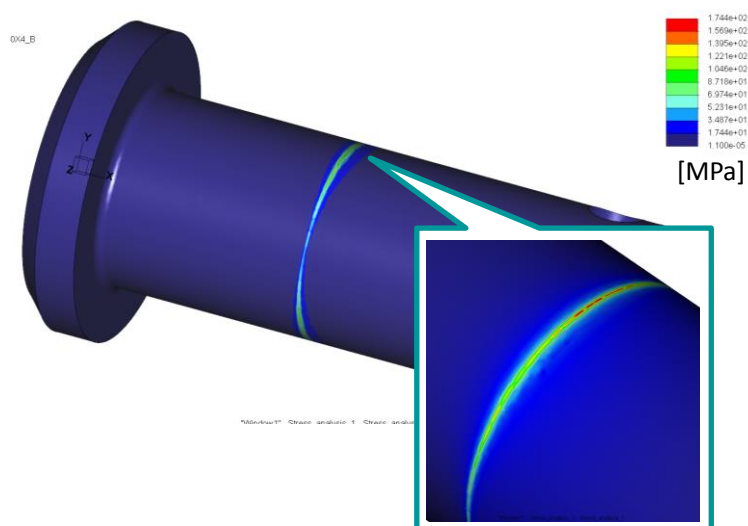
[13]

## 8.6 Kontrola zatížení čepu pomocí FEM

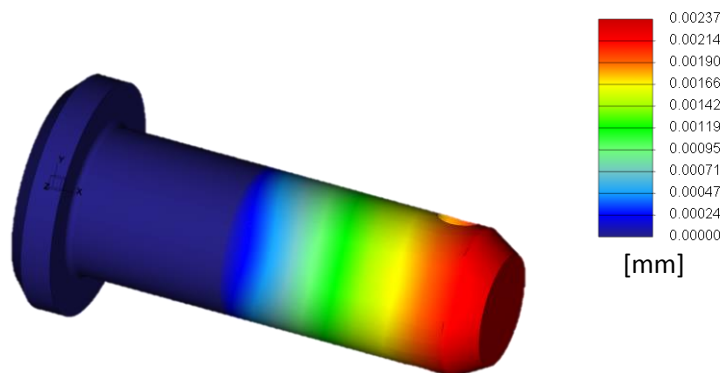
Důležitým bodem celé sestavy jsou čepy otočného mechanismu, na kterých se celá aplikační jednotka otáčí. Čepy jsou nalisovány do kotvících patek navařených na rámu stroje. Čepy jsou zatíženy ohybem, způsobeným reakční silou  $R/2$  o maximální velikosti 863 N, jak bylo vypočteno v kapitole 8.

Pro ověření návrhu čepů bude použita simulační metoda MKP (Finite element method) v softwaru Creo 2 využívaného na TU v Liberci.

Na základě provedené analýzy je patrné, že největší namáhání čepu vzniká na rozhraní zalisování čepu a jeho volné části. Napětí v nejkritičtějším bodě dosáhlo hodnoty 87 MPa. Vyšší červené hodnoty jsou důsledkem singularity při řešení způsobené dokonale tuhým uložením čepu.



