

Virtuální prototyp svařování průtažné fólie

Virtual prototype welding of stretch foil

Bc. Ondřej Kult

Vedoucí práce: Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.

Konzultant: Ing. František starý

Abstrakt

Návrh zařízení pro snížení předpětí ve fólii na ovíjecím stroji Rotomatic firmy Pragometal pro svaření vrstev fólie na konci balicího cyklu. Jedná se o virtuální úpravu stávajícího zařízení doplněnou o zkonstruované mechanické prvky snižující předpětí fólie, ve formě kleští s přitlačnými válci. Výpočet se skládá z teoretického odhadu zatížení, konstrukčního návrhu a výpočtu jednotlivých prvků zařízení. Kontrola prvků je provedena pomocí MKP. Projekt pokračuje návrhem zkušebního standu pro zjištění skutečných mechanických vlastností průtažných fólií, za účelem ověření výsledků konstrukčního prototypu svařování fólie.

Klíčová slova

Průtažná fólie, snížení předpětí, přitlačné válce

Abstract

Equipment design to reduce preload in foil on Rotomatic wrapping machine from Pragometal company to weld films of the foil on the end of the wrapping cycle. It is a virtual modification of existing equipment, by a designed mechanical which reducing preload film in the form of tongs with pressure rolls. The calculation consists of a theoretical estimate of the load, the design and calculation of the various items of equipment. Control elements is performed using FEM. The project continues the stand design trial to determine the actual mechanical properties of stretch films, in order to validate the results of the design prototype welding foil.

Key words

Stretch film, reduction preload, pressure rollers

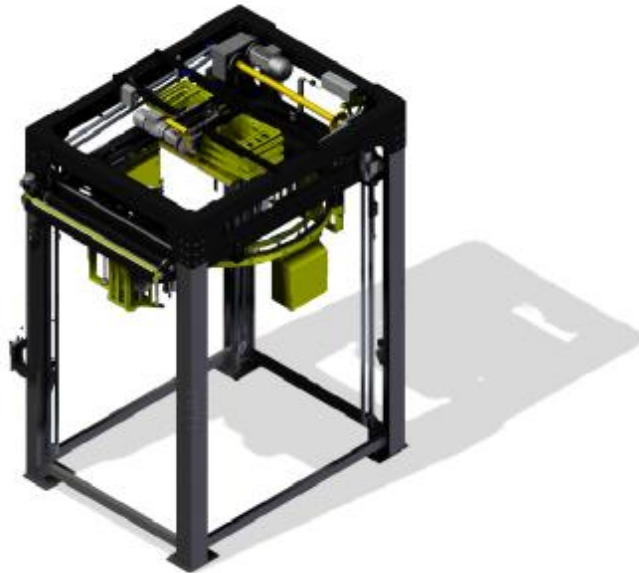
1. Úvod

Optimalizace zařízení vychází z reálných konstrukčních a provozních parametrů současné generace balících strojů firmy Pragometal, spol. s.r.o. Jedním z hlavních provozních parametrů, který ovlivňuje kvalitu výsledného obalu zboží, je hodnota napětí ve fólii v místě svaru. Při svařování dochází k lokálnímu natavení fólie, která při vysokém předepnutí ztrácí soudržnost v místě lokálního natavení. Proto je nutné vyvinout mechanismus, který v místě svaru dočasně sníží napětí fólie během svařovacího procesu. Koncepce konstrukčního uspořádání mechanismu je uzpůsobena pro použití na stávajícím zařízení Rotomatic, 3D model je proveden v programu Autodesk Inventor.

2 Popis balicího stroje Rotomatic

Plně automatický stroj pro zařazení do dopravních tratí. Stroj je určen pro provozy s velmi vysokou kapacitou balení a vysokými nároky na obal, který zaručuje dokonalou fixaci zboží na paletě při minimální spotřebě fólie. Vysoká produktivita stroje je umožněna technologií

balení, při níž balená paleta není otáčena jako u standardních strojů, ale stojí na dopravníku a je ovíjena vysokou rychlostí rotující fólií kolem této palety. Při tomto způsobu balení nepůsobí na paletu žádné dynamické síly. Pro nejvyšší balicí výkony je stroj dodáván v provedení se dvěma předepínacími zařízeními. Stroj je schopen, po najetí palety se zbožím, automaticky spustit cyklus balení, tuto paletu zabalit a vyslat signál o ukončení balení. Výchozí poloha balení je libovolná, čímž je umožněna fixace pouze horního nebo spodního okraje zboží nebo zpevnění uprostřed balené palety. Balení může být provedeno v režimech: jednoduché, křížové, prachotěsné a vlhkotěsné. Na konci procesu je fólie pojištěna svarem dvou překrývajících se vrstev.



