

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh konstrukčního řešení lemovacího stroje

Autor: **Bc. Roman LIŠKA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman LIŠKA**
Osobní číslo: **S18N0084P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Návrh konstrukčního řešení lemovacího stroje**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je návrh konstrukčního řešení lemovacího stroje střešního otvoru stropního panelu automobilu. Je vyžadována nová koncepce přidržovače látky spojená s horní polovinou zařízení. Výsledné řešení musí obsahovat 3D model stroje, sestavový výkres navržené koncepce a zhodnocení využitelnosti tohoto řešení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše dosavadních řešení
2. Porovnání stávajících variant s novou koncepcí
3. Konstrukční návrh včetně potřebných výpočtů
4. Zhodnocení navrženého řešení

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J *Příručka strojího inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Navara, Ph.D.**
Value 4industry s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D. a panu Ing. Vladimíru Navarovi, Ph.D. za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly tuto práci vypracovat a zkompletovat. A v neposlední řadě i společnosti Value 4 Industry, ve které jsem mohl téma zpracovat.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Liška	Jméno Roman	
STUDIJNÍ OBOR	N2301- „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Jméno Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh konstrukčního řešení lemovacího stroje		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	53	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem práce je návrh konstrukčního řešení lemovacího stroje střešního otvoru stropního panelu automobilu. Je vyžadována nová koncepce přídržovače látky spojená s horní polovinou zařízení. Výsledné řešení musí obsahovat 3D model stroje, sestavový výkres navržené koncepce a zhodnocení využitelnosti tohoto řešení.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">přídržovač, pracovní stůl, přitlačovací koš, vyráběný díl</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Liška	Name Roman	
FIELD OF STUDY	N2301- "Transport and handling machinery"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Name Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of construction solution of wrapping machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	53	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of the work is to design a constructional solution of the wrapping machine of the roof opening of the car ceiling panel. A new concept of a fabric holder is required associated with the upper half of the device. The resulting solution must include a 3D machine model, an assembly drawing of the proposed concept and an evaluation of the usability of the solution.
KEY WORDS	holder, work desk, pressure basket, manufactured part

Obsah

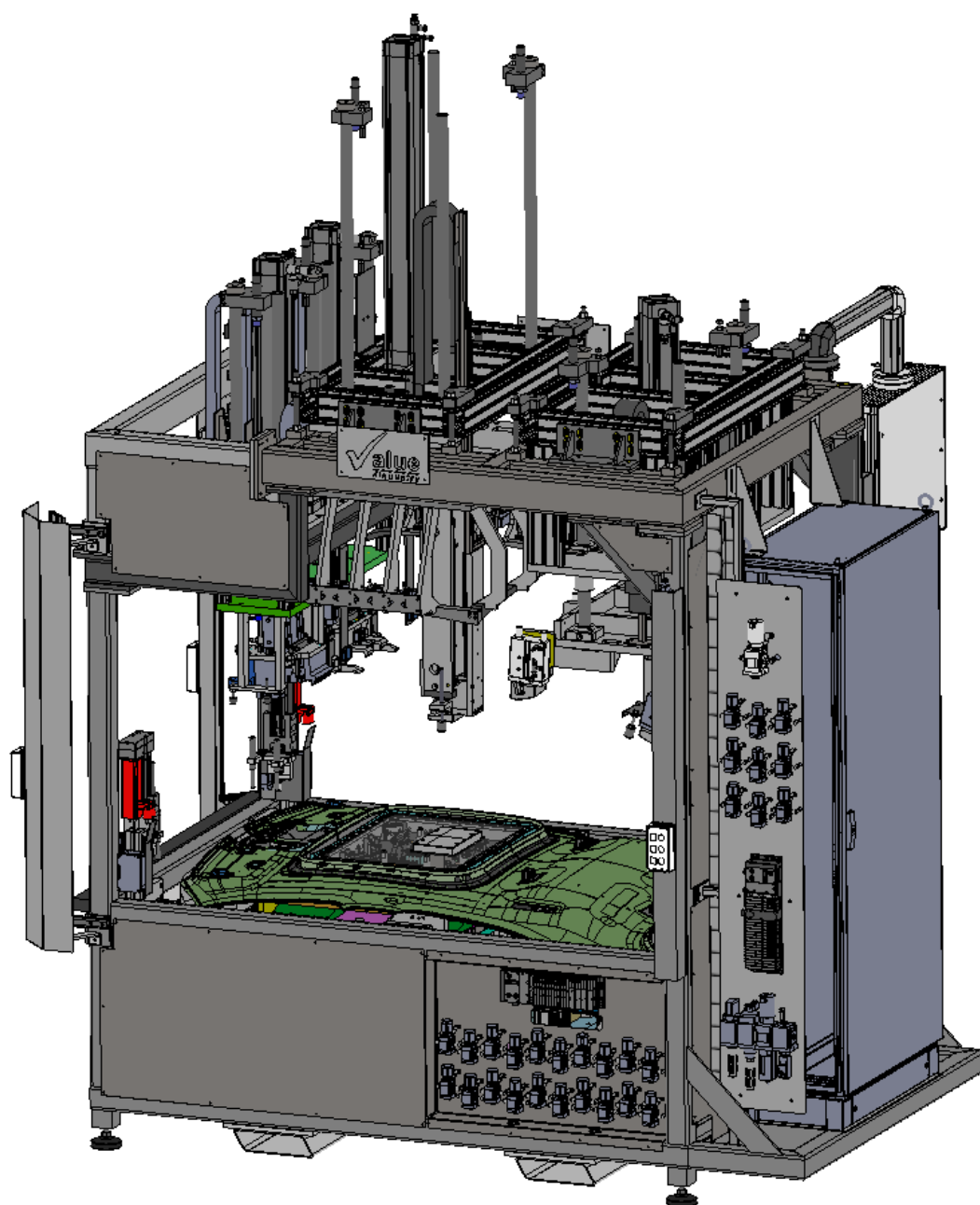
1 Úvod	8
2 Dosavadní konstrukční řešení	9
2.1 Původní provedení přídržovacích jednotek	10
2.1.1 Přídržovací jednotka	10
2.2.2 Nastavování přitlačovací síly v oblasti rohů	12
2.3 Výpočet přenesené síly od válce	12
2.4 Přitlačovací koš	13
2.5 Důležité stavy stroje	14
2.6 Vyráběný díl	18
3. Nové konstrukční řešení	21
3.1 Nový přitlačovací koš	22
3.2 Přídržovače	23
3.3 Úpravy stroje spjaté s novým konstrukčním řešením	26
3.4 Spojka	28
3.5 Lemovací stůl	28
3.6 Důležité stavy stroje	29
4. Výpočet MKP	34
4.1 Výpočet	34
4.1.1 Zjednodušení modelu	34
4.1.2 FEM	35
4.1.3 Okrajové podmínky	37
4.1.4 Výsledky	41
4.2 Výpočet	43
4.2.1 Zjednodušení modelu	43
4.2.2 FEM	44
4.2.3 Okrajové podmínky	45
4.2.4 Výsledky	47
4.3 Shrnutí výsledků	50
5. Závěr	51
Seznam použité literatury	52
Seznam obrázků	53
Seznam tabulek	54
Seznam příloh	54

1 Úvod

Ve své práci se budu zabývat novým koncepčním řešením lemovacího stroje střešního otvoru stropního panelu pro automobil. Cílem je přesunutí a předělání jednotek přidržovačů látky ze spodní části stroje do horní. S tím jsou samozřejmě spojeny i potřebné úpravy celého stroje pro umožnění aplikace nového řešení. Toto nové řešení by mělo být výhodnější z hlediska montáže, kdy pracovníci mají snazší přístup k jednotlivým jednotkám přidržovačů a také by mělo být umožněno jednodušší nastavení přitlačovací síly pomocí tlaku vzduchu pro jednotlivé válce oproti původní konstrukci se stavěcími šrouby. Dalším kladem je působení přitlačovací síly v ose pneumatického válce, díky čemuž je nyní možné použít menší pneumatické válce než doposud.

2 Dosavadní konstrukční řešení

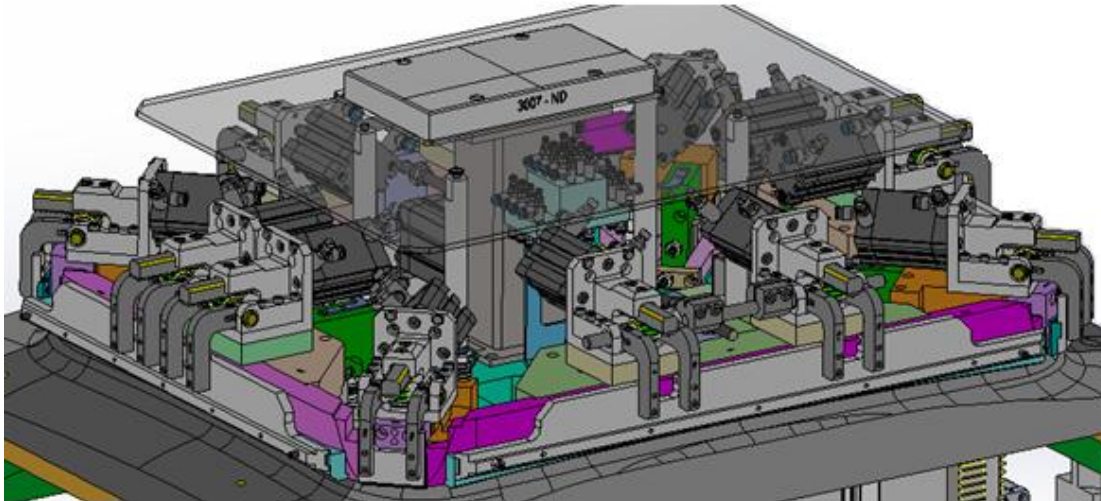
Tento stroj slouží k dokončení střešních dílů do automobilu, kdy se na založený díl lemují látka přes okraj okna a připevňuje se středová konzole. Důležitými prvky pro tuto práci z pohledu lemovacího procesu jsou pracovní stůl ve spodní části stroje, který nese přídržovací jednotky a přítlačný koš pro zafixování dílu, který se nachází v horní části stroje.



Obrázek 1 - Původní stroj

2. 1 Původní provedení přídržovacích jednotek

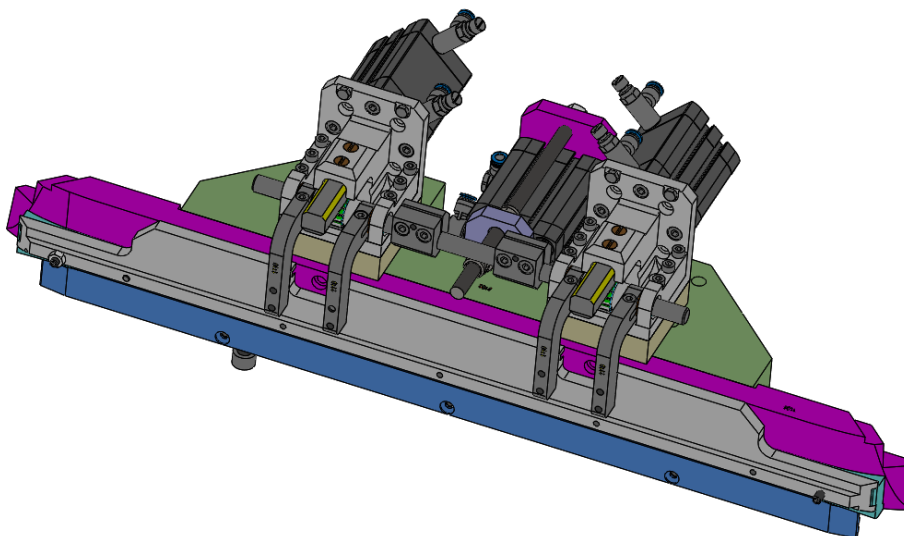
V původním řešení byly přídržovací jednotky umístěny ve spodní části stroje na tzv. stole. Na obr. č. 2 je vidět, jak tato konstrukce byla limitována minimální velikostí okna, které bylo možno olemovat látkou, neboť pneumatické válce pro přitlačování se instalovaly právě do tohoto prostoru. Od určité velikosti se zkrátka již do tohoto prostoru nevešly.



Obrázek 2 - Stůl lemování detail

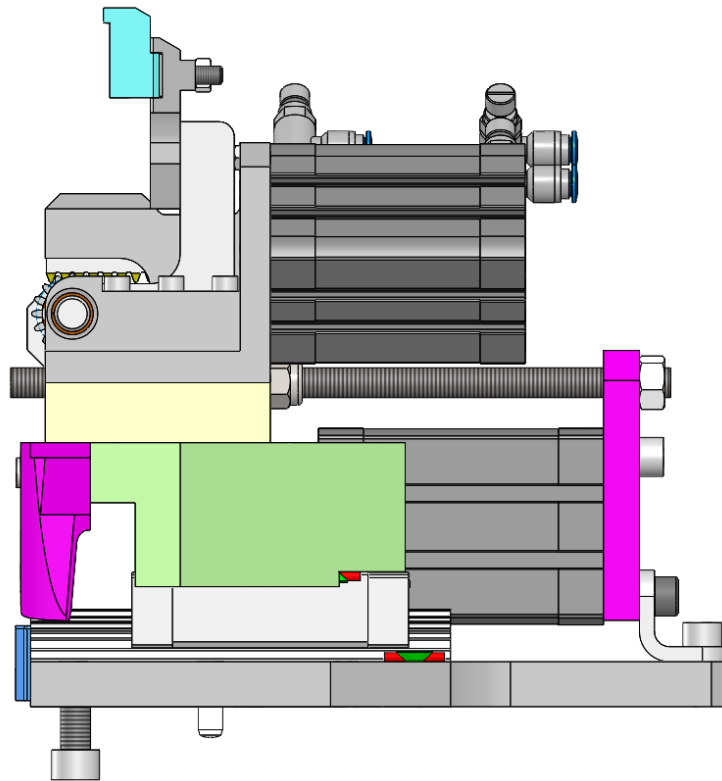
2.1.1 Přídržovací jednotka

Přídržovací jednotka (obr. č. 3) je určena pro lemování v přímé části okna. Pro lemování v rozích se používají menší jednotky, ovšem princip jejich funkce je totožný s přímými. Úkolem těchto jednotek je chycení látky a její přetažení přes díl. Jednotka se dělí na horní a spodní pneumatické válce, které pracují ve společné kooperaci. Horní válec pomocí hřebenového převodu slouží k chycení látky. Spodní válec pak posouvá těmito válci společně s protilehlým přídržovačem ve vodorovném směru po lineárním vedení, čímž dochází k přetahování látky přes díl.



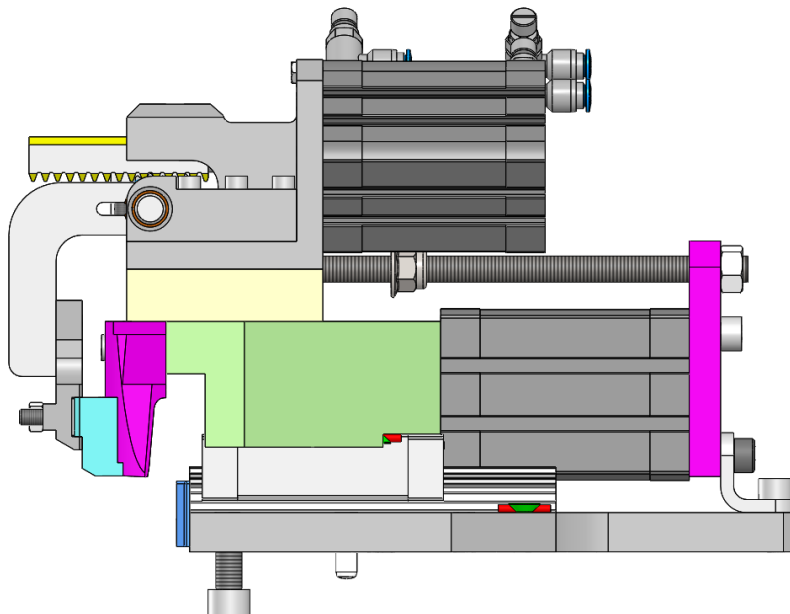
Obrázek 3 - Přídržovací jednotka

Stav otevřený – ve výchozí poloze



Obrázek 4 - Přidržovač otevřený

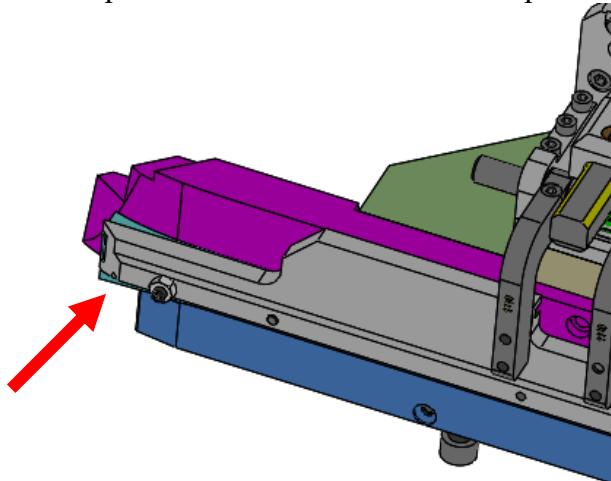
Stav zavřený – vysunutá poloha při přetažení látky přes díl



Obrázek 5 - Přidržovač zavřený

2.2.2 Nastavování přitlačovací síly v oblasti rohů

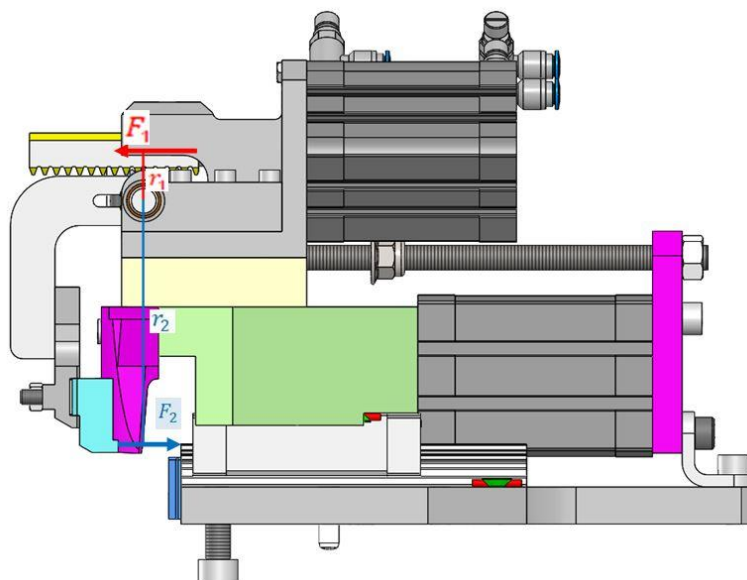
V původním řešení se vyskytovaly určité problémy s nastavením stroje pro dokonalé napnutí látky v oblasti rohů, kde se „krabatěla“ anebo příliš napínala a bylo nutné látku vyhladit pomocí nastavení přitlačné síly na koncích přídržovače. Toto nastavování bylo řešeno pomocí stavěcích šroubů (obr. č. 6) na okraji přídržovače. Samotný proces nastavování pak probíhal tak trochu stylem pokus omyl a zkoušely se pro dané konfigurace vyrábět díly. Daná metoda však vedla až k příliš velkému množství zmetků při nastavování stroje.



