

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie –
technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zavedení nového výrobního postupu pro výrobu lemu blatníku

Autor: **Bc. Libor KUPILÍK**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Miroslav ZETEK, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor KUPILÍK**

Osobní číslo: **S15N0059K**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**

Název tématu: **Zavedení nového výrobního postupu pro výrobu lemu
blatníku**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Zmapování současného postupu výroby lemů blatníků
3. Návrh vlastního řešení a jeho realizace
4. Zhodnocení a doporučení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- DAVIM, J. PAULO: Modern machining technology : a practical guide : Oxford, Woodhead Publishing, 2011, ISBN 978-0-85709-099-7
- ŠTUPLA, M.: CNC : programování obráběcích strojů. Praha : Grada Publishing, 2015, ISBN 978-80-247-5269-3
- ČEP R., PETRŮ J., Experimentální metody v obrábění, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2011, 146 s. ISBN 978-80-248-2533-5
- Astakhof, Viktor P., Tribology and interface engineering series, Elsevier, 2006, ISBN 0-444-52881-4
- Shaw, Milton Clayton, Metal cutting principles, Oxford University Press, 2005, ISBN 0-19-514206-3
- GIBSON, I., ROSEN, D. W., STUCKER, B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer, 2010, ISBN:978-1-4419-1119-3

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**

Regionální technologický institut

Konzultant diplomové práce: **Ing. Miroslav Běle**

MBtech Bohemia s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **22. června 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. listopadu 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2018

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Doc. Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za odborné vedení a vstřícný přístup, který mi v průběhu psaní této diplomové práce poskytoval. Dále bych rád poděkoval pracovníkům firmy MBtech Bohemia s.r.o. za pomoc při řešení práce, zejména děkuji konzultantovi Ing. Miroslavu Bělemu a Ing. Janu Ježkovi za poskytnuté informace a konzultace. Velmi rád bych také poděkoval své rodině, přátelům a známým za poskytnutou podporu nejen při psaní této práce.

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 bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kupilík	Jméno Libor	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zetek, Ph.D.	Jméno Miroslav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Zavedení nového výrobního postupu pro výrobu lemu blatníku		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	62	GRAFICKÁ ČÁST	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce se zabývá návržením nového výrobního postupu pro výrobu lemu na plechovém výlisku blatníku motocyklu. Jsou zde navrženy dvě varianty přípravku pro tvorbu lemu.</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;">Lem, lemování, výrobní postup, přípravek, blatník</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Kupilík	Name Libor	
FIELD OF STUDY	2303T004 – „Manufacturing Processes –Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zetek, Ph.D.	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Introduction of a new manufacturing process for the manufacture of a hem of the fender		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	62	GRAPHICAL PART	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the design of a new manufacturing process for the production of a rim on a sheet metal molding of a motorcycle mudguard. Two variants of preparation for manufacturing rim are proposed.
KEY WORDS	Hem, hemming, manufacturing process, preparation, mudguard, fender

Obsah

Přehled použitých označení a jednotek	9
1. Úvod	10
2. Zmapování současného postupu výroby lemů blatníků	11
2.1 Zadání	11
2.2 Technologie lemování	11
2.3 Ohýbání	12
2.3.1 Charakteristika	12
2.3.2 Negativní jevy	14
2.3.3 Poloměr ohybu	15
2.3.4 Ohýbací síla a práce	16
2.3.5 Technologické problémy	18
2.4 Způsoby lemování	19
2.4.1 Metody lemování	19
2.4.2 Lemování pomocí pevného nástroje	20
2.4.3 Lemování pomocí nepevného nástroje	20
2.4.4 Elektromagnetické tváření (EMF)	21
2.5 Typy lemů	22
2.5.1 Vypuklý lem	23
2.6 Mezní tvářitelnost	24
2.7 Lemovací stroje a nástroje	26
2.7.1 Ruční lemovačky	26
2.7.2 Motorizované lemovačky	28
2.7.3 Lemování pomocí lemovací hlavy	28
3. Návrh vlastního řešení	29
3.1 Vstupní požadavky	29
3.2 Výpočty	29
3.3 Návrh vlastního řešení	31
3.3.1 Princip navrženého řešení	31
3.3.2 Navržený přípravek – varianta 1	36
3.3.3 Navržený přípravek – varianta 2	44
4. Zhodnocení a doporučení	53
4.1 Výběr optimální varianty z hlediska nákladů	53

5. Závěr.....	57
Seznam použitých zdrojů	58
Seznam obrázků	60

Přehled použitých označení a jednotek

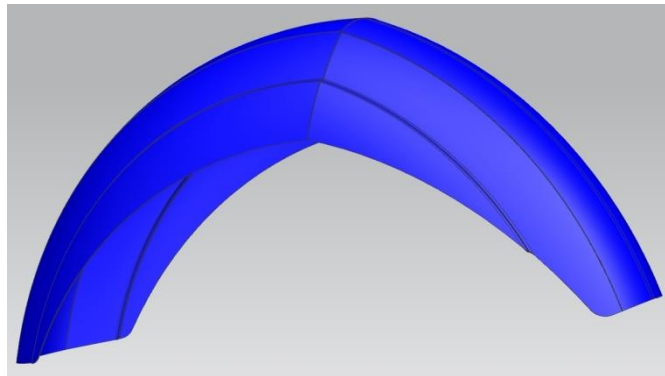
OZNAČENÍ	JEDNOTKY	NÁZEV VELIČINY
A_{0V}	[J]	práce při ohýbání dílu do tvaru V
A_{0U}	[J]	práce při ohýbání dílu dotvaru U
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F_{0V}	[N]	ohybová síla, ohyb tvaru V
F_{0U}	[N]	ohybová síla, ohyb tvaru U
J	[kg·m ²]	moment setrvačnosti daného průřezu
l_V	[mm]	rameno ohybu, tvar V
l_U	[mm]	rameno ohybu, tvar U
q	[MPa]	měrný tlak
R_e	[MPa]	mez kluzu ohýbaného materiálu
R_0	[mm]	poloměr ohybu
R_L	[mm]	poloměr profilu lemování
r_m	[mm]	poloměr zaoblení lisovacího nástroje
t_0	[mm]	tloušťka plechu
x	[-]	součinitel posunutí neutrální plochy
y	[mm]	počáteční délka neutrální plochy
Y	[mm]	výsledná délka neutrální plochy
Z	[mm]	zdvih
α	[°]	úhel ohybu
β	[°]	úhel odpružení
φ	[°]	úhel ohnutého úseku
ε_c	[mm]	mezní prodloužení
μ	[-]	součinitel tření
ρ	[mm]	poloměr zaoblení neutrální plochy

1. Úvod

Předmětem této diplomové práce je návrh nového výrobního postupu pro výrobu lemu na předním blatníku motocyklu.

Metoda lemování plechů je založena na principu plošného tváření za studena. Vychází z teorie ohýbání plechů a je využívána hlavně z hlediska bezpečnosti. Používá se především pro vyztužení okrajů a pro spojování plechů. Technologie lemování se nejvíce používá ve strojírenství, a to především v leteckém a automobilovém průmyslu. Využití má také ve stavebnictví, potravinářství a zemědělství. Nejčastěji se s metodou lemování můžeme setkat ve formě klempířských prací na stavbách, kde se používají lemované plechy pro oplechování komínů a jako krytina střech.

Výroba lemu na blatníku již při lisování je technicky i finančně velmi náročná. Proto bylo zapotřebí, navrhnout nový výrobní postup. Jako vstupní výrobek je vylisovaný blatník (obr. 1). Na něm je zapotřebí vytvořit lem tvaru U (obr. 2).



Obr. 1 Vylisek blatníku



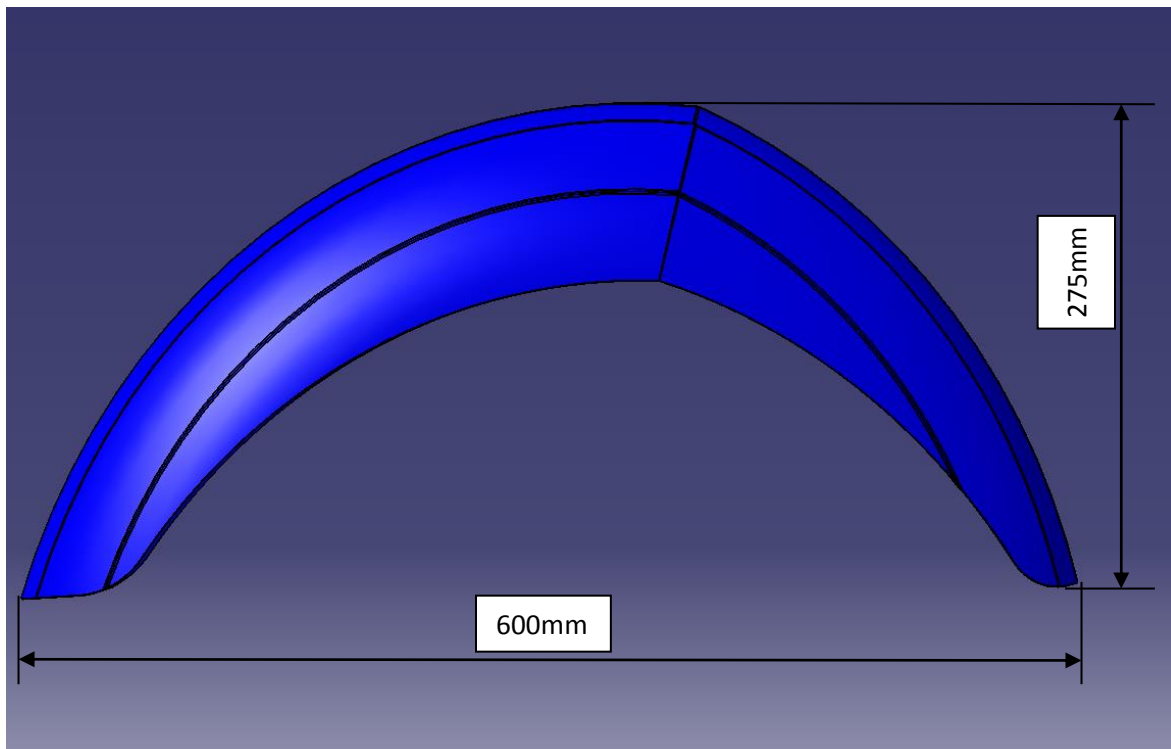
Obr. 2 a 3 Ukázka hotového lemu [2,3]

V první části této práce bude zmapování současných postupů pro výrobu lemů. Dále pak návrh nového výrobního postupu. Třetí část se bude týkat zhodnocení navrženého postupu.