Obr. 36: Analýza MKP - průběh napětí  
Zdroj: Vlastní

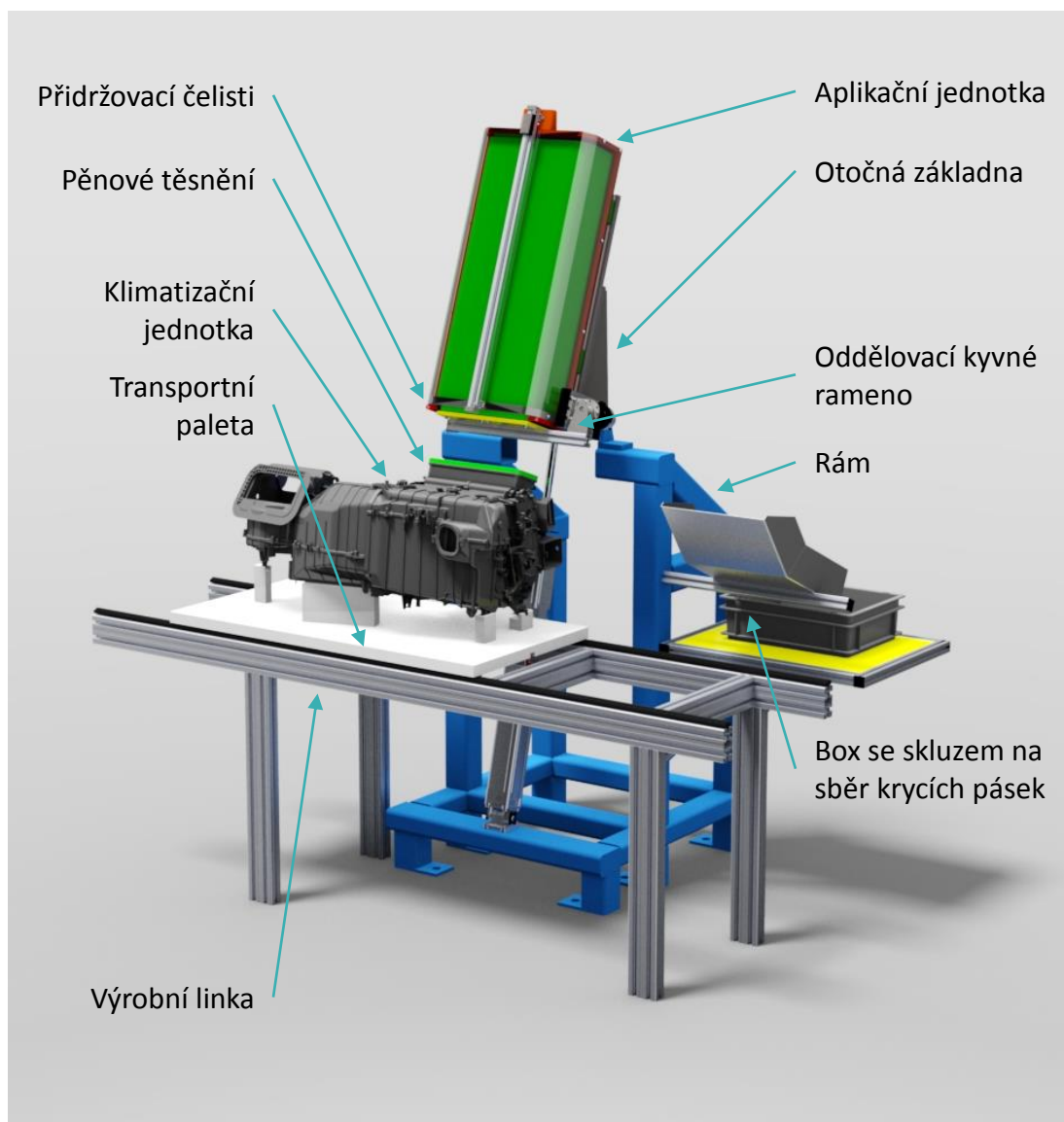


Obr. 37: Analýza MKP – deformace  
Zdroj: Vlastní

Jak je patrné z Obr. 37, díky dostatečnému naddimenzování rozměrů čepu, nedochází prakticky k žádné deformaci dřívku.

## 8.7 Popis sestavy aplikační jednotky

Na obrázku Obr. 38 je celkový pohled na 3D model zařízení pro aplikaci pěnového těsnění. Jsou zde popsány jednotlivé části zařízení.