Obr. 1. Rotomatic 1700

3 Konceptní návrh

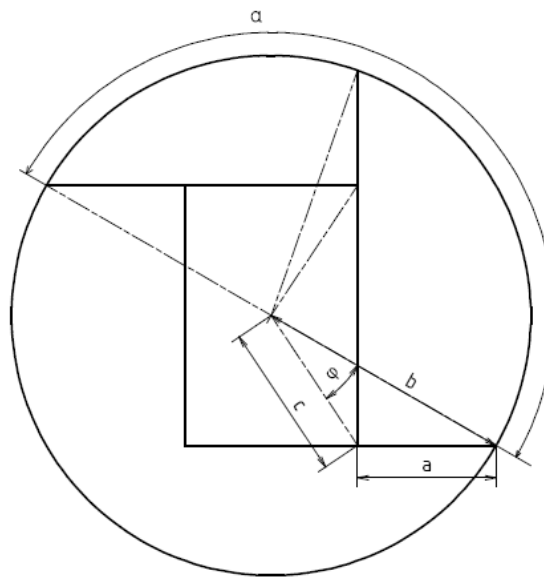
Pro svařování i odvíjení fólie je důležitý aspekt jejího uchycení a snížení předepnutí vyvolané ovíjením kolem palety s patřičným brzděním. Takto vyvolaná tažná síla ve fólii může dosahovat teoretické maximální síly až 200N. Proto bylo v prvotních konceptních návrzích řešeno uchycení předepjaté fólie a snížení předepínací síly ve fólii na hodnotu přijatelnou pro svařování, aby nedošlo k tavení fólie a trhání tzv. ok ve fólii.

3.1 Výsledné uspořádání konceptního návrhu

Tato varianta vychází z původního přístroje Rotomatic, kdy jako základnu a nosný prvek uložení mechanismu využívá nosník s pneumaticky ovládaným mechanismem kleští pro svaření a přerušování fólie. Samotný mechanismus snížení předpětí se skládá ze dvou opěrných válců, z nichž jeden je poháněný a druhý je sklopný. V okamžiku vyvinutí přítláčné síly pomocí sklopného válce dochází k odvalování těchto dvou válců, mezi nimiž jsou dvě vrstvy fólie, které mají být svařeny. Rotací těchto válců a využitím sevření fólie původním mechanismem dochází ke snížení předpětí. Mechanismus válců je výsuvný. Aby nedošlo ke kolizi prstence Rotomaticu v průběhu ovíjení palety zároveň je nutné, aby přítláčný válec byl sklopný a poslední ovinutá vrstva fólie mohla být sevřena těmito válci. Tato varianta je modelovou částí řešení tohoto projektu, tudíž bližší specifikace včetně modelu tohoto zařízení je uvedena v kapitole 6.

4 Dynamika odvíjení fólie

Pro snížení předpětí ve fólii při obalování materiálu je potřeba určit z nastavené průtažnosti nutnou délku zkrácení pro získání nezatíženého průřezu fólie vhodného pro svaření. Zde rozlišujeme takzvané primární a sekundární průtažnosti fólií. Primární průtažnost, respektive prodloužení elementu určité délky vlivem působení tažné síly ve směru odvíjení fólie, vzniká vygenerováním brzdného momentu na cívce fólie a odvíjecím válcem. Rozdílné obvodové rychlosti těchto dvou částí vyvoluje prodloužení fólie, ale také tažnou sílu ve fólii mající tendenci smrštit fólii na původní délku. Rychlost odvíjení fólie je závislá na rozměrech obalovaného materiálu, nastavených otáčkách Rotomaticu. Rychlost odvíjení v převodu odvíječe a cívky fólie je dále závislá na primární a sekundární průtažnosti. Řešením průběhu této rychlosti je výpočet, jehož výstupem je graf rychlosti v závislosti na úhlu rotace prstence Rotomaticu. Výpočet je určen pro obalování materiálu čtvercového nebo obdélníkového průřezu, v základu nastaveného na rozměry půdorysu Europalety. Výpočet pracuje na geometricky určených vzdálenostech. V závislosti na úhlu natočení Rotomaticu, kdy pomocí úhlu, znalosti poloměru dráhy Rotomaticu a délky jednoho ramene trojúhelníka, které známe díky rozměrům obalovaného materiálu, dopočítáme délku fólie do rohu palety, kde se fólie přes hranu ohýbá. Pomocí iterace kdy se od vypočtené vzdálenosti odečte předešlá vzdálenost pak výpočet určí v závislosti na otáčkách Rotomaticu přesnou rychlost odvíjení a vynese ji do grafu. Takto určená křivka je závislost na odvíječi a závislost na převodu a cívce je po nastavení požadované průtažnosti označena zbylými dvěma křivkami.