2. Zmapování současného postupu výroby lemů blatníků

2.1 Zadání

V současné době zákazník vyrábí několik typů motocyklů. Na nich je velké množství plechových dílů a jedním z nich je i přední blatník. Na některých typech blatníků je po obvodové hraně vytvořený lem. Ten vyztučuje celý blatník a slouží i jako dekorativní prvek. Zadavatel připravuje výrobu nového modelu motocyklu s nově navrženým tvarem předního blatníku. Požadavek je, vytvořit po jeho obvodu lem. Na ostatních typech blatníků, je lem vytvářen pomocí ručního lemovacího stroje. Touto metodou je však složité dosáhnout rovnoměrného lemu po celém obvodu. V tomto případě je výroba ještě ztížena zalomením blatníku ve střední části. Proto je potřeba navrhnout jiný postup pro zvýšení kvality a produktivity. Rozměry blatníku jsou 600 x 275 x 155 mm.



Obr. 4 Rozměry blatníku

Dalším důležitým požadavkem bylo využít k výrobě současné strojní vybavení zadavatele. A to z důvodu, aby nevznikly velké finanční výdaje na pořízení nových strojů.

Pro navržení nového výrobního postupu je v první řadě nutné seznámit se s tím, jaké jsou současné možnosti výroby lemů a s vlastní technologií lemování. Tomu se bude věnovat následující kapitola.

2.2 Technologie lemování

Plechů různých tvarů můžeme ohýbat do libovolných tvarů, abychom dosáhli vytvoření požadované geometrie dílu. Nejdůležitější hledisko při výrobě dílů z plechu, je stav v jakém jsou okraje plechu. Lemovací technologie se běžně využívají v průmyslovém tváření plechových dílů. Jedná se v podstatě o zahnutí okraje plechu, který je vůči velikosti celého dílu velmi malý. [11],[12],[17]

Technologie výroby lemů vychází z teorie ohýbání. V průběhu lemování dochází k přetváření okraje prostorové nebo rovinné plochy, s cílem zaoblit ostré hrany, vyztužit okraje nebo dosáhnout dekorativního vzhledu. Používá se také ke zhotovení prolisů (žlábků) uprostřed nebo na krajích lisovaných dílů, pro zvýšení jejich tuhosti. [11],[12],[17]

2.3 Ohýbání

Protože je lemování založené na teorii ohybu, bude se tato kapitola věnovat problematice ohybu.

Ohýbání je technologickou operací, během které dochází k nevratné deformaci materiálu v důsledku využití ohybového momentu, který vytváří ohýbací síla. Materiál může být vzniklým napětím buď ohýbán, nebo rovnán. Pomocí ohýbání se může dosáhnout požadovaného tvaru dílu, aniž by došlo k velké změně jeho průřezu. [11], [12], [17]

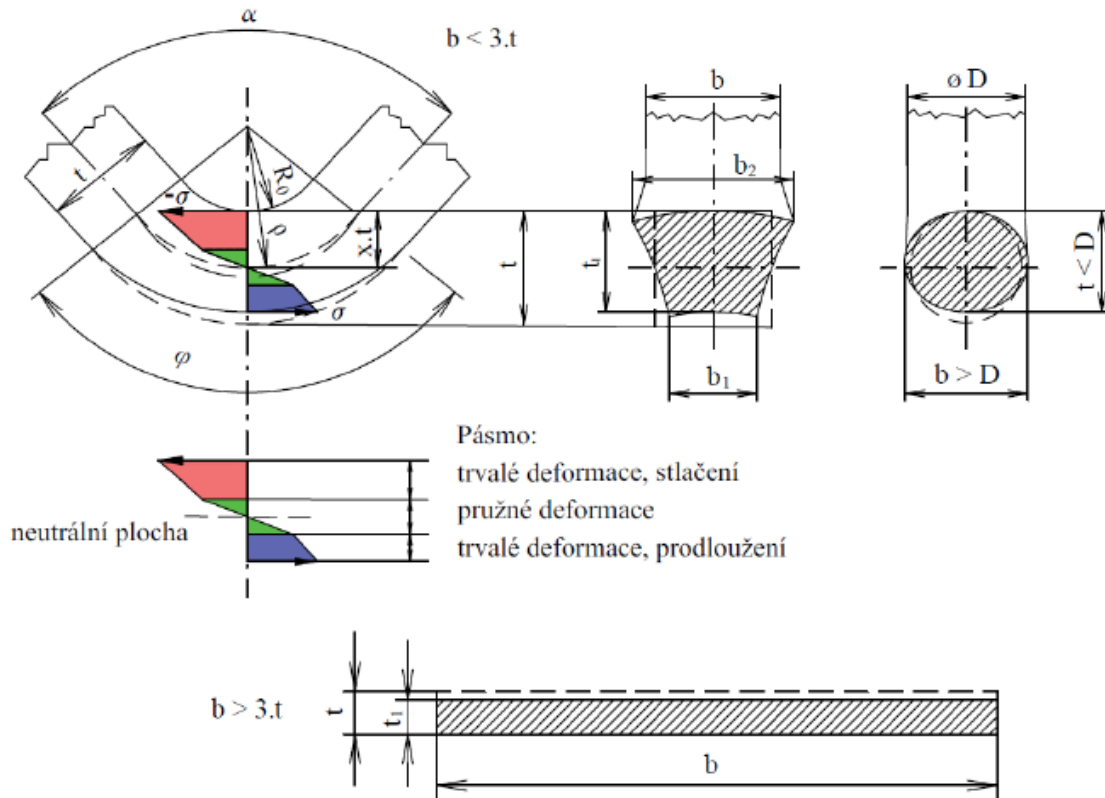
Ohýbání je prováděné většinou za studena. Ohřev ohýbaného materiálu se používá u křehkých a tvrdých materiálů (např. ocelové plechy o tloušťce větší než 40 mm). Dále může být rozlišováno ohýbání širokých a úzkých polotovarů. Jako úzké polotovary jsou považovány díly, které mají šířku menší než je trojnásobek tloušťky. Široké dílce mají naopak šířku větší než je trojnásobek tloušťky. Při tváření tak vzniká větší deformace průřezu v příčném směru. [11], [12], [17]

V dnešní době se pomocí ohýbání vyrábí množství nejrůznějších produktů a polotovarů, jsou to například trubky, plechy, pásy, profily atd. Na trhu je velké množství různých druhů ohýbacích strojů, které jsou používány podle způsobu a tvaru ohybu a podle množství a rozměrů ohýbaných součástí. [11], [12], [17]

2.3.1 Charakteristika

Základní charakteristika ohybu spočívá v přeměně tvaru neutrální plochy u ohýbané součásti. Neutrální plocha je v místě, kde se hodnota napětí a deformací rovná nule. Ve stejném místě přechází deformace a ohybové napětí z tahového na tlakové. V důsledku této změny se při ohýbání mění průřez polotovaru, to je znázorněno na obr. 5. Za pomoci neutrální plochy se dá stanovit konečná délka ohýbaného dílu. Důsledkem vyvozeného napětí a při zmenšujícím se ohybovém poloměru, dochází k posunutí neutrální plochy směrem k vnitřní straně ohybu. [1], [11]

Dále je zobrazen průběh vnitřního napětí na příčném průřezu tvářeného dílu. Ze začátku je ohybové napětí pod mezí kluzu R_e a vzniká zde elastická deformace. V okamžiku, kdy napětí v ohybu přesáhne mez kluzu R_e , začne vznikat plastická deformace, tímto způsobem je možno vytvořit trvalý ohyb. Vzniklé napětí ale nesmí přesáhnout přes mez pevnosti R_m , tím by mohl vzniknout mezní stav lomu a následně by došlo k porušení celistvosti ohýbaného dílu, vznik prasklin a následný lom. [11]



Obr. 5 Průběh napětí a deformace průřezu [5]

U teorie ohýbání rozměrných dílů, kde $R_0 \geq 12 \cdot t$ se předpokládá poloha neutrální plochy v prostředku tloušťky dílu. Poloha neutrální osy se dá určit ze vztahu: [11]

$$\rho = R_0 + \frac{1}{2}t \quad (1.1)$$

R_0 - poloměr ohybu [mm]
 t - tl. materiálu [mm]

[11]

Poloha neutrální plochy u menších poloměrů ohybu, kde $R_0 < 12 \cdot t$ můžeme určit ze vztahu: [11]

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad (1.2)$$

R_0 - poloměr ohybu [mm]
 x - součinitel posunutí neutrální plochy, hodnota závisí na tloušťce materiálu a poloměru ohybu [-]
 t - tl. materiálu [mm]

[11]