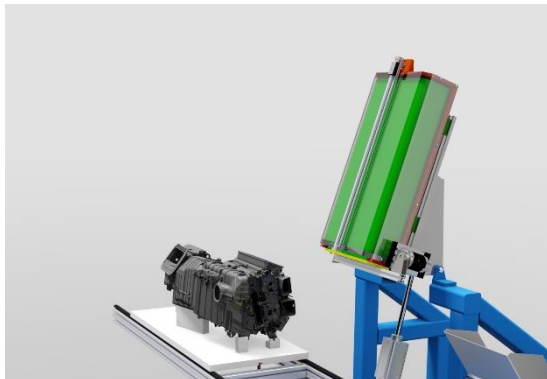


Obr. 38: Zařízení pro aplikaci pěnového těsnění  
Zdroj: Vlastní

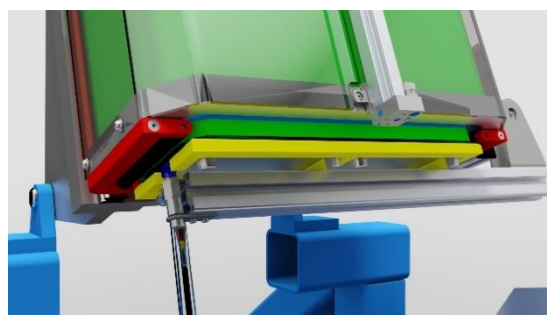


## 8.8 Scénář aplikace pěnového těsnění aplikačním zařízením

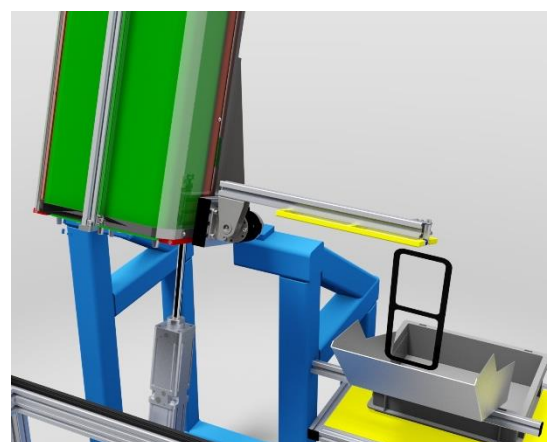
Ve scénáři na Obr. 39, je naznačen postup jednotlivých kroků při aplikaci pěnového těsnění, od odlepení krycí pásky z pěnového těsnění, až po samotné nalepení těsnění na klimatizační jednotku.



Transportní paleta s klimatizační jednotkou je připravena na vyrovnávací pozici.



Těsnění je upnuto čelistmi, aktivuje se vakuový ejektor a dojde k přisátí krycí pásky.

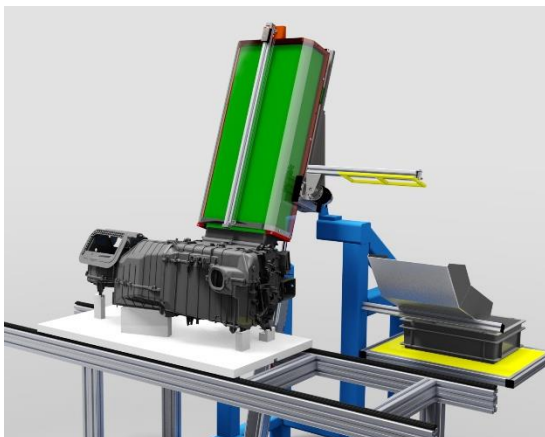


Kyvný pohon otočí rameno s přisátou krycí páskou o 180° a oddělí ji. V koncové pozici je páska odhozena do skluzu.

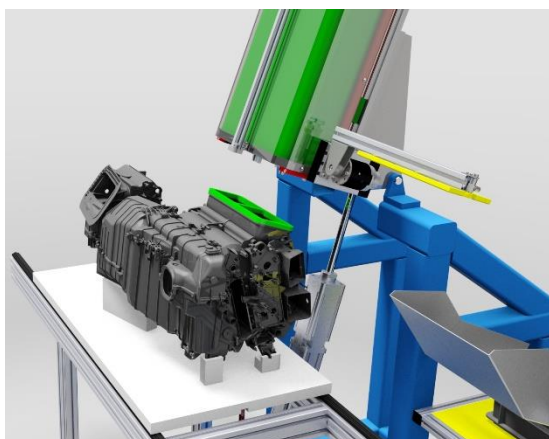


Transportní paleta se přemístí do pracovní pozice (definovaná stoperem).

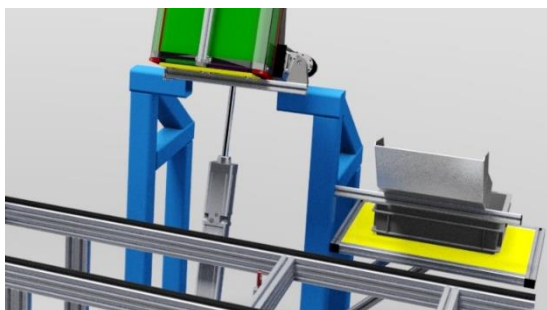
Obr. 39: Postup aplikace těsnění – I  
Zdroj: Vlastní



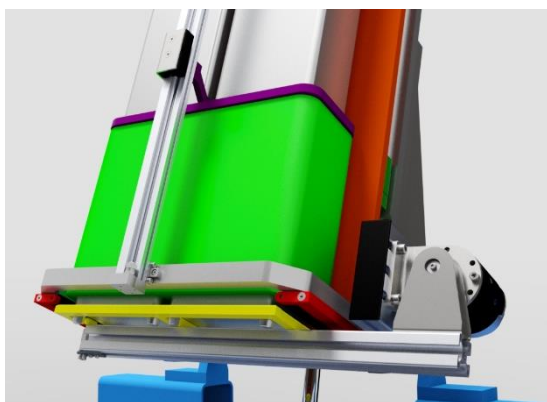
Aplikační jednotka se vysune do pracovní polohy. Její poloha je kontrolována indukčním odměřováním polohy. Následně dojde k dotlačení pěnového těsnění na výdouch klimatizační jednotky. Síla je kontrolována systémem proporcionálních ventilů regulujících tlak ve válci.