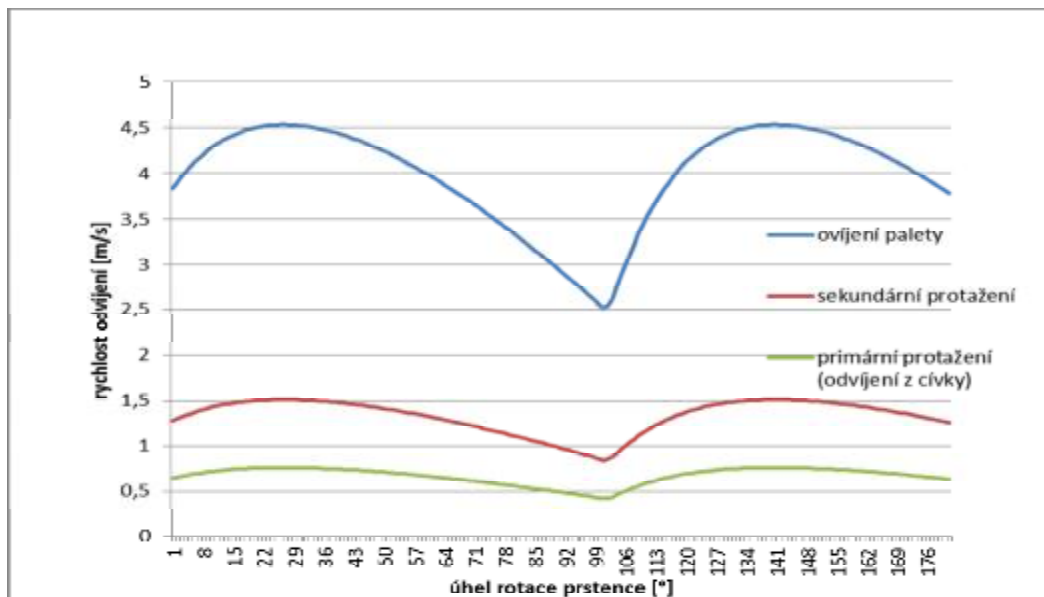


Obr. 2. geometrie odvíjení fólie

Jak je patrné na obrázku výše zajímají nás 2 průběhy. První od dolního pravého rohu po rovnoběžnost fólie s delší stranou. A obdobně druhý průběh od pravého horního rohu po rovnoběžnost fólie s kratší stranou. Dále se cykly opakují. To znamená 2 cykly na jedno otočení Rotomaticu. Dle obrázku pak délka fólie od hrany palety je:

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos\varphi} \quad (1)$$

Od této vzdálenosti je nutné pro každý úhel odečíst předchozí vypočtenou vzdálenost A. Výsledkem je délka odvinuté fólie v závislosti na změně úhlu φ . Při zadání požadované úhlové rychlosti prstence Rotomaticu je výsledkem rychlost odvíjení.



Obr.3. Graf rychlosti odvíjení

Modelově je pro tento graf zvolena primární průtažnost 200% a sekundární 300%. Rychlost rotace prstence Rotomaticu je 60 ot/min. Graf odpovídá ovinutí přes 2 rohy palety. Při ovíjení druhé poloviny se průběh opakuje.

5 Určení zatížení

Určení zatížení konstrukce vychází pro tento výpočet ze dvou parametrů. Prvním je síla v předepjaté fólii vycházející z nastavené průtažnosti a druhý parametr je součinitel tření mezi fólií a materiálem kleští. Po konzultaci s vedoucím projektu byla pro výpočtovou část určena síla v předepjaté fólii 200N a součinitel tření $f=0,2$. Spojitá zatížení jsou ve výpočtech nahrazena silou v polovině působíště spojitého zatížení.

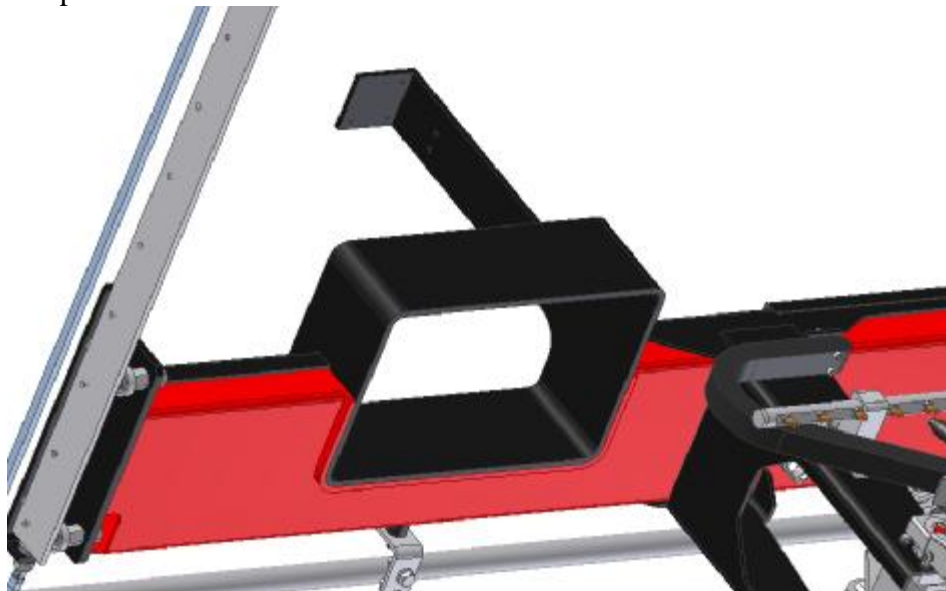
6 Popis prototypu pro snížení předpětí

Sestava modelu vychází z původního modelu uchycení a oddělení fólie, v původním projektu označený jako RTG-4.0. Sestava se skládá z hlavního nosníku, jeho krajních pojezdů včetně ovládání a kleští pro uchycení a přetavení fólie. Dále pak ovládání jednotlivých částí, spojovací materiál, elektrické obvody apod.