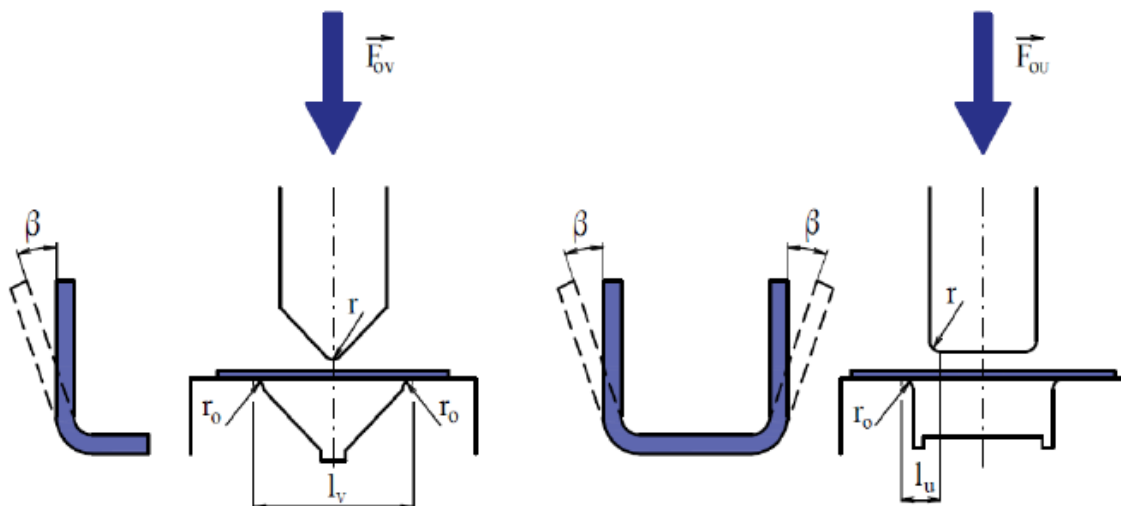
Důležitá charakteristika tvářeného dílu je délka polotovaru, z kterého vychází, ta se rovná součtu všech rovných částí výchozího dílu a všech délek neutrální plochy v místech ohybů. Délku neutrální plochy ohýbané části můžeme určit ze vztahu: [11]

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad (1.3)$$

R_0	- poloměr ohybu [mm]	
φ	- úhel ohnuté části dílu [°]	
t	- tl. materiálu [mm]	
x	- součinitel posunutí neutrální plochy [-]	[11]

2.3.2 Negativní jevy

Při ohýbání vznikají i negativní jevy jako je například odpružení, to způsobuje změnu tvaru a rozměru dílu. Průběh napětí v místě, kde se díl ohýbá, udává, že není v celém průřezu napětí překročena mez kluzu a proto má materiál tendenci vrátit se o daný úhel nazpět do původní polohy. Velikost úhlu, o nějž se díl vrátí zpět do původní polohy, je udáván jako úhel odpružení a značí se symbolem β . Velikost tohoto odpružení je závislá na elastických vlastnostech daného materiálu, na jeho tloušťce, velikosti ohybového úhlu, technologii ohybu, poměru mezi poloměrem ohybu a tloušťky materiálu a konstrukci vlastního nástroje. Součást se ohýbá o větší úhel, než má být výsledný a to konkrétně o velikost úhlu vypočteného odpružení, právě proto, aby se dosáhlo výsledného úhlu ohybu po odlehčení tvářeného dílu. Obr. 6 zobrazuje 2 základní druhy ohýbání, příslušné rameno ohybu a daný úhel odpružení β . [1], [12]



Obr. 6 Odpružení tvářeného dílu [12]

Velikost odpružení se v praxi určuje z diagramů, které jsou vytvořené na základě praktických zkoušek nebo se dají přibližně vypočítat ze vztahu: [12]

- pro tvar V

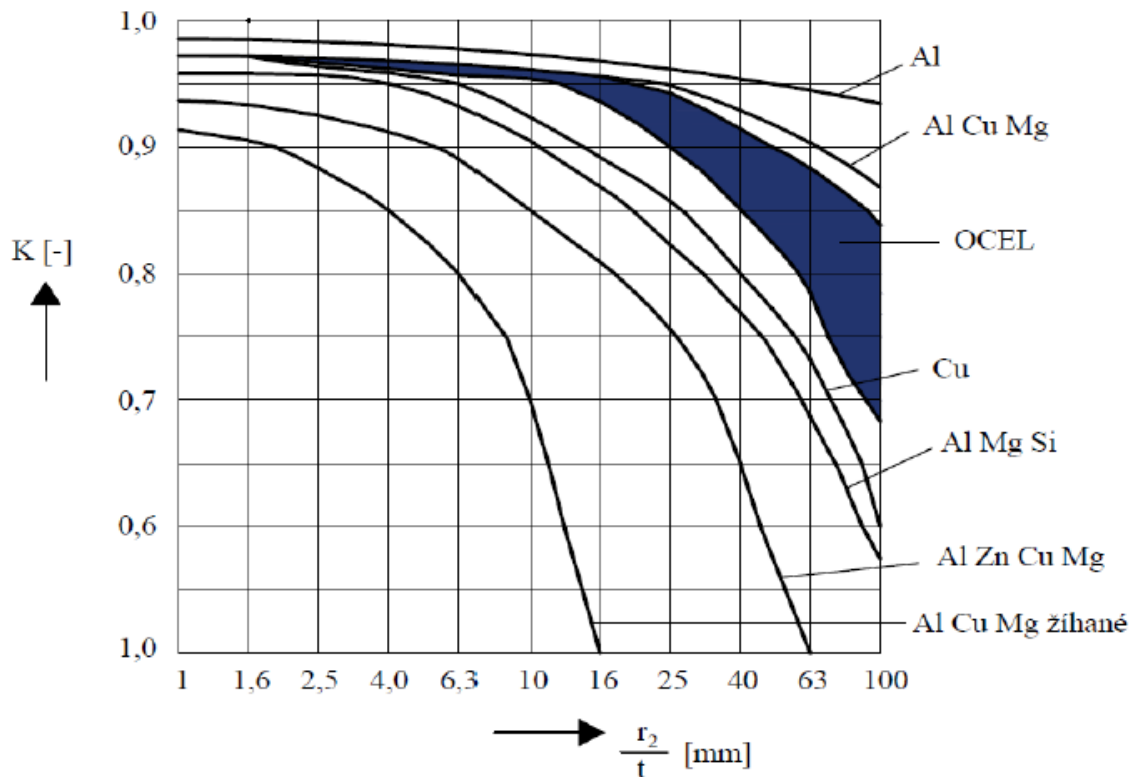
$$\beta = \arctg 0,0375 \frac{l_v \cdot Re}{x \cdot t \cdot E} \quad (1.4)$$

- pro tvar U

$$\beta = \arctg 0,075 \frac{l_u \cdot Re}{x \cdot t \cdot E} \quad (1.5)$$

β	- úhel odpružení [°]
x	- součinitel posunutí neutrální plochy [-]

l_v, l_u - rameno ohybu [mm]
 E - modul pružnosti materiálu v tahu [MPa]
 Re - mez kluzu materiálu [MPa] [12]



Obr. 7 Diagram k určení úhlů odpružení pro různé materiály [12]

2.3.3 Poloměr ohybu

Limitem pro ohýbání materiálu jsou maximální a minimální poloměr ohybu. Minimální rádius R_{min} je nejmenší poloměr, při kterém by neměla na vnější straně ohýbaného dílu vzniknout trhlinka nebo při něm dojít k jinému znehodnocení vláken materiálu. Velikost poloměru je závislá na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, plastických vlastnostech materiálu, tloušťce a šířce plechu a kvalitě povrchu. Při použití hůře tvářitelných materiálů mohou vzniknout při ohýbání trhliny. [12]

R_{min} lze vypočítat z rovnice:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t \quad (1.6)$$

ε_c - mez prodloužení - napětí je vyšší než mez pevnosti v tahu a tím dojde k poruše ohýbaného dílu [mm]

t - tl. materiálu [mm]

c - koeficient prodloužení [-]:

- ocel 0,5 - 0,6
- mosaz 0,3 - 0,4
- hliník 0,35
- dural 3 - 6
- měď 0,25

[12]

Tyto hodnoty jsou pouze orientační a platí jen pro podélný či příčný směr vláken, pro ideální povrch, který je bez rýh a mikrotrhlin. [12]

Maximální rádius ohybu R_{max} je takový poloměr, při kterém dochází k trvalé deformaci ve vláknech v krajní vrstvě materiálu. Můžeme ho vypočítat ze vztahu: [12]

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) \quad (1.7)$$

t - tl. materiálu [mm]

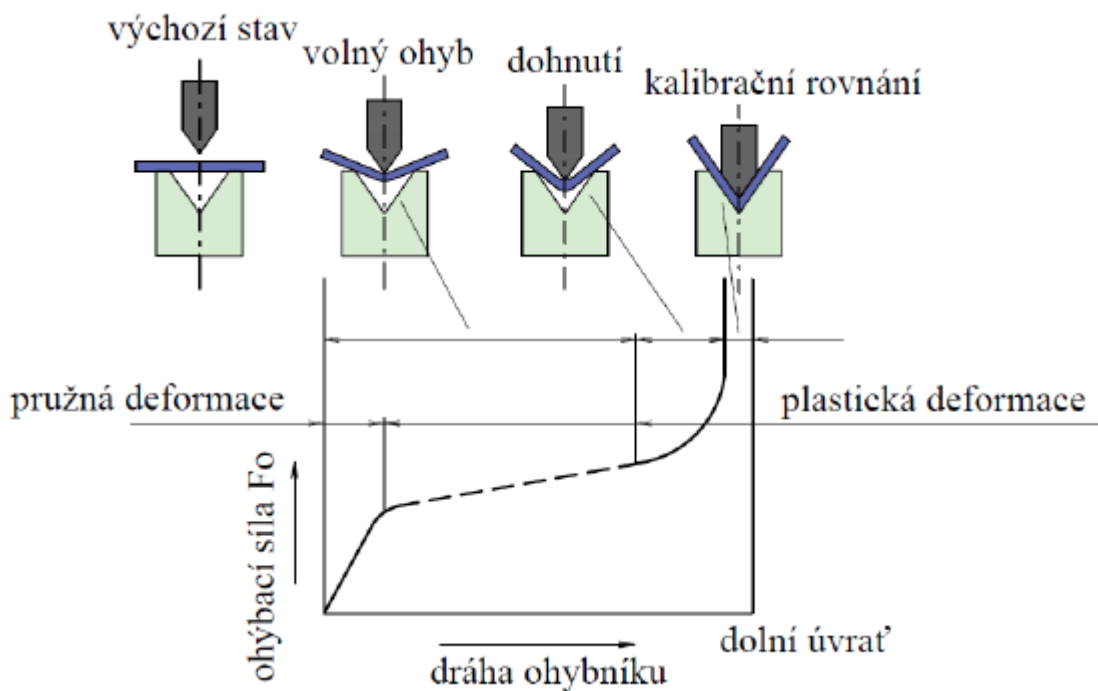
E - modul pružnosti materiálu v tahu [MPa]

