



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh dávkovacího zařízení pro aplikaci
dvousložkového lepidla**

**Design of dispensing device for application
of two-component adhesive**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Eva JANČÍKOVÁ

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Marek Štádler

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Návrh dávkovacího zařízení pro aplikaci dvousložkového lepidla vypracovala samostatně pod vedením Ing. Marka Štádlera s použitím literatury a dalších zdrojů, které jsou uvedeny na konci bakalářské práce.

V Praze dne

.....

Anotace

Jméno autora:	Eva Jančíková
Název bakalářské práce:	Návrh dávkovacího zařízení pro aplikaci dvousložkového lepidla
Title:	Design of dispensing device for application of two-component adhesive
Rok:	2019
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	bez oboru
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí práce:	Ing. Marek Štádler
Bibliografické údaje:	počet stran: 37 počet obrázků: 36 počet tabulek: 31
Klíčová slova:	Dávkovací zařízení, adheziva, MMA, pneumatický válec, 3D tisk, MKP
Keywords:	Dispensing equipment, adhesives, MMA, pneumatic cylinder, 3D printing, FEM
Anotace:	První část práce se věnuje problematice volby vhodných adhesiv pro lepení plastů a rešerši možných lepidel a dávkovacích zařízení vyskytujících se na trhu. Druhá část se zabývá vlastním návrhem a konstrukcí dávkovacího zařízení s využitím znalostí z první části. Dokumentuje proces návrhu a vysvětluje princip fungování celé sestavy a detailněji popisuje jednotlivé dílce. V další části jsou uvedeny potřebné výpočty, napětíové a deformační analýzy metodou konečných prvků. V závěru je práce zhodnocena a doplněna o další možné úpravy.
Abstract:	The first part of the thesis focuses on the choice of suitable adhesives for bonding plastics and on the research of possible adhesives and dispensing devices that appear on the market. The second part deals with the design and construction of a dosing device using the knowledge found in the first part. The design process is documented and the functioning of the entire assembly is explained. The individual components are also described in more detail. In the next part, the necessary calculations and stress and strain analyses using the finite element method are presented. In the conclusion, the work is evaluated and other possible adjustments are suggested.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Lepidla a lepené spoje.....	6
2.1	Silové namáhání spojů.....	6
2.2	Druhy lepidel.....	6
2.2.1	Epoxidy.....	6
2.2.2	Kyanoakryláty (vteřinová lepidla).....	6
2.2.3	Metylmetakrylátová lepidla (MMA).....	7
2.3	Vlastní výběr lepidla.....	7
3	Aplikace lepidla.....	10
3.1	Jednosložkové dávkování.....	11
3.1.1	Princip.....	11
3.1.2	Dávkování tlakem a časem.....	12
3.1.3	Volumetrické dávkování.....	13
3.2	Dvousložkové dávkování.....	13
3.2.1	Princip.....	14
3.3	Způsoby vytlačování složek lepidel.....	15
3.3.1	Pneumatické pohony.....	15
3.3.2	Zdvižná převodovka.....	15
4	Balancéry.....	15
5	Vlastní návrh.....	17
5.1	Zadání.....	17
5.2	Zhodnocení zařízení na trhu.....	17
5.3	Vlastní řešení.....	17
5.3.1	Princip.....	17
5.4	Proces návrhu.....	19
5.5	Detailní popis konstrukce.....	21
5.5.1	Pneumatický válec.....	23
5.5.2	Pouzdro.....	24
5.5.3	Zajišťovací člen.....	25
5.5.4	Píst.....	26
6	Výpočty.....	28
6.1	Poloha zahloubení pístu.....	28
6.2	Síla na píst.....	29
6.3	Deformační a napěťová analýza.....	30
6.3.1	Okrajové podmínky a zjednodušení.....	30
6.3.2	Posunutí.....	32

6.3.3	Napětí	32
6.3.4	Vyhodnocení	34
7	Závěr	35

Obrázky

Obrázek 1:	Firemní produkty	5
Obrázek 2:	Ruční pistole pro dvojkartuše	10
Obrázek 3:	Ruční pistole s dvojkartuší.....	10
Obrázek 4:	Ruční pistole	10
Obrázek 5:	Vzduchová pistole	11
Obrázek 6:	Princip 1K dávkování	12
Obrázek 7:	METER MIX® PAR 20F: Systém na 1K dávkování.....	13
Obrázek 8:	METER MIX® PAR 4CE: 2K dávkování	13
Obrázek 9:	Tlakový dávkovač lepidla.....	14
Obrázek 10:	Příklady provedení chemické kotvy	14
Obrázek 11:	Příklad zdvižné převodovky	15
Obrázek 12:	Příklady vyvažovačů a balancérů	16
Obrázek 13:	Detail drážky pro lepidlo	18
Obrázek 14:	Pneumatické schéma.....	18
Obrázek 15:	Prototyp z fotopolymeru	20
Obrázek 16:	Rozlomení dílů	20
Obrázek 17:	Připojení balancéru	21
Obrázek 18:	Model dávkovače v řezu.....	22
Obrázek 19:	Model dávkovacího zařízení.....	22
Obrázek 20:	Pneumatický válec	23
Obrázek 21:	Model pneumatického válce	24
Obrázek 22:	Pneumatický válec v řezu	24
Obrázek 23:	Pouzdro.....	24
Obrázek 24:	Spodní část pouzdra	24
Obrázek 25:	Vrchní část pouzdra	25
Obrázek 26:	Detail nálitku pro šroub M2x20.....	25
Obrázek 27:	Detail zahloubení pro matici.....	25
Obrázek 28:	Zajišťovací člen	25
Obrázek 29:	Způsob zajištění kartuše	26
Obrázek 30:	Píst	27
Obrázek 31:	Vyznačení sil	28
Obrázek 32:	Poloha bodu A	28
Obrázek 33:	Kontaktní plocha - přední strana.....	31
Obrázek 34:	Kontaktní plocha - zadní strana	31
Obrázek 35:	Vizualizace pole posunutí.....	32
Obrázek 36:	Vizualizace pole napětí.....	33

Tabulky

Tabulka 1:	SA 1-05	8
Tabulka 2:	SA 1-05 (vlastnosti spoje).....	8
Tabulka 3:	SA 10-05	8
Tabulka 4:	SA 10-05 (vlastnosti spoje).....	8

Tabulka 5: Scotch – Weld DP490	9
Tabulka 6: Scotch – Weld DP105	9
Tabulka 7: Scotch – Weld DP110	9
Tabulka 8: Scotch – Weld B/A 2216	9
Tabulka 9: Vlastnosti fotopolymeru	19
Tabulka 10: Obecné vlastnosti PA12	19
Tabulka 11: Mechanické vlastnosti PA12	20
Tabulka 12: Parametry pneumatického válce	23
Tabulka 13: Vlastnosti materiálu v simulaci	31

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	bod působíště síly F	-
a	vzdálenost středu většího pístu od bodu A	mm
b	vzdálenost středu menšího pístu od bodu A	mm
c	roztečná vzdálenost ploch pístu	mm
F	tlaková síla	N
F ₁	síla působící na větší píst	N
F ₂	síla působící na menší píst	N
p	tlak	N/mm ²
r ₁	poloměr většího pístu	mm
r ₂	poloměr menšího pístu	mm
S	průřez pneumatického válce	mm ²
S ₁	větší plocha pístu	mm ²
S ₂	menší plocha pístu	mm ²
1K	Jednosložková	
2K	Dvousložková	
FEM	Finite element method	
LV	Low viscosity	
MKP	Metoda konečných prvků	
MMA	Methylmetakrylát	
PA	Polyamid	
SLA	Stereolitografie	

1 Úvod

Současná doba přináší změny ve všech oblastech života. Nejedná se pouze o zavádění automatizace a IT technologií do výroby, ale i o vývoj nových materiálů a jejich zpracování. Dříve využívané technologie rychlosti doby nestačí a je třeba je inovovat, nebo i zcela nahradit efektivnější metodou. Snaha dělat výrobky levně, rychle a designově zajímavé ovlivňuje všechna odvětví našeho průmyslu. Tento trend se týká i metod spojování materiálů. Není to tak dlouho, co jsme si vystačili se spoji pomocí šroubů, nýtů, případně svářením. Nyní se na scénu dostává lepení.

Příkladem je i firma specializující se na svářečské pomůcky, filtry a další ochranné vybavení. Jejich výrobky jsou převážně plastové vylisky, či produkty z 3D tisku. Jednotlivé komponenty doposud sešroubovávají, případně secvakávají.



a) Safety helmet CA-40GW [1]

b) Chemical 3F [2]

Obrázek 1: Firemní produkty

Na trhu se již objevuje celá řada druhů a typů lepidel vhodných na slepování plastů, což je přivedlo na myšlenku postupně přejít k lepeným spojům. Toto rozhodnutí s sebou nese spoustu benefitů – jednodušší a rychlejší montáž, menší výrobní náklady, redukce objemu odpadů souvisejících s používáním tradičních mechanických upevňovacích prvků, zjednodušení konstrukčních sestav atd. Nicméně s touto metodou přichází i několik úskalí. Je třeba tvarově přizpůsobit jednotlivé díly pro technologii lepení a samozřejmě zajistit snadnou aplikaci lepidla. Neboť se v jejich případě jedná o produkty menších rozměrů o malých sériích, nanášení lepidla nebude roboticky řízeno, jak je to obvyklé např. v automobilovém průmyslu.

Problematiku dávkování budu řešit ve své bakalářské práci. Ač se jedná zatím pouze o několik málo produktů, které by byly touto metodou spojeny, v budoucnu by firma ráda spojování jednotlivých částí směřovala právě k lepení a toto zařízení by bylo jedním z prvních kroků na jejich cestě.

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout dávkovací zařízení, které bude vhodné k aplikaci dvousložkového lepidla. Při návrhu je třeba zajistit dokonalé promísení složek v daném poměru a snadnou manipulaci s dávkovačem při lepení a zabezpečit jeho pevnost a životnost.

2 Lepidla a lepené spoje

Volba vhodného lepidla pro daný výrobní proces může být značně komplikovaná. Závisí na materiálech, které mají být spojeny, na tvaru spoje a na podmínkách koncového používání konstrukčního prvku. Vzhledem k široké nabídce je vždy důležitá konzultace s výrobcem a zatěžovací zkouška spoje. Mezi důležité parametry spojů patří pevnost v tahu, Youngův modul, protažení, pevnost ve smyku, provozní teplota, max. teplotní odolnost a chemická odolnost.

2.1 Silové namáhání spojů

Spoj může být namáhán pěti hlavními způsoby: tahem, smykem, tlakem, štěpením nebo loupáním. Síly, které působí na lepený spoj, jsou při volbě vhodného lepidla kriticky důležitým faktorem.

Tahové síly vznikají, když jsou slepené povrchy od sebe roztahovány kolmo k vrstvě lepidla a přiléhajícím substrátům. Smykové síly působí v případě, že jsou substráty lepeného spoje paralelně roztahovány v ose lepeného spoje. Tlakové síly vznikají přitlačováním slepených povrchů vnější silou kolmo k vrstvě lepidla. Tlak je optimální síla, která může na lepený spoj působit. Nejméně žádoucí jsou síly působící při loupání nebo štěpení. Ty totiž působí na okraj lepeného spoje a vytvářejí tak nerovnoměrné rozložení namáhání na hranách lepených materiálů, a když dojde k narušení struktury na hraně spoje, mohou se vytvořené praskliny spojením začít šířit [3].

2.2 Druhy lepidel

Mezi nejběžnější konstrukční lepidla pro spojování plastů patří následující kategorie:

- Epoxidy
- Kyanoakryláty
- Methylmetakryláty.

2.2.1 Epoxidy

Epoxidy jsou konstrukční lepidla, která se dodávají v jednosložkové nebo dvousložkové verzi. Díky schopnosti vytvrzovat v libovolném objemu umožňují vyplňování otvorů nebo spár neomezené velikosti. Hlavními přednostmi jsou teplotní a chemická odolnost, vysoká kohezní pevnost, malé smrštění objemu, dobrá odolnost vůči namáhání smykem nebo loupáním. K vytvrzení epoxidů dochází vytvořením kovalentních vazeb mezi pryskyřicí a tvrdidlem. Pro urychlení vytvrzování je možné použít ohřev [3].