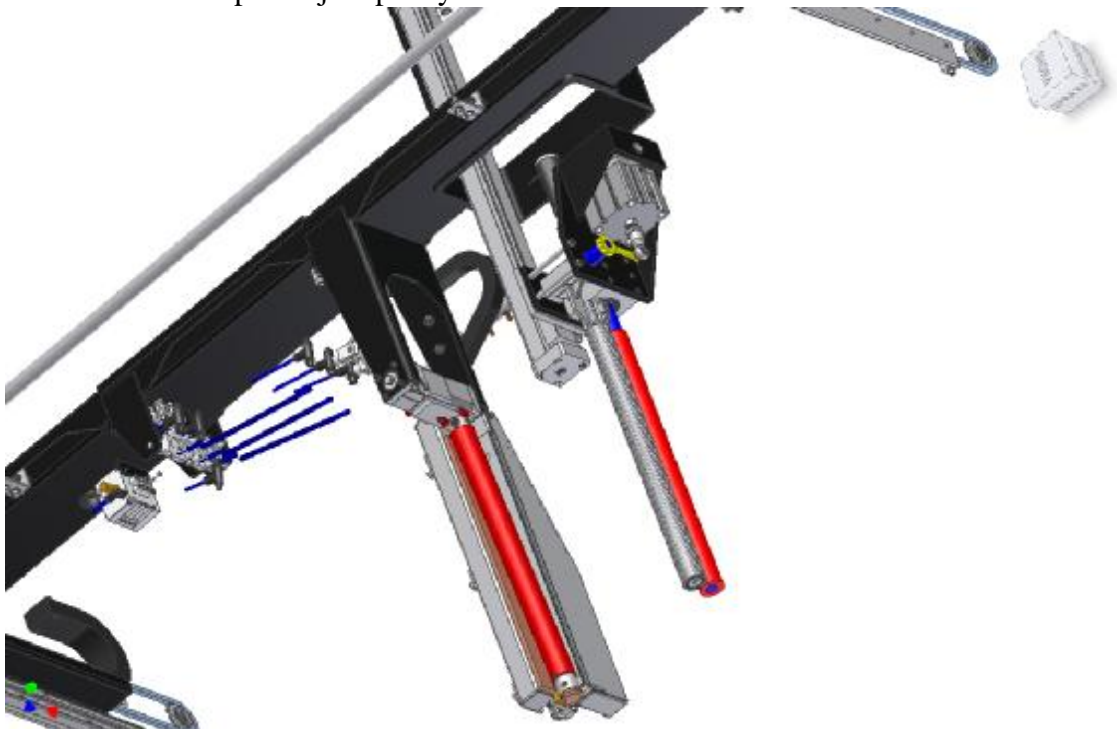
Obr.4. původní sestava RTG-4.0

Na obrázku 4 je původní neupravená sestava RTG-4.0 jejíž hlavní nosná část v podobě skládaného nosníku z U profilů byla upravena pro uchycení vertikálního pneumatického pojezdu kleští. Jedná se o výřez složeného nosníku, vetknutí a přivaření uzavřeného obdélníkového profilu 190x300mm kde tloušťka stěny je 6mm. Tento profil je pevnou částí horní poloviny nosníku. Spodní část je vybavena vetknutým U profilem kopírující vnější stěnu horního profilu.



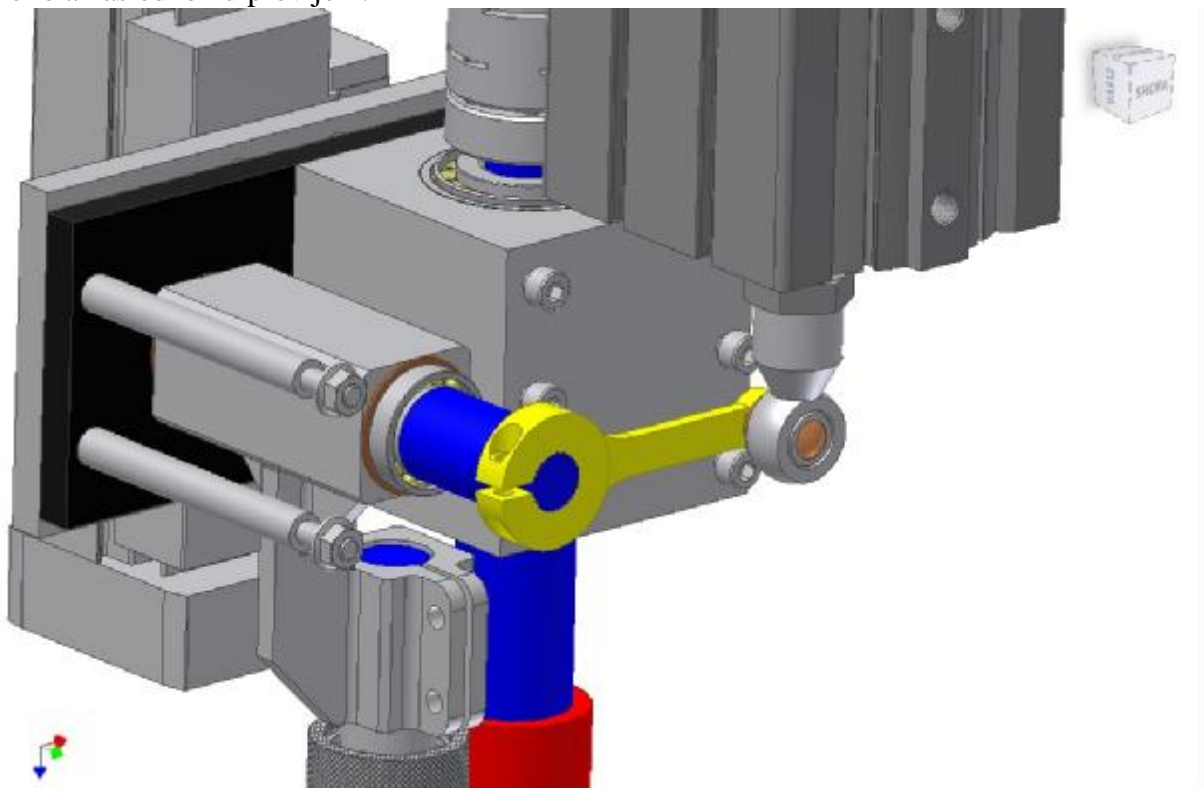
Obr.5. Detail vetknutí profilu

Na obrázku 5 je znázorněno upevnění pneumatického přímočarého pohonu od firmy FESTO. Délka dráhy posunu je 550mm, což zajišťuje nepřítomnost zařízení v pracovním prostoru prstence Rotomaticu při ovíjení palety.