Obrázek 6 - Stavěcí šroub

2.3 Výpočet přenesené síly od válce

Původní přídržovací jednotka vyvozovala přitlačnou sílu pomocí ozubeného hřebenu přes rameno přídržovače s držákem spojeným s přídržovačem. Při vysunutí pneumatického válce rameno s přídržovačem vykonávalo rotační pohyb, čímž následně uchopilo látku. Výpočet ukazuje neefektivitu a ztrátovost tohoto řešení. Potřebné silové poměry jsou naznačeny v obrázku č. 7.



Obrázek 7 - Přenesená síla

Přenesená síla

$$F_1 * r_1 = F_2 * r_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 * r_1}{r_2} = \frac{754 * 12}{99,5} = 90,9 \text{ N}$$

F_1 – síla vyvozená pneumatickým válcem [N]

F_2 – přenesená síla působící na přidržovači [N]

r_1 – rameno, na kterém působí síla F_1 [mm]

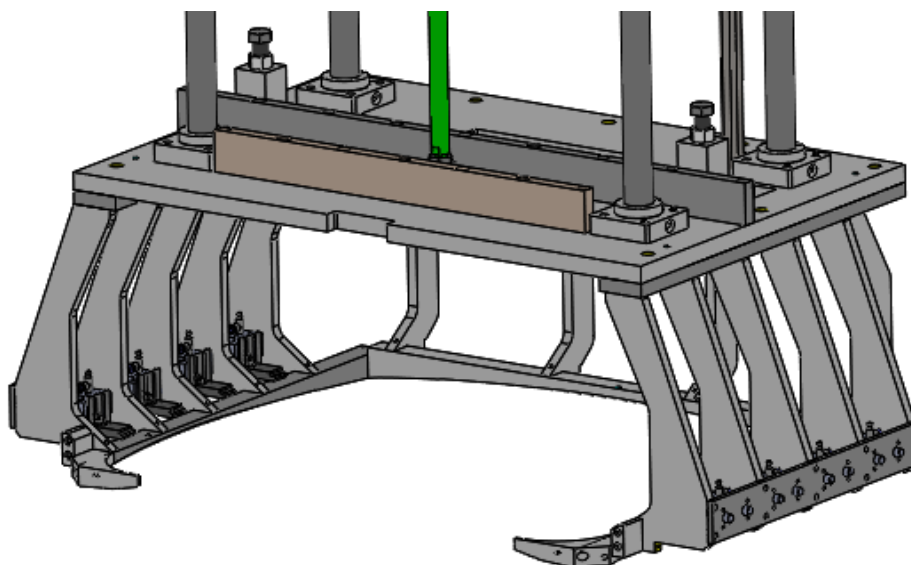
r_2 – rameno, na kterém působí síla F_2 [mm]

Z výše uvedeného výpočtu je vidět, že přenesená přítlačná síla v původní koncepci je výrazně menší, než je jmenovitá síla válce. Respektive původní síla válce byla **754 N**, zatímco přenesená síla byla pouhých **90,9 N**.

Nová koncepce, kdy válce budou umístěny v přidržovacím koši a přidržovače samotné budou převážně působit v ose válce, tyto ztráty podstatně eliminuje. Proto je možné použít menší válce, než které byly používány doposud, aniž by byla snížena přítlačná síla přidržovačů.

2.4 Přítlačovací koš

Úkolem původního koše (obr. č. 8) je přítlačit založený díl proti stolu, aby byl pevně zafixován a tím také umožněna další práce s ním a pneumatické válce v něm umístěné sloužily k dolepení látky pod výstupky na vyráběném dílu, v provozu se však zjistilo, že jsou zbytečné, protože i bez jejich využití stroj fungoval. V nové konstrukci je tento koš využit k přítlačení vyráběného dílu a nesení přidržovacích jednotek, což bude podrobněji popsáno dále v práci (viz. kapitola 3.1).



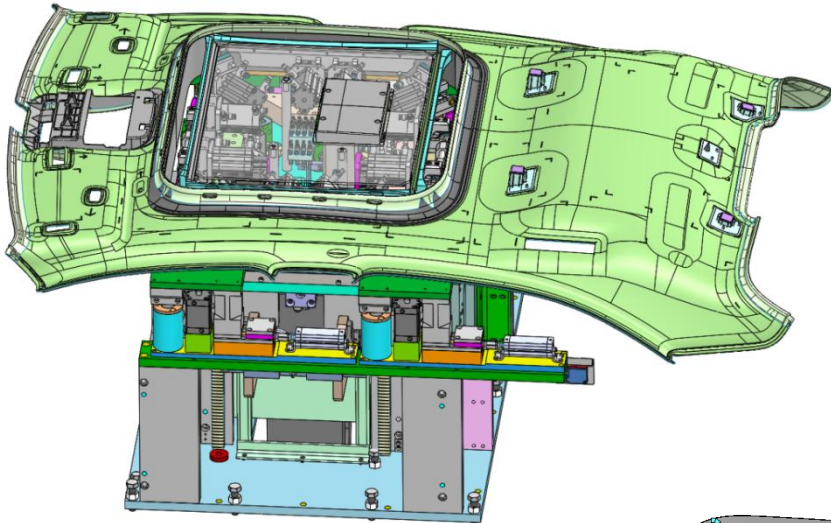
Obrázek 8 - Přítlačovací koš

2.5 Důležité stavy stroje

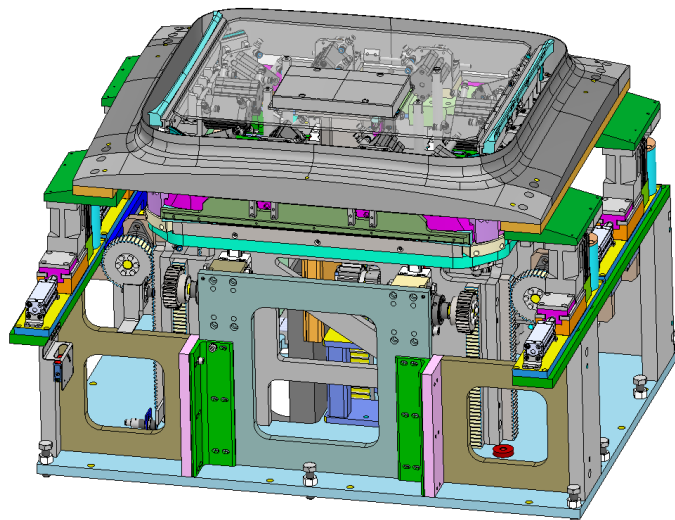
Jak jsem výše zmínil, práce je zaměřena na samotný proces lemování látky. Proto ve stavech stroje nebudu zahrnovat na příklad lepení konzole apod.

1. Založení dílu

Stroj je ve výchozí pozici a díl s látkou připravenou pro lemování je založen na pracovní stůl (obr. č. 9 a 10).



Obrázek 9 – Založený díl



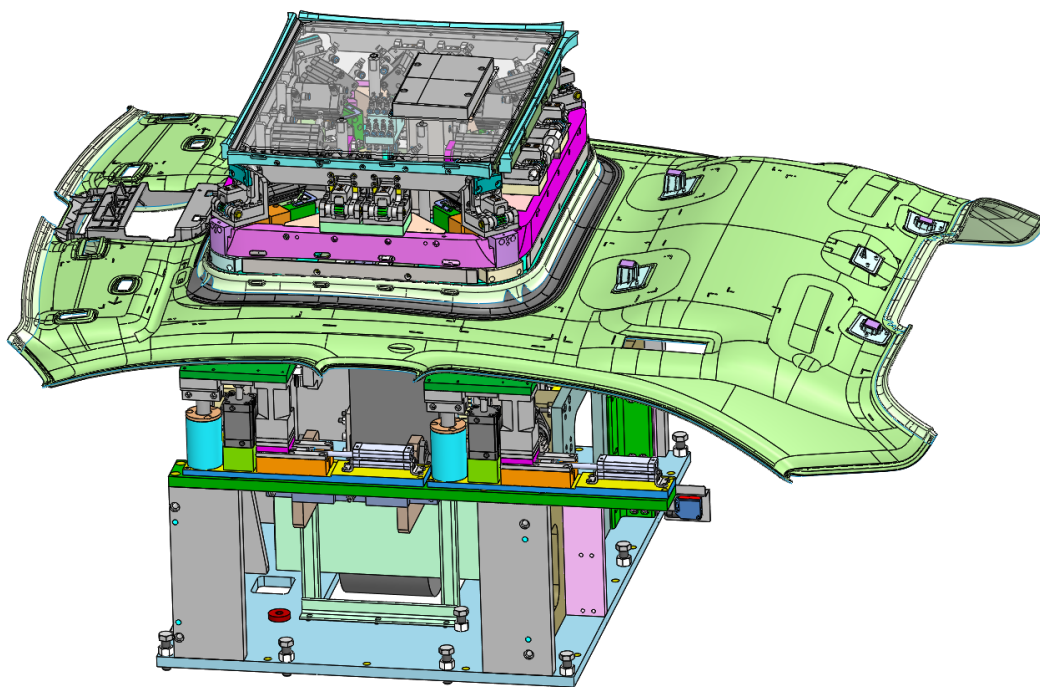
Obrázek 10 – Stůl ve výchozí pozici

2. Přitlačení dílu

Koš sjede dolů a přitlačí díl ke stolu čímž je díl pevně zafixován a je umožněna další práce s ním. Koš je v této pozici až do úplného konce procesu lemování.

3. Vyjetí stolu

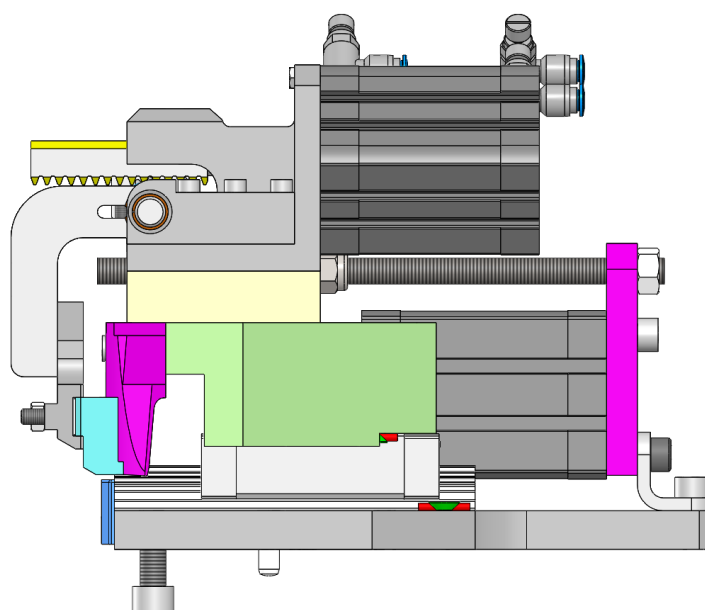
Vnitřní část stolu vyjede nahoru (obr. č. 11) a látku, která je určena pro lemování a přesahuje do prostoru okna, vytlačí nahoru.



Obrázek 11 - Vysunutí stolu

4. Chycení látky

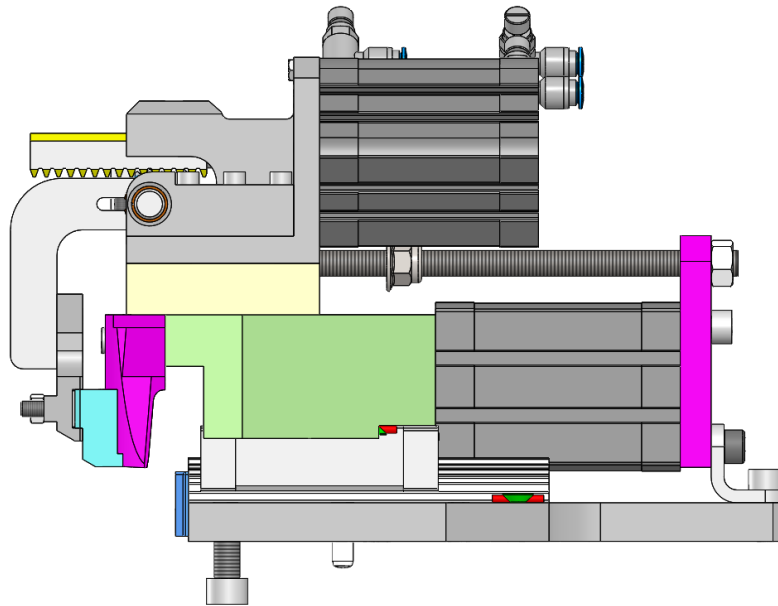
Pneumatické válce přidržovacích jednotek se vysunou, díky čemuž za využití hřebenového převodu přítlačovací jednotka začne konat rotační pohyb a přitlačí látku k přidržovači umístěnému pod ní, a tím dojde k uchycení látky (obr. č. 12).



Obrázek 12 - Chycení látky

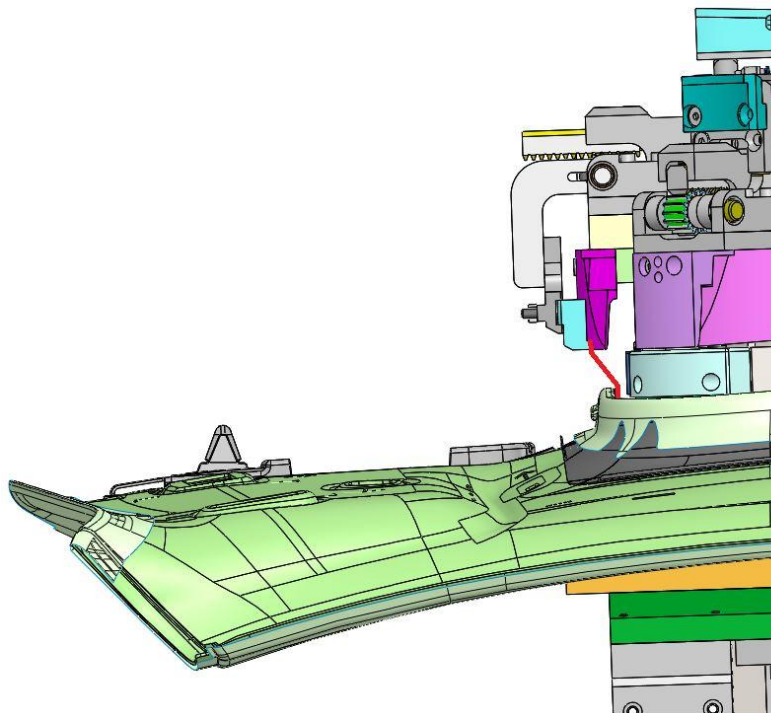
5. Přetažení látky

Spodní i horní přídržovač začnou ve vzájemné součinnosti přetahovat látku (obr. č. 13) směrem od vnitřku okna ven.



Obrázek 13 - Přetažení látky

V obrázku č. 14 je názorně vidět jak se přídržovací jednotka vysune oproti vyráběnému dílu. Pro názornost je zde vysunuta pouze jedna krajní jednotka. Je to z důvodu, že při reálném procesu se vysunují všechny jednotky společně a tím by se vzájemně překrývaly. Červená čára v obrázku znázorňuje přetahovanou látku.

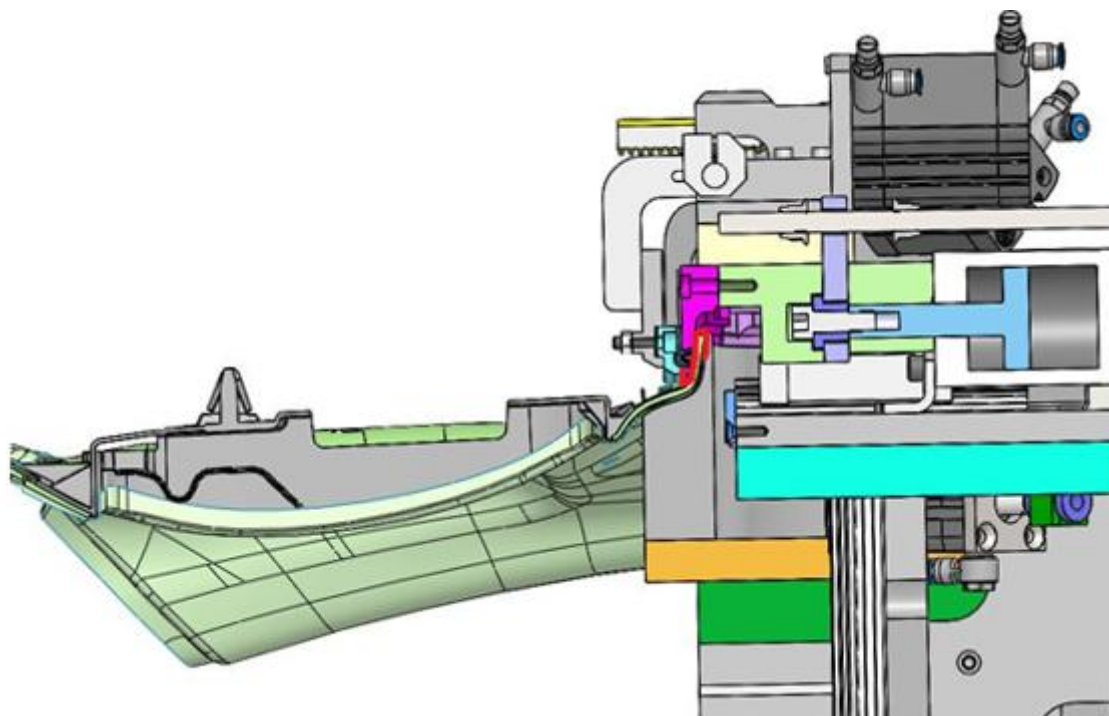


Obrázek 14 - Přetažení látky přes díl

6. Založení a lepení látky

Po dokončení přetahování dojde k zasunutí stolu dolů o 50 mm, čímž dojde k založení látky (obr. č. 15). Látka (naznačena červenou čarou) je v tuto chvíli přitlačena k dílu a stroj v této poloze vyčká po dobu cca 2 vteřin, aby došlo k zatuhnutí lepidla, které bylo předem nanášeno obsluhou na vyráběný díl. V praxi se používají dva druhy lepidla, které se liší způsobem ztuhnutí.

První z těchto lepidel tuhne na vzduchu. Po jeho zatuhnutí již není možná žádná další korekce lepeného spoje. Zatímco druhý typ lepidla je rozpustný teplem, zhruba při teplotě 200 °C. Je tedy možné ho v případě potřeby opětovně rozpustit a provést případné korekce spoje. Volba jednoho z těchto dvou lepidel závisí na zákazníkovi.