Epoxidy mají několik omezení, zejména menší rychlost vytvrzování. Manipulační pevnosti se pohybují v širokém intervalu, od jednotek minut po několik hodin. Epoxidy během vytvrzování exotermickou reakcí uvolňují teplo, na což se musí brát ohled v případě, kdy se mají lepit citlivé materiály.

2.2.2 Kyanoakryláty (vteřinová lepidla)

Kyanoakryláty jsou jednosložková lepidla s rychlým vytvrzováním za pokojové teploty, která se vyznačují vynikající adhezí k většině substrátů. Díky své jednosložkovosti mohou být snadno integrovány do automatizovaných procesů výrobních linek.

Kyanoakryláty jsou k dispozici v širokém rozsahu viskozit (od kapalné po gelovitou) a mají výbornou odolnost vůči nepolárním chemikáliím. Mezi nevýhody patří omezená schopnost

vyplňovat spáry, snadno se přichytí k pokožce, mají nízkou odolnost vůči polárním chemikáliím (např. izopropanol, aceton, metylenchlorid), malou životnost na skleněných substrátech, pomalé vytvrzování na suchých nebo kyselých površích a menší odolnost vůči rázům a loupání.

Pro urychlení vytvrzení je možné použít aktivátory. Některé kyanoakryláty obsahují pryžové přísady pro zvýšení houževnatosti, které zlepšují odolnost spoje vůči loupání a rázům. Převratnou novinkou na trhu kyanoakrylátových lepidel jsou dvousložkové kyanoakryláty, které jsou schopné vyplňovat i větší spáry při zachování všech výhod vteřinových lepidel [3].

2.2.3 Metylmetakrylátová lepidla (MMA)

Methylmetakrylátová lepidla jsou dvousložková konstrukční lepidla, která vytvrzují po smíchání složek za pokojové teploty a vytvářejí vysokopevnostní vazby k plastům, kompozitům a kovům. Mají univerzální použití s možnostmi přizpůsobit složení potřebám výrobců. Pryžová plniva zajišťují odolnost vůči loupání nebo rázům. Nevýhodou těchto lepidel je hořlavost a silný zápach [3].

2.3 Vlastní výběr lepidla

Na trhu se vyskytuje několik výrobců lepidel (3M, Loctite,...). Firma se rozhodla oslovit český podnik MATRIX a.s., divize Automotive, jejíž hlavní činností jsou dodávky materiálů a zboží pro automobilový průmysl, strojírenství, letecký průmysl, elektrotechnický průmysl, zemědělství, reklamní agentury, výrobce a zpracovatele kovů a plastů

Jak jsem již zmiňovala, dalším důležitým parametrem při volbě lepidla je lepený materiál. V našem případě jsou díly vyrobeny z polyamidu PA66, což je semikrystalický až krystalický materiál, mající jednu z nejvyšších teplot tání mezi všemi komerčně dostupnými polyamidy. Vyznačuje se malou viskozitou, díky tomu dobře teče a umožňuje tvarování i tenkých komponent. Po tvarování nepohlcuje vlhkost. Absorpce vlhkosti závisí na složení materiálu, tloušťce stěn a podmínkách prostředí. Odolává většině rozpouštědel, ale je náchylný na oxidační činidla a silné kyseliny.

Na základě požadavků nám byly doporučeny produkty ACRALOCK SA 1 (SA 10). Jedná se o sérii dvoukomponentních metakrylátových adhesiv se směšovací poměrem 1:1 (10:1). Vyznačují se vysokou pevností ve smyku v kombinaci s vynikající houževnatostí a středním protažením. Tato série zahrnuje kombinaci různých lepidel a aktivátorů pro dosažení doby zpracovatelnosti 5 až 15 minut (5 až 45 minut) a je určena k lepení kovů, kompozitů a plastů včetně obtížně lepitelných materiálů jako je nerezová ocel, galvanizované povrchy, polyamidy a kaučuky.

Mezi hlavní přednosti tohoto lepidla patří dostatečně dlouhá doba zpracování i pro středně velké aplikace a možnost lepení široké škály materiálů. Je vhodné pro lepení v malých spárách (od 0,1 do 12 mm), zajišťuje výbornou odolnost vůči prostředí, má vynikající odolnost vůči únavě a rázovým zatížením.

Obě lepidla bylo třeba podrobit zatěžovací zkoušce a přesvědčit se, že jsou jejich vlastnosti (potažmo vlastnosti lepeného spoje) vyhovující. V tabulkách 1, 2, 3 a 4 jsou uvedeny vlastnosti deklarované výrobcem.

SA 1-05			
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor	Produkt po smíšení A + B
Barva	bělavá	černá	černá
Mísící objemový poměr	1	1	
Mísící hmotnostní poměr	1,05	1	
Viskozita	100 – 250 Pa.s	100 - 200 Pa.s	
Hustota	1,02 g/cm ³	0,98 g/cm ³	1,00 g/cm ³

Tabulka 1: SA 1-05

Vlastnosti spoje	
Pevnost v tahu	24 MPa
Youngův modul	690 MPa
Protážení	50 – 75%
Pevnost ve smyku	20 – 24 MPa
Provozní teplota	-55 - 120°C
Max. teplotní odolnost	250°C, 1h

Tabulka 2: SA 1-05 (vlastnosti spoje)

Lepidlo SA 1-05 nevyhovovalo z hlediska adhezních vlastností, kde po zatěžovací zkoušce spoj nevydržel a utrl se.

SA 10-05			
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor	Produkt po smíšení A + B
Barva	bělavá	černá	
Mísící objemový poměr	10	1	
Mísící hmotnostní poměr	8,7	1	
Viskozita	200 – 400 Pa.s	100 - 200 Pa.s	
Hustota	0,95 – 0,98 g/cm ³	1,09 – 1,11 g/cm ³	0,98 – 1,00 g/cm ³

Tabulka 3: SA 10-05

Vlastnosti spoje	
Pevnost v tahu	21 – 24 MPa
Youngův modul	620 MPa
Protážení	80 – 120%
Pevnost ve smyku	17 – 21 MPa
Provozní teplota	-50 - 80°C
Max. teplotní odolnost	200°C, 1h

Tabulka 4: SA 10-05 (vlastnosti spoje)

Vybrali jsme Lepidlo SA 10-05, neboť vyhovělo jak přilnavostí k materiálu, tak svou houževnatostí. Adheziva SA10 LV série jsou k dispozici v 50 a 400 ml kartuších s uspořádáním složek vedle sebe nebo v kontejnerech o obsahu 20 l a v 200 l sudech pro aplikaci pomocí mísících a dávkovacích zařízení.

Další možné varianty adhesiv včetně vlastností jsou uvedeny v tabulkách 5, 6, 7 a 8. Ve všech případech se jedná o epoxidová lepidla, která nám byla doporučena firmou 3M na základě našich požadavků na druh slepovaného materiálu, požadované pevnosti spoje, tepelných a chemických odolností a geometrie jednotlivých dílů. Zda by vyhovovala i z hlediska adhezivních sil a houževnatosti, by bylo potřeba ověřit experimentem.

Scotch – Weld DP490		
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor
Barva	černá	bělavá
Mísící objemový poměr	2	1
Viskozita	70 Pa.s	150 Pa.s
Hustota	1,04 g/cm ³	1,03 g/cm ³

Tabulka 5: Scotch – Weld DP490

Toto lepidlo obsahuje jemná pryžové částice, čímž se zvýší houževnatost spoje, ale hrozí menší pevnost a špatná průchodnost aplikační jehlou. Proto by se toto adhezivo nejspíš neosvědčilo.

Scotch – Weld DP105		
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor
Barva	průhledná	průhledná
Mísící objemový poměr	1	1
Mísící hmotnostní poměr	1	0,97
Viskozita	2,5 Pa.s	12 Pa.s
Hustota	1,10 g/cm ³	1,14 g/cm ³
Manipulační doba	3 min	

Tabulka 6: Scotch – Weld DP105

U výše zmiňovaného lepidla by mohl být problém s příliš krátkou manipulační dobou. Proto by se muselo podrobit zkoušce a ujistit se, že by takto krátká doba stačila, případně zvážit pozměnění poměrů jednotlivých složek, což by manipulační dobu prodloužilo.

Scotch – Weld DP110		
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor
Barva	Bělavá (bílá)	Světle žlutá (černá)
Mísící objemový poměr	1	1
Mísící hmotnostní poměr	1	0,99
Viskozita	2,5 Pa.s	12 Pa.s
Hustota	0,91-0,94 g/cm ³	0,9-0,93 g/cm ³
Manipulační doba	8-13 min	

Tabulka 7: Scotch – Weld DP110

Scotch – Weld B/A 2216		
Vlastnost	Složka A - lepidlo	Složka B - aktivátor
Barva	bílá	šedá
Mísící objemový poměr	2	3
Mísící hmotnostní poměr	5	7
Viskozita	2,5 Pa.s	12 Pa.s
Hustota	1,33 g/cm ³	1,26 g/cm ³
Manipulační doba	90 min	

Tabulka 8: Scotch – Weld B/A 2216

3 Aplikace lepidla

Na metodiku dávkování lze pohlížet z několika hledisek. Jednou z možností je rozdělení podle samotného způsobu aplikace a to na:

- Ruční dávkovače
- Strojní dávkovače

Ruční dávkovače bývají nejčastěji ve formě různých dávkovacích pistolí. Vyvíjená síla je přes páku znásobena na požadovanou k vytlačení jednotlivých složek. U ručních dávkovačů je kladen důraz na tvar rukojeti, aby byla samotná aplikace co nejpohodlnější.

Od této metody aplikace nemůžeme očekávat dosažení příliš velkých sil a i objemy kartuší jsou tím pádem omezeny. Přesnost nanášení je značně ovlivněna lidským faktorem. Výhodou těchto zařízení je nízká pořizovací cena a jednoduchá aplikace bez dalších nutných doplňků. Na obrázcích níže jsou příklady na trhu dostupných ručních dávkovačů.



Obrázek 2: Ruční pistole pro dvojkartuše [4]



Obrázek 3: Ruční pistole s dvojkartuší [5]



Obrázek 4: Ruční pistole [6]

Speciálním případem ručních dávkovačů je vzduchová pistole, kde je princip vyvíjení síly odlišný. Využívá se zde přetlaku ve válci pistole pomocí přívodu vzduchu. Uživatel může ventilem regulovat tlak působící na píst. U takovýchto zařízení lze použít i větší kartuše. Nevýhoda ale spočívá ve špatné manipulovatelnosti z důvodu velké hmotnosti a nutnosti zabezpečit přívod stlačeného vzduchu [4].