Aplikační jednotka se vrátí do základní polohy. Transportní paleta se s dokončeným dílem přesouvá na další pozici.



Po uvolnění pracoviště transportní paletou, se kyvné rameno opět vrátí do výchozí pozice, kde slouží jako doraz pro další těsnění.



Bezpečnostní válec posune zásobu těsnění směrem vpřed, až do okamžiku, kdy se další kus vyrovná na pozici na dorazu.

Obr. 40: Postup aplikace těsnění - II  
Zdroj: Vlastní

## 9 Hodnocení výsledného řešení

V této kapitole bude provedeno hodnocení míry plnění zadaných požadavků navrženého řešení v porovnání s původním řešením.

### Výpočet času aplikace pěnového těsnění

Časy jednotlivých úkonů vykonávaných zařízením byly vypočteny na základě rychlostí jednotlivých komponent, jak je udali výrobci v katalogích a drah odměřených ze 3D modelu. Přehled časů je uveden v Tab. 16.

Operace	Dráha	Rychlost	Čas
Přísátí krycí pásky	0 m	- m/s	0,03
Oddělení pásky	3,14 rad	8 rad/s	0,4
Příjezd palety na montážní pozici	1,5 m	0,5 m/s	3
Přiblížení aplikační jednotky do pracovní pozice	0,15 m	0,75 m/s	0,2
Dotlačení těsnění	0 m	0 m/s	1
Oddálení aplikační jednotky	0,15 m	0,75 m/s	0,2
Přejezd palety na další pracoviště	1,5 m	0,5 m/s	3
Nastavení oddělovacího ramene do zákl. pol.	180 rad	2 m/s	0,4
<b>Vedlejší časy</b>			
Operace	Četnost	Čas na jed.	Čas
Vedlejší čas doplnění těsnění do zásobníku	1,2 hod	60 s	0,3
<b>Celkový čas</b>			<b>8,5 s</b>

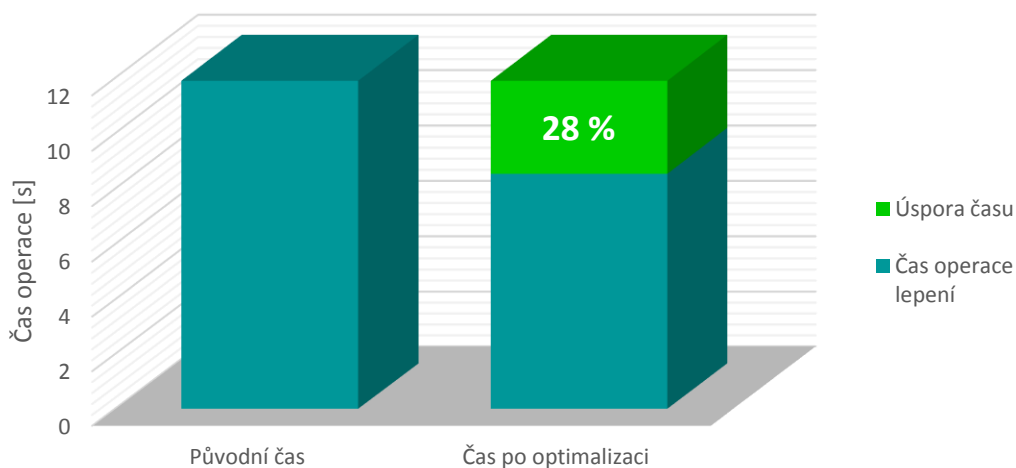
Tab. 16: Výpočet času aplikace těsnění  
Zdroj: Vlastní

## 9.1 Vyhodnocení časové náročnosti

Ze srovnání vypočteného času automatické aplikace pěnového těsnění a původního času při lepení operátorem je možné konstatovat, že automatizací procesu dojde nejen k úspoře pracovníka, ale i ke zkrácení času, potřebného k provedení operace. Zkrácení času operace napomáhá ke zkrácení celkového průběžného času výroby. Jednotlivé časy jsou uvedeny v Tab. 17.