Obr.6. uložení mechanismu v rámu

Mechanismus kleští předpětí fólie se skládá ze dvou protilehlých desek, z nichž jedna z nich je svařenec opatřený uložením pneumatického pístu ovládání. Mezi těmito deskami je pomocí šroubu uchycen nenormalizovaný ložiskový domek s kuželíkovými ložisky do X jenž plní funkci uložení hřídele hnaného odvalovaného válce. Tato hřídel je ovládána krokovým motorem zajišťuje správný počet otáček hřídele pro přetažení fólie do prostoru s nulovým napětím. Naproti takto uložené hřídeli je rameno uložení přítlačného válce. Jedná se o svařenec z normalizovaných profilů opatřený svěrným spojem pro uchycení osy přítlačného válce, jenž je na této hřídeli uložen kuličkovými ložisky. Hřídel ovládání tohoto ramene je opatřena svěrným spojem zajišťující bezpečnost proti přetížení mechanismu při poruše pneumatického válce. Celý mechanismus je uložen na pneumatickém vertikálním vedení od firmy FESTO. Zdvih zařízení je 550mm. V horní poloze tak nezasahuje do pracovního prostoru prstence Rotomaticu při odvíjení fólie. V konečné fázi dojde nejprve k sevření původními kleštěmi a poté k rozevření kleští pro snížení předpětí. Tím se zvětší prostor pro uchycení předepjaté fólie. Po přesunu do dolní polohy vertikálního pojezdu dojde k sevření fólie a následnému převíjení.



Obr.7. mechanismus kleští

Při určení geometrických tolerancí sestavy kleští bylo určeno, že průměr přítlačného válce je 40mm. Válec je hliníkový o tloušťce stěny 5mm, uložený na 2 kuličkových ložiskách a na vnějším povrchu válce je rýhování. Válec pohonu je z mikroporézní pryže s nopy a vnější průměr tohoto válce je 44mm. To zaručuje, že i při výrobních nepřesnostech (v mezích tolerancí) bude přítlak po celé délce válců. Při odvalování válců po sobě se fólie převíjí do prostoru s nižším předpětím fólie a díky rýhování přítlačného válce fólie nebude mít tendenci sklouzávat zpět.

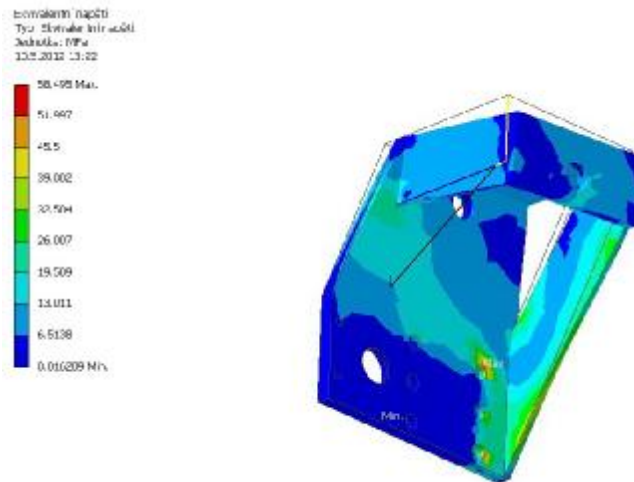
7 Analýza MKP

Byla provedena MKP analýza hlavního svařence nosníku jako zatížení sestavy. Určené zatížení je provedeno analyticky v kapitole 5. Byla použita velikost elementu 5mm. Posuv

uložení kleští byl definován ve směru $X=0$. Toto opatření je z důvodu konstrukce zařízení, kdy posuv v tomto směru zamezuje samotná sestava kleští.

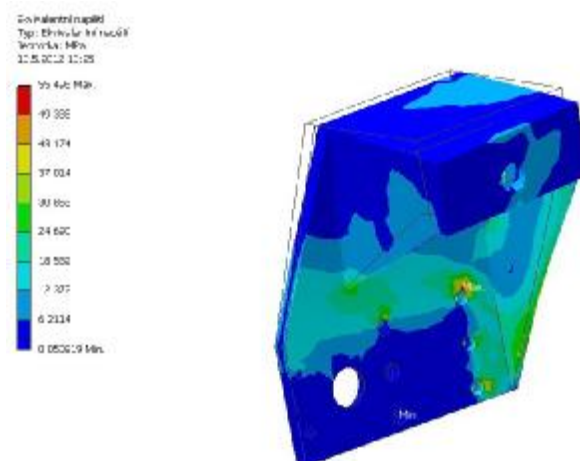
7.1 Analýza svařence uložení ovládacího pístu

Jedná se o svařenec z plechů $t=6\text{mm}$ a $t=10\text{mm}$. Zatížení bylo určeno do ok závěsu metodou zatížení ložiska silou 2552N od pístu ovládacího jako pevné podpory byly určeny otvory pro přišroubování k ložiskovému domku.



Obr. 8. Napětí ve svařenci

Na obrázku 8 je výpočet MKP svařence bez boční podpěry naznačené černou čarou. Maximum napětí zde dosahuje v místě uchycení šroubů k ložiskovému domku hnaného válce. Naproti tomu maximální deformace nabývají v místě horního rohu uložení čepu. Po provedení této simulace byla provedena optimalizace dílů vložím vzpěry pod místo největší deformace a model byl přepočítán. Vzpěra je z plechu $t=6\text{mm}$ trojúhelníkového tvaru, účelem bylo snížení maxima deformace a optimálnější rozložení zatížení tohoto prvku.