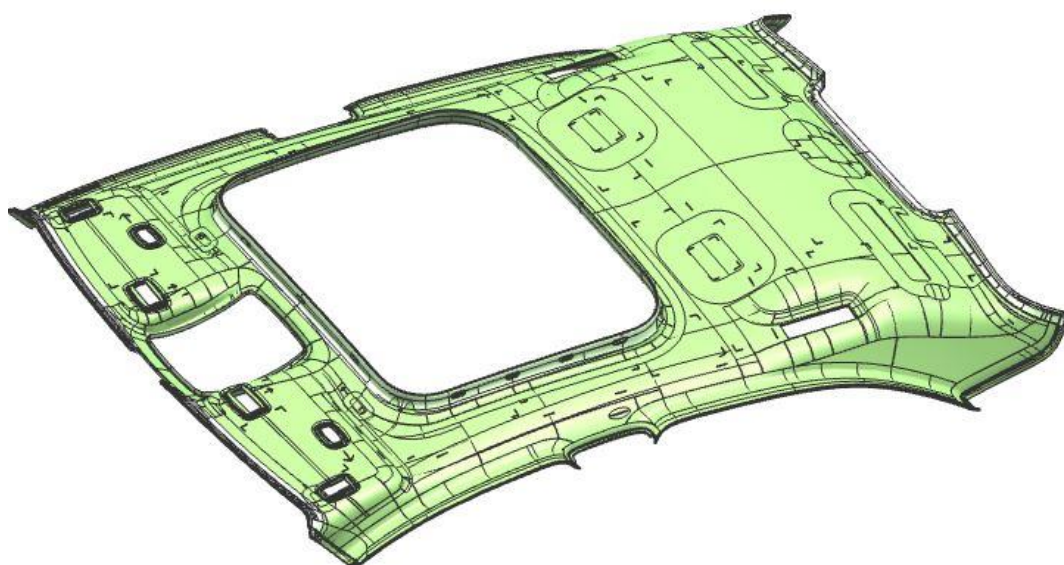
Obrázek 15 - Založení látky

7. Návrat do výchozí pozice

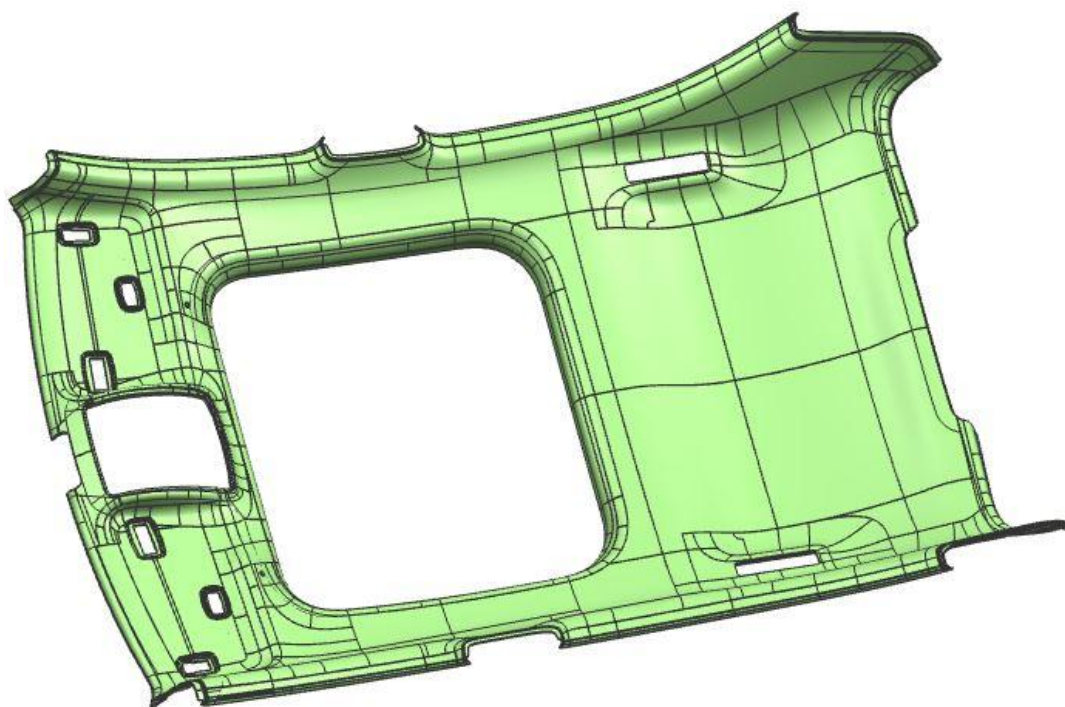
V této fázi se již stroj vrací pouze do výchozí pozice, aby bylo možné vyměnit hotový díl za nový a proces opakovat.

2.6 Vyráběný díl

Stroj je určen pro dokončování pohledových střešních dílů do automobilů. Jelikož se jedná o pohledový díl (obr. č 16 a 17), je nutné, aby látka byla natažena bezchybně, neboť případnou nekvalitu zákazník ihned uvidí.

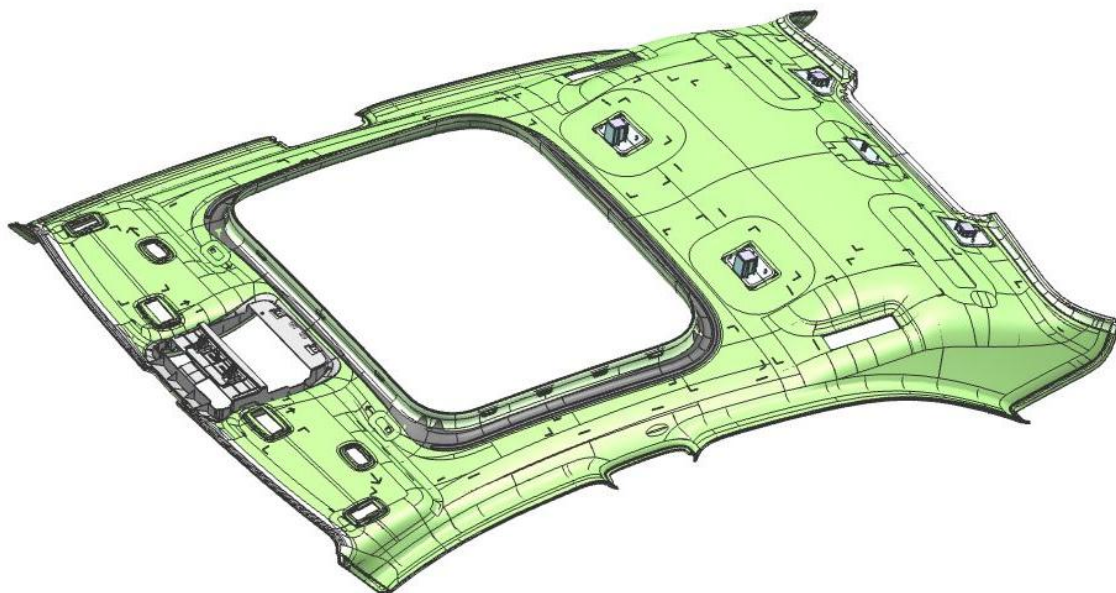


Obrázek 16 - Díl shora



Obrázek 17 - Díl zdola

Stroj má kromě přetažení látky také za úkol osadit vyráběný díl dalšími komponenty, které jsou nutné pro jeho použití, jako jsou například středová konzole, úchyty apod. Hotový díl (obr. č. 18) pak vypadá takto:



Obrázek 18 - Díl hotový

Reálně vyráběný díl (obr. č. 19 a 20) před procesem lemování:



Obrázek 19 - Díl před lemováním

Vyráběný díl

Látka určená k lemování



Obrázek 20 - Díl před lemováním 2

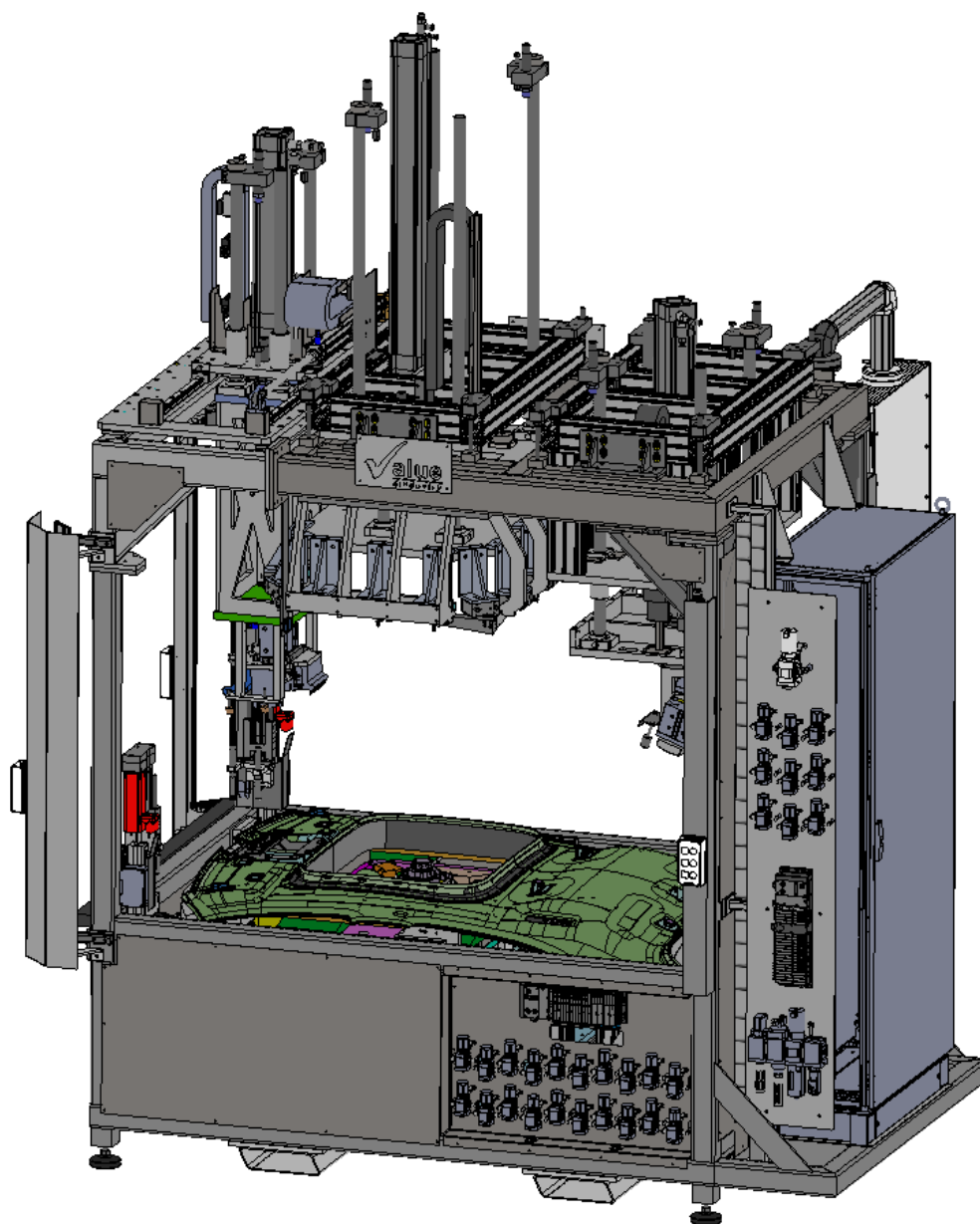
Hotový olemovaný díl i s vloženým rámečkem okna je vidět v obrázku č. 21



Obrázek 21 - Díl hotový

3. Nové konstrukční řešení

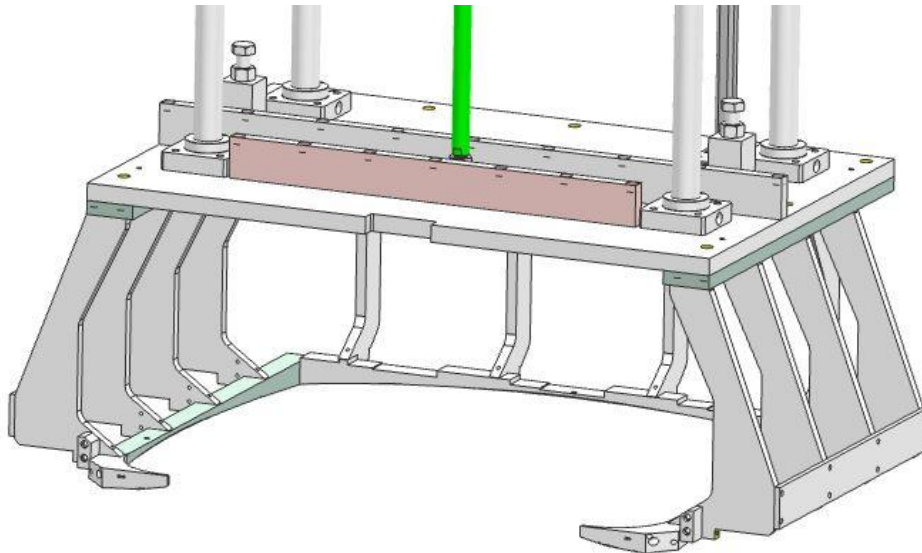
V nové koncepci (obr. č. 22) jsou přídržovací jednotky umístěny v koši stroje, nikoli na lemovacím stole. V závislosti na této úpravě byly uzpůsobeny i další části stroje včetně základního rámu aby nedocházelo ke kolizím těchto prvků se sjezdějícími přídržovacími jednotkami v koši.



Obrázek 22 - Nový stroj

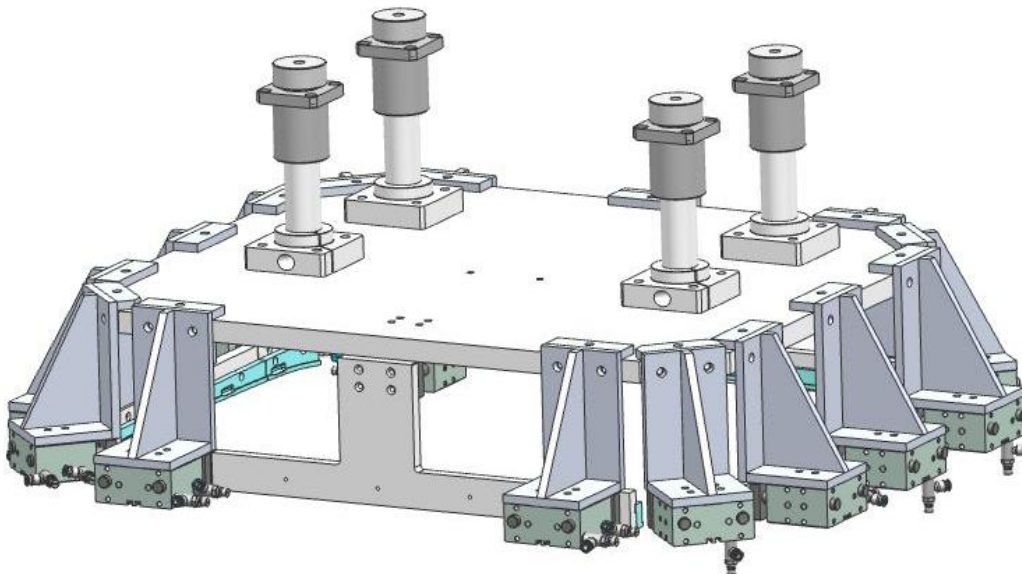
3.1 Nový přitlačovací koš

Nový koš se skládá ze dvou základních částí. První je lehce poupravený ale v principu funkce stále stejný vnější koš (obr. č. 23), který slouží k přitlačení vyráběného dílu a zároveň i k nesení druhé části, jenž je vnitřní deska s přidržovači. Původní pneumatické válce pro dolepení látky pod výstupky na vyráběném dílu byly pro nadbytečnost zrušeny.



Obrázek 23 - Vnější koš

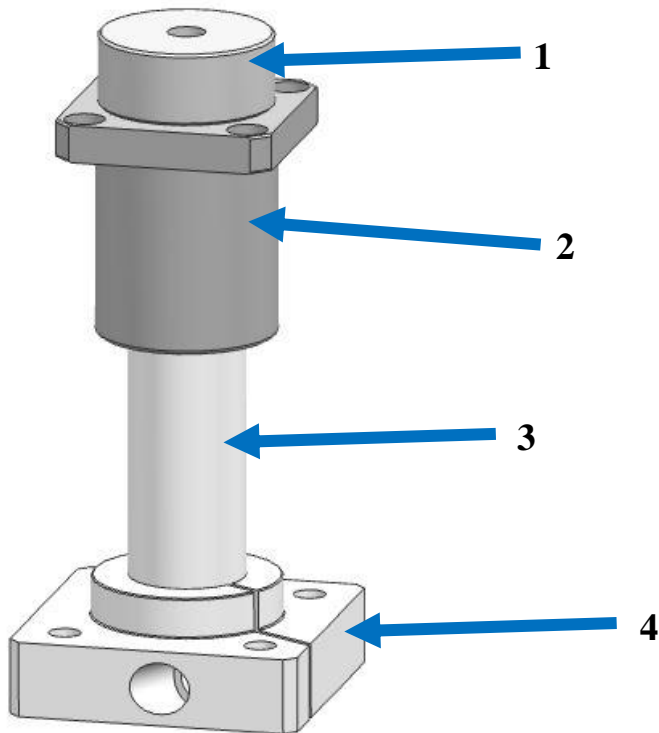
Vnitřní deska (obr. č. 24) je pomocí vodících tyčí spojena s vnějším košem a pohyb této desky ve svislém směru je realizován pomocí gravitační síly. Ve výchozí poloze tedy „sedí“ na dorazech. Celý princip lemování bude popsán níže v práci (viz. kapitola 3.6).



Obrázek 24 - Deska s přidržovači

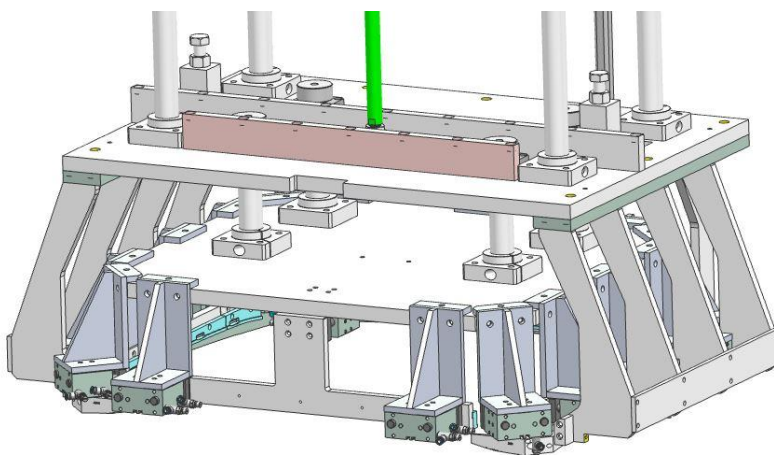
Důvodem umístění jedné přitlačovací jednotky do vnitřku koše proti ostatním byla kolize se sestavou lepení konzole, která je umístěná hned vedle koše. Tímto pojetím byl problém eliminován.

Spojení vnějšího koše s vnitřní deskou je realizováno pomocí čtyř sestav vedení (obr. č. 25). Každá tato sestava se skládá z dorazu (1), který je přišroubovaný k vodící tyči (3). Vodící tyč se pohybuje v kuličkovém vedení (2) a její spodní část je upevněna v přírubových uchyceních tyčí (4). Ve výchozí poloze se doraz (1) opírá o přírubu kuličkového vedení (2), které je připevněno ke vnějšímu koši, a přírubová uchycení (4) nesou vnitřní desku s přidržovači.



Obrázek 25 - Sestava vedení

Spojením všech zmíněných částí dostaneme výslednou podobu nového přitlačovacího koše (obr. č. 26).