Původní čas [s]	Čas po optimalizaci [s]	Úspora času
11,9	8,5	28%

Tab. 17: Časy operace lepení těsnění  
Zdroj: Vlastní



Graf 4: Porovnání času operace lepení těsnění  
Zdroj: Vlastní

Z grafu Graf 4 je patrné zrychlení operace o 3,4 sekundy, což odpovídá zrychlení operace o 28 %. Toto zrychlení poskytuje další prostor pro další zlepšování a zefektivnění výrobního procesu.

## 9.2 Ekonomické hodnocení návratnosti zařízení

Pro vyhodnocení výhodnosti investice do nového zařízení je vždy důležité zhodnotit jeho přínosy získané jeho pořízením a investice do pořízení zařízení vložené. Důležitý vliv mají také provozní náklady, které provoz zařízení neodmyslitelně generuje. V následující tabulce Tab. 18 je propočtena teoretická bilance nákladů na zaměstnání jednoho operátora v poměru k času, který vynaložil na provedení operace lepení těsnění za jeden rok.

### Náklady na operátora

Náklady na 1 hod práce	150,0 Kč/hod
Čas směny	7,5 hod
Počet směn	3,0 směny
Počet pracovních dní v roce	250,0 dní
Poměrný čas cyklu pro aplikaci těsnění	20%
Roční náklady na manuální provádění operace lepení	843 750,0 Kč
<b>Celkové roční náklady</b>	<b>168 750,0 Kč</b>

Tab. 18: Přehled nákladů na operátora

Zdroj: Vlastní

Z Tab. 18 vyplývá, že náklady na aplikaci pěnového těsnění tvoří náplň práce operátora z 20 %, což za rok znamená náklady ve výši 168 750 Kč.

V následujícím přehledu v Tab. 19 jsou uvedeny odhadované náklady na jednotlivé konstrukční části stroje. V kalkulaci jsou zahrnuty i náklady na pořízení řídicího PC, HMI a PLC systémů, dále pak také bezpečnostní prvky zajišťující ochranu zaměstnanců za provozu zařízení v souladu s platnou legislativou ČR.

### Pořizovací náklady

Konstrukce rámu	50 000,0 Kč
Konstrukce aplikační jednotky	20 000,0 Kč
Pneumatické chapadlo	1 800,0 Kč
Pneumatický válec - aplikační jednotka	1 500,0 Kč
Pneumatický válec - otáčení jednotky	7 000,0 Kč
Oddělovací mechanismus	15 000,0 Kč
Ostatní pneumatické komponenty (ventily, hadice, kolena)	8 000,0 Kč
Elektro komponenty (PLC, HMI, čidla, rozvody, jističe,...)	20 000,0 Kč
Bezpečnostní prvky (světelné závory)	17 000,0 Kč
Software a programování	15 000,0 Kč
<b>Celkové pořizovací náklady</b>	<b>155 300,0 Kč</b>

Tab. 19: Pořizovací náklady

Zdroj: Vlastní

$$T = \frac{\text{Celk. pořizovací náklady}}{\text{Stav. roční náklady na operaci}} = \frac{155\,300}{160\,750} = 0,96 \text{ [rok]} \quad (43)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že investice do jednoúčelového zařízení pro aplikaci pěnových těsnění bude činit rámcově 155 000 Kč, na základě vztahu (43), bude předpokládaná návratnost nákladů na pořízení zařízení 1 rok, jak bylo stanoveno v cílech na počátku této práce.

### 9.3 Hodnocení provozních nákladů

Při hodnocení navrženého řešení je také důležité spočítat pravděpodobnou výši provozních nákladů. Primární funkce zařízení budou zajišťovány stlačeným vzduchem, proto je, pro určení provozních nákladů, nutné počítat s jeho spotřebou.

Zařízení pracuje při provozním tlaku stlačeného vzduchu 6 bar, cena 1 m<sup>3</sup> stlačeného vzduchu při 6 barech činí cca 0,50 Kč/m<sup>3</sup>. Pro výpočet ročních provozních nákladů byl uvažován třisměnný provoz pět dní v týdnu, počet dní v roce 250. Přehled odhadovaných nákladů je v Tab. 20. Využití ekonomických ventilů pro vakuový ejektor umožní významné snížení spotřeby tlakového vzduchu, protože nedojde ke ztrátě vakua v systému, takže ejektor pracuje vždy jen po krátký okamžik, kdy dochází k přísání nového dílu. Při provozu zařízení může docházet ke ztrátám, proto je kalkulováno s nejnepříznivější variantou ztráty odpovídající 30 %. Provoz řídicího systému a dalších elektronických komponent. Uvažovaná cena 1 kW/hod je 7 Kč.