Obrázek 5: Vzduchová pistole [7]

Další možné rozdělení je podle druhu lepidla

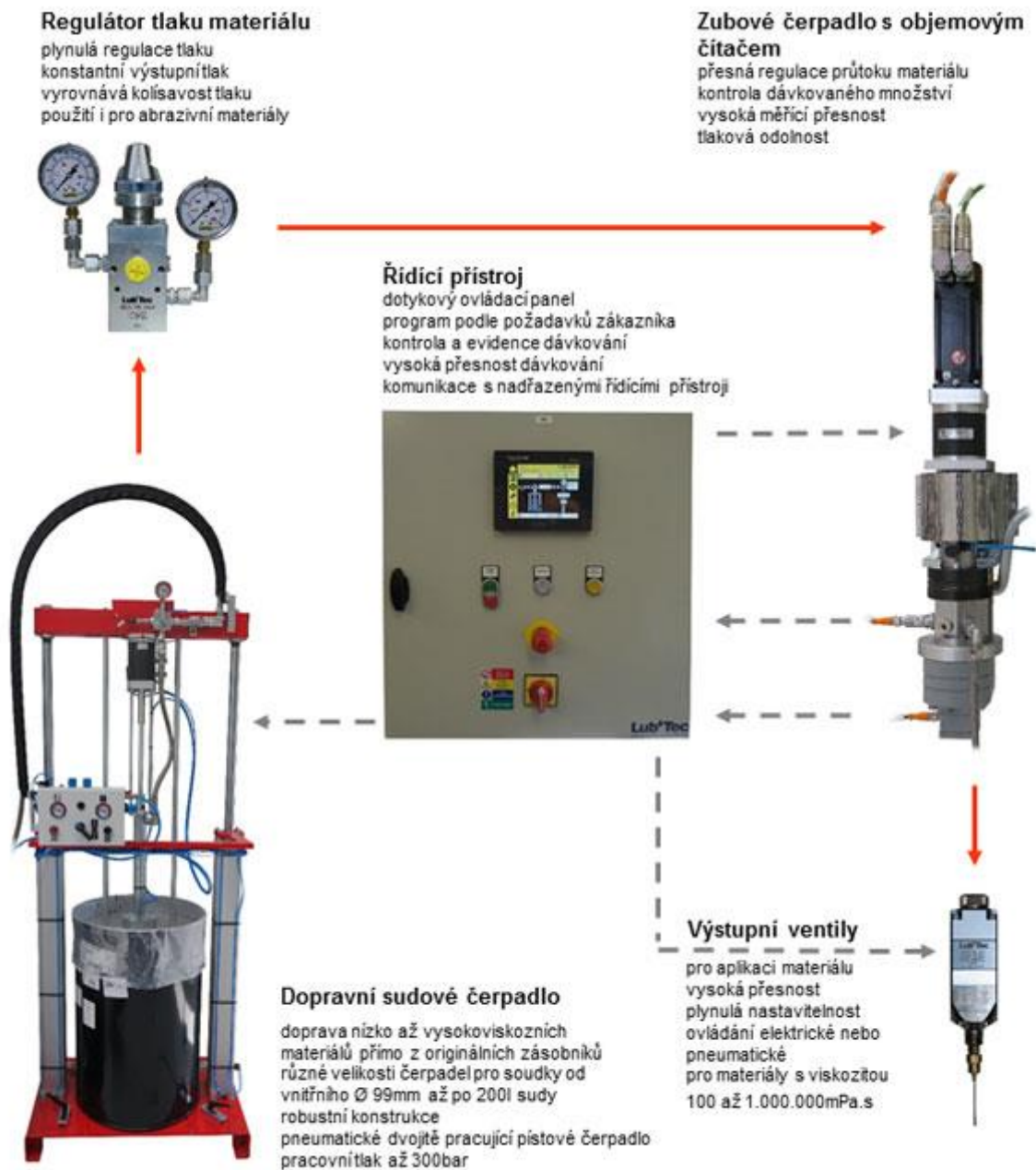
- Jednosložkové dávkování (1K)
- Dvousložkové dávkování (2K)

3.1 Jednosložkové dávkování

Jak už z názvu vyplývá, pracuje se zde s jednosložkovou kapalinou. Díky tomu není třeba řešit proces mísení a zařízení se značně zjednodušuje. Tento způsob se používají především v oblasti automotive.

3.1.1 Princip

Pneumatické sudové dopravní čerpadlo čerpá materiál přímo z originálního zásobníku, materiál je dopravován do regulátoru tlaku materiálu. Regulátorem tlaku je přivodní tlak materiálu zredukován na požadovanou hodnotu (pracovní tlak), který je přiváděn do speciálního objemového zubového čerpadla, toto čerpadlo je poháněno servomotorem, za zubovým čerpadlem je umístěn objemový čítač, který kontroluje dávkovaný objem materiálu od zubového čerpadla. Na základě této informace je ovládací elektronika schopná dynamicky regulovat otáčky servomotoru a tím dávkované množství. Na konci celého systému je pak umístěn výstupní ventil, který otvírá a zavírá dávkovaný materiál [8].



Obrázek 6: Princip 1K dávkování [8]

3.1.2 Dávkování tlakem a časem

Jedná se o jednu z nejsnazších a nejspornějších dávkovacích technologií. Ventil je otevřený na danou dobu a materiál je dávkován pod tlakem (tlak a průtok jsou stabilní). U této metody je nízká úroveň bezpečnosti a opakovatelnosti. Používá se zpravidla pro dávkování lepidel a u automatizovaného dávkování, kde není vysoký požadavek na kvalitu. Tato sestava nabízí obrovskou výhodu v případech, kdy se dávkuje různé objemy a systém je nutné často přenastavit. Díky řídicí jednotce lze velikost dávky pohodlně naprogramovat a tím rychle změnit nastavení celého systému [9].



Obrázek 7: METER MIX® PAR 20F: Systém na 1K dávkování [10]

3.1.3 Volumetrické dávkování

Tento způsob patří mezi nejpopulárnější. Zajistí totiž nejvyšší bezpečnost práce a opakovatelnost dávky. Používá se tehdy, má-li se dávkovat neustále jedno a totéž množství, které je na ventilu pevně mechanicky nebo elektromechanicky nastaveno. Dávkování je buď časově závislé, nebo nezávislé.

U časově závislé aplikace dávkujeme definovaný objem během stanoveného časového intervalu. U druhého zmiňovaného způsobu nezávisí na době nanášení, ale pouze na objemu dávky.

Výhoda spočívá v přesném dávkování i toho nejmenšího množství ($> 1\text{mm}^3$). Odchyly jsou zde malé, lze dosáhnout tolerance $\pm 3\%$. Mezi nevýhody patří omezené možnosti v případě potřeby změnit objem dávky a limitující maximální dávka 100 ml [10].

3.2 Dvousložkové dávkování

Dvoukomponentní materiál se zpravidla používá při zalévání, lepení, utěšňování a zasklívání různých dílů. Dávkování 2K materiálů je složitější než 1K, protože je zapotřebí synchronizovaně odměřit a dokonale smíchat obě složky podle daného poměru [10].



Obrázek 8: METER MIX® PAR 4CE: 2K dávkování [10]



Obrázek 9: Tlakový dávkovač lepidla [12]

3.2.1 Princip

Obě složky se skladují v oddělených zásobnících a ke smíchání musí dojít až při samotném dávkovacím procesu, jinak by hrozilo vytvrzení lepidla a vzniklá směs by ucpala průtokový kanál. Proto je třeba ošetřit, aby společná dráha složek byla co nejkratší, ale dostatečně dlouhá pro správné promísení. K tomu se využívají mísící špičky (chemické kotvy), které se nasadí přímo na kartuši. Tyto mísící špičky se na trhu objevují v různých provedeních, základní kostra ale u všech zůstává stejná. Skládá se z trubičky, ve které je umístěn „šnek“, který zajistí dokonalé promísení obou složek. Celá konstrukce je vyrobena z plastu. Většina prodejců nabízí potřebné směšovače přímo k vybraným kartuším.



a) [13]



b) [14]



c) [15]

Obrázek 10: Příklady provedení chemické kotvy

3.3 Způsoby vytlačování složek lepidel

3.3.1 Pneumatické pohony

Obecně se pneumatika používá tam, kde stačí malé až střední síly a je třeba rychlý pohyb s vysokou frekvencí. Výhodami této metody jsou dostupnost stlačeného vzduchu, jednoduchá konstrukce, trvanlivost při malých nárocích na údržbu, nemají negativní vliv na životní prostředí, při provozu nedochází k zahřívání, a proto je možné použití i ve výbušném prostředí. Další výhodou je velká rozpínavost stlačeného vzduchu a malá hmotnost pohybujících se pneumatických motorů, což umožňuje velká zrychlení, možnost rozvodu na delší vzdálenosti a nemusí se řešit odpad. Jako nevýhody můžeme uvést omezené síly, problematické dosažení pomalých a plynulých pohybů a nepřesné zastavení v mezipolohách.

Princip i konstrukce dvoučinného pneumatického řízení jsou velmi jednoduché. Systém se skládá z dutého válce a v něm volně se pohybujícího pístu. Do prostoru nad pístem je přiváděn stlačený vzduch, tím vzniká ve válci přetlak, který způsobí pohyb pístu do dolní úvrati. V momentě, kdy je píst dole, začne se vzduch přivádět ze zdola a v důsledku vzniklého přetlaku se píst opět rozpohybuje, tentokrát do horní úvrati.

3.3.2 Zdvižná převodovka

Je-li nutná síla větší, než nám umožňuje pneumatika, můžeme použít zdvižnou převodovku. Ta se skládá ze šroubu (trapézového, nebo kuličkového), upravené šnekové převodovky a asynchronního motoru, který je vybaven brzdou a odměřováním.



Obrázek 11: Příklad zdvižné převodovky [16]

4 Balancéry

Balancéry a vyvažovače slouží k zavěšení náradí nebo břemene a k jeho snadnému dosažení do pracovní pozice. Na rozdíl od vyvažovače se u balancéru nastavuje vyvážení a náradí se nevrací zpět do původní polohy, ale zůstává v poloze, do které bylo nastaveno. Zajistí tak polohu beztlíže [17].

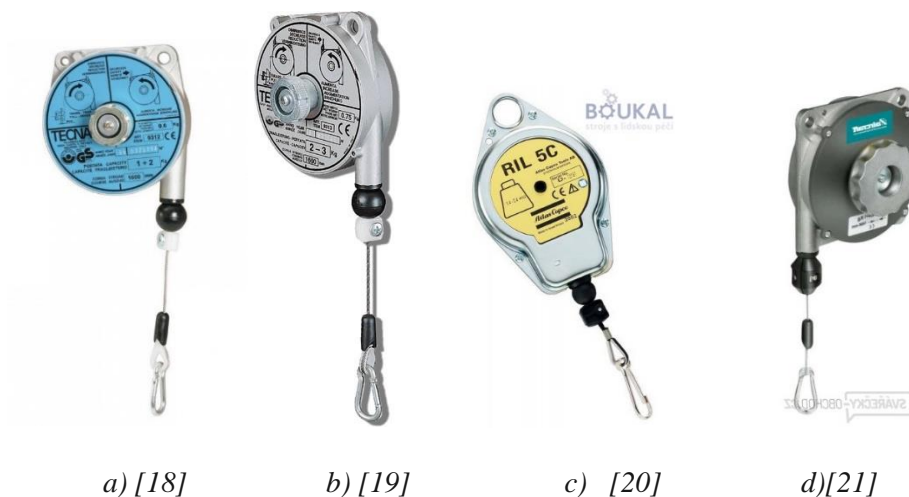
Výhody použití:

- zlepšují dostupnost i těžšího dílenského nářadí
- usnadňují manipulaci a práci s nářadím
- pro zavěšení nářadí se nemusí vytvářet speciální odkládací plocha
- pro libovolné nářadí a libovolnou pracovní pozici lze zvolit optimální typ

Existují 4 základní typy:

- Balancéry s nylonovým lankem
- Balancéry s inoxovým lankem
- ATEX balancéry
- Hadicové balancéry

Při výběru vhodného vyvažovače či balancéru by měl být brán zřetel na jejich pracovní rozsah a nosnost. Dalším hlediskem je montáž, a to jak umístění samotného balancéru, tak i přichycení zařízení k balancéru.



Obrázek 12: Příklady vyvažovačů a balancérů

5 Vlastní návrh

U vlastního návrhu se vycházelo z rešerší dávkovačů, které se momentálně na trhu nacházejí. Byl určen způsob pohonu a přesný typ lepidla, které bude používáno. Dalším krokem bylo vybrat pneumatický válec. Všechny tyto aspekty definovaly samotný návrh a vývoj celé konstrukce.

5.1 Zadání

Požadavkem je navrhnout zařízení, které bude umožňovat pohodlnou ruční aplikaci lepidla do profilované drážky plastových dílů. Použité adhesivo je dvousložkové lepidlo SA 10-05 (vlastnosti a parametry jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4), které se prodává v kartuších o 50 ml a 400 ml. Drážka pro lepidlo je cca 1,5 mm široká a 3 mm hluboká.

5.2 Zhodnocení zařízení na trhu

K dávkování z kartuše se běžně využívají ruční pistole (v případě velké kartuše vzduchové pistole). Pro naše účely je ale tato metoda nepohodlná kvůli koordinaci vytlačování se samotným nanášením směsi do drážky. Proto je zapotřebí zprostředkovat výtláčnou sílu jinak. Navíc výstupní otvor směšovací špičky kartuše má příliš velký průměr (cca 2mm).