Re - mez kluzu materiálu [MPa]

[12]

2.3.4 Ohýbací síla a práce

Určení průběhu tvářecí síly při ohýbání je složité a její matematický výpočet není jednoduchý, obzvláště, jeli nutné při výpočtu zahrnout vliv všech působících faktorů, které jsou v konkrétním procesu, jako je např. geometrie nástroje a dílu, vlastnosti materiálu, druh ohybu, nebo tření apod. [11]



Obr. 8 Ohýbací síla v závislosti na pozici nástroje [11]

Během ohýbání v ohýbacích nástrojích na lisech případně při tváření na ohraňovacích lisech můžeme výpočet vztahovat k dvěma základním druhům ohýbání. Při výrobě složitých tvarů ohybů můžeme tyto tvary rozdělit na jednodušší a to na tvar ohybu U a tvar V. Během výpočtu potřebné síly pro ohyb se využívá rovnost ohybových momentů od vnějších a vnitřních sil. [1], [11]

- Ohyb tvaru V – tvářený díl je uvažovaný jako nosník uložený na 2 podporách, který je uprostřed zatěžovaný silou, což je znázorněné na obr. 9. Ohybový moment, který vyvolávají vnitřní síly, souvisí s průřezovými charakteristikami a napětím, které je potřebné k ohnutí dílu. [11]

Výpočet síly:

$$F_{0V} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (1.8)$$

Výpočet práce:

$$A_{0V} = \frac{F_{0V} \cdot L}{1000} \cdot \frac{1}{3} \quad (1.9)$$

A_{0V} - práce pro ohýbání dílu do tvaru V [J]

F_{0V} - síla pro ohýbání dílu do tvaru V [N]

α - úhel ohybu [°]

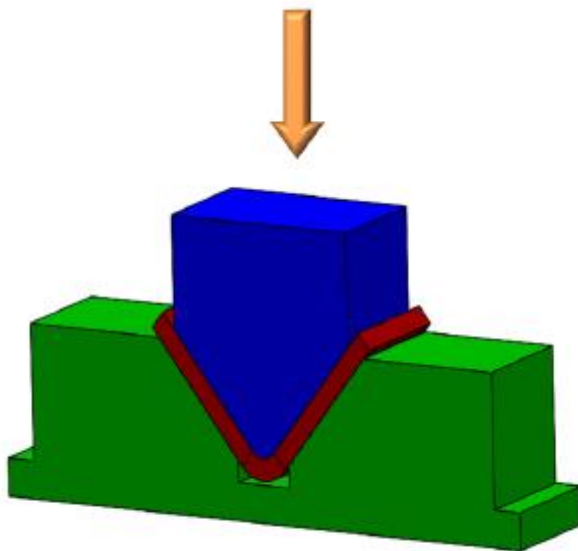
ρ - poloměr neutrální osy [mm]

R_e - mez kluzu materiálu [MPa]

b - šířka ohýbaného plechu [mm]

L - vzdálenost podpor [mm]

[11]



Obr. 9 Nástroj a přípravek pro ohýbání do tvaru V [1]

- Při ohýbání dílu do tvaru U – je shodně jako v případě ohýbání do tvaru V, díl uvažován jako nosník uložený na 2 podporách, který je zatěžován silou uprostřed. Rozdíl je daný rameny ohybu, která jsou závislá na délce čela ohýbaného dílu a na průběhu ohybové síly. Jednoduchý nástroj a přípravek jsou zobrazeny na obr. 10. [11]

Výpočet síly:

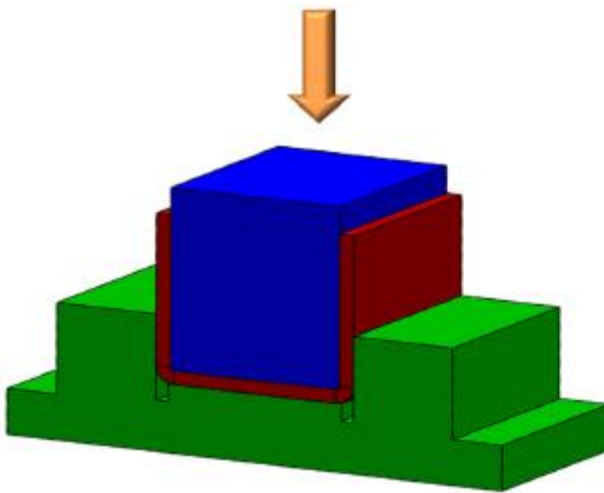
$$F_{0U} = (1 + 7\mu) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{\rho + t} \quad (1.10)$$

Výpočet práce:

$$A_{0U} = \frac{F_{0U} \cdot Z}{1000} \cdot \frac{2}{3} \quad (1.11)$$

- A_{0U} - práce pro ohýbání dílu do tvaru U [J]
- F_{0U} - síla pro ohýbání dílu do tvaru U [N]
- R_e - mez kluzu materiálu [MPa]
- b - šířka ohýbaného plechu [mm]
- ρ - poloměr neutrální osy [mm]
- μ - součinitel tření [-]
- t - tl. materiálu [mm]
- Z - zdvih [mm]

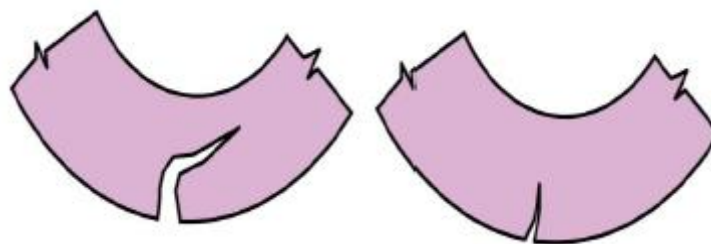
[11]



Obr. 10 Nástroj a přípravek pro ohýbání do tvaru U [1]

2.3.5 Technologické problémy

Dosažení přesného výsledného tvaru součásti je ovlivněno mnoha různými faktory. Patří sem i technologické problémy jako jsou praskání materiálu nebo tvoření vln. Drobné trhliny nejčastěji vznikají v důsledku porušení soudržnosti materiálu při jeho zpevňování během ohýbání (obr. 11). Při porovnání dílů o stejné tloušťce, začíná žíhaný díl praskat už při menším ohybovém poloměru než díl, který je v nevyžáhaném stavu. Při tváření dílu s tenkými stěnami se mohou objevovat na polotovaru vlny. Těm lze předejít využitím tahové síly při ohýbání nebo za pomoci bočního přitlačování materiálu k nástroji. [1], [11]



Obr. 11 Porušení materiálu při ohýbání [11]

2.4 Způsoby lemování

Lemování plechů je velmi rychlý a efektivní typ zpracování plechových dílů a v současnosti se velmi využívá. Technologie lemování je aplikace principu ohýbání. Tomuto tématu je věnována předchozí kapitola. V podstatě jde o ohýbání okrajů polotovaru o určité délce, které přesahují přes hranu ohybnice (matrice) za účelem vytvoření požadovaného úhlu ohybu. Nejčastěji se polotovary ohýbají o 90° nebo 180°. Při vytváření lemu působí na polotovar kombinace tlakového a tahového namáhání. [1], [14]

Lem můžeme vyrobit i u speciálně vytvořených polotovarů, mohou to být např. díly s vystřiženými otvory nebo jinými rovinnými či prostorovými křivkami. Většinou je dělený na vnitřní a vnější, a pak na otevřený nebo uzavřený. [1]

- Lem otevřený – je součástí vydutých nebo vypuklých stěn a přímých ploch plechových dílů. Lemování se provádí po neuzavřené křivce. Používá se k uchycování jedné součásti do druhé. Využití má hlavně v klempířství při spojování plechových pásů, pro výrobu automobilových dílů jako jsou nárazníky, blatníky nebo vnější díly dveří. [1]
- Lem uzavřený - jde o lemování po obvodu dílů z plechu nebo o olemování kruhových či nekruhových otvorů vytvořených na součástech nebo polotovarech technologií děrováním nebo vrtáním. Samotný lem se vytváří po uzavřené křivce. Tento druh lemu se používá např. pro spojování rour okapů, nebo pro otvory na světla v automobilovém průmyslu. [1]

Během výroby je potřeba dodržovat standardizované podmínky procesu výroby lemu a vhodných nástrojů k tomu určených. Pokud se tyto podmínky nedodrží, tak je velká pravděpodobnost, že se poruší celistvost materiálu a dojde ke vzniku trhlin, defektů, zvlnění, odpružení, ztenčení stěn nebo k nedostatečné výšce lemu. Na obr. 12 jsou vyobrazeny některé ze zmíněných defektů. Nejvíce sledovaný výrobní parametr je geometrie nástroje (matrice a lisovníku) a síla od spodního i horního přidržovače. [1], [14]



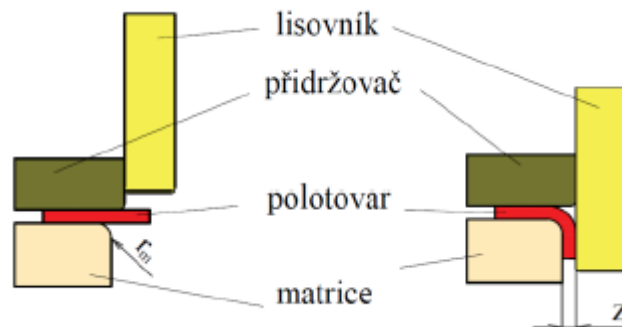
Obr. 12 Defekty lemu [1]

2.4.1 Metody lemování

Metody pro výrobu lemů vycházejí z metod ohýbání. Dají se rozdělit do tří kategorií. V první kategorii je materiál tvářen silou, která působí na pevný materiál, většinou kalenou nebo tvrzenou ocel. Druhá kategorie využívá nepevný nástroj. Síla působí na elastomer, který je uložený v pouzdře, takový nástroj je šetrnější k povrchu tvářeného dílu. Třetí kategorie je celkem nová, je založená na principu elektromagnetu. Cívka vytváří magnetický tlak, vzniká prostorová napjatost a při této metodě je pravděpodobnost vzniku defektu menší. [1], [13]