Zařízení pracuje zcela automaticky, ale i tak vyžaduje pravidelný zásah lidského článku. Každou hodinu musí provést pracovník logistiky doplnění materiálu. V průběhu roku také zařízení vyžaduje pravidelnou údržbu dle standardu TPM.

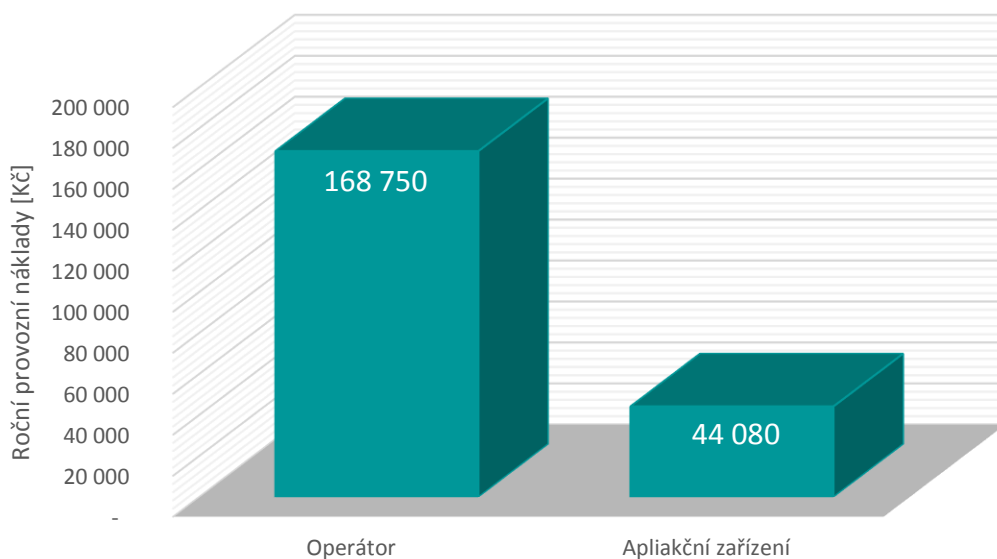
### Provozní náklady

Spotřeba tlakového vzduchu	1 380 Kč/rok
Náklady na doplnění materiálu	30 000 Kč/rok
Spotřeba elektrické energie	4 200 Kč/rok
Náklady na údržbu	8 500 Kč/rok
<b>Celkové roční provozní náklady</b>	<b>44 080 Kč/rok</b>

Tab. 20: Provozní náklady

Zdroj: Vlastní

Náklady na aplikaci pěnového těsnění manuálně a automatickým zařízením jsou srovnány v grafu označeném Graf 5. Porovnáním těchto hodnot je patrná značná úspora nákladů při použití automatického zařízení. Snížení nákladů činí 74 % jejich původní velikosti.



Graf 5: Porovnání provozních nákladů

Zdroj: Vlastní

## Závěr

Výsledkem této diplomové práce je návrh inovovaného zařízení pro aplikaci pěnových těsnění na výdouch klimatizační jednotky pro vozy BMW vyráběné ve společnosti Denso Manufacturing s.r.o. v Liberci. Cílem této práce bylo navrhnout možné způsoby, jak nahradit práci operátora na výrobní lince a docílit tak, zrychlení a zefektivnění výrobního procesu. Pro návrh jednotlivých konceptů řešení byl proveden průzkum trhu, kde bylo nalezeno jen málo technických aplikací, řešících danou problematiku oddělování a lepení pórovitých materiálů s permanentním, na tlak citlivým lepidlem. V rámci průzkumu trhu byly zvažovány i další možné způsoby spojení polyuretanového těsnění s tělem klimatizační jednotky. Na základě průzkumu trhu bylo navrženo pět možných konceptů řešení lepení pěnového těsnění na výdouch klimatizační jednotky. Pro každý z návrhů byly vyhodnoceny jeho schopnosti plnit požadované funkce.