5.3 Vlastní řešení

Bylo zvoleno pneumatické vedení, které nám umožní relativně přesné dávkování. Přívod vzduchu do válce bude realizován přes pedál, což umožní lepší koordinaci i pohodlnější uchopení zařízení. Problematika smísení obou složek je vyřešena mísicí špičkou, kterou lze zakoupit přímo u prodejce lepidel. Tento krok je výhodný i po ekonomické stránce, neboť cenově se tyto produkty pohybují v řádech desítek korun. Jelikož je ale výstupní otvor této špičky příliš velký, je konec špičky opatřen aplikační jehlou o průměru 1,5 mm.

Bylo třeba navrhnout pouzdro na válec se zajišťovacím členem, jenž umožní operativní výměnu kartuše, a píst, který se připevní na závit pneumatického válce. Jednotlivé části jsou spojeny pomocí šroubů M2 a matic. Jelikož tento návrh obnáší nesení celé konstrukce včetně pneumatického válce v ruce, je nutné dávkovač odlehčit za pomoci balancéru. Při výběru balancéru byla rozhodovacím kritériem zátěžná hmotnost. Celé zařízení, včetně plné kartuše a pístu váží cca 420g, proto jsme zvolili balancér v rozsahu 0,4 – 1kg zátěže.

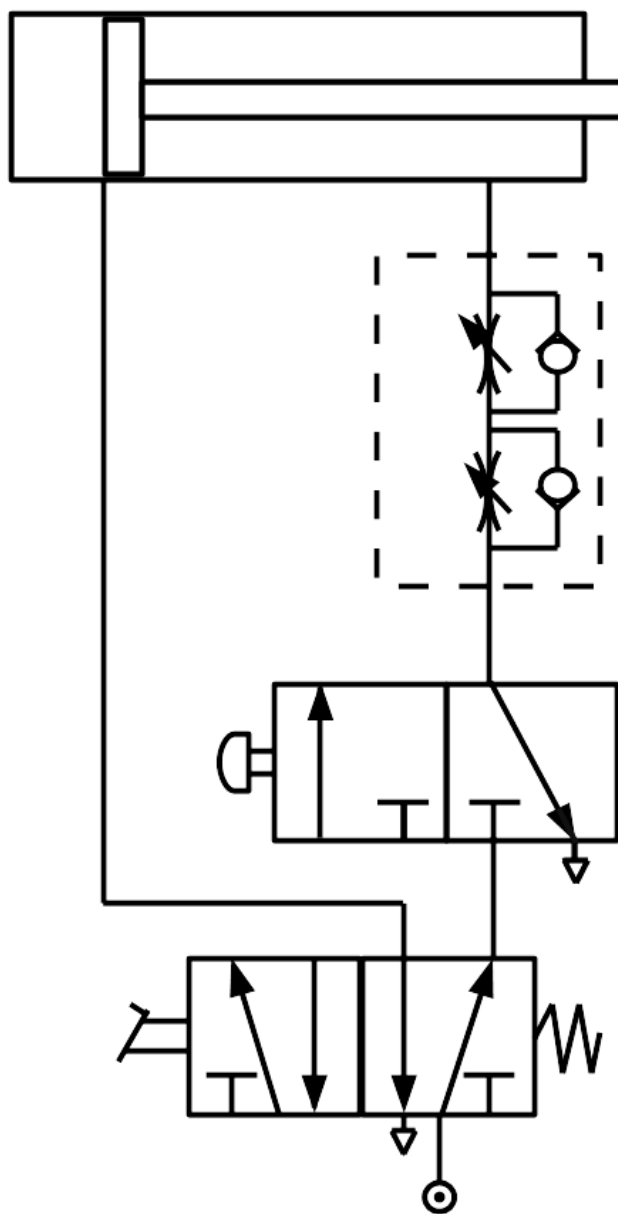
5.3.1 Princip

Vlastnímu nanášení lepidla předchází otření drážky tkaninou napuštěnou speciální kapalinou, která způsobí aktivaci plastu a zlepší přilnavost lepidla, potažmo kvalitu spoje. Přívod vzduchu do pneumatického válce je zajištěn pomocí nožního pedálu. Po jeho sešlápnutí se pod píst dostane stlačený vzduch, čímž vznikne přetlak. Ten zapříčiní pohyb pístu a vytlačení obou složek. Lepidlo se s aktivátorem propojí v mísicí špičce. Směs bude nanášena do tenké drážky dílu (cca 1,5 mm široké a 3 mm hluboké). Při odlehčení pedálu se přívod vzduchu uzavře a díky dvojitému zpětnému ventilu se píst zastaví a setrvá v ustálené poloze. To umožní přiložit druhý díl s negativním profilem, čímž vznikne pojící můstek a dojde ke spojení obou částí. Po opětovném sešlápnutí pedálu bude přívod vzduchu obnoven a bude se moci pokračovat v nanášení lepidla, dokud se kartuše nevyprázdní.

Při zmáčknutí tlačítka mechanického ventilu dojde k pohybu pístu zpět do horní úvrati a bude možné prázdnou kartuši vyměnit Pro lepší představu je níže zobrazen řez sesazených dílů a schéma pneumatické soustavy.

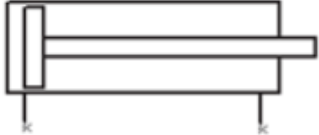
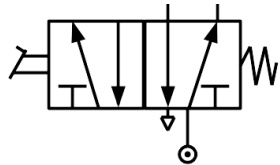

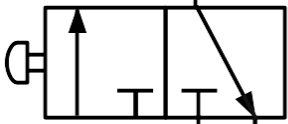





Obrázek 13: Detail drážky pro lepidlo



Obrázek 14: Pneumatické schéma

Použité značky

		
Dvojčinný válec bez magnetu	Mechanicky ovládaný ventil – ovládání nožním pedálem	
		
Dvojitý zpětný ventil	Mechanicky ovládaný ventil – ovládání knoflíkem	
		
Vedení pracovního stlačeného vzduchu	Atmosférický tlak	Zdroj vzduchu

5.4 Proces návrhu

Celý proces návrhu byl průběžně experimentálně testován a na základě výsledků ze zkoušek se odvíjely další postupy a případné úpravy jednotlivých dílů. Veškeré dílce jsou vytvořeny v programu NX 12.0 a následně vytištěny na 3D tiskárně metodou SLA (stereolitografie). Použitým materiálem je polyamid (PA12), což je pružný, polomatný materiál. Jeho vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. Pro srovnání jsou v tabulce 9 uvedeny i mechanické vlastnosti fotopolymeru, který při zkouškách neobstál a byl nahrazen již zmiňovaným PA12.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI	
Pevnost v tahu	43 – 64 N/mm ²
Prodloužení při přetržení	8 – 20 %
Modul pružnosti	950 – 1600 N/mm ²
Pevnost v ohybu	48 – 88 N/mm ²
Modul pevnosti v ohybu	1600 – 2300 N/mm ²

Tabulka 9: Vlastnosti fotopolymeru

OBECNÉ VLASTNOSTI	
Teplota tání prášku	187 °C
Velikost částic	60 μm
Hustota částic	1,01 g/cm ³

Tabulka 10: Obecné vlastnosti PA12

MECHANICKÉ VLASTNOSTI	
Pevnost v tahu	48 N/mm ²
Prodloužení při přetržení	15 – 20 %
Modul pružnosti	1730 N/mm ²
Pevnost v ohybu	65 – 70 N/mm ²
Poissonovo číslo 0,35	0,35

Tabulka 11: Mechanické vlastnosti PA12



Obrázek 15: Prototyp z fotopolymeru

První protyp byl vytištěn z fotopolymeru. Po přívodu stlačeného vzduchu došlo k pohybu pístu a vytlačování směsi ven z kartuše. Nicméně vlivem vysoké koncentrace napětí v oblasti uložení kartuše se vytvořila prasklina, která se velmi rychle šířila dál až do doby lomu. Na fotografiích níže je zachyceno poškození dílů.



Obrázek 16: Rozlomení dílů

Na základě této zkoušky byla oblast sevření kartuše doplněna o další pár šroubů na těsném konci dílu, aby nedocházelo k rozevírání s následným přidavným namáháním. Další prototyp byl již vytištěn z polyamidu, který je houževnatější a má lepší pevnostní vlastnosti než fotopolymer. Tato verze se již ukázala plně funkční. Ani po dlouhodobém namáhání nedošlo k selhání, či náznakům porušení.



Aby dávkování lepidla bylo pro uživatele pohodlné a umožnilo mu snadnou manipulaci, bylo zapotřebí dávkovač odlehčit pomocí balancéru. Při volbě byla rozhodující hmotnost celého zařízení, která činí 423 g. Tento údaj je maximální, kterého zařízení může dosáhnout. Zahrnuje hmotnost válce a plné kartuše. Na tomto základě byl zvolen balancér s plastovým tělem a ocelovým lankem

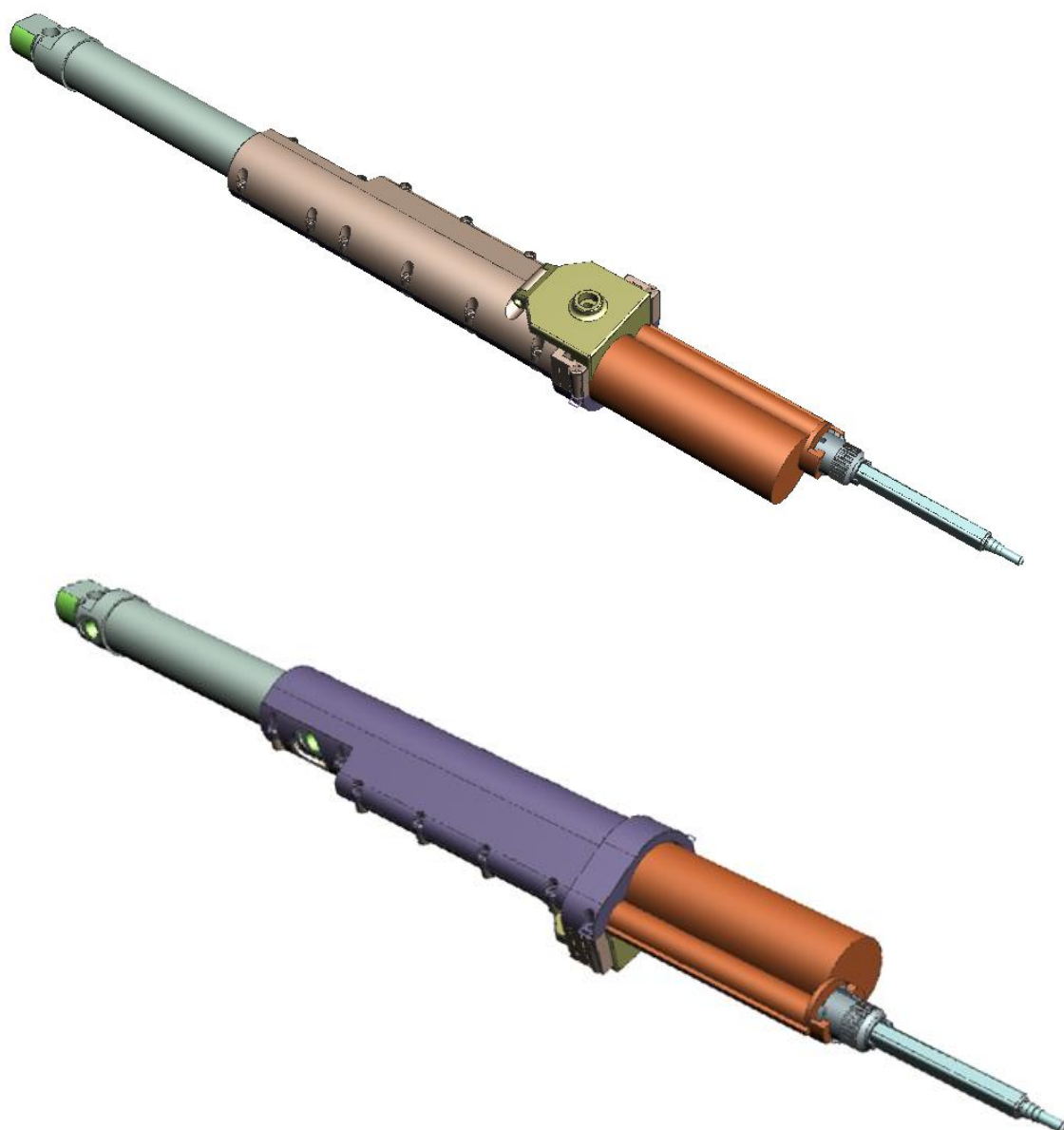
s nosností 0,4 – 1 kg a délkou lanka 1600 mm. K pouzdru je balancér uchycen za plastový pásek pomocí karabinky. Tělo je připevněno ke stropu pomocí lanka. Takovéto uspořádání se při zkoušce osvědčilo. S dávkovačem se díky balancéru snadno manipulovalo a umožnilo pohodlné nanášení lepidla do drážky.