2.4.2 Lemování pomocí pevného nástroje

Pevný nástroj je takový nástroj, který má všechny funkční části vyrobené z kovu. Způsob lemování takovýmto nástrojem je znázorněn na obr. 13. Díl se uloží na matrici, která má zaoblenou hranu. Uložení dílu je s přesahem o délku rozvinutého lemu. Když se začne lisovník pohybovat, tak jako první je díl přitlačen přídržovačem k matrici, a to proto, aby se díl během lemování nepohnul a dosáhlo se tak požadovaného tvaru lemu. Přídržovač je často spojený přímo s beranem pomocí plynových pružin. Beran dále pokračuje směrem dolů a pomocí lisovníku vytvoří na dílu lem. [13]



Obr. 13 Lemování pomocí pevného nástroje [13]

Důležitý parametr tohoto procesu je velikost poloměru zaoblení matrice r_m , přídržovací síla, tvar čela lisovníku a mezera z mezi matricí a lisovníkem. To vše ovlivňuje konečný tvar a kvalitu lemu. Např. síla, kterou působí přídržovač na díl a rádius zaoblení r_m ovlivňují množství vtahovaného materiálu a tím i výslednou výšku lemu. [13]

Tento způsob je často využíván pro výrobu vydutých lemů na vnějším obvodu dílů, které mají malý poloměr konvexní křivky. Použití pevného nástroje je prioritně pro výrobu lemů u otvorů. Čím je mezera z menší, tím je menší pravděpodobnost, že se lem zvlíne. Nástroj je méně namáhán a to vede k jeho delší trvanlivosti. Používají se menší tvářecí síly a tím je potřeba i méně přetvárné energie. Naopak je nutné použít přesnější nástroje, které jsou dražší na výrobu. [13]

Pevné nástroje se používají pro lemování za studena i za tepla. Díly lemované za studena mají tu výhodu, že se u nich dosahuje vysoké přesnosti, naopak nevýhodou je nižší tvárnost dílu. Výhoda dílů lemovaných za tepla je, že u nich vzniká menší přetvárný odpor. Nevýhoda je však nižší tvarová a rozměrová přesnost, mohou také vznikat okujení a kvůli vyšší spotřebě energie a vyšším pořizovacím nákladům se k lemování za tepla využívají jen výjimečně. [13]

2.4.3 Lemování pomocí nepevného nástroje

Nepevný nástroj se skládá ze dvou funkčních částí, z elastické části, jejíž tvar se v průběhu procesu mění a z pevného lisovníku. Pružnou část tvoří lisovnice, ta je vyrobená z elastomeru, který je uložený v pevném pouzdře. Pro výrobu elastické části se nejčastěji používají polyuretan a pryž. Při lemování tlačí beran lisu na pouzdro s elastickou výplní, která dosedá na lemovaný díl. Zvyšujícím se tlakem se pružný materiál tvaruje podle lisovníku a přitlačuje k jeho povrchu lemovaný díl. Celý lem je vytvořen najednou. Postup výroby je schematicky znázorněn na obr. 14. U této metody se nejčastěji využívají hydraulické lisy, u nich je plynulý nárůst působící síly a díky tomu se plech lépe tvaruje. [13]



Obr. 14 Lemování nepevným nástrojem [13]

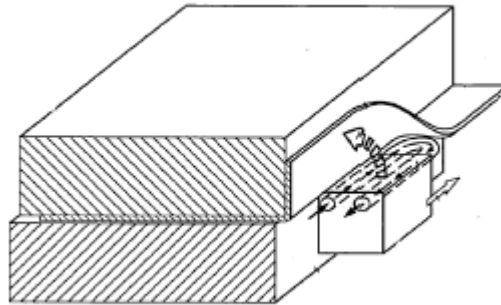
Tento způsob výroby má několik výhod, a to nízké náklady, jednoduchý nástroj, univerzálnost, kdy můžeme jedno pouzdro použít na více strojích a jednoduchá výměna. Můžeme ho také použít pro lemování leštěných a lakovaných dílů, nebo dílů s jiným druhem povrchové úpravy. Díky použití měkkých materiálů nedochází k poškozování dílů od matrice, to vede k vyšší kvalitě povrchu lemovaného dílu, než je při lemování pevným nástrojem. Materiál pro výrobu lisovníku je levnější, používají se např. plasty, dřevo, lehké kovy a vrstvené materiály, které se chovají šetrněji k povrchu dílu. U této metody nedochází ke ztenčování plechu. Díky mnohem nižším nákladům na výrobu lisovnice se používá na rozměrné díly různých tvarů. Tato metoda má i tu výhodu, že se dá kombinovat s dalšími operacemi, například se stříháním nebo s mělkým tažením. Má nižší nároky na přesnost výrobních strojů, a tudíž lze použít i starší stroje. [13]

Nevýhoda u této metody je, že vzniká velké odpružení a nedosahuje se tak přesné geometrie lemu. Životnost nástroje je nízká, dochází k velkému opotřebení pružného dílu. Je vhodná jen k tváření tenkostěnných plechů, protože je zapotřebí vyvinout velkou sílu k přetvoření pružného dílu. Tvářený díl musí být velmi pečlivě ustaven na lisovníku, aby nedošlo k ohybu jinde, než je požadováno, to prodlužuje čas výroby a tím není tato metoda vhodná pro velkosériovou výrobu. [13]

Proto se tato metoda využívá v malosériové a sériové výrobě. Je vhodná hlavně ve výrobě dílů pro letecký průmysl, pro výrobu ochranného oplechování strojů a zařízení a v klempířství. [13]

2.4.4 Elektromagnetické tváření (EMF)

Je to vysokorychlostní bezkontaktní metoda lemování, díky tomu má tu výhodu, že nedochází k velkému poškození nástroje, jako je tomu u předchozích metod. To vede ke snížení výrobních nákladů a ke zvýšení produktivity. Konstrukce je založená na kombinaci cívky, kondenzátoru a magnetického tlaku, pomocí kterého se tváří daný díl. Nejprve se silným el. nábojem nabije kondenzátor na vysoké napětí, to vygeneruje magnetické pole kolem cívky a elektricky vodivého plechu. Vzniklé vířivé proudy v magnetickém poli vytvářejí indukovaný proud v dílu, který má opačný směr, než má proud technologický. Jejich vzájemné působení vede ke vzniku tzv. Lorenzovi síly, která tvářený díl deformuje. Magnetické a elektrické pracovní části se umísťují do pevného válce nebo hranolu, ten postupně jezdí nad ohýbaným dílem. Aby bylo dosaženo požadovaného lemu, musí válec projet dvakrát až třikrát nad plechem. Schematický postup výroby je na obr. 15. [1], [14]



Obr. 15 Princip EMF [1]

Elektromagnetické tváření je kombinací několika technologií, jsou to tváření, lemování pomocí válců a elektromagnetická síla. Tento způsob využívá vysokých proudových impulsů speciálně navrhnuté elektrické cívky. Používá se pro lemování materiálů s vysokou elektrickou vodivostí, jako je ocel nebo slitiny hliníku. [1], [14]

Velká výhoda této metody oproti konvenčnímu lemování je nižší náchylnost ke vzniku defektů. U klasických metod lemování vzniká rovinná napjatost ve směru ohýbání, ta je nejčastěji příčinou praskání, a to hlavně u lisovaných dílů. Při elektromagnetické metodě dochází k prostorové napjatosti, která brání vzniku prasklin.

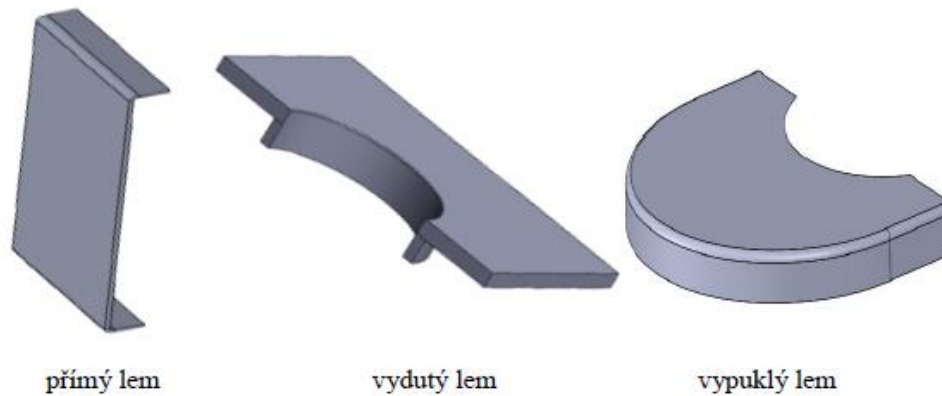
Výhodou, ve srovnání s konvenčním lemováním, je menší náchylnost ke tvorbě defektů. U tradičních metod dochází k rovinné napjatosti ve směru ohybu, která nejčastěji způsobuje popraskání, zejména pak u lisovaných plechů. U EFM vzniká prostorová napjatost, která praskání zabraňuje. [1], [14]

2.5 Typy lemů

Velká část dílů vyráběných z plechu je zapotřebí opatřit lemem. Hlavním důvodem je bezpečnost. Plechové díly mají ostré hrany a pro snížení rizika poranění o hranu dílu se vytváří na okraji lem. Dalším důvodem je zvýšení tuhosti. Většinou jsou lemy vytvářené kolem okrajů dílů, po obvodu tzv. tvořící křivky. [13], [15]

Podle tvaru tvořící křivky rozeznáváme tři základní typy: vydutý, vypuklý a přímý lem, které jsou zobrazené na obr. 16.