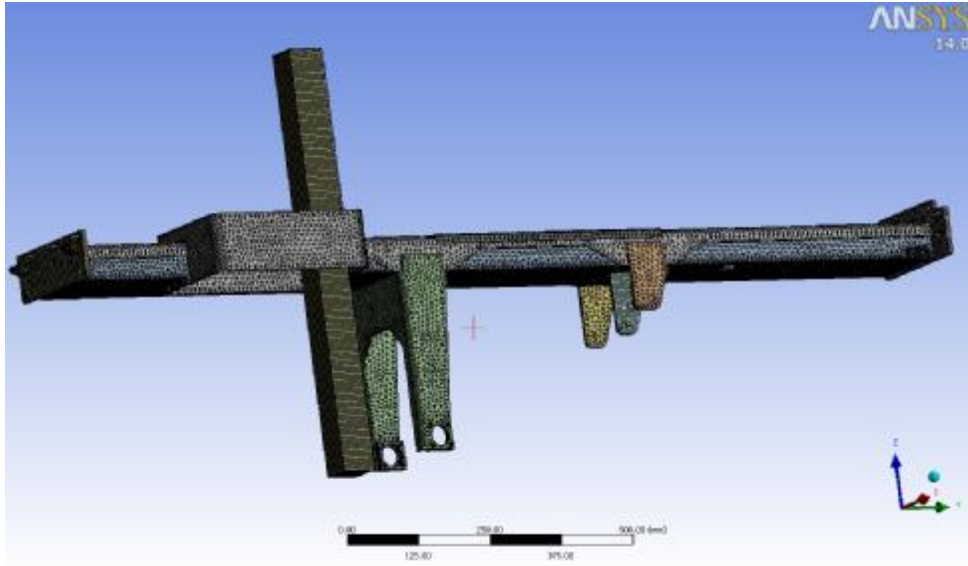


Obr. 9. Napětí v modifikovaném svařenci

Je patrné, že se díky rozložení zatížení snížilo i maximální napětí ve šroubu uložení. Maximální deformace se v rohu svařence snížila o téměř $0,05\text{mm}$ na hodnotu $0,177\text{mm}$. Tuto deformaci by bylo možné ještě snížit změnou parametrů vzpěry, ale hrozilo by, že by zasahovala do pracovního prostoru pístu, tudíž je tato modifikace konečným řešením.

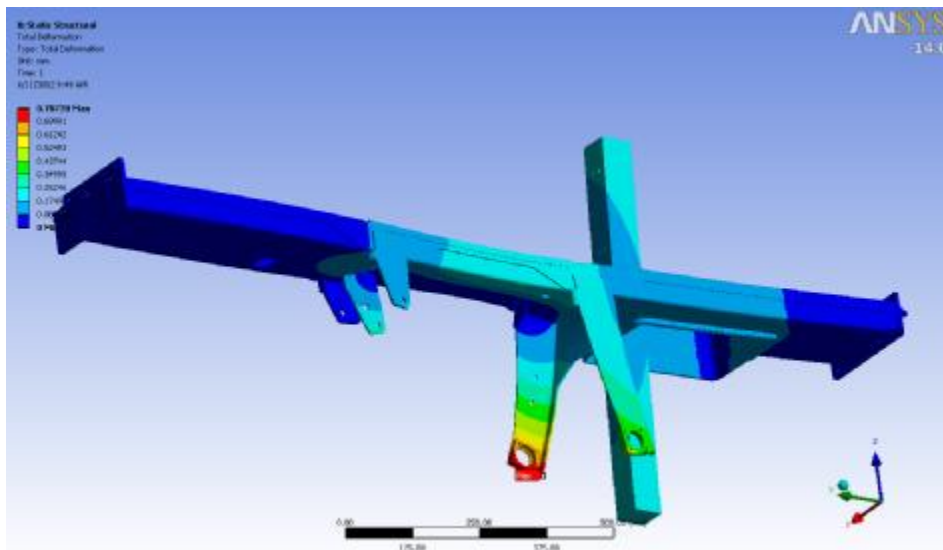
7.2 Analýza svařence rámu

Poloha pro výpočet je v okamžiku sníženého předpětí. Blok materiálu v uložení kleští pro snížení předpětí modelově nahrazuje pneumatické vedení FESTO. Velikost elementu síťování je 5mm, byla uvažována vlastní tíha svařence, teplota 22°C a byl zakázán posuv ve směru X v uložení kleští, protože ve skutečnosti budou zabráňovat deformacím v tomto směru samotné kleště.