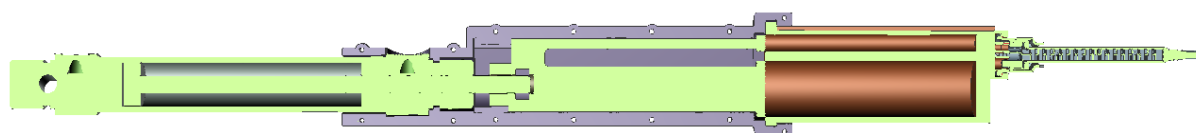
Obrázek 17: Připojení balancéru

5.5 Detailní popis konstrukce

Celá konstrukce se skládá z několika částí. Pohon je realizován pneumatickým válcem. Ten je z části vložen do vodícího pouzdra, které se skládá ze dvou dílů spojených pomocí šroubů. Na píst válce je našroubován píst se dvěma pístními plochami, jež kopírují vstupní otvory kartuše. Na vrchní část pouzdra je připevněn zajišťovací člen, jenž zjednoduší výměnu kartuše. Výstup kartuše je opatřen mícící špičkou, jež zajistí promísení obou složek lepidla



Obrázek 18: Model dávkovacího zařízení



Obrázek 19: Model dávkovače v řezu

5.5.1 Pneumatický válec

Jelikož je potřeba řízení pístu do dolní i horní uvrati, byl vybrán dvojčinný válec ISO 6432 od firmy STRÁNSKÝ A PETRŽÍK. Tělesem je tažená duralová trubka, tvrdě eloxovaná. Pístní tyč je broušená ocelová tyč CK45, jejíž povrch je z tvrdochromu [22].

Tento píst se vyrábí ve 2 provedeních (s průměrem válce 20 nebo 25 mm). Byl zvolen průměr 20 mm se zdvihem 100 mm. Tento rozměr je dán hloubkou kartuše se započtením rezervy. Parametry pneumatického válce jsou uvedeny v tabulce 12.



Obrázek 20: Pneumatický válec [22]

Vysouvací síla při 0,6 MPa	188 N
Maximální zdvih	300 mm
Hmotnost základní části	0,17 kg
Hmotnost 1 mm zdvihu	0,0010 kg
Hmotnost základní části s průběžnou pístní tyčí	0,20 kg
Pracovní tlak	0,6 MPa
Minimální tlak	0,15 MPa
Maximální tlak	1,0 MPa
Pracovní teplota	-20 °C až + 80 °C
Pracovní médium	upravený stlačený vzduch

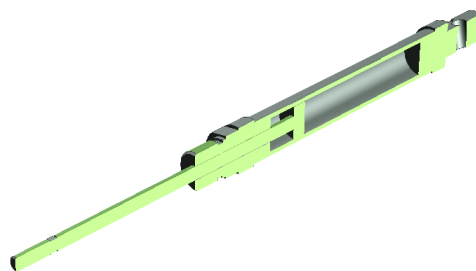
Tabulka 12: Parametry pneumatického válce [22]

Velikost potřebné síly byla odhadnuta na základě zkušeností při vytlačování složek z kartuše pomocí pistole.

Zákazník má možnost objednat si válec na míru. Kromě délky zdvihu může válec doplnit o tlumení, magnet, či požadovat průběžnou pístní tyč. V našem případě nebylo zapotřebí nic z toho využít a i s ohledem na náklady bylo vybráno to nejjednodušší provedení. Prodejce mi poslal 3D model, na jehož základě jsem navrhovala celé zařízení



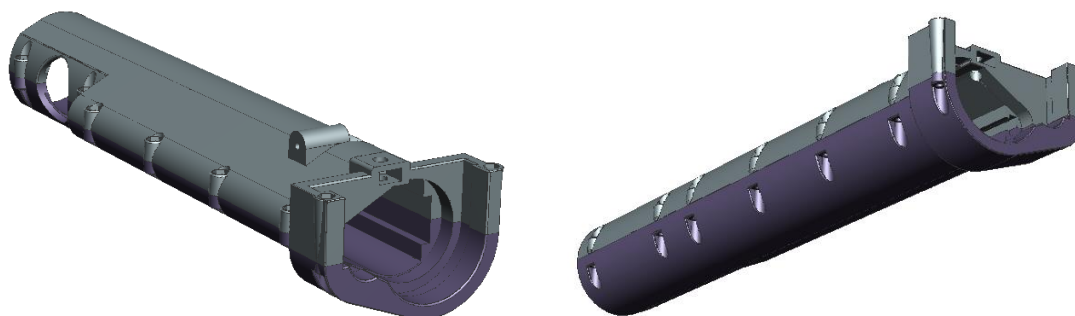
Obrázek 21: Model pneumatického válce



Obrázek 22: Pneumatický válec v řezu

5.5.2 Pouzdro

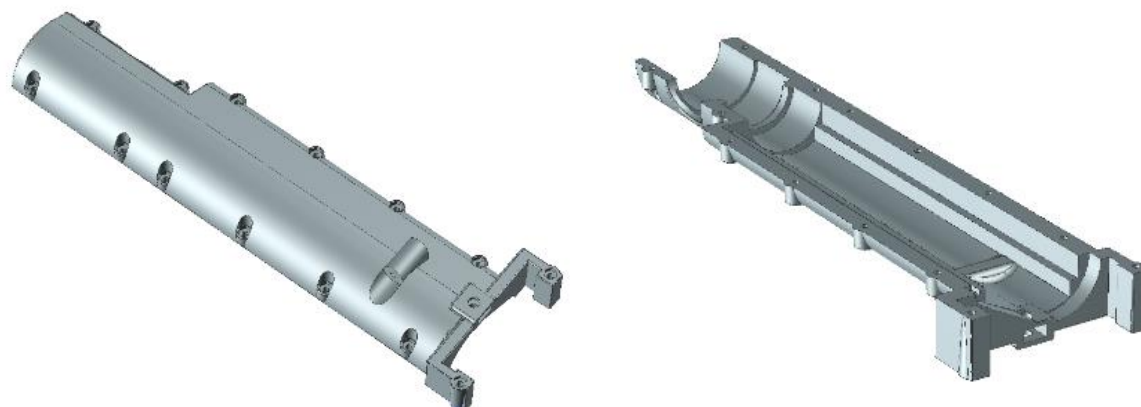
Pouzdro se skládá ze 2 dílů (spodní a vrchní část), které jsou po stranách spojeny čtrnácti šrouby (12 x M2x10 a 2 x M2x20) zajištěnými maticemi. Pro matice jsou na vrchním pouzdře vytvořena zahloubení. V oblasti umístění pneumatického válce se nachází kruhový otvor. Ten je zde z důvodu přívodu stlačeného vzduchu. Součástí vrchní poloviny pouzdra je zahloubení pro matici M4, do které se zašroubuje jistící šroub. Ten slouží k zajištění kartuše pomocí zajišťovacího členu. Přichycení tohoto dílu k pouzdru je realizováno šroubem M2x20. Z toho důvodu je vrchní část pouzdra vyvýšena a opatřena průchozí dírou o průměru 2 mm. Uvnitř pouzdra se po stranách nachází vodící drážky pro píst.



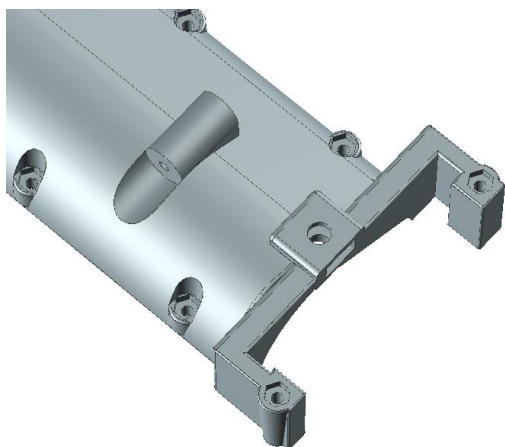
Obrázek 23: Pouzdro



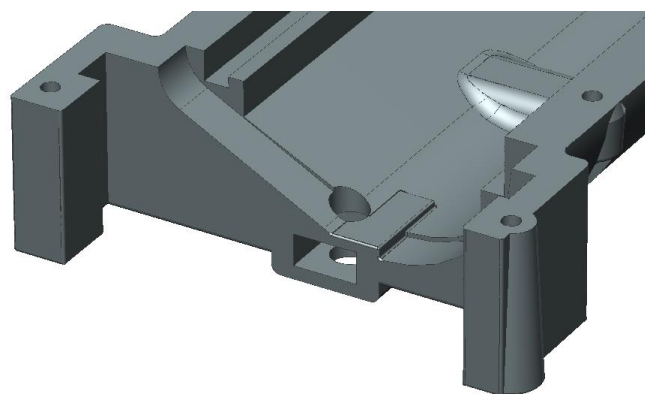
Obrázek 24: Spodní část pouzdra



Obrázek 25: Vrchní část pouzdra



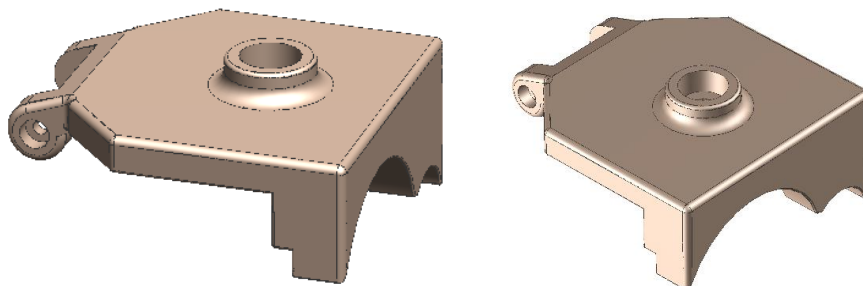
Obrázek 26: Detail nálitku pro šroub M2x20



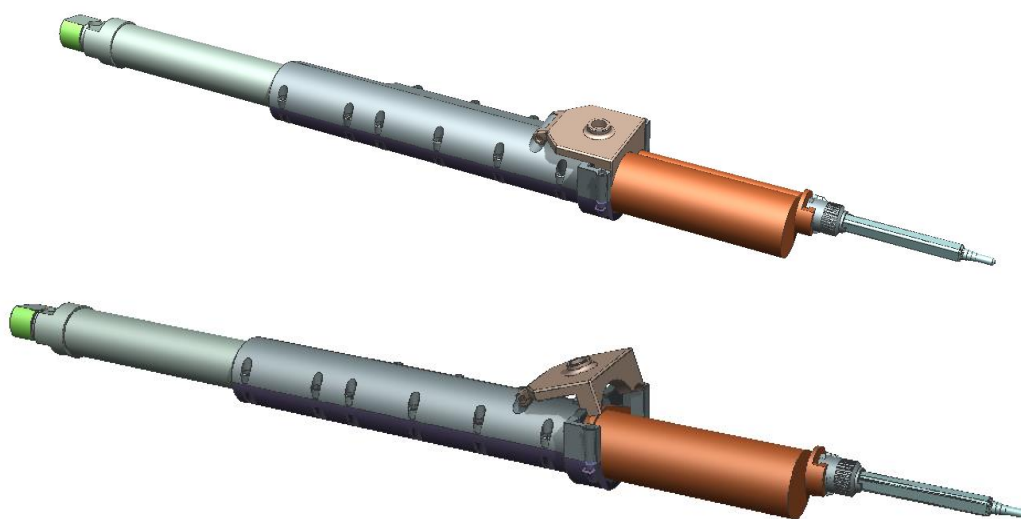
Obrázek 27: Detail zahloubení pro matici

5.5.3 Zajišťovací člen

K pouzdru je pomocí šroubu M2x20 přichycen další díl, jenž slouží k zajištění kartuše. Tento prvek umožní operativní výměnu kartuše bez nutnosti demontovat pouzdro. Vlastní zajištění je realizováno pomocí šroubu M4x10, jenž se při utažení zašroubuje do matice, jež je umístěna ve vrchní části pouzdra.