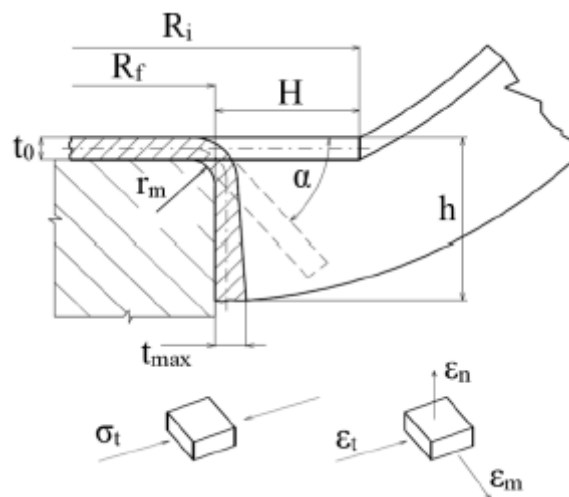
I v tomto případě vzniká mnoho nedostatků, přímý lem má stejné defekty, jako ty, které vznikají ohýbáním, ty jsou popsány v předchozí kapitole. Vypuklý a vydutý lem je náchylný ke vzniku trhlin a zvrásnění, které je způsobeno přebytkem napětí v tahu nebo tlaku ve stěně lemu. Tyto defekty se často dají odstranit například změnou geometrie nástroje nebo výšky lemu. Při výrobě vypuklého lemu pomocí nepevného nástroje se dá defektům také předejít zvýšením měrného tlaku, kterým působí pružná část nástroje na díl. [1]



Obr. 16 Typy lemů [1]

2.5.1 Vypuklý lem

Vypuklý lem je příruba, jejíž zakřivení po obvodu vyčnívá ven. Dochází zde k vysokému namáhání tlakem, to je nejvyšší na okraji vnitřního poloměru lemu a způsobuje zvrásnění. Vnější poloměr je namáhán i tahovým napětím, to může vést k tvorbě prasklin. Délka, úhel a poloměr ohybu jsou limitované hlavně množstvím a velikostí deformací. Zásadní vliv na deformace má použitý materiál, jeho typ, tvrdost, tloušťka a způsob výroby. Geometrie vypuklého lemu je schematicky znázorněna na obr. 17. [15]



Obr. 17 Vypuklý lem [15]

Při výrobě vydutého lemu je nejčastějším defektem zvlnění. Tomu se dá předejít zvětšením tloušťky plechu, to umožňuje snadnější posuv vazeb uvnitř materiálu, dále pak zkrácením délky příruby nebo zmenšením vůle mezi maticí a lisovníkem. [1], [15]

Lem můžeme rozdělit na dvě části, první se nachází podél raznice s válcovým vybráním, druhá je v rovné části příruby. Úhel ohybu závisí na tloušťce materiálu jen v první části, v druhé části se vytváří prostá napjatost a je zde nulové radiální napětí. V případě, že jde o anizotropní materiál a tření mezi maticí a dílem se zanedbává, můžeme poloměr vstupního polotovaru R_p vypočítat ze vztahu: [15]

$$R_p = R_L + y \quad (1.12)$$

R_L - poloměr lemovacího profilu [mm]

y - délka neutrální osy před tvářením [mm], získaná z rovnice:

$$y = -r + \sqrt{r^2 + 2 \cdot R_L \cdot Y} \quad (1.13)$$

r - poloměr zakřivení neutrální osy [mm]

Y - délka neutrální osy po tvářením [mm]

R_L - poloměr lemovacího profilu [mm] [15]

Při porovnání velikosti lemu a poloměru obvodového zakřivení, musí být lem krátký, jinak dojde ke změně zakřivení v radiálním směru a tím se poruší předpoklad, že nastane prostá napjatost. [1]

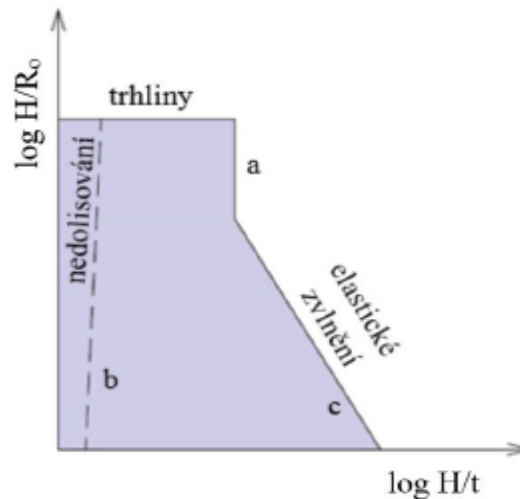


Obr. 18 Vypuklý lem [1]

2.6 Mezní tvářitelnost

Maximální rozměr tvářeného dílu, kterého můžeme dosáhnout, nám určuje mezní stupeň tvářitelnosti pro použitý materiál, jeho tvar a danou technologii. V praxi se určuje limitní stupeň deformace pomocí diagramu mezního stupně přetvoření, neboli DMSP. V diagramech je určená hranice, která rozděluje výlisky na ty, které jdou vyrobit bez vzniku defektů a na ty, které nejde vyrobit, aniž by u nich vada nevznikla. S jejich pomocí se určuje technologická tvářitelnost. Souřadný systém mají tvořený podstatnými geometrickými rozměry dílů uspořádaných do jednoduchých vztahů. [16]

Křivky DMSP nejčastěji zobrazují hranice vzniku trhlin. Složitější diagramy se skládají z většího množství mezních křivek, např. křivka pro hranici nedokonalého dotvarování dílu, křivka určující začátek tvorby trhlin, atd. V takovém případě se pak výrobní proces posuzuje vícero faktory. Jedním z takových diagramů je diagram Woodova typu, který je určený pro tvorbu vydutých lemů za použití nepevného nástroje. Diagram je znázorněn na obr. 19. V diagramu jsou tři mezní křivky, ty se v logaritmických souřadnicích zobrazují jako přímky. [16]



Obr. 19 Diagram Woodova typu pro tvorbu vydutého lemu [16]

Mezní křivka trhlín (přímka a)

$$\log \frac{H}{R_0} = m_w \cdot \log \frac{H}{t} \quad (1.14)$$

Mezní křivka nedolisování lemu (přímka b)

$$\log \frac{H}{R_0} = 17 \cdot \log \frac{H}{t} \quad (1.15)$$

Mezní křivka pružného zvlnění (přímka c)

$$\log \frac{H}{R_0} = -2 \cdot \log \frac{H}{t} \quad (1.16)$$

H - velikost přesahujícího okraje [mm]

R₀ - poloměr zaoblení lisovníku [mm]

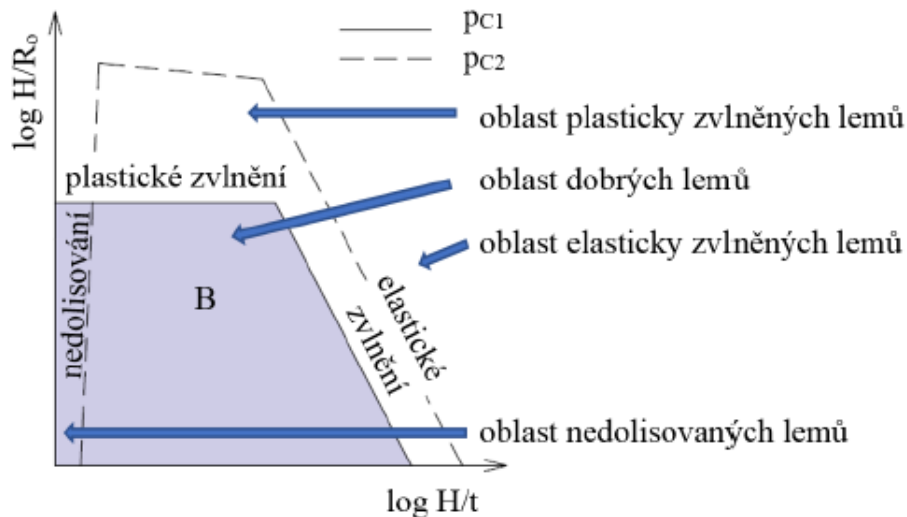
t - tl. plechu [mm]

[16]

Křivka *a* přechází v přímku *b* při daném poměru H/t, ta vyznačuje hranici, kde dochází k trvalému zvlnění. Dále se tato křivka chová konstantně a není závislá na H/t, zůstává ale funkcí podílu E/Re v tahu. Pokud dojde k jejímu překročení, tak se tvářecí tlaková síla extrémně zvýší a tím se začnou tvořit trhliny. [16]

Oblast výlisků s dobrou kvalitou je uvnitř plochy, vytyčené danými křivkami. Zvyšováním měrného tlaku dochází ke zvětšení plochy výlisků s dobrou kvalitou následkem posunu křivek *b* a *c*. Poloha mezní křivky vzniku trhlín zůstává stejná a není zvýšením tlaku ovlivněna. [16]

V průběhu výroby vypuklých lemů vzniká ve stěně dílu výrazná složka tlakové napjatosti. Dochází ke ztrátě stability a začínají se tvořit vlny. Vznik vln lze omezit pomocí zvýšení měrného tlaku tvářecího nástroje. Zvětšení oblasti výlisků s dobrou kvalitou v závislosti na zvyšování měrného tlaku je schematicky znázorněno v diagramu Woodova typu na obr. 20. [16]



Obr. 20 Diagram Woodova typu pro tvorbu vypuklého lemu ($p_{c2} > p_{c1}$) [16]