Pomocí metod pro porovnávání konceptů bylo zvoleno nejvhodnější řešení pro aplikaci pěnových těsnění. Vítězný návrh byl dále rozpracován. Byl zvolen primární zdroj energie, kterým byl vzduch, pro zajištění primárních pohybových funkcí aplikační jednotky. Pro oddělení krycí pásky pěnového těsnění byl navržen podtlakový ejektor s přísavkou, umístěný na otočném rameni.

Nalepení pěnového těsnění zajistí aplikační jednotka o výsledné kapacitě 70 ks těsnění (hodinová zásoba + bezpečnostní rezerva), pohybující se po lineárním vedení. Pohyb aplikační jednotky zajišťuje pneumatický válec o průměru 32 mm a efektivním zdvihu až 150 mm. Kontrolu síly při lepení (30 N) zajišťuje soustava proporcionálních ventilů a snímačů tlaků, řídicí jednotka následně vyhodnocuje tlak před a za pístem ve válci a podle požadavků kompenzuje tlak vzduchu ve válci. Aplikační zařízení, vzhledem k své kapacitě vyžaduje doplnění zásobníku těsnění pracovníkem logistiky. K tomuto účelu slouží otočný mechanismus, který jednotku naorientuje do pozice vhodné pro doplnění materiálu. Tento mechanismus je tvořen pneumatickým válcem s bezpečnostní brzdou. Jednotka se otáčí na kluzných ložiskách s měrným dovoleným tlakem až 140 MPa a na čepech z oceli 11 500.

Celý návrh byl podroben ekonomickému zhodnocení. Investice do zařízení by činila přibližně 155 000 Kč s návratností do 1 roku. Roční náklady na provoz jsou spočítány na 44 080 Kč, úspora ročních provozních nákladů činí 68 %.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] Lepení pěnových materiálů v průmyslu. *mmspektrum.com*. [Online] [Citace: 17. 10 2016.] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-penovych-materialu-v-prumyslu.html>.
- [2] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství - Pánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.*
- [3] PETRAŠOVÁ, I. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA). Praha : Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.*
- [4] *festo.com*. [Online] 1999. [Citace: 12. 10 2016.] Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/DHPS\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF).
- [5] Rexroth Bosh Group. [Online] [Citace: 12. 10 2016.] Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/linear-motion-technology/profiled-rail-systems/ball-rail-systems/index>.
- [6] *festo*. [Online] 1999. [Citace: 11. 09 2016.] Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9830.htm#id\\_12372](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.htm#id_12372).
- [7] *e-konstrukter*. [Online] 2013. [Citace: 10. 12 2016.] Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/novinka/porovnani-skutecných-nakladu-na-vakuove-ejektory>.
- [8] VAKUUMTECHNIK. [Online] [Citace: 13. 10 2016.] Dostupné z: <http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/prisavky.pdf>.
- [9] NOVOTNÝ, F. a M. HORÁK. *Efektory průmyslových robotů. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5.*
- [10] *e-konstruktér*. [Online] 2013. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/novinka/jak-stanovit-velikost-prisavky>.
- [11] FESTO. [Online] [Citace: 13. 10 2016.] Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/OVEM\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/OVEM_CZ.PDF).
- [12] *GGB*. [Online] [Citace: 10. 12 2016.] Dostupné z: [https://www.ggbearings.com/cz?gclid=Cj0KEQjAwrBEBRDqxqzMsrTGmogBEiQAeSE6ZUjiU\\_bhOMGg26USMqeRUyv55QC95oEXh76W38348LoaAIYd8P8H AQ#strate\\_product](https://www.ggbearings.com/cz?gclid=Cj0KEQjAwrBEBRDqxqzMsrTGmogBEiQAeSE6ZUjiU_bhOMGg26USMqeRUyv55QC95oEXh76W38348LoaAIYd8P8H AQ#strate_product).