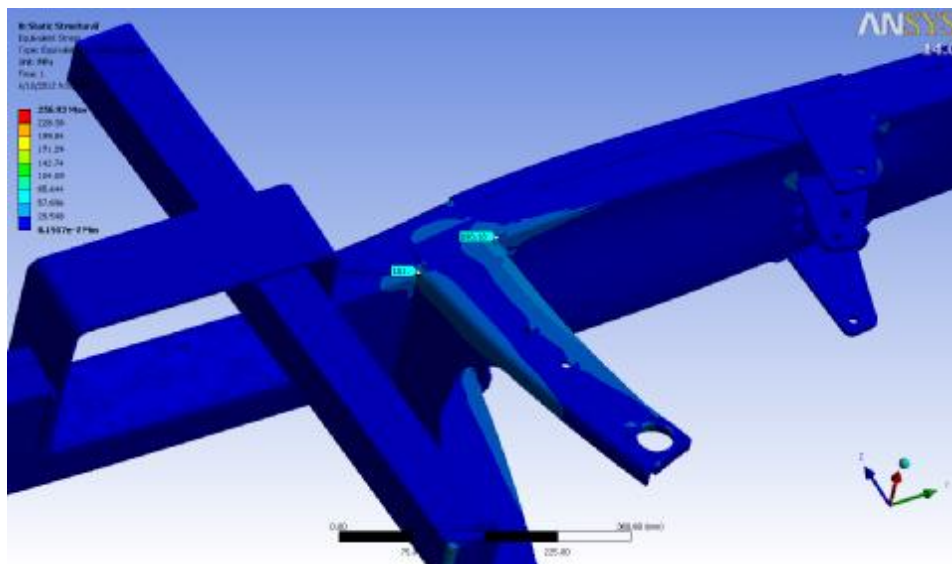
Obr. 10. Celkový pohled síťování

Největší deformace (do max 0,78mm) se týkají uložení kleští. V místě vetknutí profilu pro kleště snižující předpětí se žádné výrazné špičky napětí nebo deformace neobjevují.



Obr. 11. Maximální deformace uložení kleští

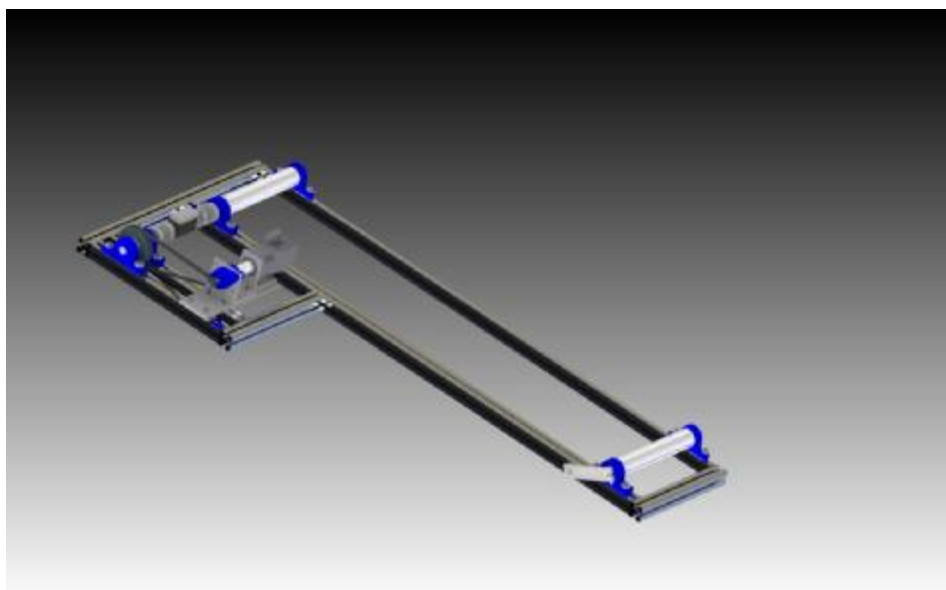
Kontaktní talky v místě spoje ramen uložení kleští a nosníkem, jsou způsobeny přechodem dvou ploch a špičky napětí v těchto místech budou zasahovat pouze malý objem materiálu. V tomto případě je možná i malá odchylka výpočtu vzhledem ke zvolenému síťování (velikost elementu 5mm).