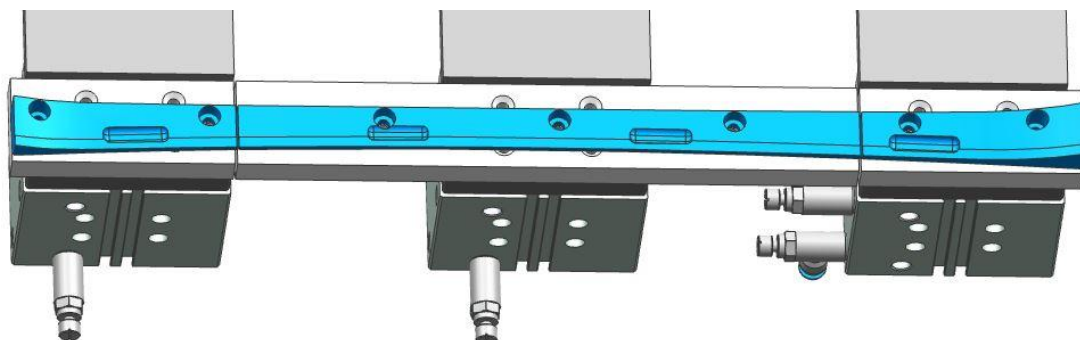
Obrázek 26 - Nový koš

3.2 Přidržovače

Dělený přidržovač

Jak již bylo zmíněno, v původním koncepčním řešení byl problém s nastavením přítlačné síly v oblasti rohů dílu. Nastavení této síly se provádělo pomocí stavěcích šroubů na okraji přídržovačů. Nová koncepce tento problém řeší za využití děleného přídržovače (obr. č. 27), kdy tento přídržovač je rozdělen na 3 části a to hlavní prostřední a dva menší krajní.

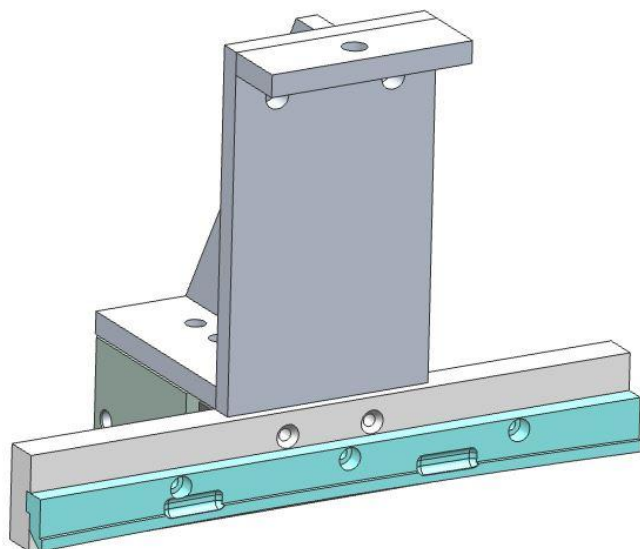
Každý z nich má svůj vlastní pneumatický válec. Přítlačnou sílu krajních přídržovačů lze tedy ovládat pomocí přivedeného množství tlakového vzduchu pro válce. Díky tomuto řešení lze předejít nahodilému zkoušení, jak tomu bylo doposud.



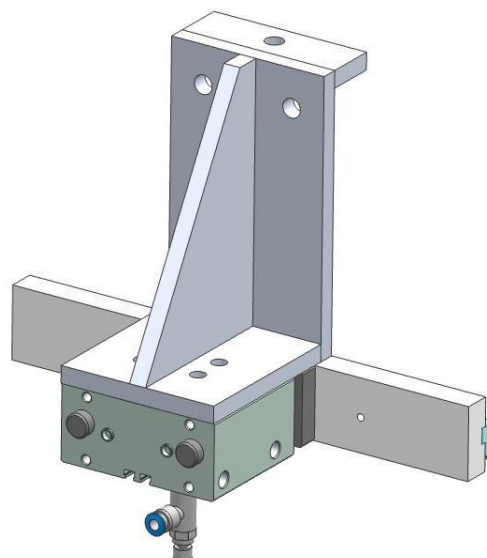
Obrázek 27 - Dělený přídržovač

Přídržovací jednotka

Téměř všechny přídržovací jednotky (obr. č. 28 a 29) mají nyní tuto podobu, která se pouze liší v tom, zda se jedná o středový krajní či rohový přídržovač. Principiálně jsou však stejné.



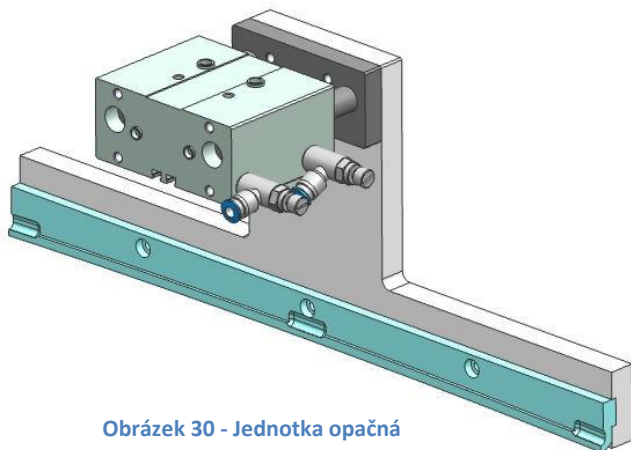
Obrázek 29 - Sestava přídržovače 2



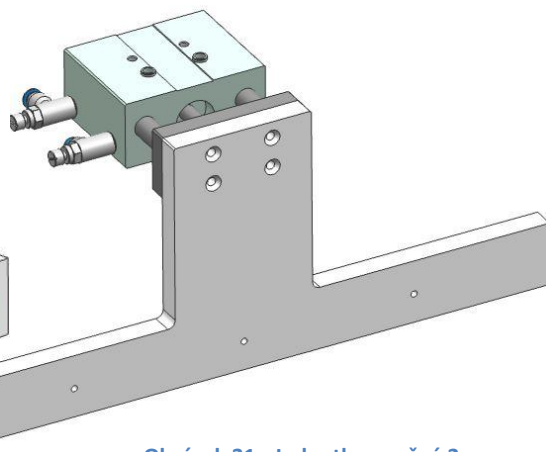
Obrázek 28 - Sestava přídržovače

Přidržovací jednotka opačná

Jediná jednotka, která se konstrukčně vymyká, je přidržovací jednotka opačná (obr. č. 30 a 31). Její nové řešení bylo zvoleno z důvodu kolize pneumatického válce se sestavou lepení konzoly. Válec je přímo přišroubován k základní desce nesoucí všechny jednotky. Válec ovšem působí v opačném směru proti ostatním.

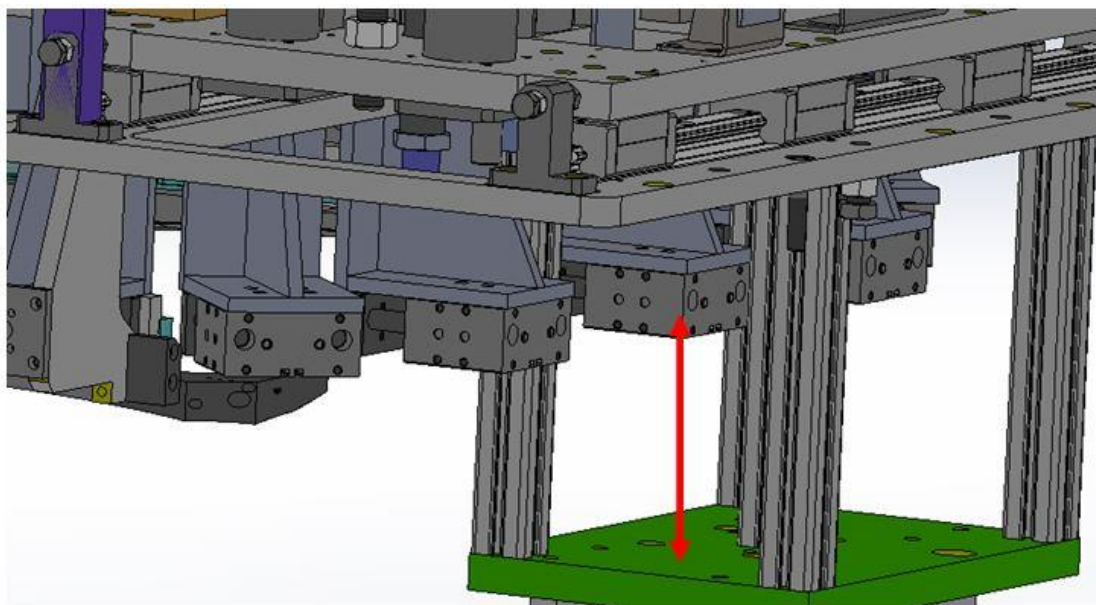


Obrázek 30 - Jednotka opačná



Obrázek 31 - Jednotka opačná 2

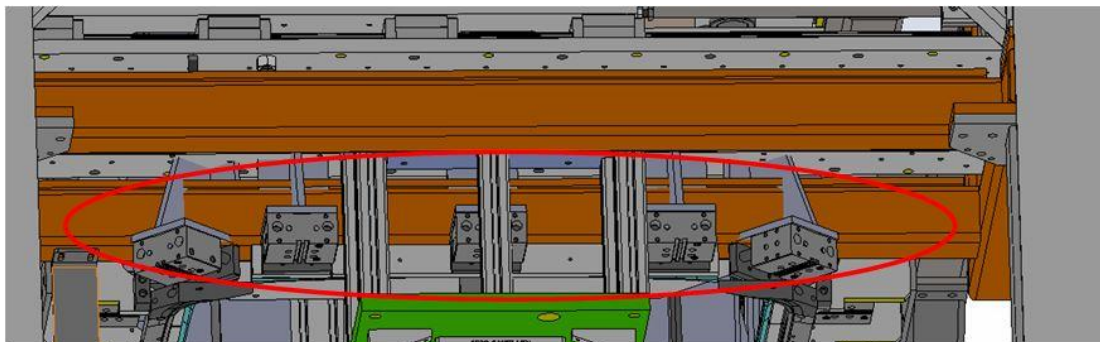
Kolize (obr. č. 32) pneumatického válce s deskou



Obrázek 32 - Kolize

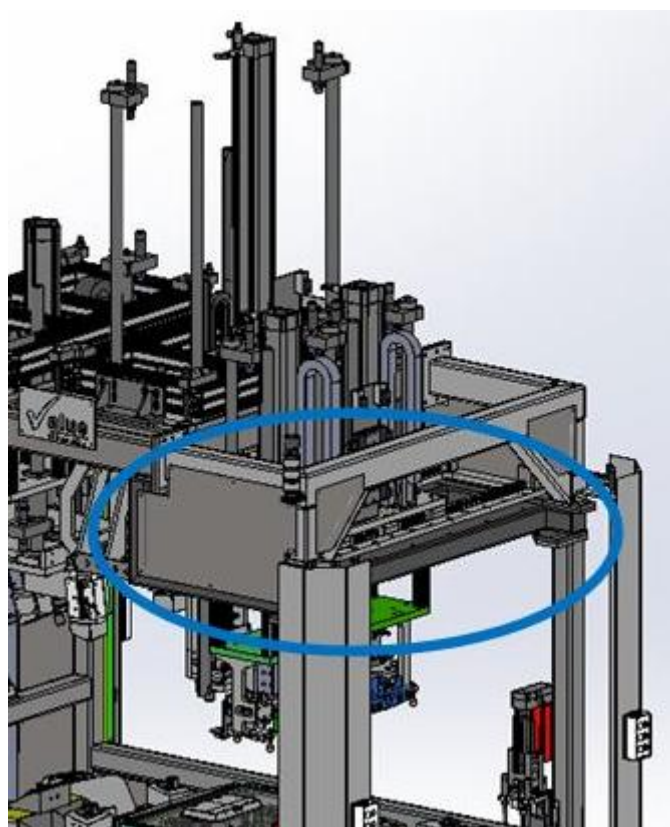
3.3 Úpravy stroje spjaté s novým konstrukčním řešením

Další kolize (obr. č. 33) byla mezi jednotlivými přidržovacími jednotkami a rámem pro držení sestavy pro lepení konzoly.



Obrázek 33 - Kolize 2

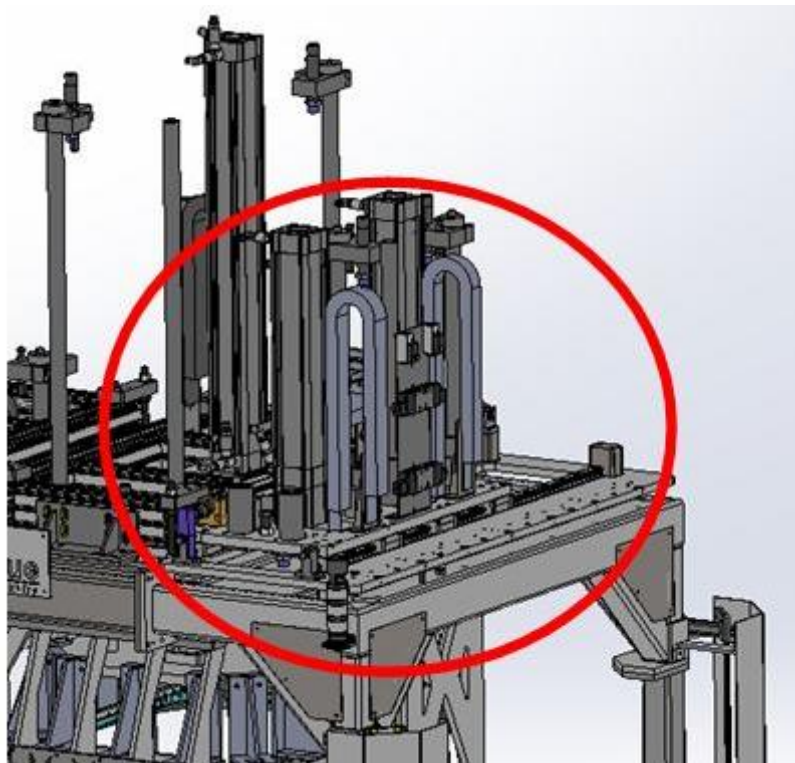
Podoba původního rámu (obr. č. 34)



Obrázek 34 - Rám původní

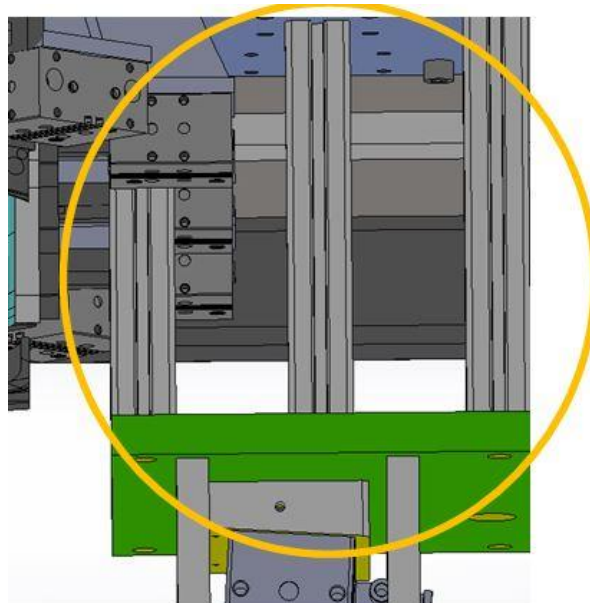
Z obrázku č. 34 jasně vyplývá, že bylo nutné tuto část rámu odstranit.

Po odstranění zmiňovaného rámu, bylo nutné lehce upravit základní rám stroje a celá sestava lepení byla nyní přesunuta a upevněna na vrch stroje právě k tomuto rámu (obr. č. 35).

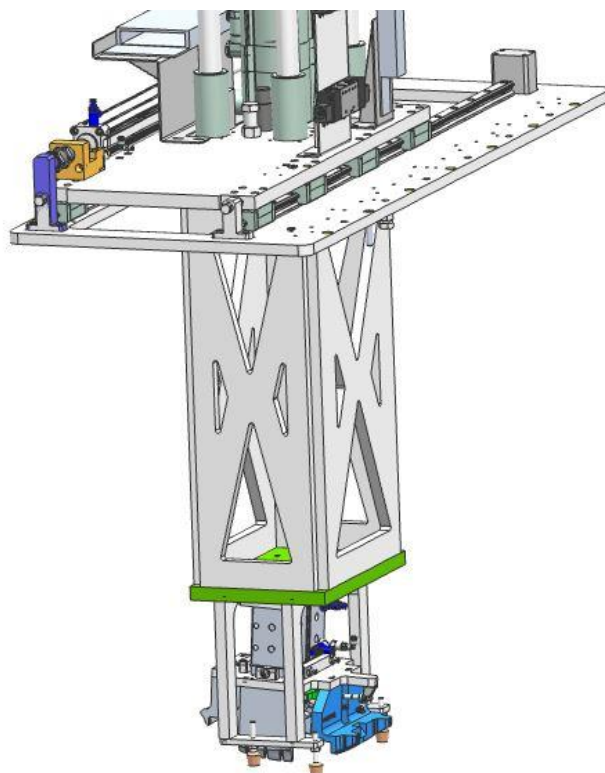


Obrázek 35 - Nové umístění

Po přesunutí sestavy lepení konzoly bylo nutné prodloužit prvky pro spojení základní desky s deskou pro připevnění pracovních pneumatických válců. Profily původně použité (obr. č. 36) by se při této délce již mohly začít kroutit, a proto byla zvolena varianta, kde jsou tyto profily nahrazeny pomocí svařované hliníkové konstrukce (obr. č. 37), která se mezi desky našroubuje



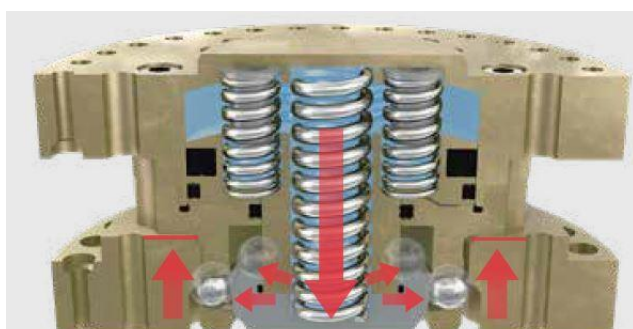
Obrázek 36 - Spojení původní



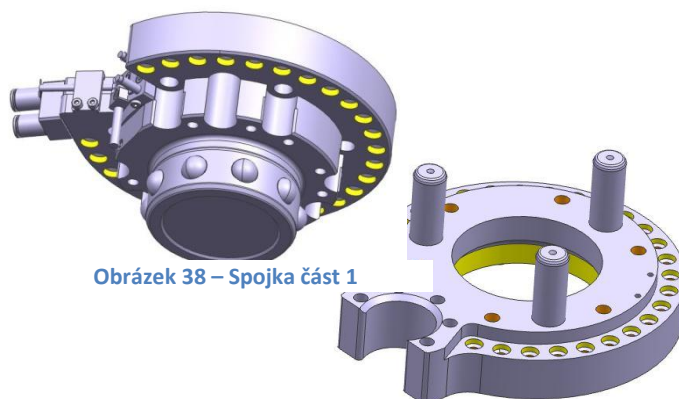
Obrázek 37 - Spojení nové

3.4 Spojka

Spojka je zde pouze z důvodu jistoty, aby při lemování byl zajištěn společný pohyb stolu i koše po jeho sjetí dolů. Vycházíme totiž z předpokladu, že stroj bude pracovat ve znečištěném prostředí a tudíž by se v naprosto extrémním případě mohlo stát, že vodící tyče přítlačného koše budou ve vedení drhnout a tím zpomalovat jeho pohyb. Nicméně zvolená kuličková vedení by měla být pravděpodobně sama o sobě dostačující a spojka je zde opravdu pouze pro jistotu. Princip funkce spojky po přivedení tlakového vzduchu je naznačen na obrázku (obr. č. 40) níže.