- [13] PEŠÍK, L. *Části strojů. 1. díl.* Liberec : Technická univerzita, 2005. ISBN 978-80-7372-573-0.
- [14] MAŠÍN, I. a P. JIRMAN. *Metody systematické kreativity.* Liberec : Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.
- [15] LEIVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky. Úvaly* : Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [16] MAŠÍN, I. a L. ŠEVČÍK. *Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku.* Liberec : Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4.
- [17] K., KORANĚ. *pneumatictips.com*. [Online] 17. 3 2016. [Citace: 12. 10 2016.] Dostupné z: <http://www.pneumatictips.com/size-vacuum-cup/>.
- [18] WIKIPEDIA. [Online] 28. 6 2016. [Citace: 13. 10 2016.] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Venturiho\\_efekt](https://cs.wikipedia.org/wiki/Venturiho_efekt).
- [19] PEŠÍK, L. *Části strojů. 2. díl.* Liberec : Technická univerzita, 2005. ISBN 978-80-7372-574-7.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Inovovaný přípravek pro lepení těsnění na klimatizační jednotku.....	8
Obr. 2: Výrobní linka klimatizačních jednotek.....	9
Obr. 3: Těsnění výduchu klimatizace.....	10
Obr. 4: Schéma rozměrů těsnění.....	10
Obr. 5: Model stávajícího přípravku.....	11
Obr. 6: Koncept 1 - schéma.....	16
Obr. 7: Koncept 1 - manipulační a oddělovací jednotka.....	17
Obr. 8: Koncept 1 - schéma funkce zařízení.....	18
Obr. 9: Koncept 2 - schéma.....	20
Obr. 10: Koncept 2 – zásobník.....	21
Obr. 11: Koncept 2 - detail čelistí.....	21
Obr. 12: Koncept 2 – oddělovací jednotka.....	22
Obr. 13: Koncept 2 - schéma funkce zařízení.....	22
Obr. 14: Koncept 3 - schéma.....	24
Obr. 15: Koncept 3 – jednotka pro aplikaci lepidla.....	25
Obr. 16: Koncept 3 – schéma funkce zařízení.....	26
Obr. 17: Koncept 4 – schéma.....	28
Obr. 18: Koncept 4 - detail topné jednotky.....	29
Obr. 19: Koncept 4 - schéma funkce zařízení.....	30
Obr. 20: Koncept 5 – schéma.....	31
Obr. 21: Koncept 5 - schéma funkce zařízení.....	32
Obr. 22: Rozložení sil na aplikační jednotce.....	40
Obr. 23: Příklad kuličkového (vlevo) a válečkového (vpravo) provedení lineárního vedení s valivými členy.....	42
Obr. 24: Lineární vedení.....	43
Obr. 25: Schéma vakuového ejektoru.....	45
Obr. 26: Vícestupňový ejektor.....	45
Obr. 27: Typy přísavky.....	48
Obr. 28: Upnutí vzorku pěnového těsnění.....	51
Obr. 29: Uchycení těsnění v čelistech.....	52
Obr. 30: Tenzometr - naměřená hodnota.....	52
Obr. 31: Schéma pro návrh přísavky.....	53
Obr. 32: Mezní polohy při otáčení aplikační jednotky.....	55
Obr. 33: Kinematické schéma mechanismu.....	56
Obr. 34: Rozložení sil – dolní poloha.....	59
Obr. 35: Rozložení sil – horní poloha.....	62
Obr. 36: Analýza MKP - průběh napětí.....	67
Obr. 37: Analýza MKP – deformace.....	67

Obr. 38: Zařízení pro aplikaci pěnového těsnění.....	68
Obr. 39: Postup aplikace těsnění – I.....	69
Obr. 40: Postup aplikace těsnění - II.....	70

## Seznam tabulek

Tab. 1: Specifikace těsnění.....	10
Tab. 2: Pracovní postup.....	12
Tab. 3: Souhrn kladů a záporů.....	13
Tab. 4: Koncept 1 – souhrnné hodnocení.....	19
Tab. 5: Koncept 2 - souhrnné hodnocení.....	23
Tab. 6: Koncept 3 - souhrnné hodnocení.....	27
Tab. 7: Koncept 4 – souhrnné hodnocení.....	30
Tab. 8: Koncept 5 – souhrnné hodnocení.....	33
Tab. 9: Vyhodnocení konceptů - hrubé rozřídění.....	36
Tab. 10: Párové porovnání kritérií.....	37
Tab. 11: Rozhodovací matice – detailní hodnocení konceptů.....	38
Tab. 12: Určení hmotnosti aplikační jednotky.....	39
Tab. 13: Charakteristika lineárního vedení.....	43
Tab. 14: Generátory podtlaku.....	44
Tab. 15: Souhrn vypočtených sil ve vyšetřovaných polohách natočení.....	64
Tab. 16: Výpočet času aplikace těsnění.....	71
Tab. 17: Časy operace lepení těsnění.....	72
Tab. 18: Přehled nákladů na operátora.....	73
Tab. 19: Pořizovací náklady.....	73
Tab. 20: Provozní náklady.....	75