Obrázek 28: Zajišťovací člen



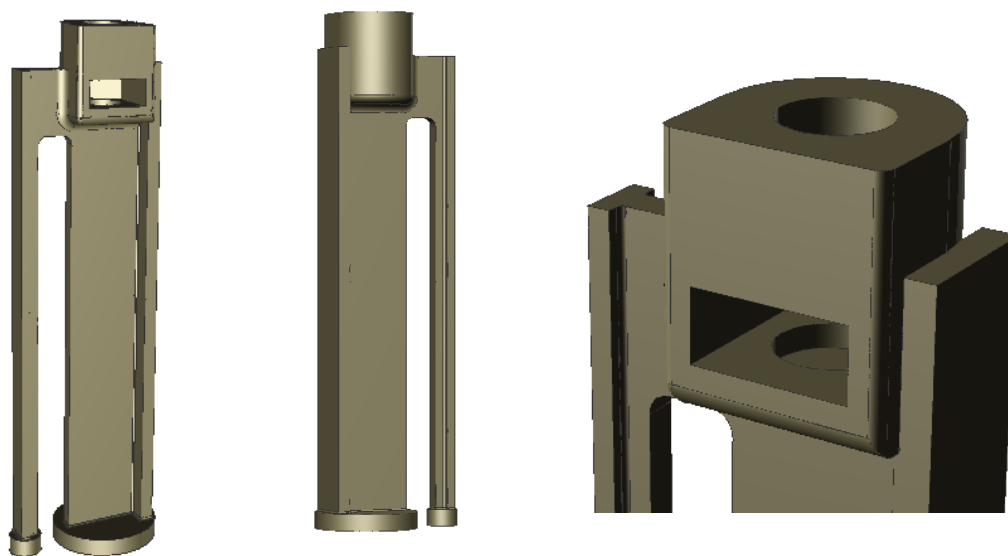
Obrázek 29: Způsob zajištění kartuše

5.5.4 Píst

Píst je k pneumatickému válci uchycen pomocí matice, do které se zašroubuje konec válce se závitem M8. Pro matici je vytvořeno zahloubení kopírující její tvar. Uprostřed se nachází vybrání pro možnost regulace utažení závitu pneumatického válce. Pneumatický válec je umístěn excentricky tak, aby na píst nepůsobil ohybový moment.

Na bocích je profil vyvýšen. Tento prvek umožní plynulé vedení ve svislém směru a zabrání vybočení pístu ve směru příčném, vzpěru. Navíc tím docílíme i celkového zpevnění dílu.

Koncové plochy kopírují vstupní otvory kartuše. Jelikož jsou složky v kartuši v poměru 1:10, průřezy se liší. Díl je opatřen zaoblením ostrých hran, kde by mohlo docházet ke koncentraci napětí.

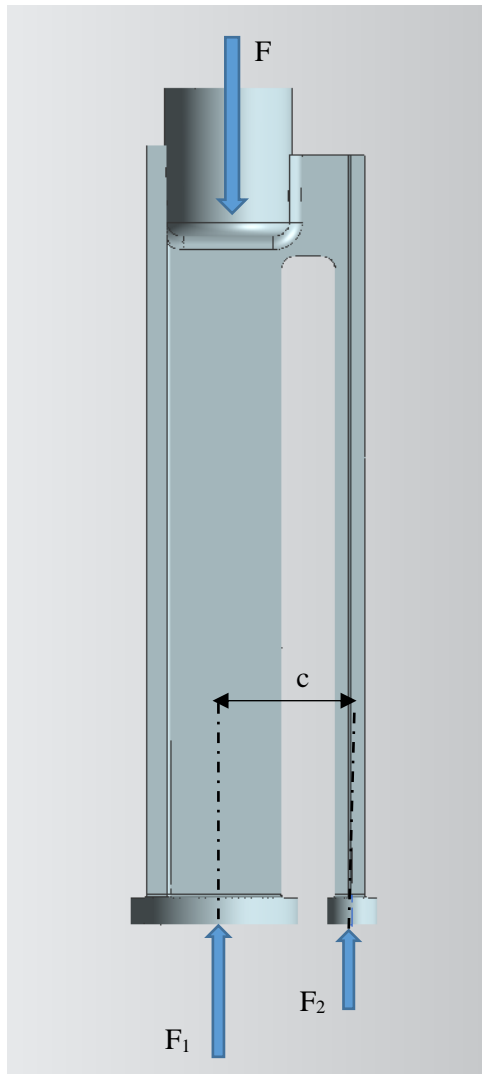


Obrázek 30: Píst

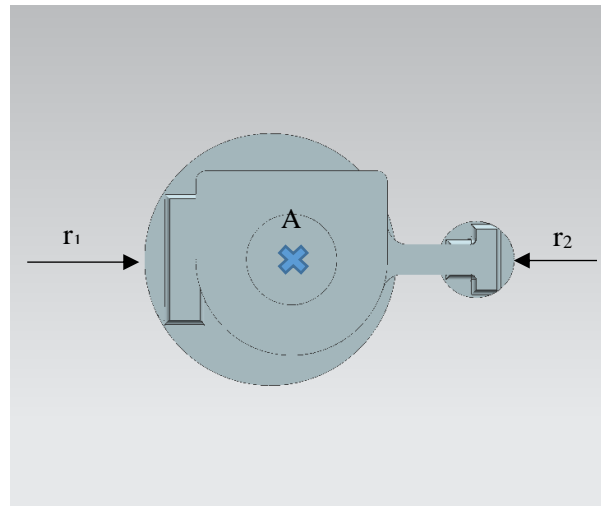
6 Výpočty

6.1 Poloha zahloubení pístu

Kvůli eliminaci ohybového momentu je třeba působíště síly působící na píst umístit excentricky. Polohu vypočítáme z momentové rovnice rovnováhy.



Obrázek 31: Vyznačení sil



Obrázek 32: Poloha bodu A

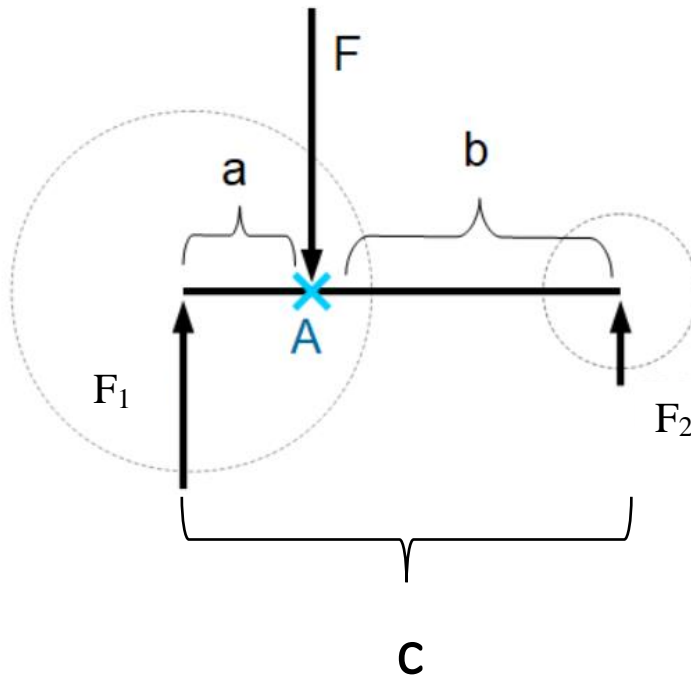
Mějme zjednodušené schéma, kde: Síla F je síla od pneumatického válce, jejíž působíště je v bodu A a síly F_1 a F_2 jsou síly na plochy pístu. Polohu bodu A určíme z momentové rovnice rovnováhy právě k tomuto bodu.

Známe poloměry ploch r_1 a r_2 a jejich roztečnou vzdálenost c . Tyto rozměry jsou dány velikostí kartuše.

$$r_1 = 6,25 \text{ mm}$$

$$r_2 = 1,9 \text{ mm}$$

$$c = 20,4 \text{ mm}$$



Pro síly platí: $F_1 = S_1 \cdot p = \pi r_1^2 \cdot p$

$$F_2 = S_2 \cdot p = \pi r_2^2 \cdot p$$

Momentová rovnice k bodu A:

$$F_1 \cdot a - F_2 \cdot b = 0$$

Po dosazení vztahů pro síly dostaneme:

$$\pi r_1^2 \cdot p \cdot a - \pi r_2^2 \cdot p \cdot b = 0$$

Tento vztah lze ještě upravit na:

$$r_1^2 \cdot a - r_2^2 \cdot b = 0$$

Jelikož známe roztečnou vzdálenost ploch c , můžeme eliminovat počet neznámých a vyjádřit si rozměr b jako:

$$b = c - a$$

Po dosazení do upravené momentové rovnice dostaneme

$$r_1^2 \cdot a - r_2^2 \cdot (c - a) = 0$$

Z této rovnice si vyjádříme rozměr a :

$$a = \frac{r_2^2 \cdot c}{r_1^2 - r_2^2}$$

Po dosazení dostaneme:

$$a = \frac{1,9^2 \cdot 20,4}{6,25^2 - 1,9^2} = 2,1 \text{ mm}$$

6.2 Síla na píst

Sílu pneumatického válce lze regulovat přívodem stlačeného vzduchu. Velikost přetlaku jsme zjišťovali experimentálně. Začínali jsme na 0,6 MPa a postupně jsme přidávali, než jsme docílili ideální rychlosti dávkování. Optima jsme dosáhli při 0,8 MPa.

Sílu, kterou vyvine přetlak spočítáme pomocí vztahu:

$$F = p \cdot S$$

Kde S je plocha pístu, kterou si vyjádříme pomocí průměru:

$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$

Po dosazení do vztahu pro výpočet síly F dostaneme:

$$F = p \cdot \pi \frac{d^2}{4}$$

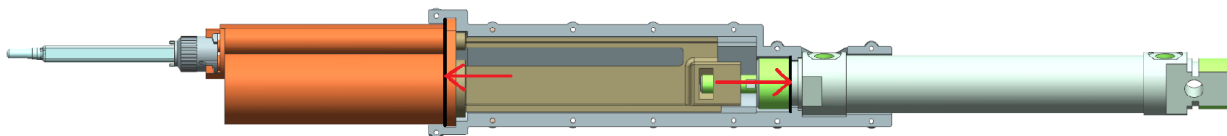
Po dosazení: $F = 0,8 \cdot \pi \frac{19,5^2}{4} = 238,9 \text{ N}$

6.3 Deformační a napěťová analýza

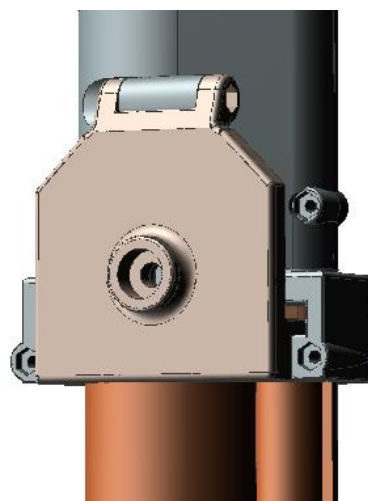
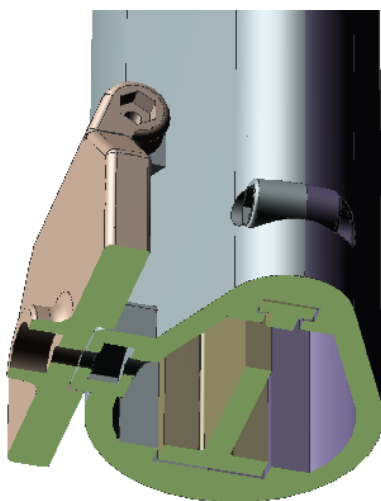
U celé sestavy byla provedena deformační a napěťová analýza metodou konečných prvků (MKP, angl. FEM = finite element method). Jedná se o numerickou metodu, která se běžně používá k simulaci průběhu napětí a deformací na vytvořeném fyzikálním modelu. Slouží především pro stanovení a kontrolu kritických míst konstrukce.

Princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků a stanovení okrajových podmínek, tedy těch parametrů, které jsou fixně dané (způsob zatížení, uložení atd.). Zjišťované parametry jsou pak určovány v jednotlivých uzlových bodech [23].

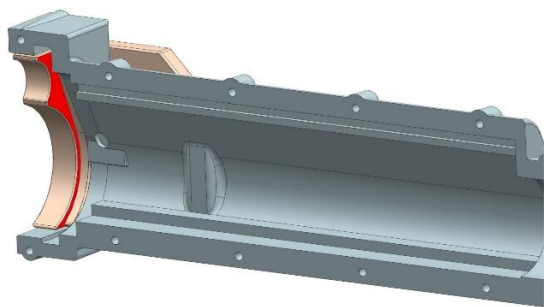
Analýza byla provedena ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci, se kterou firma již dlouhodobě spolupracuje. Byl využit program Creo 4.0, přičemž napěťové účinky působících sil vychází z podmínky plasticity HMH (von-Mises). Kontrola byla provedena na níže uvedeném modelu. Velikost zatížení byla výpočtem určena na 239 N. V rámci bezpečnosti bylo při simulaci uvažováno zatížení 300 N. Kontaktní plochy jsou vyznačeny pod schématem.



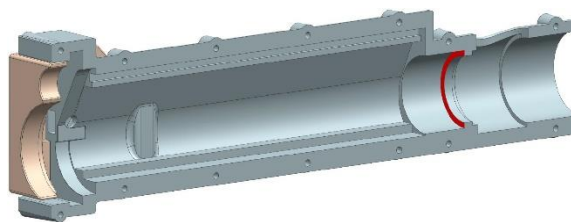
6.3.1 Okrajové podmínky a zjednodušení



Pro urychlení výpočtu simulace bylo zavedeno několik zjednodušení. Šroubové spoje byly uvažovány jako pevný spoj z jednoho kusu materiálu a celé tělo bylo definováno jako jednolitý solid.

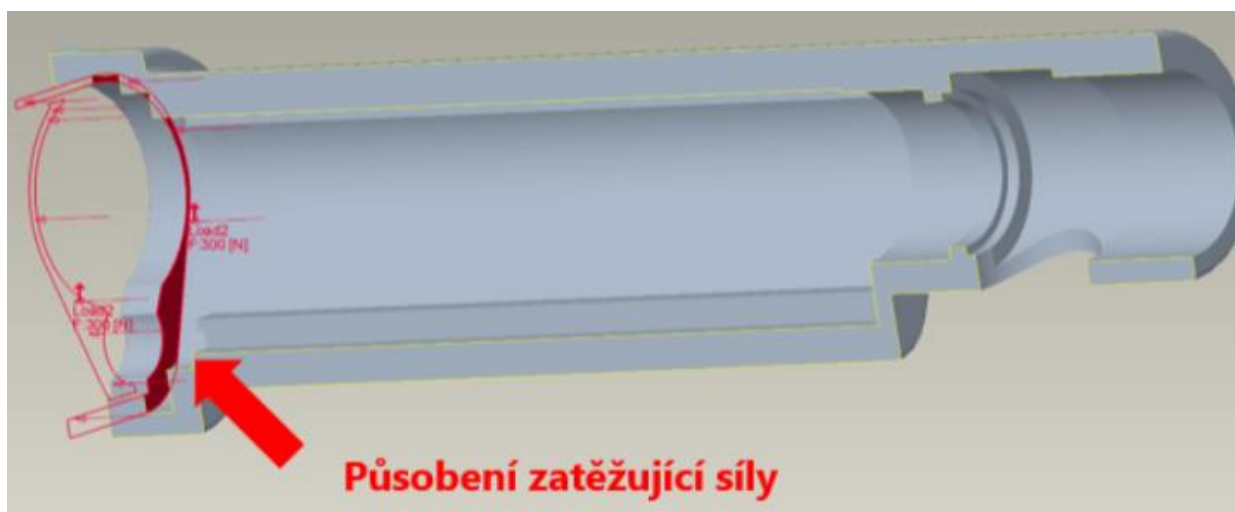


Obrázek 33: Kontaktní plocha - přední strana



Obrázek 34: Kontaktní plocha - zadní strana

Zadní kontaktní plocha byla definována jako pevně vetknutá a na přední kontaktní plochu působila zátěžná síla 300 N. Dochází zde pouze k jednoosému namáhání.



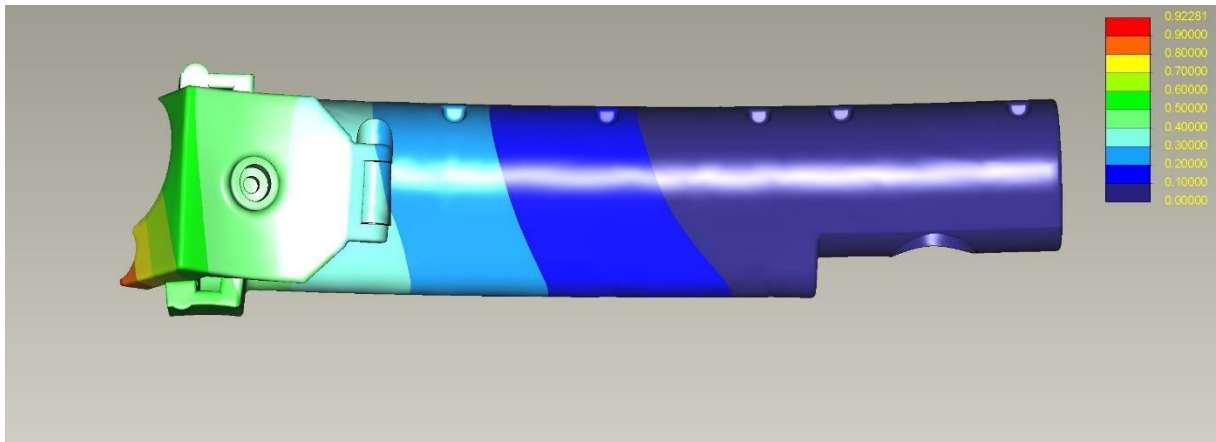
Jelikož nebyly známy veškeré informace o použitém materiálu potřebné pro FEM, byl v programu uvažován jiný materiál, ale rovněž se jednalo o PA12. Jeho vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 13.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI	
Mez kluzu	45 N/mm ²
Mez pevnosti	66 N/mm ²
Modul pružnosti	1800 N/mm ²
Hustota	1,02 g/cm ³
Poissonovo číslo	0,35

Tabulka 13: Vlastnosti materiálu v simulaci

6.3.2 Posunutí

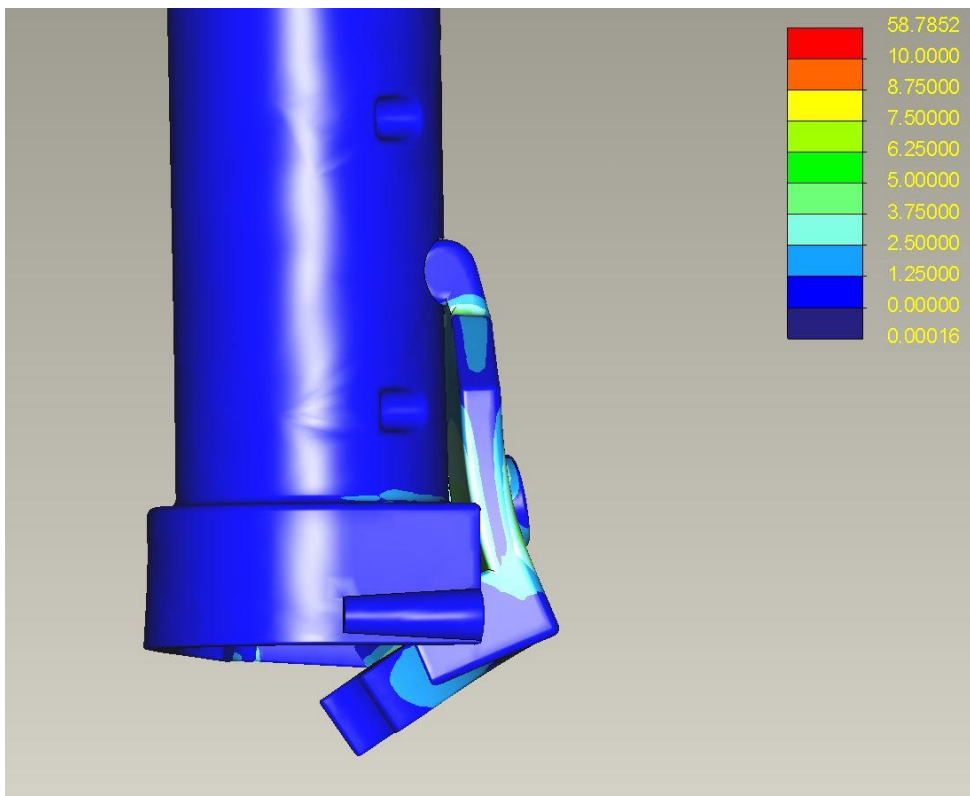
Na obrázku níže je simulován průběh posunutí při zatížení pístu silou 300 N. Měřítko je uvedeno v mm. Je patrné, že deformaci podléhá nejvíc oblast kolem zajišťovacího členu.