Obrázek 39 – Spojka princip [1]



Obrázek 38 – Spojka část 1

Část spojky s kuličkami (obr. č. 38) je umístěna na lemovacím stole, zatímco její protikus (obr. č. 39) je umístěný na desce, nesoucí přídržovací jednotky v přítlačném koši.

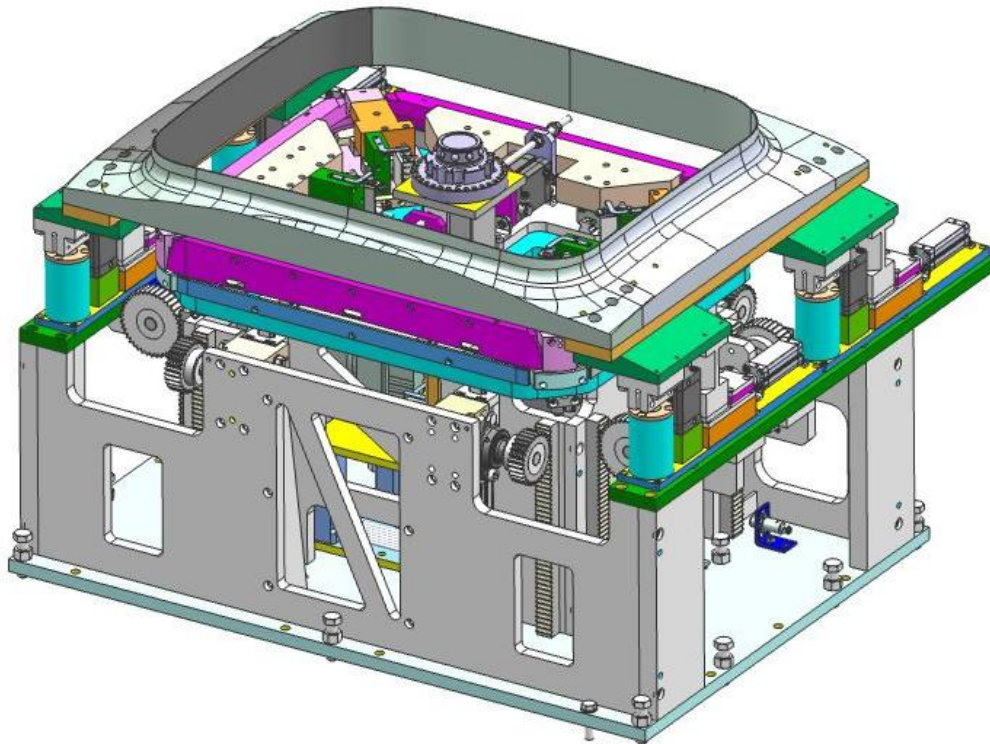
3.5 Lemovací stůl

Sestava lemovacího stolu (obr. č. 41) doznala změny především v podobě vyjmutí „klapacích“ přídržovacích jednotek čímž zde vzniklo volné místo, které teoreticky umožňuje případné

Obrázek 40 – Spojka část 2

vzniklo

modifikace stroje pro výrobu dílů s menším střešním oknem. Další změnou je přítomnost spojky, jejíž funkce byla popsána (viz. kapitola 3.4).

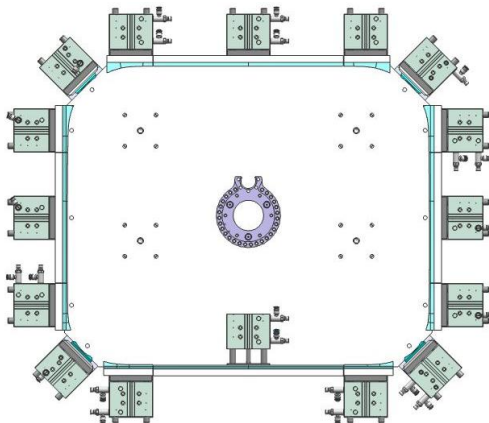


Obrázek 41 - Lemovací stůl

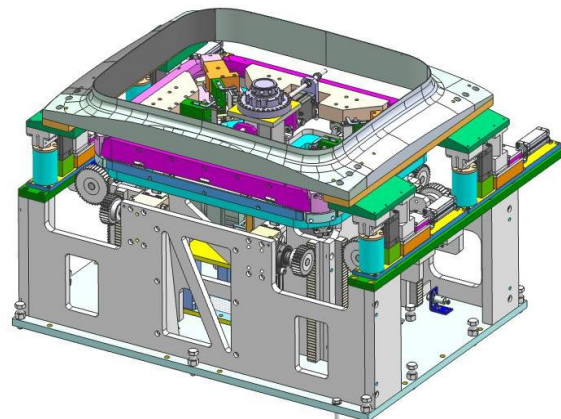
3.6 Důležité stavy stroje

1. Založení dílu

Stroj je ve výchozí pozici (obr. č. 42 a 44) a díl s látkou připravenou pro lemování je založen na pracovní stůl (obr. č. 43). Pro lepší názornost procesu lemování jsou díl i některé části stroje v určitých obrázcích skryté.

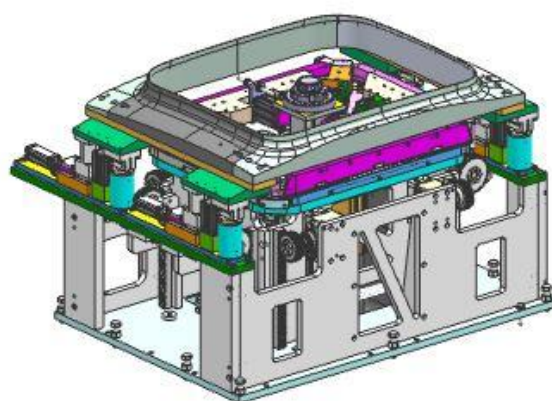
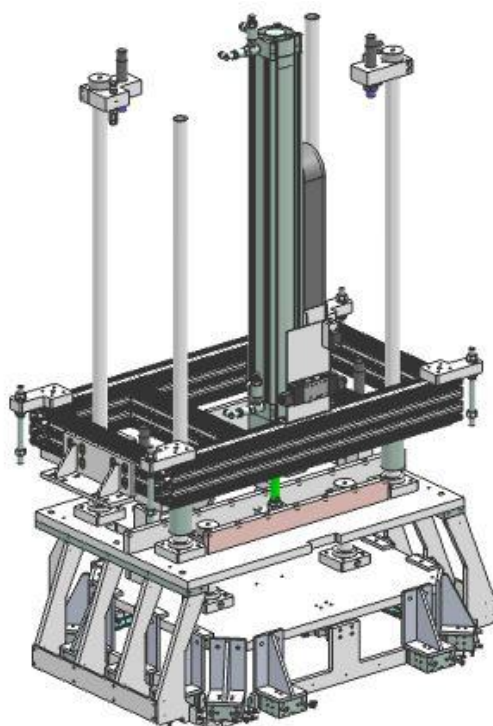


Obrázek 43 – Přidržovače výchozí



Obrázek 42 - Stůl výchozí

Vnitřní deska s přidržovači je gravitací tažena dolů což znamená, že aktuálně visí na dorazech.



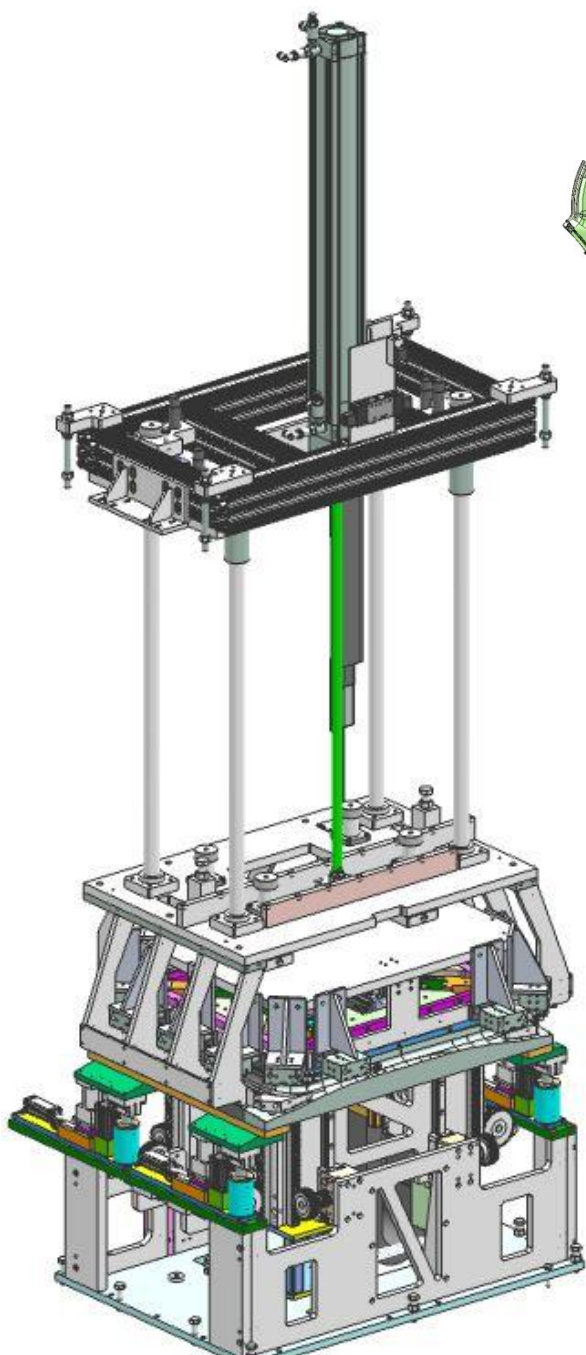
Obrázek 44 - Výchozí poloha

2. Přitlačení dílu

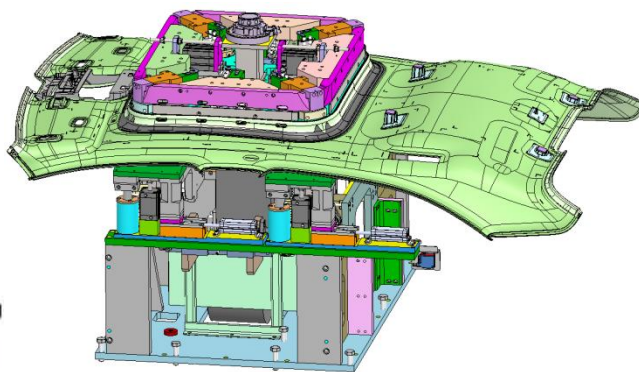
Koš sjede dolů a přitlačí díl ke stolu.

3. Vyjetí stolu

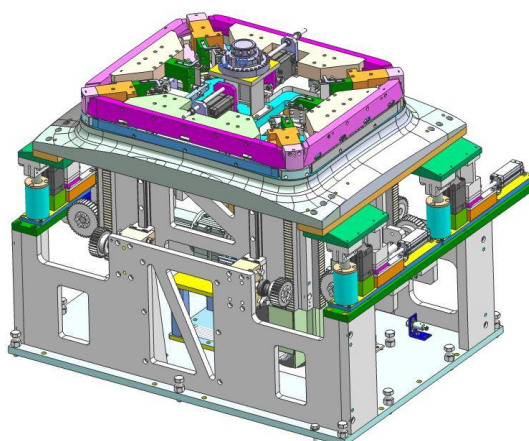
Vnitřní část stolu vyjede nahoru (obr. č. 45, 46 a 47) a látku, která je určena pro lemování a přesahuje do prostoru okna, vytlačí nahoru. Zároveň dojde i ke spojení spojky a od této chvíle se koš a stůl pohybují synchronně ve svislém směru.



Obrázek 47 - poloha 3



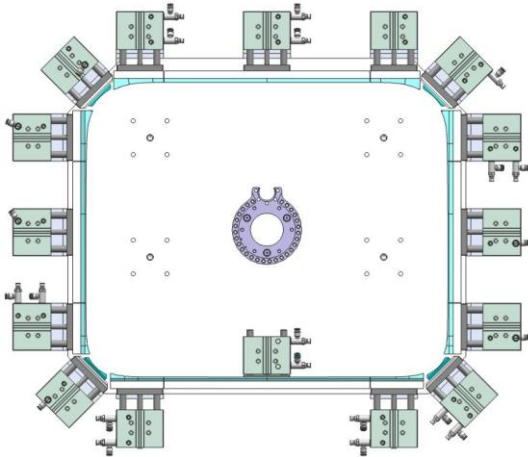
Obrázek 45 – stůl vyjetý s dílem



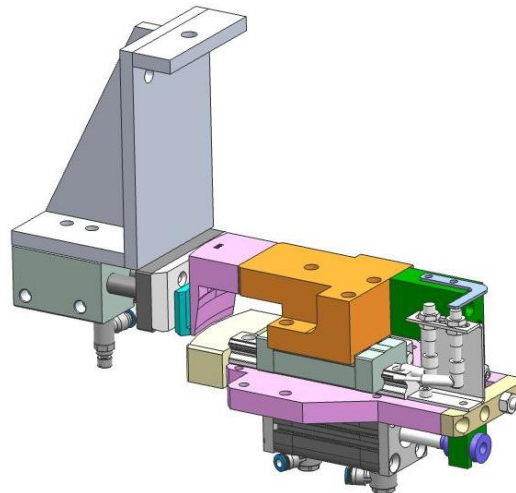
Obrázek 46 - Stůl vyjetý

4. Chycení látky

Pneumatické válce přidržovacích jednotek (obr. č. 48) se vysunou a přitlačí látku k protějším přidržovačům umístěným na lemovacím stole, čímž dojde k chycení látky (obr. č. 49).

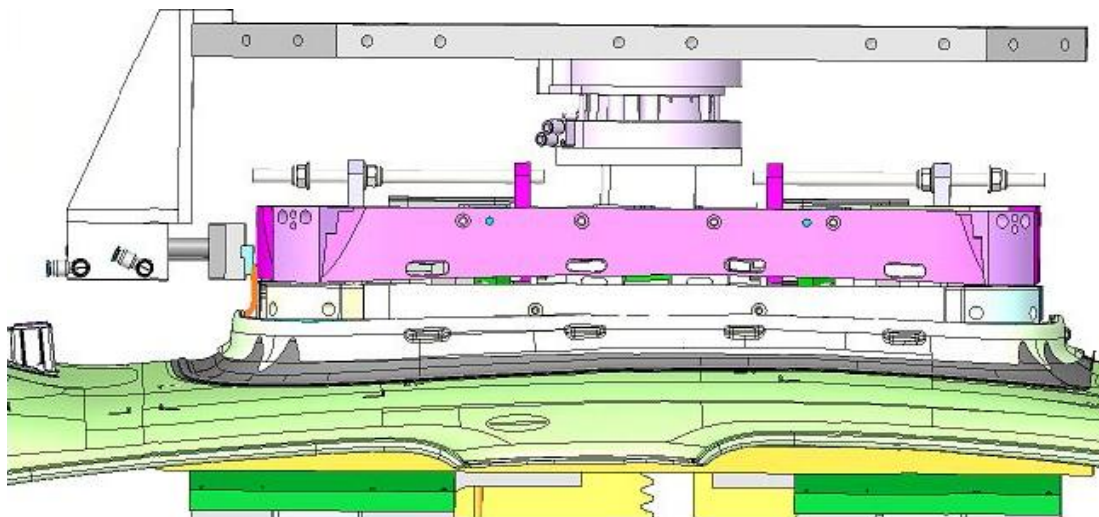


Obrázek 48 – Přidržovače při chycení látky



Obrázek 49 – Chycení látky v rohu

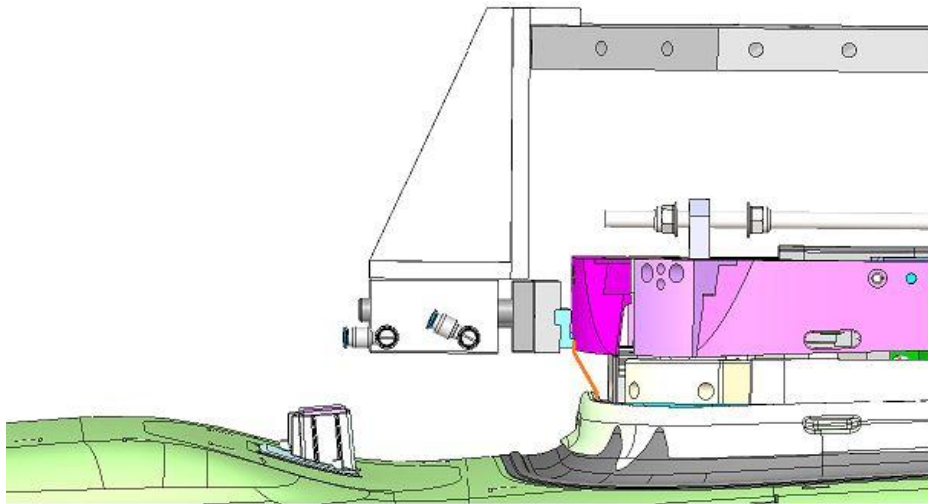
Pro názornost je proces demonstrován na jedné přidržovací jednotce a ostatní byly skryty neboť by se vzájemně překrývaly a obrázek by tak ztratil vypovídací hodnotu. Látka (obr. č. 50) je v tomto i v následujících obrázcích naznačena oranžovou čarou.



Obrázek 50 - Nové chycení látky

5. Přetažení látky

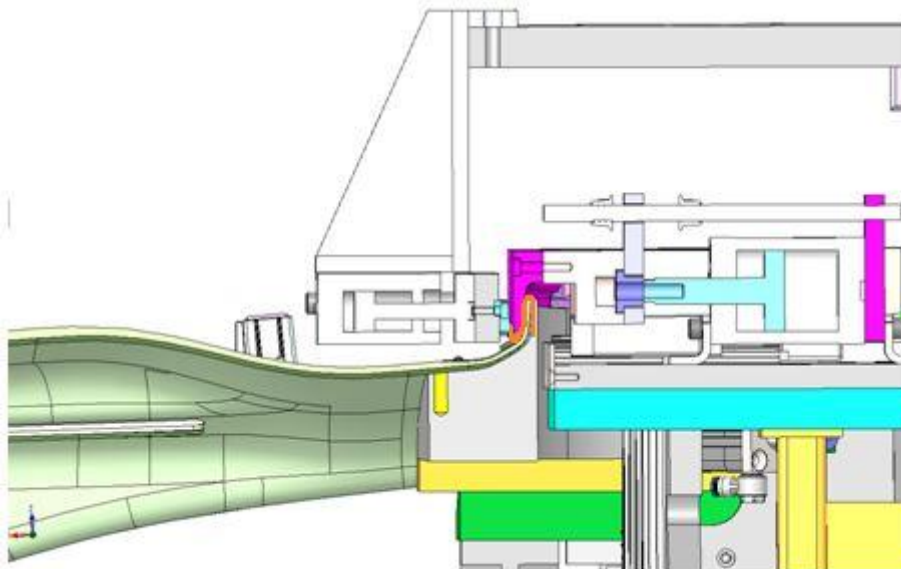
Spodní i horní přídržovač začnou ve vzájemné součinnosti přetahovat látku (obr. č. 51) směrem od vnitřku okna ven.



Obrázek 51 - Nové přetažení látky

6. Založení a lepení látky

Po dokončení přetahování dojde k zasunutí stolu dolů o 50 mm, čímž dojde k založení látky (obr. č. 52). Látka je v tuto chvíli přitlačena k dílu a stroj v této poloze vyčká po dobu cca 2 vteřin, aby došlo k zatuhnutí lepidla, které bylo předem naneseno na vyráběný díl.