2.7 Lemovací stroje a nástroje

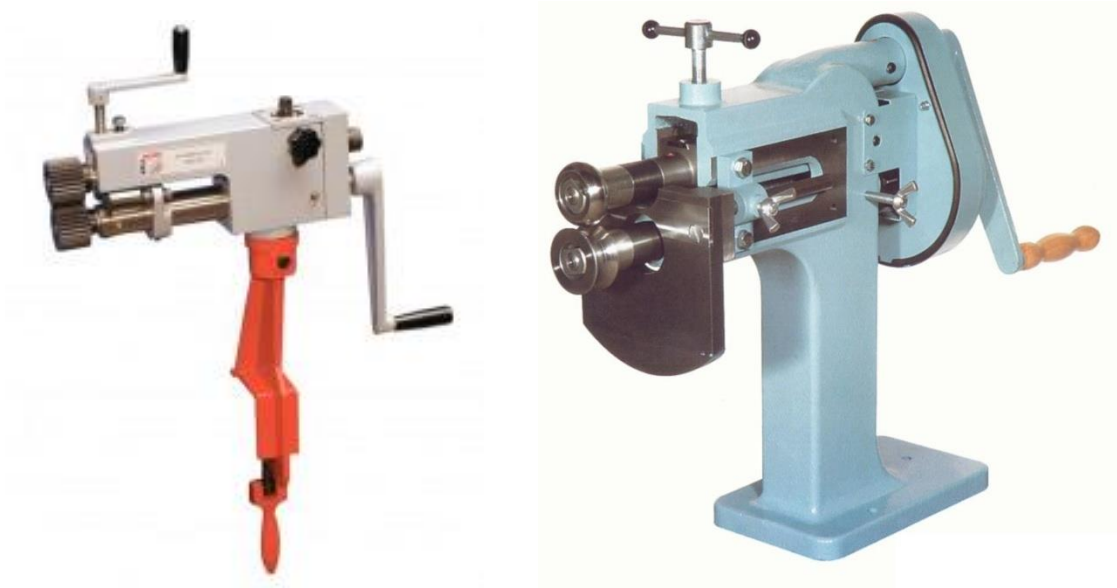
Pro lemování dílů se dá využít velké množství různých nástrojů a přípravků a lze k němu použít různé druhy strojů. Výběr závisí na daném tvaru lemu, celkových parametrech dílu a počtu vyráběných kusů. [1]

2.7.1 Ruční lemovačky

Jedná se o nejjednodušší stroj pro výrobu lemu. Snadno se s nimi manipuluje, mají malé rozměry a jednoduchou obsluhu. Tvářený díl se vsouvá mezi dva pohyblivé hřídele s lemovacími rolnami. Plech se dá vsunout oběma směry. Na obr. 21 je ukázka výroby lemu na ruční lemovačce. Dále se lemovačka skládá z nosníku, vytvrzeného dorazu a kliky. Zařízení se dá výškově a osově nastavit. Pomocí ruční kliky se uskutečňuje pohon stroje. Díl a klika se pohybují rovnoměrně. Nastavení lemovací rolny se provádí natočením nebo posunem horního hřídele. Hřídele jsou uloženy na bezúdržbových jehlových ložiskách. Rám stroje se nejčastěji odlévá z hliníku a nosník je vyrobený jako odlitek z litiny. Největší využití má v zámečnických dílnách, při montážních pracích nebo různých opravách a údržbách. [1], [19]



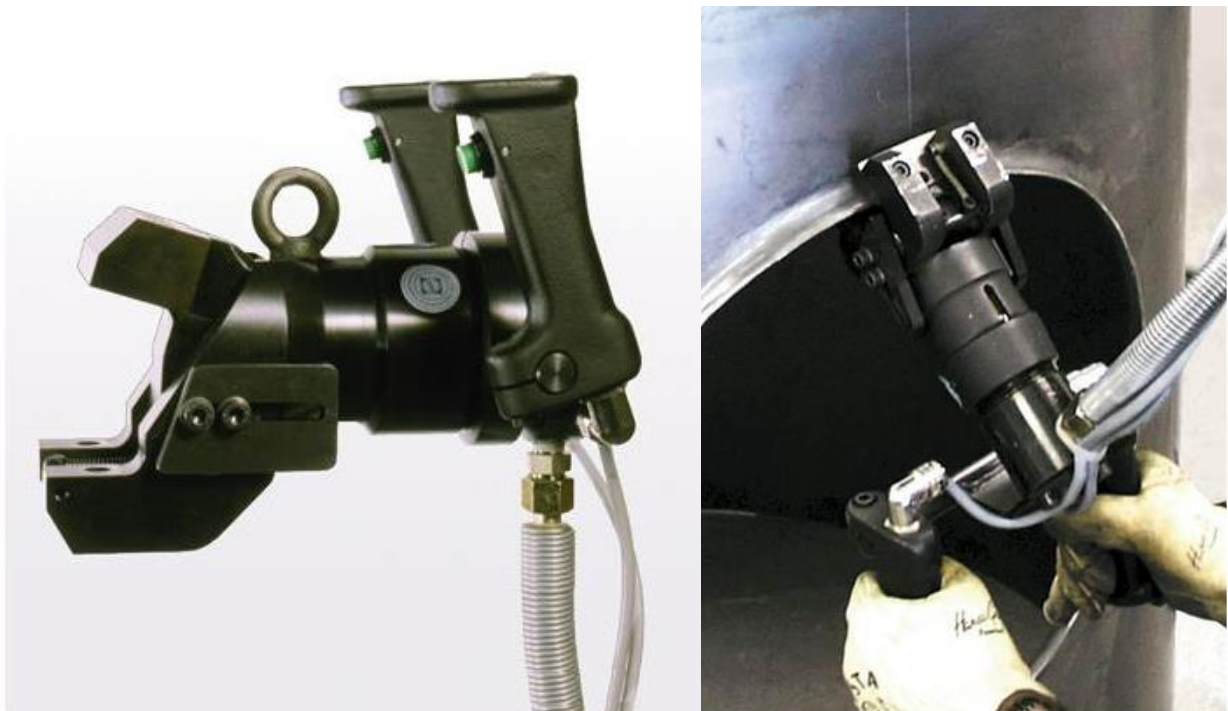
Obr. 21 Lemování pomocí ruční lemovačky [1]



Obr. 22 Ruční lemovací stroje [20]

Ruční lemovací stroje se vyrábí ve dvou variantách, jsou to buď stojanové, nebo stolní. Stolní se upínají na pracovní stůl pomocí šroubovací upínky. Oba typy jsou zobrazeny na obr. 22.

Patří sem i speciální lemovací nástroje jako jsou ruční lemovací kleště, které jsou zobrazené na obr. 23. Lze je použít na plechy z konstrukční ocele o tloušťce od dvou do sedmi milimetrů a pro plechy z nerezů od dvou do pěti milimetrů. Vložky se snadno vyměňují. Díky malým rozměrům se s nimi snadno manipuluje, nástroj se drží v dané poloze a je ručně veden po okraji tvářeného dílu. Používají se pro lemování nádob a vysokotlakých nádrží. [1], [19]



Obr. 23 Lemovací kleště [21]

2.7.2 Motorizované lemovačky

Na rozdíl od ručních strojů je zde přidán elektrický pohon a silnější konstrukce. Tělo je vyrobené jako odlitek a stojan je ocelový. Pro usnadnění montáže má stroj masivní základovou desku. Velikost tlaku pro lemování se nastavuje klikou umístěnou na horní části lemovačky. Jako pohon se používá brzdový více-rychlostní motor. Tvářecí rychlost se dá plynule nastavit pomocí pedálu. Řídící elektronika je uložena ve stojanu stroje. Na obr. 24 jsou zobrazeny příklady motorizovaných lemovaček. [1], [22]



Obr. 24 Motorizované lemovačky [1]

2.7.3 Lemování pomocí lemovací hlavy

Lemovací hlava (obr. 25) je namontována na průmyslového robota (obr. 26), který kopíruje tvar lemovaného dílu. Konstrukce hlavy je dostatečně tuhá a poskytuje konstantní sílu pro tvorbu lemu. To vede k vyšší kvalitě výrobků. Tato metoda je velice flexibilní a lze ji použít na různé typy dílů.



Obr. 25 Lemovací hlavy [4]



Obr. 26 Průmyslový robot [5]

3. Návrh vlastního řešení

3.1 Vstupní požadavky

Jako vstupní požadavek bylo zadáno navržení nového výrobního postupu, pomocí kterého by se vytvořil lem na předním plechovém blatníku motocyklu. A to takový postup, který by nevyžadoval nákup nového strojního zařízení, ale využil by již stávající, v ideálním případě 5osou CNC frézku. Jako další byl požadavek na zvýšení kvality vyrobených dílů. Současný výrobní postup byl takový, že dělníci vytvářeli lem blatníku ručně, pomocí ručního lemovacího stroje. To vedlo k tomu, že každý vyrobený díl měl jinou kvalitu. A jako poslední bylo potřeba zvýšit produktivitu výroby.

V první řadě, bylo zapotřebí zmapovat strojový park a možnosti výroby zadavatele. Dále pak porovnat tyto zjištěné informace s možnými postupy výroby lemů a navrhnout jednu z možností. Případně navrhnout modifikaci dané varianty anebo navrhnout jiné řešení.

3.2 Výpočty

Poloha neutrální osy:

$$\begin{aligned}\rho &= R_0 + x \cdot t \\ \rho &= 2 + 0,95 \cdot 0,8 \\ \rho &= 2,76mm\end{aligned}\tag{1.2}$$

Poloha neutrální osy je posunutá o 0,04 mm k vnitřnímu poloměru ohybu. V této vzdálenosti se mění tlakové napětí v tvářeném dílu na tahové.

Výpočet délky neutrální plochy ohýbané části dílu:

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad (1.3)$$

$$l_n = \frac{\pi \cdot 90^\circ}{180} \cdot (2 + 0,95 \cdot 0,8)$$

$$l_n = 4,3 \text{ mm}$$

Vypočtenou délku neutrální osy je nutné 3x přičíst k rovným částem ohybu (lem tvaru U po obvodu blatníku je 3x ohnutý, proto 3x délka neutrální plochy), abychom mohli určit délku polotovaru tvářené plochy a tím dosáhli požadovaného lemu. Přesah okraje blatníku nad lemovací drážku v přípravku proto bude 17 mm.

Velikost odpružení:

$$\beta = \text{arctg} 0,075 \frac{l_U \cdot Re}{x \cdot t \cdot E} \quad (1.5)$$

$$\beta = \text{arctg} 0,075 \frac{3,8 \cdot 300}{0,95 \cdot 0,8 \cdot 210000}$$

$$\beta = 0,15^\circ$$

Vypočtená velikost odpružení je velmi malá, a proto můžeme odpružení zanedbat.

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t \quad (1.6)$$

$$R_{min} = 0,58 \cdot 0,8$$

$$R_{min} = 0,47 \text{ mm}$$

Minimální poloměr ohybu, při kterém by nemělo dojít k poškození povrchu tvářeného dílu je 0,47 mm.