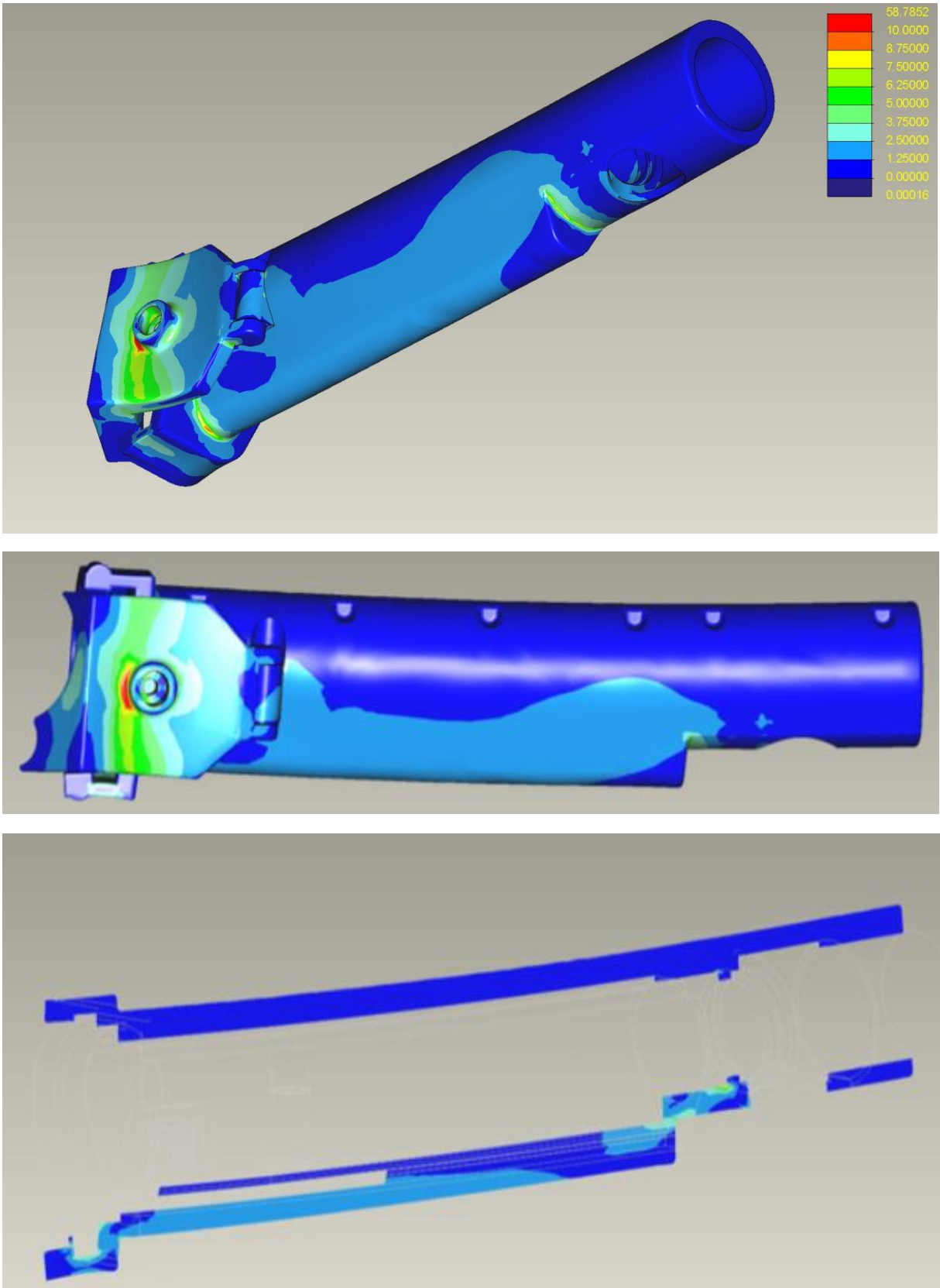


Obrázek 35: Vizualizace pole posunutí

6.3.3 Napětí

Ze simulace průběhu napětí je patrné, že nejkritičtější místa jsou v oblasti změn tvaru pouzdra a v okolí záhybu zajišťovacího členu, což vysvětluje prasknutí prvního prototypu. Měřítko je uváděno v N/mm^2 . Z obrázku lze vyčíst, že nejkritičtější místa dosahují až 58 N/mm^2 . Tato hodnota je nad mezí fotopolymeru, což vedlo k selhání prvního návrhu. V konečném návrhu byla změněna geometrie i použitý materiál. Nejvyšší napětí součásti je pod mezí pevnosti tohoto materiálu, proto již nedošlo k selhání. Dalšího zmírnění napětí by bylo možné docílit, kdyby oblast kolem vyvýšení pro šroub na zajišťovacím členu byla opatřena žebrem.





Obrázek 36: Vizualizace pole napětí

6.3.4 Vyhodnocení

Analýza dávkovače s využitím metody konečných prvků byla použita pro ověření konstrukčních a materiálových limitací daného konceptu. V rámci analýzy byla použita zjednodušení (nahrazení šroubových spojů atd.) a výše uvedené okrajové podmínky. Zatížení 300 N se jeví jako limitní s ohledem na napětí, kterého bylo v kritických oblastech zařízení dle FEM analýzy dosaženo. Z výsledků vyplývá, že v reálných podmínkách při dlouhodobém namáhání by neměla být překročena působící síla přibližně 240N (v závislosti na okolních podmínkách, teplotě atd.). V opačném případě musí dojít ke změně materiálu, ze kterého je dávkovač vyroben a nebo ke konstrukčním úpravám. Materiál využitý pro analýzu odpovídá reálně testovanému polymeru, ze kterého byl prototyp metodou Multi Jet Fusion vyroben.

7 Závěr

V rámci své bakalářské práce jsem spolupracovala s firmou, jejíž produkty jsou převážně plastové výrobky. Úkolem bylo navrhnout dávkovač lepidla, kterým by se pohodlně a rychle nanášelo lepidlo do tenké drážky při lepení plastových dílů. Firmě by toto zařízení otevřelo nové možnosti ve vývoji svých produktů.

Nejprve jsem provedla rešerši lepidel a dávkovačů. Lepidla bylo třeba podrobit zkoušce, aby se ověřilo, že mají vhodné vlastnosti k aplikaci a vytvoří pevný a houževnatý spoj polyamidových dílů. Na trhu se vyskytuje mnoho zařízení, nicméně žádné nebylo zcela vyhovující. Proto se zvolila cesta vlastního návrhu. Využilo se nabytých poznatků k inspiraci pro vlastní návrh. Bylo třeba stanovit pohon a přesný typ lepidla, neboť to byly důležité vstupní parametry pro návrh zařízení. Nakonec se podařilo navrhnout pneumaticky poháněný dávkovač lepidla, který vyhovuje hlavním požadavkům firmy. Jednotlivé části byly vymodelovány v programu NX 12.0 a vytištěny na 3D tiskárně. Materiálem je polyamid PA12.

V rámci ověření životnosti a bezpečnosti zařízení bylo metodou konečných prvků simulováno napětí a deformace sestavy, kde bylo potvrzeno, že koncentrace napětí se nachází v rozích a přechodech tvarů. Proto jsou tato místa opatřena rádiusy, které napětí zmírňují a zabraňují dosažení meze pevnosti a následnému lomu součástí. Tyto kritické oblasti sice v simulaci dosahují hodnoty vyšší, než je mez pevnosti použitého materiálu, nicméně v simulaci byla uvažována větší síla. Protože má použitý materiál lineární závislost napětí na deformaci, lze tvrdit, že při reálném zatížení kritické oblasti nepřekročí mez pevnosti použitého materiálu.

Ačkoliv je zařízení plně funkční, je řada vylepšení, která by se v budoucnu mohla provést. Prvním z nich je zajišťovací člen kartuše, jenž v mém návrhu využívá k pojištění šroub. Vhodnější variantou by byla západka nebo jiný podobný mechanismus, který by umožnil rychlejší odjištění a následnou výměnu kartuše. Další prvek k vylepšení je okénko, případně malé otvory ve vodícím pouzdře, kterými by se dala sledovat poloha pístu, což by uživateli poskytlo informaci o potřebě vyměnit kartuši. V budoucnu by bylo vhodné pouzdro doplnit o prvek umožňující uchycení balancéru, a tím nahradit současný provizorní plastový pásek. Protože pracoviště s tímto zařízením bude více, upevnění balancéru ke stropu není příliš praktické. Bylo by tedy vhodné navrhnout rám připevněný k pracovnímu stolu, na který bude možné balancér přimontovat. Všechny tyto doplňující návrhy nejsou z hlediska funkčnosti nezbytné, nicméně by přinesly uživateli příjemnější a pohodlnější práci s tímto zařízením.

Literatura

- [1] *Clean AIR* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.clean-air.cz/headtops/safety-helmets/#1529909274439-3f41cf2d-1696>
- [2] *Clean AIR* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.clean-air.cz/papr/chemical-3f/>
- [3] *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. 2019 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavnimenu/artikuly/artikul/article/alternativy-konstrukcniho-lepeni-plastu/>
- [4] *Lepidla Online* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.lepidla-online.cz/eshop/p/loctite-96001-pistole-rucni-pro-dvojkartuse-50-ml-1-1-2-1-0-451?gclid=Cj0KCQjwtr_mBRDeARIsALfBZA6uUzSBUq2F9QgbOxLiCrkfjDe6HaP6crPLc7ryUN6WPlx2R0A4qmEaAjQHEALw_wcB
- [5] *HOTAIR* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.hotair.cz/detail/davkovace-tekutych-pripravku/manualni-davkovace/rucni-davkovac-dvojitych-2k-kartusi-v-pomeru-4-1-40ml.html?gmc&gclid=Cj0KCQjwtr_mBRDeARIsALfBZA50UrhYC8H9zB9lgOh9AE6WD3FpRUZB1OY4ifINU2nyI5hVmAkAt2AaAq81EALw_wcB
- [6] *RS* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/p/products/4951750/?grossPrice=Y&cm_mmc=CZ-PLA-DS3A--google--PLA_CZ_CZ_Lepidla_And_T%C4%9Bsniva_A_P%C3%A1sky--D%C3%A1vkova%C4%8De_Lepidel_And_T%C4%9Bsniv_A_P%C3%A1sek%7CPistole_Na_Epoxidovou_Prysky%C5%99ici--PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-522094391936:pla-510261158111&gclid=Cj0KCQjwtr_mBRDeARIsALfBZA6DEJMVfOtCpNI4cNU-_2Pe-Yv4IDgaBRLw35eSNy4NxV1B2BQZygaAnqiEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- [7] *INTERCUT* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.intercut.cz/eshop/p/loctite-983439-pistole-vzduchova-pro-dvojkartuse-400-ml-1-1-2-1-0-474?gclid=CjwKCAjw2cTmBRAVEiwA8YMgzRDorXJmikMmnOFM0kjvQiAfGjIxGW6zxB6HMUXjTH_omPJc3W-zUBoCN-oQAvD_BwE
- [8] *LUB TEC* [http://www.lubtec.cz/davkovaci-technologie]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.lubtec.cz/davkovaci-technologie>
- [9] *METER MIX* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mettermix.cz/davkovaci-know-how/encyclopedie/davkovaci-smesovaci-technologie/>
- [10] *METER MIX* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mettermix.cz/davkovaci-know-how/encyclopedie/1k-a-2k-davkovani/>
- [11] *DOPAG* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/novinky/volba-spravneho-systemu-na-1k-davkovani/>
- [12] *IGM Nástroje a stroje* [online]. In: . [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.igm.cz/igm-a5-tlakovy-davkovac-lepidla-nerezovy-5-kg/?gclid=CjwKCAjw2cTmBRAVEiwA8YMgzQQC1bqvaxvZUBdirt7IT1Mvy2WyIuL7YARvQFcaK__O03rBT2Lt1BoCYa4QAvD_BwE
- [13] *MZ Hutní Materiály* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mzhutni.cz/misici-spicka-berner-p1153/>
- [14] *Cool Ride* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.coolride.de/Mischrohr-Statisher-Mischer-fuer-Spezialklebstoff-5-Stk>

- [15] *Tor cheb* [online]. 2019 [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: <http://eshop.tor.cz/sk/smesovaci-spicky-na-cosmofen-duo-haw0536133>
- [16] *MMSpektrum* [online]. [cit. 2019-06-14]. Dostupné z: <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/nerezove-sroubove-zvedaky.html>
- [17] *Schinkmann* [online]. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/vyvazovac-tecna-9301-0-4-1-kg-1600-mm-tecna>
- [18] *TECNA* [online]. 2019 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: *TECNA 9311, 0,4-1 kg* <https://www.b2bpartner.cz/vyvazovac-tecna-9311-0-4-1-kg>
- [19] */ALFAVARIA.COM* [online]. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://shop.alfavaria.cz/pruzinovy-balancer-0-4-1-kg-1600mm-tecna-196cz114/>
- [20] *BOUKAL stroje s lidskou péčí* [online]. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://shop.boukal.cz/dilenske-vybaveni/balancer-atlas-copco-ril-2c-pro-0-4-1kg/?gclid=Cj0KCQjwrJ7nBRD5ARIsAATMxstAFouHinv6_gD8F6UfxWOAqKxqSYqE8mtESoxpFGxQc1zAFsWHdZEaAmdSEALw_wcB
- [21] *SVÁŘEČKY - obchod.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://www.svarecky-obchod.cz/pneumaticke-naradi/rozvod-stlaceneho-vzduchu/navijeci-bubny-s-hadicemi/9157-balancer-fz-0-4-1-kg.htm?gclid=Cj0KCQjwrJ7nBRD5ARIsAATMxsu5ubOE_X1nPNRx4MvAQLbxLnkysVPq6KoP7wvoUHTj8_FVZ_6yFusaAnj1EALw_wcB
- [22] *STRÁNSKÝ A PETRŽÍK* [online]. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/dvojcinne-valce-menu/dvojcinne-valce-iso-6432-20-25/>
- [23] ŠPANIEL, Miroslav a Zdeněk HORÁK. *Úvod do metody konečných prvků*. v Praze: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04665-4.