Obrázek 52 - Lemování v řezu

7. Návrat do výchozí pozice

Následně se již stroj pouze vrací do výchozí pozice, aby bylo možné vyměnit hotový díl za nový a proces opakovat.

4. Výpočet MKP

Hlavním cílem numerického výpočtu bylo zjistit deformaci a posunutí přidržovače, které nastane při procesu lemování, aby bylo zabráněno případnému špatnému přetažení látky přes díl anebo její vyklouznutí. Špatné přetažení látky by mohlo nastat ve chvíli, kdy dojde k přílišné deformaci celé sestavy a tím i k natočení kontaktní plochy přidržovače.

Látka je totiž uchycena mezi dvěma tvarovými součástmi, které do sebe přesně zapadají. V případě, že by došlo ke zmíněnému většímu natočení, mezi těmito součástmi se můžou vytvořit mezery a tím by mohlo dojít k nekvalitnímu přetažení látky přes díl. Druhotným cílem byla kontrola součástí z hlediska průběhu vnitřního napětí, zda nedojde k jejich poškození.

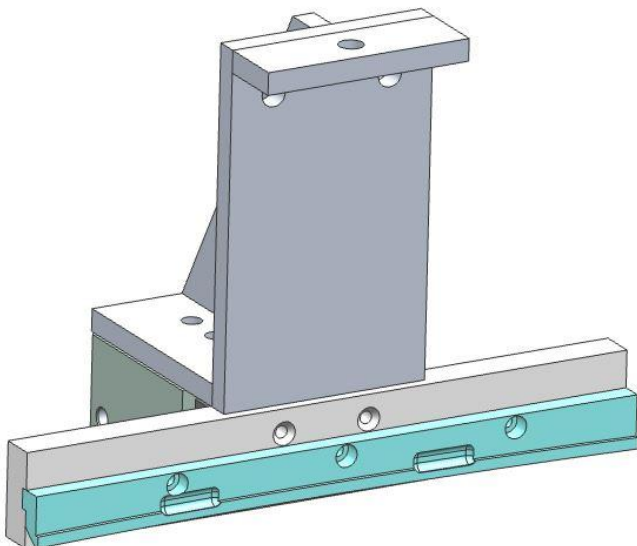
Tento výpočet byl proveden pro dvě různé přidržovací jednotky. Výpočty byly realizovány v programu Siemens NX pomocí řešiče Simcenter nastran.

4.1 Výpočet

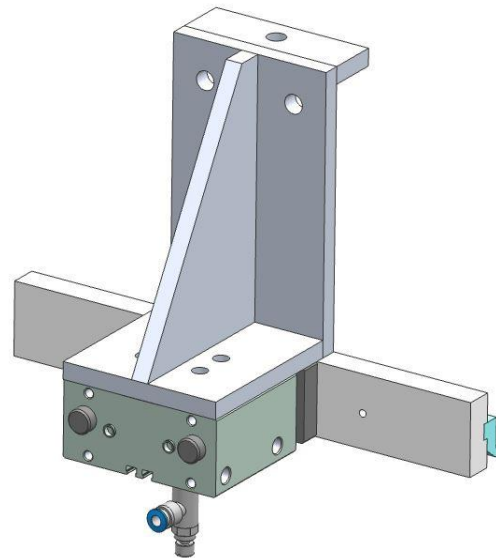
První výpočet byl proveden pro níže vyobrazenou jednotku (obr. č. 53 a 54). Výpočet principiálně zahrnuje zjednodušení geometrie modelu pro snížení výpočetního času. Tím jsou myšleny různé detaily, jako jsou malé radiusy apod., které mají na výpočet minimální vliv. Dále jeho vhodné vysíťování a následně zadání okrajových podmínek.

4.1.1 Zjednodušení modelu

Před zjednodušením



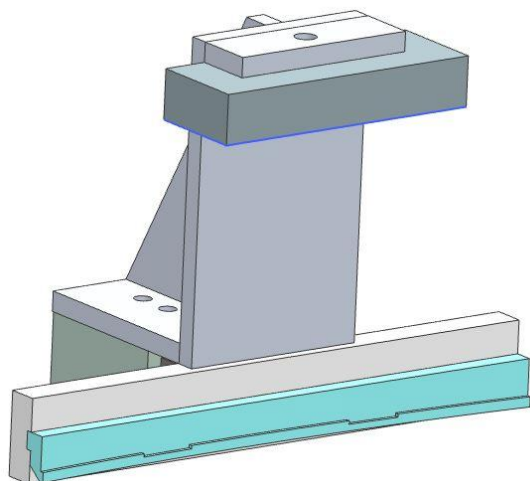
Obrázek 54 - Jednotka původní 2



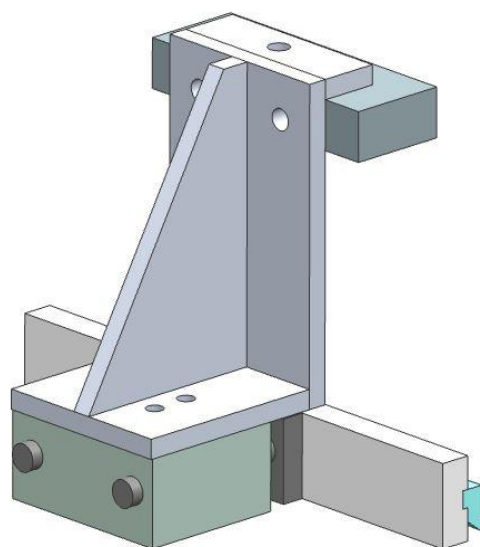
Obrázek 53 - Jednotka původní

Po zjednodušení

Jak již bylo výše zmíněno, z modelu (obr. č. 55 a 56) byly odstraněny všechny nepotřebné geometrické prvky, které nejsou důležité pro kvalitu výpočtu a zároveň zbytečně zvyšují výpočtový čas. Tyto prvky jsou převážně radiusy, zkosení a malé díry. Z modelu bylo také odebráno šroubení pro přívod vzduchu.



Obrázek 55 - Jednotka idealizovaná



Obrázek 56 - Jednotka idealizovaná 2

4.1.2 FEM

Tato část výpočtu se zabývá správným síťováním tělesa za použití vhodných prvků o správné velikosti a definováním materiálů pro jednotlivé součásti (obr. č. 57 a 58). Výpočet, byl realizován převážně pomocí 3D prvků a to v kombinaci tetraedrů (jehlanů) a bricků (krychlí). Šroubové spoje, potřebné pro výpočet byly realizovány v 1D formě pomocí prvků RBE3. Jelikož byl model importován z jiného CAD programu a konzola tím byla rozdělena na jednotlivé části, bylo nutné tyto části, které se samostatně síťovaly spojit pomocí funkce Mesh Mating.

Materiály

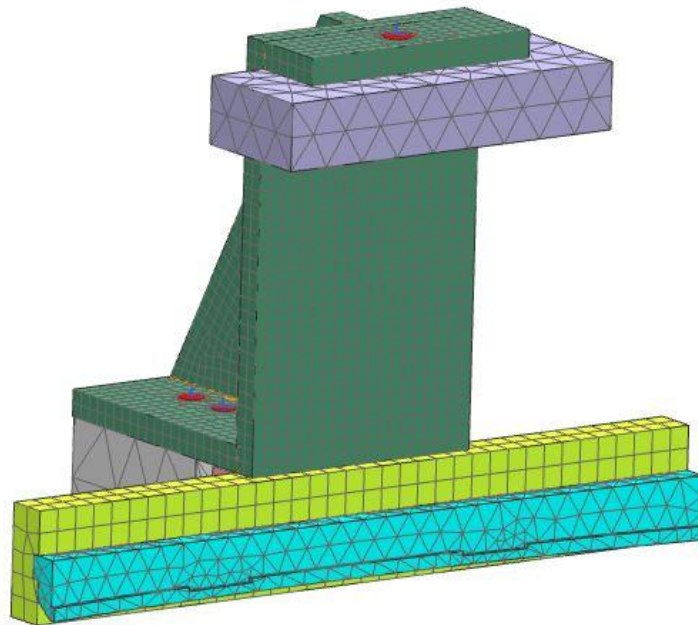
Materiál	Hustota [g/cm ³]	Youngův modul pružnosti v tahu [MPa]	Poissonova konstanta [Mpa]	Mez kluzu [Mpa]	Mez pevnosti [Mpa]
Hliník AlMg4,5Mn	2,16	70 000	0,33	120	270
Ocel 14 220	7,829	206 940	0,288	588	785
Teflon PTFE	2,794	564	0,42	23	25

Tabulka 1 - Použité materiály 1

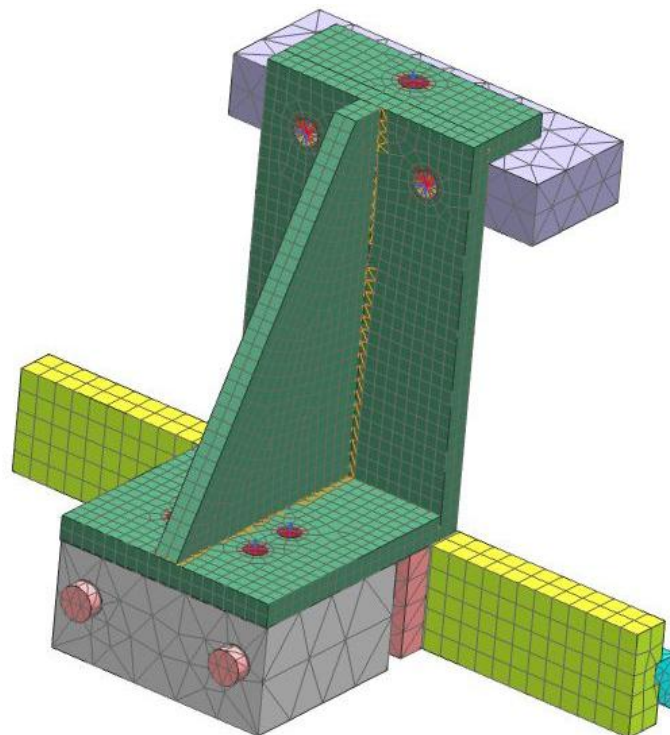
Hliník - V modelu má největší zastoupení. Z hliníku je vyrobena konzola, tělo válce, držák pro přidržovač a také deska, ke které je konzola upevněna.

Ocel - Z oceli je vyrobena tlačná část válce a jeho vedení, dále je použita pro šrouby.

Teflon - Z teflonu je zhotoven samotný přidržovač.



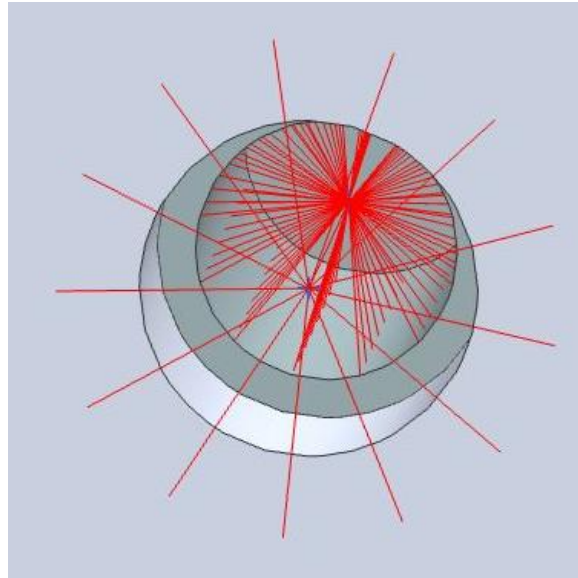
Obrázek 57 - FEM 1



Obrázek 58 - FEM 2

Šroubový spoj

Šroubové spoje důležité pro výpočet byly na rozdíl od ostatních částí modelu řešeny pomocí 1D prvků. Obrázek č. 59 znázorňuje jaký je přesah hlavy šroubu a vizualizaci kontaktu šroubu v oblasti závitu. Použité velikosti šroubů jsou M6 pro upevnění pneumatického válce a M10 pro připevnění konzoly k desce.



Obrázek 59 - Šroubový spoj

4.1.3 Okrajové podmínky

Pro správnost výsledků je nutné správně zvolit vhodné okrajové podmínky, aby se simulace (obr. č. 61 a 62) co nejvíce podobala reálnému zatěžování.

Zatěžovací síla

- Max síla vyvozená válcem v momentě držení látky při 6ti barech tzn. 295 N.
- působení gravitace
- předepínací síla šroubů M6 - 374 N
M10 - 361 N

Výpočet předepnutí šroubu M10

$$F_p = F_2 + \Delta F_2 = 206,5 + 153,8 = 360,3 \text{ N} \rightarrow 361 \text{ N}$$

F_p - Předepínací síla [N]

F_2 - Síla působící ve spojovaných součástech [N]

ΔF_2 - Část síly F připadající na spojované součásti [N]

$$F_2 = \psi * F = 0,7 * 295 = 206,5 \text{ N}$$

Ψ – Součinitel proti odlehnutí (0,2-1,2) – volí konstruktér [-]

F – Působící síla [N]

$$\Delta F_2 = F * \frac{k_2}{k_1 + k_2} = 295 * \frac{387\,594}{355\,922,3 + 387\,594} = 153,8\,N$$

k_1 - Tuhost šroubu [N/mm]

k_2 - Tuhost spojovaných součástí [N/mm]

$$k_1 = \frac{k_z * k_d}{k_z + k_d} = \frac{380\,559,4 * 5\,497\,787,1}{380\,559,4 + 5\,497\,787,1} = 355\,922,3\,N/mm$$

k_z - Tuhost závitu [N/mm]

k_d - Tuhost dříku [N/mm]

$$k_z = \frac{E_1 * S_j}{l_z} = \frac{2,1 * 10^5 * 57,99}{32} = 380\,559,4\,N/mm$$

S_j - Plocha průřezu jádra šroubu [mm²]

E_1 - Modul pružnosti šroubu [MPa]

l_z - Délka závitu [mm]

$$S_j = \frac{\pi * \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}{4} = \frac{\pi * \left(\frac{9,026 + 8,160}{2}\right)^2}{4} = 57,99\,mm^2$$

d_2 - střední průměr šroubu

d_3 - malý průměr šroubu

$$k_d = \frac{E_1 * S_d}{l_d} = \frac{2,1 * 10^5 * \frac{\pi * 10^2}{4}}{3} = 5\,497\,787,1\,N/mm$$

S_d - Plocha průřezu dříku šroubu [mm²]

E_1 - Modul pružnosti šroubu [MPa]

l_d - Délka dříku [mm]

$$k_2 = \frac{E_2 * S_2}{L_s} = \frac{2,1 * 10^5 * 64,599}{35} = 387\,594\,N/mm$$

S_2 - Plocha pružnosti spojovaných součástí [mm²]

E_2 - Modul pružnosti spojovaných součástí [MPa]

L_s - Tloušťka spojovaných součástí [mm]

$$S_2 = \frac{\pi * (D^2 - D_0^2)}{4} = \frac{\pi * (13,5^2 - 10^2)}{4} = 64,599\,mm^2$$

D - Průměr oblasti ve spojovaných součástech ovlivněných předpětím [mm]

D_0 - Průměr díry [mm]

$$D = s + \frac{Ls}{x} = 10 + \frac{35}{10} = 13,5 \text{ mm}$$

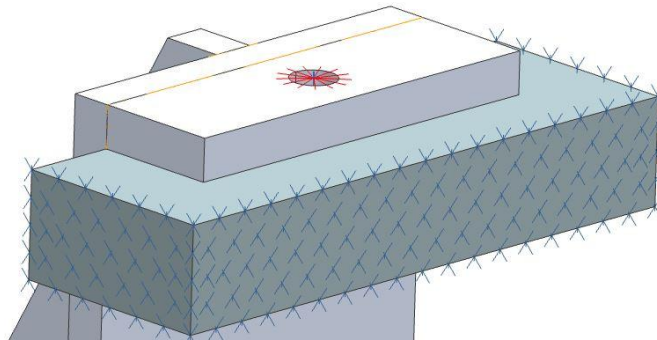
s – Vnější průměr dosedací plochy [mm]

Ls - Tloušťka spojovaných součástí [mm]

x – pro ocel x = 10 [-]

Tento výpočet byl analogicky proveden i pro šroub velikosti M6.

Uchytení sestavy - Deska, ke které je přišroubována konzola (obr. č. 60 - v místě oříznutí desky byly odebrány všechny stupně volnosti).



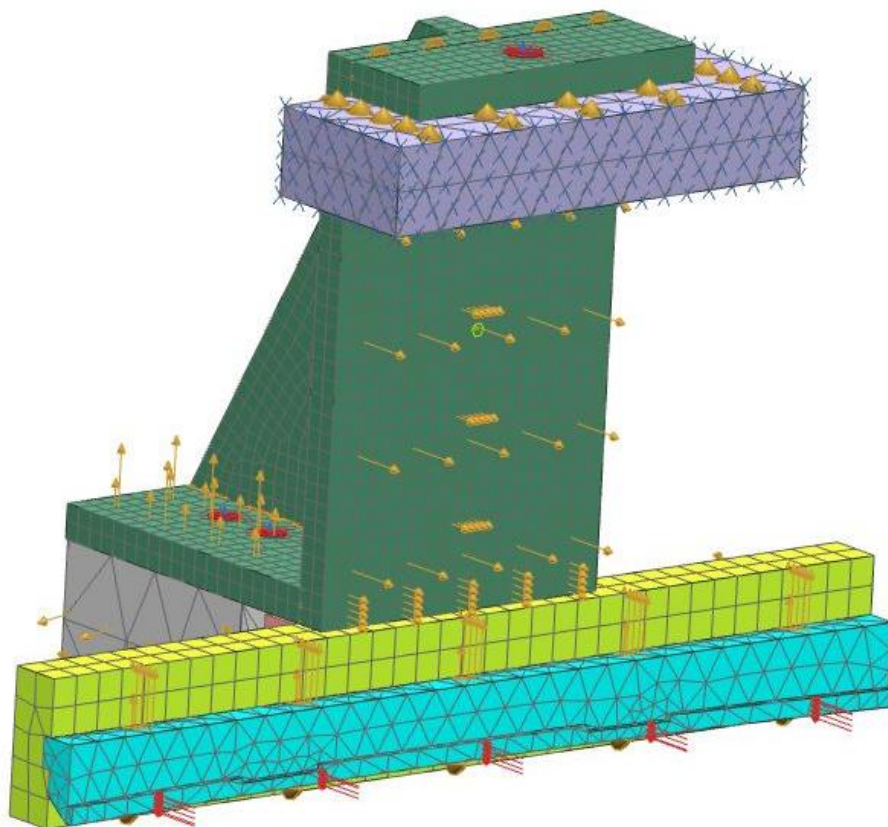
Obrázek 60 - Uchytení sestavy

Kontakty použité mezi jednotlivými součástmi:

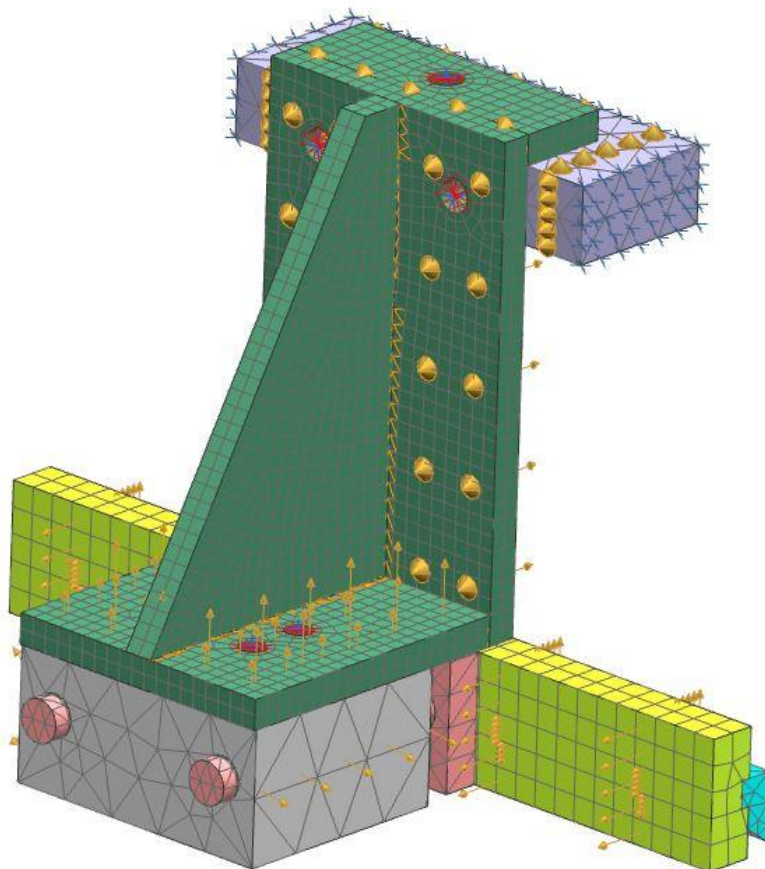
Gluing - Tento druh kontaktu se používá v místech, kde neočekáváme žádné odlehnutí součástí od sebe a není zde nutné řešit kontakty podrobněji. Kontakt je použit:

- Mezi jednotlivými díly konzoly
- Přidržovač + držák
- Držák + tlačná plocha pneumatického válce
- Tělo pneumatického válce + vedení tlačné plochy válce

- 3D kontakt* - Konzola + základní upevňovací deska
- Tělo pneumatického válce + konzola



Obrázek 61 - Simulace 1

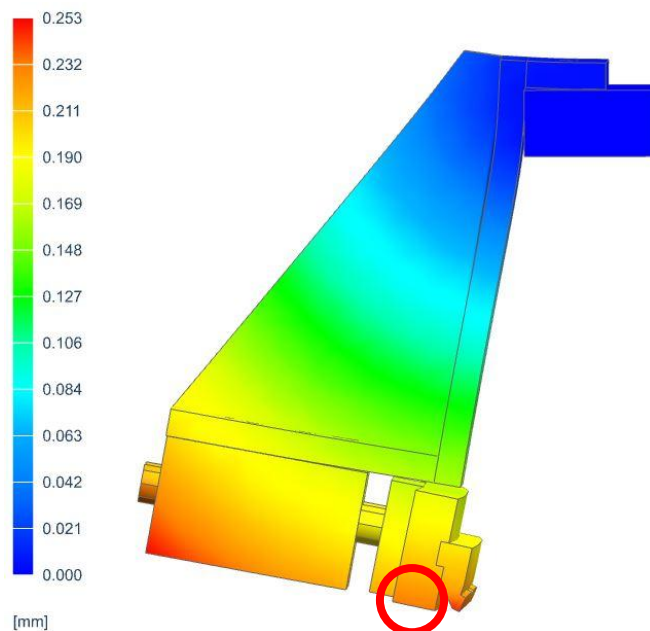
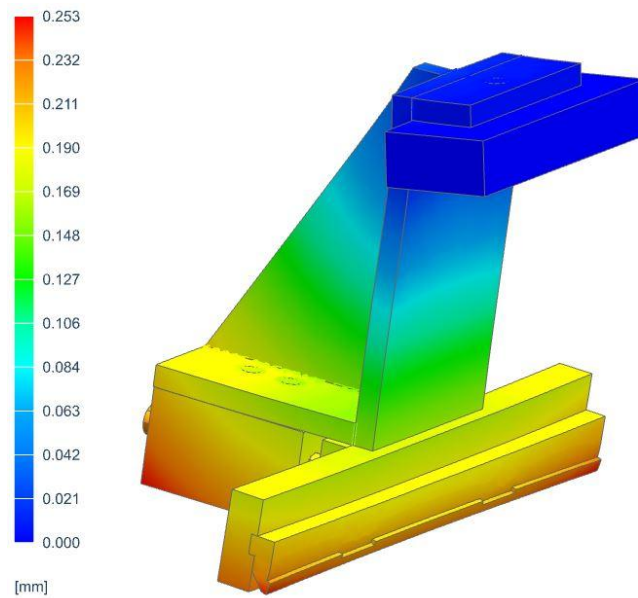


Obrázek 62 - Simulace 2

4.1.4 Výsledky

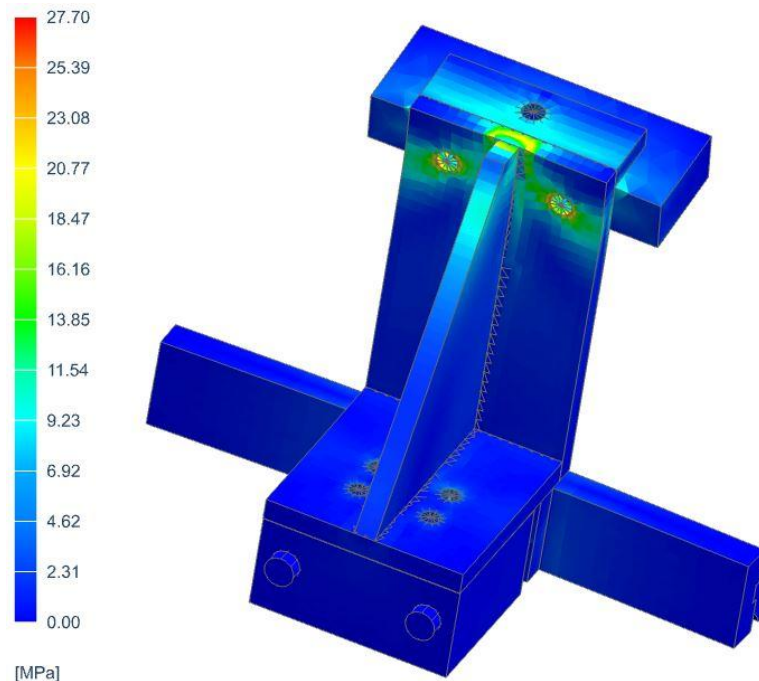
Deformace

Velké posunutí je v oblasti spodní hrany těla pneumatického válce. Toto místo je ale z hlediska výpočtu nezajímavé neboť zásadní je pro nás deformace v kontaktní ploše přídržovače. Zde se posunutí pohybuje od 0,2 mm do 0,253 mm směrem od středu k okrajům. Lze tedy usoudit, že na funkci tohoto stroje nemá odlehnutí vliv. Obrázky č. 63 a 64 jsou pro názornost zobrazeny ve formátu, kdy znázorněná deformace je max. deformace = 10% z max. rozměru modelu, jelikož reálné deformace by nebylo možné pouhým okem rozpoznat.



Průběh napětí

Výpočet potvrdil předpoklad, že napětí v materiálu budou vcelku malá. Nejvyšší dosažené napětí je 27,7 MPa (obr. č. 65) a to pouze na okraji děr pro šrouby v horní části konzoly. Vyšší hodnoty napětí převážně v rozmezí 15 – 20 MPa jsou v okolí těchto děr a také ve spojení desky konzoly se žebrem opět v horní části konzoly. Napětí jsou zde malá mimo jiné i díky tomu, že konzola má přesah z vrchu přes základní desku, o kterou se tak opírá a zachytává tak část klopného momentu od pneumatického válce.



Obrázek 65 - Průběh napětí

Zhodnocení výsledků

Získané hodnoty napětí pro jednotlivé materiály se nyní porovnají s jejich mezemi kluzu a bezpečností, která byla zvolena 3.

Hliník AlMg4,5Mn

Nejvyšší dosažené napětí je zde 27,7 MPa. Mez kluzu je 120 MPa a zvolená bezpečnost 3.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$27,7 \leq \frac{120}{3}$$

$$27,7 \leq 40 \rightarrow \text{Materiál vyhovuje}$$

Ocel 14 220

Nejvyšší dosažené napětí je zde 12 MPa. Mez kluzu je 588 MPa a zvolená bezpečnost 3.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$12 \leq \frac{588}{3}$$

$12 \leq 196 \rightarrow$ Materiál vyhovuje

Teflon PTFE

Nejvyšší dosažené napětí je zde 1,5 MPa. Mez kluzu je 23 MPa a zvolená bezpečnost 3.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$1,5 \leq \frac{23}{3}$$

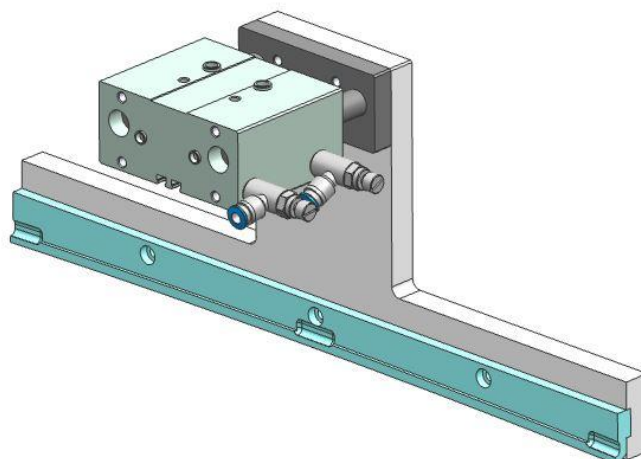
$1,5 \leq 7,67 \rightarrow$ Materiál vyhovuje

4.2 Výpočet

Cíle tohoto výpočtu jsou totožné jako u předchozího. To znamená primárně zkontrolovat velikost posunutí přídržovače při procesu lemování a následně provést kontrolu průběhu napětí v materiálu. Výpočet byl proveden pro níže vyobrazenou jednotku (obr. č. 66 a 67).

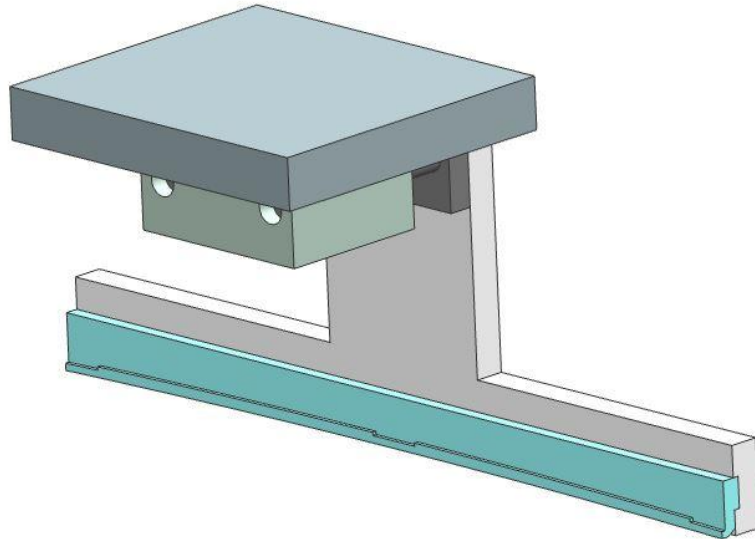
4.2.1 Zjednodušení modelu

Před zjednodušením



Obrázek 66 - Jednotka původní 2

Po zjednodušení



Obrázek 67 - Jednotka idealizovaná 2

4.2.2 FEM

Výpočet, byl také realizován převážně pomocí 3D prvků a to v kombinaci tetraedrů (jehlanů) a bricků (krychlí). Šroubové spoje, potřebné pro výpočet byly realizovány v 1D formě pomocí prvků RBE3 (obr. č. 68 a 69). Šrouby byly simulovány pro spojení mezi tlačnou plochou válce a držákem přidržovačem. Velikost těchto šroubů je M6.

Materiály

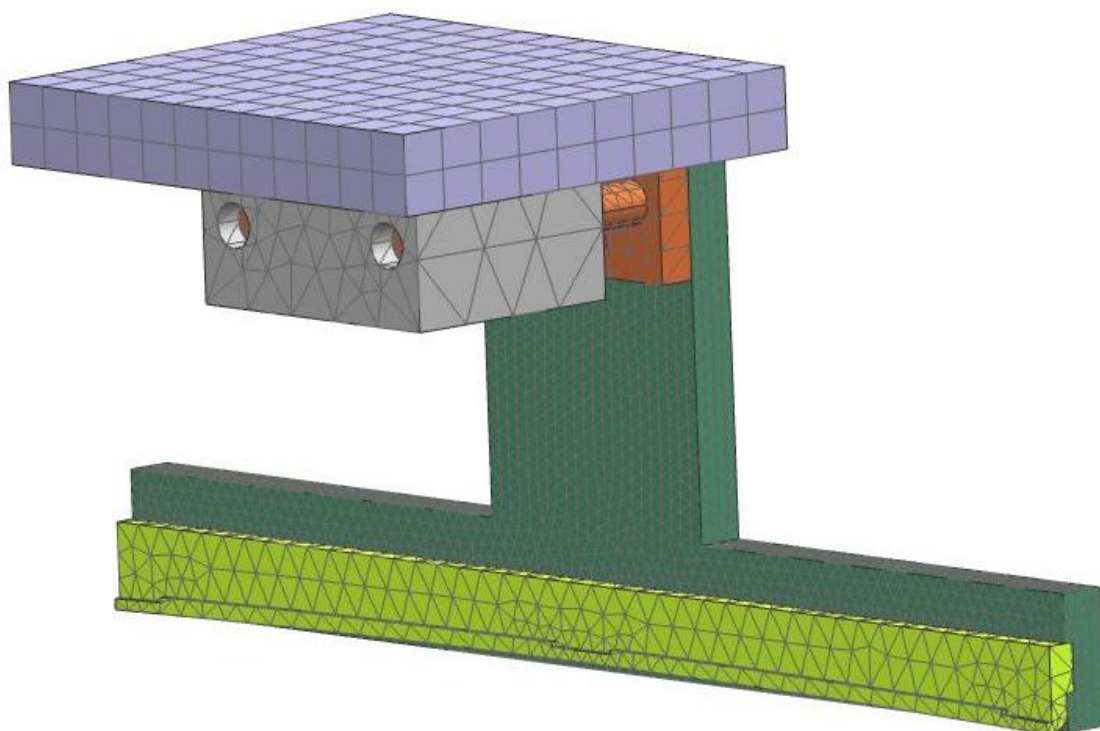
Materiál	Hustota [g/cm ³]	Youngův modul pružnosti v tahu [MPa]	Poissonova konstanta [Mpa]	Mez kluzu [Mpa]	Mez pevnosti [Mpa]
Hliník AlMg4,5Mn	2,16	70 000	0,33	120	270
Ocel 14 220	7,829	206 940	0,288	588	785
Teflon PTFE	2,794	564	0,42	23	25

Tabulka 2 - Použité materiály 2

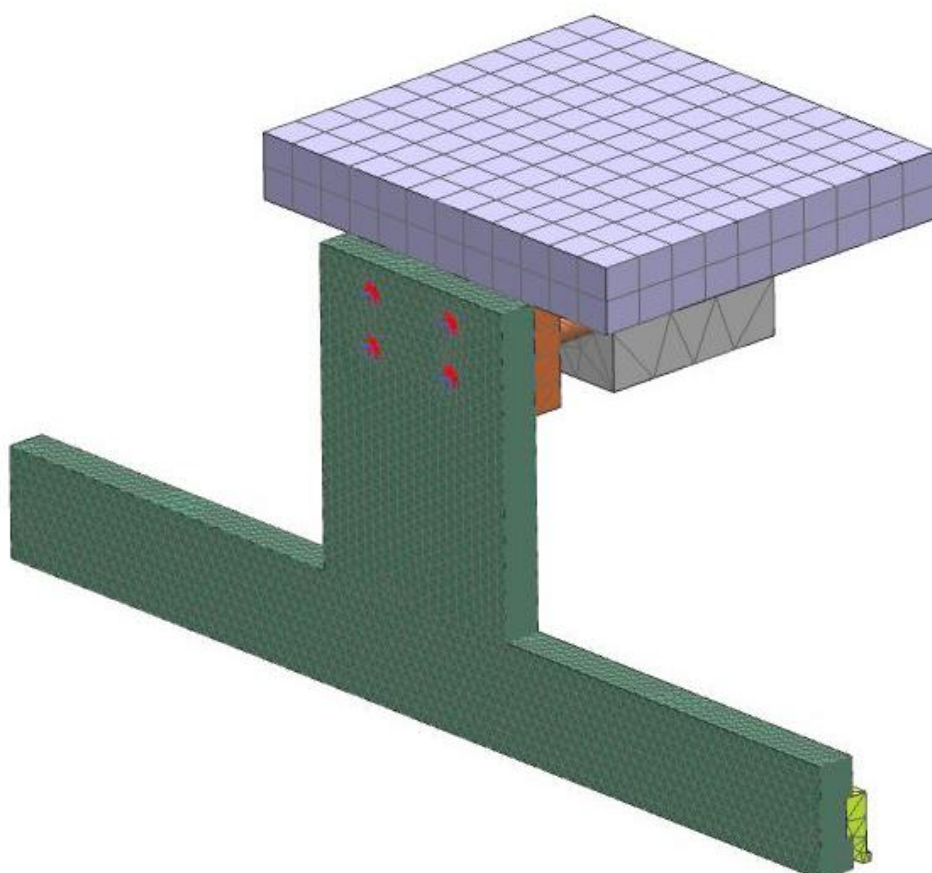
Hliník – Z hliníku je vyrobeno tělo válce, držák pro přidržovač a deska, ke které je konzola upevněna.

Ocel - Z oceli je zhotovena tlačná část válce a jeho vedení, dále je použita pro šrouby.

Teflon - Z teflonu je vyroben samotný přidržovač.



Obrázek 68 - FEM 3



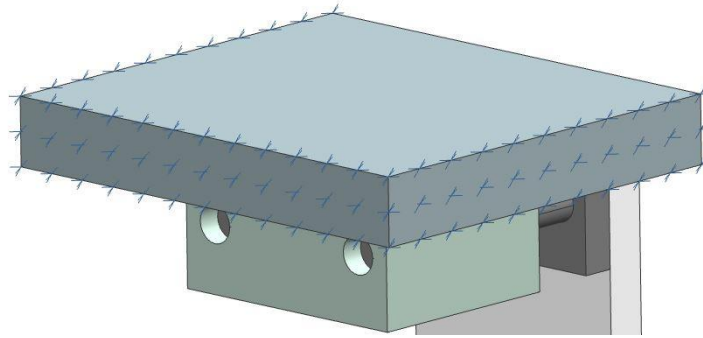
Obrázek 69 - FEM 4

4.2.3 Okrajové podmínky

Zatěžovací síla

- max síla vyvozená válcem v momentě držení látky při 6-ti barech tzn. 295 N.
- působení gravitace
- předepínací síla šroubů 374 N

Uchycení sestavy - Deska, ke které je přišroubován pneumatický válec (obr. č. 70 – v místech oříznutí desky byly odebrány všechny stupně volnosti).