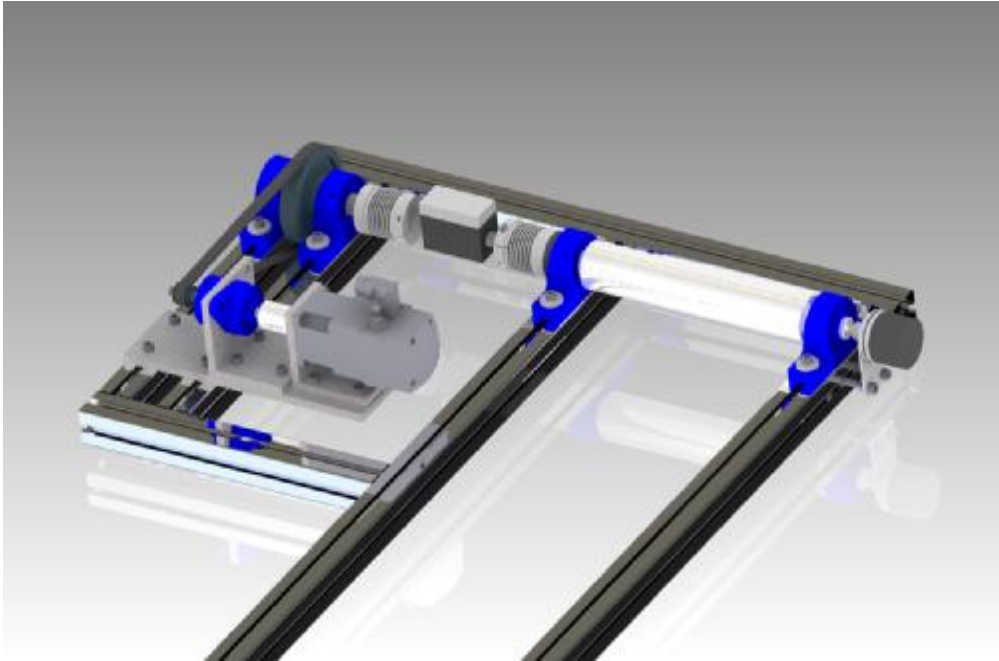
Obr. 12. Napětí v místě vetknutí ramen

8 Popis standu pro testování mechanických vlastností průtažných fólií

Pokračování Projektu: Virtuální prototyp svařování fólie je navrhnout zařízení a vytvořit vhodnou metodu, jak zjistit skutečné zatížení, které ve fólii vznikne při jejím předpětí. Dále pak možnosti zatěžování a chování svařené fólie. Na standu bude možné určit skutečné charakteristiky fólie a různých druhů spojů včetně určení smykového tření mezi více vrstvami folie. Výsledkem bude přepočítání výsledků Projektu za použití skutečných hodnot zatížení a posouzení míry nepřesnosti původního návrhu. Zařízení se skládá z rámu, jenž je nosnou konstrukcí celého zařízení. K napínání fólie dochází mezi dvěma válci, z nichž jeden je brzděný a druhý poháněný pomocí řemenového převodu. Na tomto válci jsou současně snímány 2 veličiny. Krouticí moment a otáčky. Díky znalosti průměru válce je možné provést přepočítání na standardní tahový diagram závislosti zatížení na prodloužení.



Obr. 13. Napětí v místě vetknutí ramen



Obr. 14. Napětí v místě vetknutí ramen

8.1 Rám

Jedná se o sestavu z hliníkových profilů Bosch Rexroth 45x45L. Rám je rozměrově uzpůsoben tak, aby na výrobu mohla být použita jedna tyč délky 6m. Spoje jsou řešeny šroubovým spojem, kdy vnitřní závit je tvořen v ose profilu. Jedná se o dvě souběžné části, kdy delší a zároveň širší část je základ pro uchycení ložiskových domků pracovních válců. Užší, kratší souběžná část rámu je pro uložení ložiskových domků UCP hnané řemenice a zároveň slouží jako vedení posuvného lože servomotoru, pro změnu osové vzdálenosti hnané a hnací řemenice. Mezi těmito hlavními částmi rámu je prostor, kde je mezi hnaným válcem a hřídelem hnané řemenice uložen snímač kroutícího momentu T20.

8.2 Pracovní válce

Hnaný i brzděný válec jsou stejné konstrukce, aby byla možná plná zaměnitelnost. Pracovní průměr válců je 56mm v délce 300mm. V celé délce 300mm je ve válci drážka obdélníkového průřezu pro umístění tvarového zámku uchycení vzorku fólie. Hřídel je uzpůsoben pro uložení v ložiskových jednotkách UCP 205.

8.3 Lože servomotoru

Jedná se o hliníkovou desku o rozměrech 100x325mm a tloušťce 10mm. K ní jsou pomocí šroubových spojů (závit v materiálu desky) uchyceny dva hliníkové L profily o rozměrech 100x100x10mm sloužící jako uchycení ložiskových jednotek UCFL 201. Ty slouží jako uchycení hřídele hnacího pastorku. V druhém L profilu je uchycen servomotor. Uložením na jedné desce je celá sestava posuvná a tím je možné nastavovat osovou vzdálenost řemenového převodu, respektive předepnutí řemenu.

8.4 Ložiskové jednotky UCP 205 a UCFL 201

Jedná se o standardní normalizované ložiskové domky pro uložení pracovních válců a hřídele hnané řemenice. Na celé sestavě je jich použito 6. To zajišťuje stejnou osovou výšku pracovních válců, tedy zaručují jejich přesnou vzdálenost a zároveň stejnou osovou výšku hřídele hnané řemenice. Dále jsou použity dvě ložiskové jednotky UCFL připevněné

oboustranně k hliníkovému L profilu. Tvoří uložení hřídele hnacího pastorku. Tato hřídel je k motoru připojena pomocí pružné spojky.

8.5 Měřicí přístroje a pohon

Pro měření kroutícího momentu na pracovním válci je mezi tento válec a hřídel hnané řemenice vložen snímač kroutícího momentu T20. Současně s výstupem T20 bude snímán úhel natočení a otáčky pracovního válce pomocí inkrementálního snímače rotace IRC 205. Pohon bude obstarávat již zmíněný servomotor EMMS 70.

9 Závěr

Výstupem první části projektu je návrh vhodného zařízení pro snížení předpětí. Byla provedena virtuální úprava zařízení Rotomatic, výpočet tohoto zařízení a MKP kontrola. Pro výpočet byl použit teoretický odhad zatížení vycházející z předpětí stretchové fólie. Pokračováním tohoto projektu je navrhnout vhodné zařízení (viz. Kapitola 8), díky kterému je možné určit skutečné hodnoty zatížení fólie při stanovené průtažnosti. Za využití těchto hodnot bude pak možné provést přepočet první části projektu a porovnat výsledky skutečného zatížení s teoretickými použitými pro první výpočet. Sumarizací jednotlivých částí projektu a tedy finálním výstupem bude Diplomová práce.

Tato práce vznikla s podporou projektu MPO č. FR-TI3/281. Práce a celý výzkum byl podporován firmou Pragometal s.r.o.

Seznam použité literatury

DRASTÍK, František a kol. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*.
Ostrava: Montanex a.s., 1999. ISBN 80-85780-95-X.

MICHALEC, Jiří a kol. *Pružnost a pevnost I.*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001.
Fakulta strojní. ISBN 80-01-02359-1.