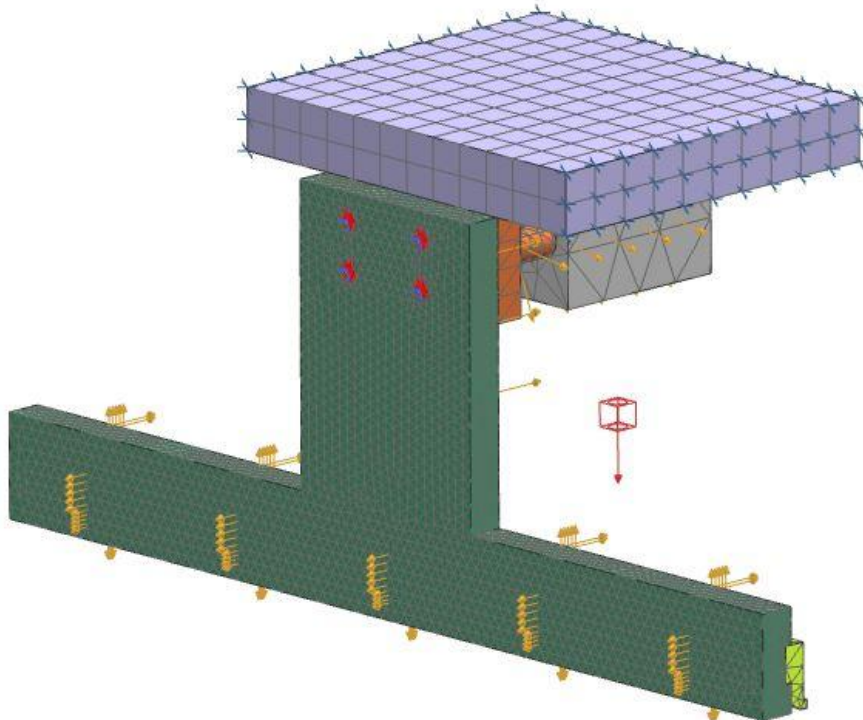
Obrázek 70 - Uchycení sestavy 2

Kontakty použité mezi jednotlivými součástmi:

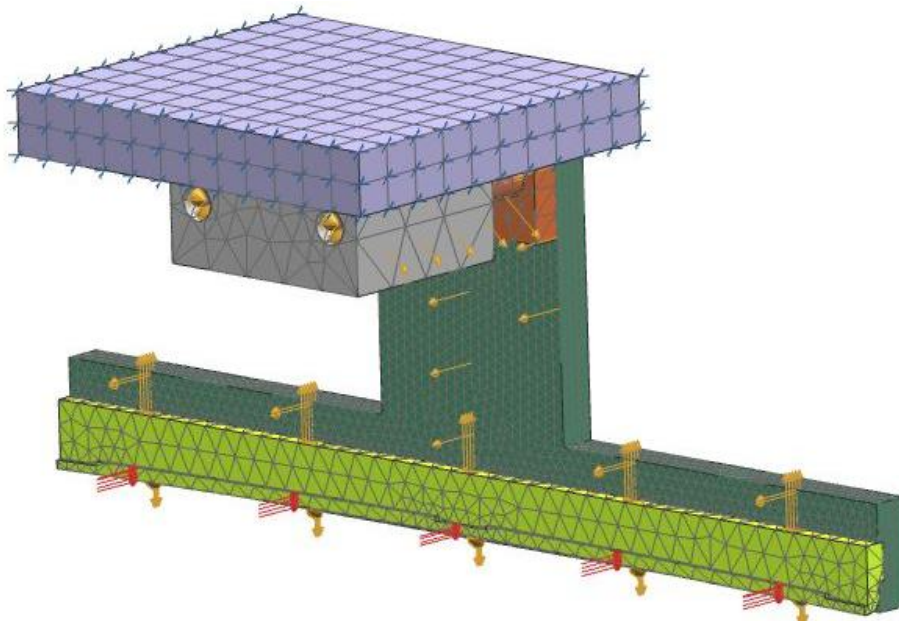
Gluing - Přidržovač + držák

- Tělo pneumatického válce + vedení tlačné plochy válce
- Tělo pneumatického válce + základní upevňovací deska

3D kontakt – Tlačná plocha válce + držák přidržovače



Obrázek 71 - Simulace 3

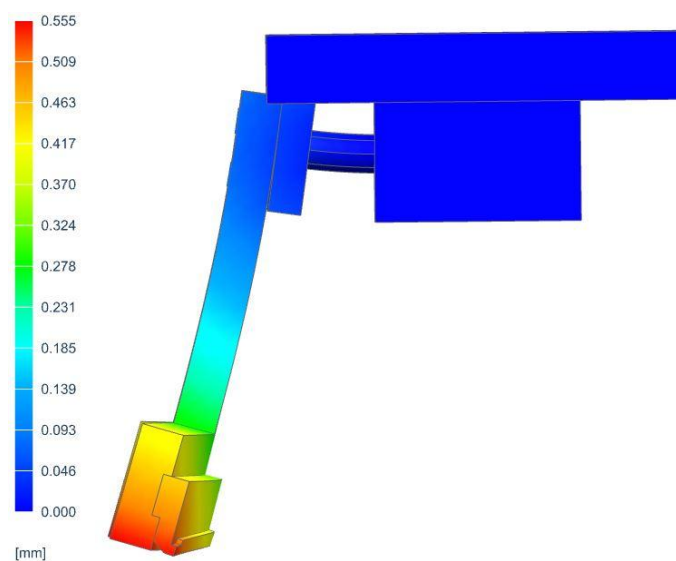


Obrázek 72 - Simulace 4

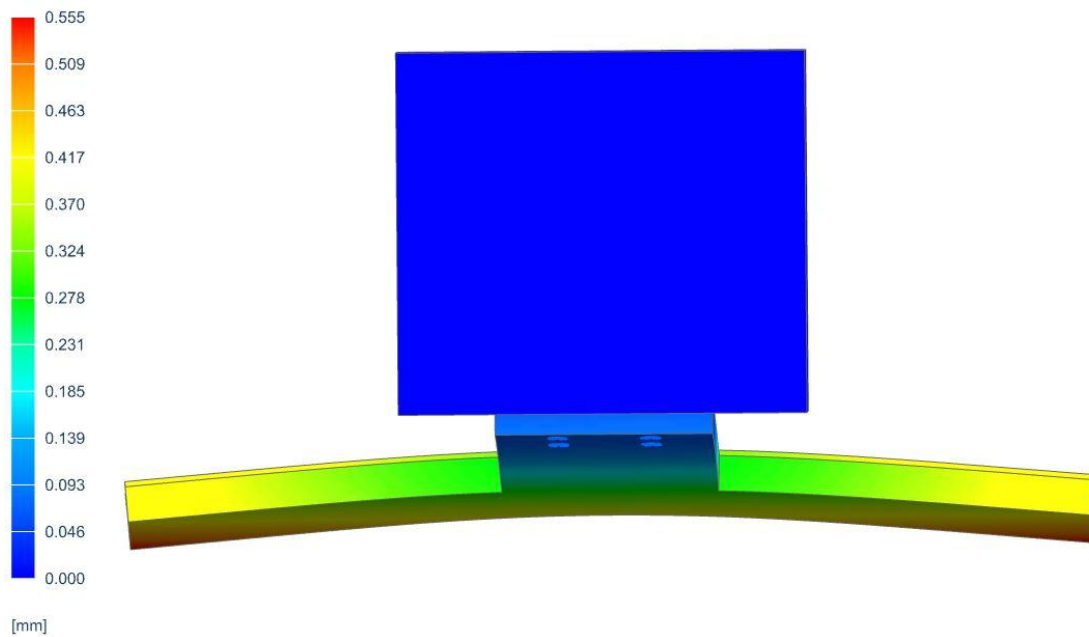
4.2.4 Výsledky

Deformace

U této jednotky jsou deformace o poznání větší oproti předchozí. Největší deformace je v oblasti přídržovače a pohybuje se od 0,4 – 0,555 mm směrem od středu k okrajům. Vizualizace (obr. č. 73 a 74) je opět ve formě max. deformace = 10% z max. rozměru modelu, což může vést k domněnce, že dochází ke kolizi mezi základní deskou, ke které je připevněn pneumatický válec, a jeho tlačnou částí s držákem přídržovače. Ve skutečnosti je mezi nimi mezera téměř stejně velká jako v nezátíženém stavu. Přídržovací jednotku lze tedy shledat vyhovující pro její použití.



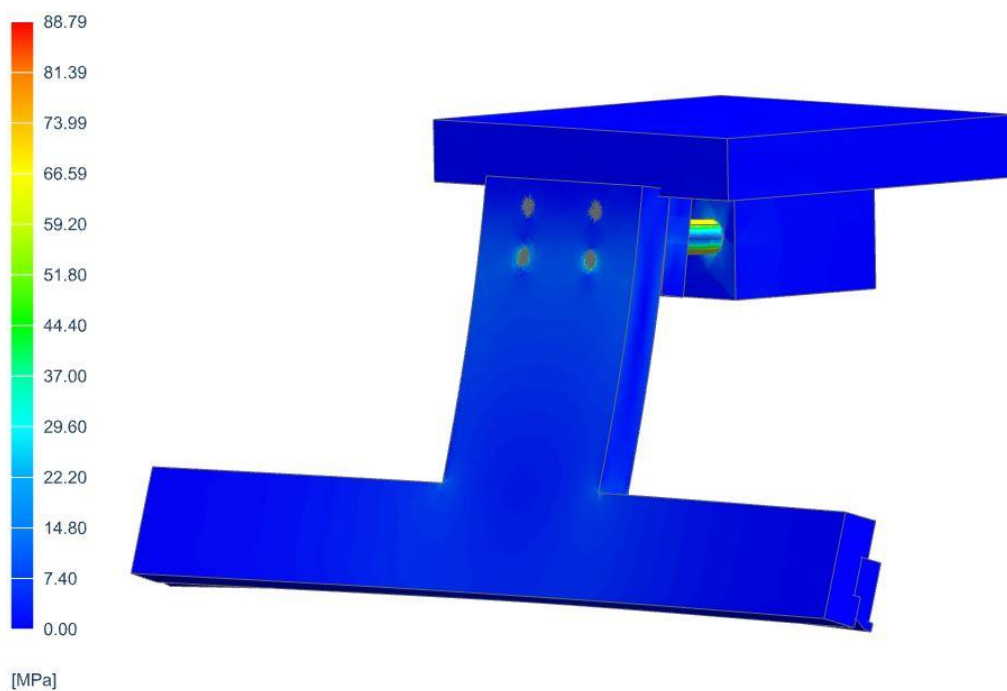
Obrázek 73 - Deformace 3



Obrázek 74 - Deformace 4

Průběh napětí

Největší napětí se vyskytují v oblasti vedení pneumatického válce, kde dosahují až 88,96 MPa (viz. obr. č. 75). Válec je na tato zatížení dimenzován výrobcem, a proto tato část výsledku není pro nás tolik zásadní. Důležitá je kontrola námi navrhovaných součástí, kde se napětí dle předpokladu vyskytují velmi malá. Jedinou malou výjimkou jsou okraje spodních dvou děr pro připevnění držáku k válci, kde se napětí pohybuje kolem 50 MPa. To je způsobeno působením momentu od přidržovače. Avšak toto napětí nemůže napáchat žádné škody.



Obrázek 75 - Napětí 2

Zhodnocení výsledků

Získané hodnoty napětí pro jednotlivé materiály se nyní porovnají s jejich mezemi kluzu a bezpečností, které byly zvoleny pro hliník 2 a pro ocel a teflon 3.

Hliník AlMg4,5Mn

Nejvyšší dosažené napětí je zde 53 MPa. Mez kluzu je 120 MPa a zvolená bezpečnost 2.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$53 \leq \frac{120}{2}$$

$$53 \leq 60 \rightarrow \text{Materiál vyhovuje}$$

Ocel 14 220

Nejvyšší dosažené napětí je zde 88,96 MPa. Mez kluzu je 588 MPa a zvolená bezpečnost 3.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$88,96 \leq \frac{588}{3}$$

$$88,96 \leq 196 \rightarrow \text{Materiál vyhovuje}$$

Teflon PTFE

Nejvyšší dosažené napětí je zde 1 MPa. Mez kluzu je 23 MPa a zvolená bezpečnost 3.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_k}{k}$$

$$1,5 \leq \frac{23}{3}$$

$$1 \leq 7,67 \rightarrow \text{Materiál vyhovuje}$$

4.3 Shrnutí výsledků

Jak již bylo zmíněno v podkapitolách 4.1.4 a 4.2.4, deformace, které se u kontrolovaných přídržovacích jednotek vyskytují, jsou dostatečně malé a nejsou tak shledány jako ohrožující pro výslednou kvalitu vyráběného dílu. Především u druhého výpočtu je možné si povšimnout, že deformace přídržovače se směrem od středu ke krajům zvětšuje. To byl nedostatek původní koncepce stroje, kdy přídržovač byl celistvý a nikoli dělený jako je nyní. V novém řešení na tuto středovou jednotku navazují po obou stranách další dvě, které jsou mnohem užší, čímž se méně deformují a mají také svůj pneumatický válec, díky kterému lze regulovat přítláčnou sílu v této oblasti dílu, což bylo v původní koncepci mnohem obtížnější. Lze tedy předpokládat, že toto nové řešení umožní snížit množství „zmetkových“ dílů.

Napětí, která se vyskytují v námi navrhovaných součástech, jsou dle předpokladu malá, a tedy nejsou z hlediska pevnosti součástí ohrožující.

5. Závěr

V této práci bylo detailně popsáno dosavadní konstrukční řešení lemovacího stroje včetně popsání samotného pracovního procesu lemování střešního okna automobilu. Dále byla představena nová koncepce stroje, kde přidržovací jednotky pro uchycení látky byly přesunuty z pracovního stolu do koše stroje a byly popsány i další úpravy stroje spjaté právě s tímto novým řešením. Pro dvě zvolené přidržovací jednotky byl proveden výpočet MKP včetně jejich zhodnocení. V přílohách práce je pak možné nahlédnout do vytvořených výkresů. Respektive se jedná o výrobní výkres konzoly pneumatického válce a sestavový výkres přitlačovacího koše nového varianty řešení.

Nové řešení je výhodnější z hlediska montáže, kdy pracovníci mají snazší přístup k jednotlivým jednotkám přidržovačů a také je umožněno jednodušší nastavení přitlačovací síly pomocí tlaku vzduchu pro jednotlivé válce přidržovačů oproti původní konstrukci se stavěcími šrouby. Dalším kladem je působení přitlačovací síly v ose pneumatického válce, díky čemuž je nyní možné použít menší pneumatické válce než doposud. Díky absenci přidržovacích jednotek na pracovním stole, které byly uvnitř prostoru okna vyráběného dílu lze olemovat i menší střešní okna než doposud. MKP výpočet potvrdil, že navržená koncepce přidržovačů je vyhovující svému účelu použití z hlediska deformací i průběhu napětí v jednotlivých dílech.

Závěrem lze tedy říct, že navržené koncepční řešení vyhovuje předpokladům na něj kladených s ohledem na výrobu, montáž i samotné pracovní využití a po přizpůsobení požadovanému vyráběnému dílu by mohlo být použitelné i v praxi.

Seznam použité literatury

Internetové zdroje

[1] Staubli. *MPS 130/260 Robotic tool changing systems*. 03/2019. 2019.

[2] Válce s vedením DFM/DFM-B. *FESTO* [online]. 2016 [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DFM_CZ.PDF

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Původní stroj.....	9
Obrázek 2 - Stůl lemování detail.....	10
Obrázek 3 - Přidržovací jednotka.....	10
Obrázek 4 - Přidržovač otevřený.....	11
Obrázek 5 - Přidržovač zavřený.....	11
Obrázek 6 - Stavěcí šroub.....	12
Obrázek 7 - Přenesená síla.....	12
Obrázek 8 - Přitlačovací koš.....	13
Obrázek 9 – Založený díl.....	14
Obrázek 10 – Stůl ve výchozí pozici.....	14
Obrázek 11 - Vysunutí stolu.....	15
Obrázek 12 - Chycení látky.....	15
Obrázek 13 - Přetažení látky.....	16
Obrázek 14 - Přetažení látky přes díl.....	16
Obrázek 15 - Založení látky.....	17
Obrázek 16 - Díl shora.....	18
Obrázek 17 - Díl zdola.....	18
Obrázek 18 - Díl hotový.....	19
Obrázek 19 - Díl před lemováním.....	19
Obrázek 20 - Díl před lemováním 2.....	20
Obrázek 21 - Díl hotový.....	20
Obrázek 22 - Nový stroj.....	21
Obrázek 23 - Vnější koš.....	22
Obrázek 24 - Deska s přidržovači.....	22
Obrázek 25 - Sestava vedení.....	23
Obrázek 26 - Nový koš.....	23
Obrázek 27 - Dělený přidržovač.....	24
Obrázek 28 - Sestava přidržovače.....	24
Obrázek 29 - Sestava přidržovače 2.....	24
Obrázek 30 - Jednotka opačná.....	25
Obrázek 31 - Jednotka opačná 2.....	25
Obrázek 32 - Kolize.....	25
Obrázek 33 - Kolize 2.....	26
Obrázek 34 - Rám původní.....	26
Obrázek 35 - Nové umístění.....	27
Obrázek 36 - Spojení původní.....	27
Obrázek 37 - Spojení nové.....	28
Obrázek 38 – Spojka část 1.....	28
Obrázek 39 – Spojka princip [1].....	28
Obrázek 40 – Spojka část 2.....	28
Obrázek 41 - Lemovací stůl.....	29
Obrázek 42 - Stůl výchozí.....	29
Obrázek 43 – Přidržovače výchozí.....	29
Obrázek 44 - Výchozí poloha.....	30
Obrázek 45 – stůl vyjetý s dílem.....	31
Obrázek 46 - Stůl vyjetý.....	31
Obrázek 47 - poloha 3.....	31
Obrázek 48 – Přidržovače při chycení látky.....	32

Obrázek 49 – Chycení látky v rohu.....	32
Obrázek 50 - Nové chycení látky.....	32
Obrázek 51 - Nové přetažení látky.....	33
Obrázek 52 - Lemování v řezu.....	33
Obrázek 53 - Jednotka původní.....	34
Obrázek 54 - Jednotka původní 2.....	34
Obrázek 55 - Jednotka idealizovaná.....	35
Obrázek 56 - Jednotka idealizovaná 2.....	35
Obrázek 57 - FEM 1.....	36
Obrázek 58 - FEM 2.....	36
Obrázek 59 - Šroubový spoj.....	37
Obrázek 60 - Uchycení sestavy.....	39
Obrázek 61 - Simulace 1.....	40
Obrázek 62 - Simulace 2.....	40
Obrázek 63 - Deformace 1.....	41
Obrázek 64 - Deformace 2.....	41
Obrázek 65 - Průběh napětí.....	42
Obrázek 66 - Jednotka původní 2.....	43
Obrázek 67 - Jednotka idealizovaná 2.....	44
Obrázek 68 - FEM 3.....	45
Obrázek 69 - FEM 4.....	45
Obrázek 70 - Uchycení sestavy 2.....	46
Obrázek 71 - Simulace 3.....	46
Obrázek 72 - Simulace 4.....	47
Obrázek 73 - Deformace 3.....	47
Obrázek 74 - Deformace 4.....	48
Obrázek 75 - Napětí 2.....	48

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – Použité materiály 1.....	35
Tabulka č. 2 – Použité materiály 2.....	44

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výkresová dokumentace