Výpočet maximálního poloměru ohybu:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) \quad (1.7)$$

$$R_{max} = \frac{0,8}{2} \cdot \left(\frac{210000}{300} - 1 \right)$$

$$R_{max} = 279,6 \text{ mm}$$

Výpočet tvářecí síly pro materiál 11 321.21 dle ČSN:

$$F_{0U} = (1 + 7\mu) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot Re}{\rho + t} \quad (1.10)$$

$$F_{0U} = (1 + 7 \cdot 0,42) \cdot \frac{15 \cdot 0,8^2 \cdot 300}{1 + 0,8}$$

$$F_{0U} = 6304 \text{ N}$$

Zákazník nespecifikoval, jaký bude použitý materiál pro výrobu blatníku, proto byl zvolen materiál, který se používá na výrobu dílů karoserií v automobilovém průmyslu s nejvyšší mezí pevnosti, jako maximum, které by mohlo nastat. Jedná se tedy o materiál 11 321.21 dle ČSN s mezí pevnosti v tahu 300 MPa. Pro praxi se předpokládá použití tvárnějšího materiálu, a tudíž bude potřebná síla nižší.

3.3 Návrh vlastního řešení

3.3.1 Princip navrženého řešení

Vzhledem k tomu, že zadavatel nechce pořizovat nové stroje, bylo potřeba navrhnout řešení, které využije stávající strojové vybavení a to konkrétně 5osou CNC frézku HAAS VF-6/40TR.

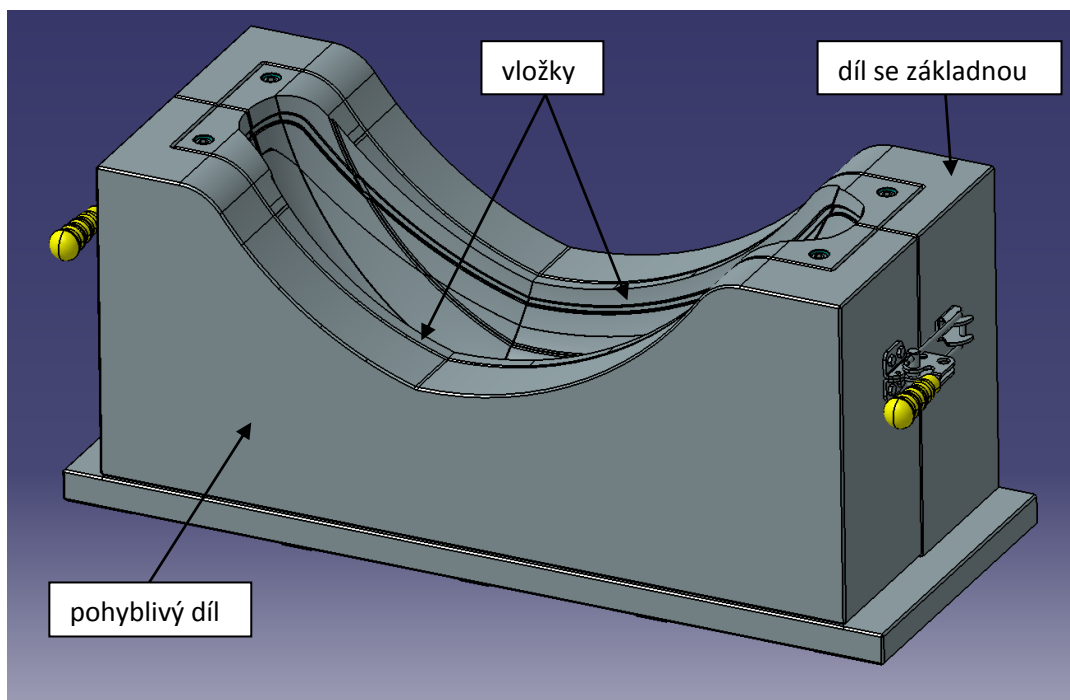
Specifikace stroje:

Dráhy pojezdu	S.A.E.	Metrický
Osa X	64"	1626 mm
Osa Y	32"	813 mm
Osa Z	30"	762 mm
Osa A (náklon)	±120°	±120°
Osa B (náklon)	360°	360°
Max. vzdálenost od čela vřetena	34"	864 mm
Motory os		
Max. síla X	3400 lb	15124 N
Max. síla Y	3400 lb	15124 N
Max. síla Z	5600 lb	24910 N

Tab. 1 Specifikace stroje

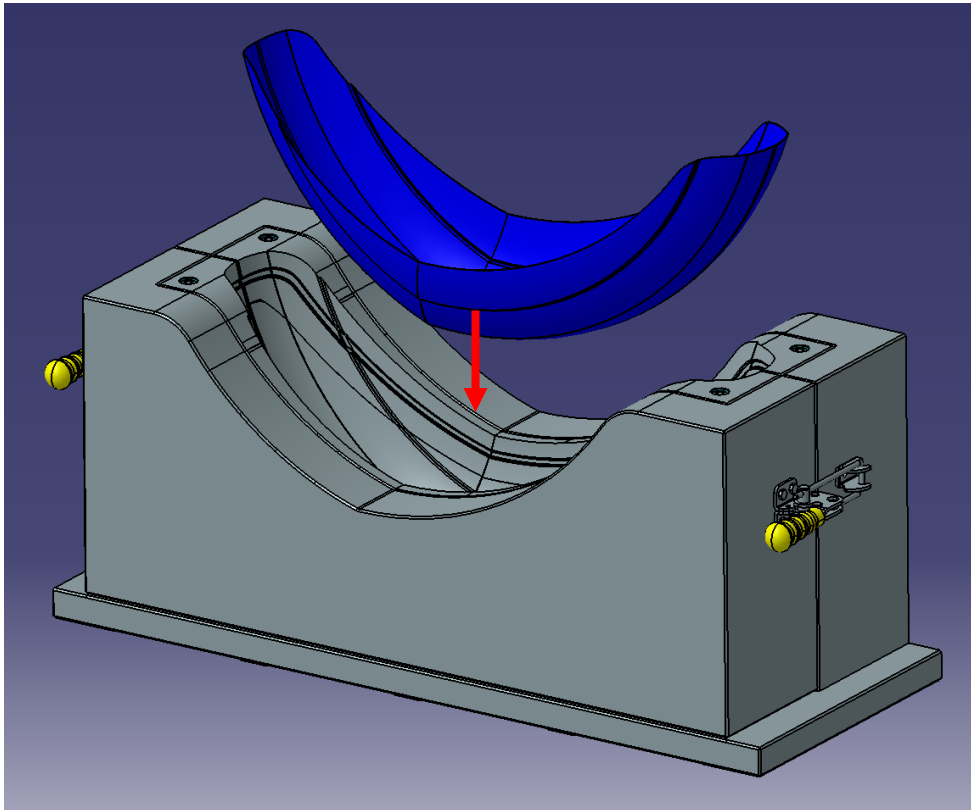
Dráhy pojezdu jsou dostatečné pro uchycení přípravku a pro vkládání, lemování a vyjímání blatníku. Rozměry přípravku jsou 826 x 320 x 348. Při vkládání a vyjímání blatníku má vřeteno dostatek prostoru, aby vyjelo mimo přípravek a i dostatek místa nad přípravkem. Horizontální síla, kterou dokáže vřeteno vyvinout je více než dvojnásobek vypočtené maximální potřebné síly.

Navržený přípravek (obr. 27) se skládá ze dvou hlavních částí, které jsou spojené pomocí hákových rychloupínek a ustavené pomocí středících čepů. Větší díl se základnou se pomocí upínek upevňuje do stroje. Druhá část je pohyblivá, to proto, aby bylo možné vyjmout hotový blatník s vytvořeným lemem. V horní části obou dílů jsou přimontované vložky. V těchto vložkách je vyfrézovaná drážka, která slouží k vytvoření lemu.



Obr. 27 Navržený přípravek

Do přípravku se vloží výlisek blatníku (obr. 28.) Blatník se v přípravku uchytí pomocí podtlakového upínače. Blatník překrývá drážku ve vložkách přípravku.

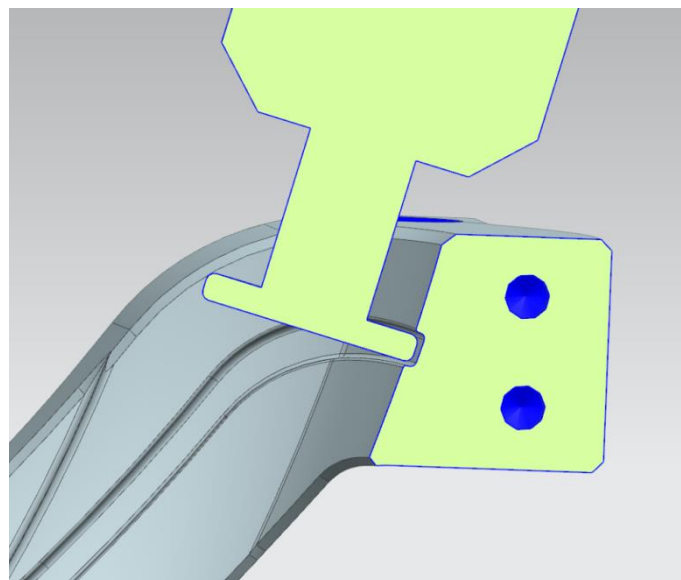


Obr. 28 Vložení blatníku do přípravku

Jako nástroj se místo frézy použije lemovací rolna, pomocí které se okraj blatníku vmáčkne do drážky ve vložkách a tím se po obvodu vytvoří lem tvaru U.



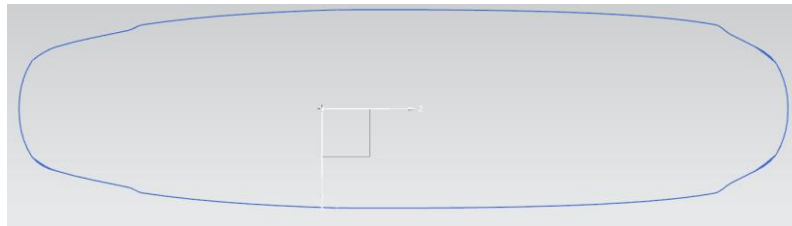
Obr. 29 Ukázka lemovací rolny [6]



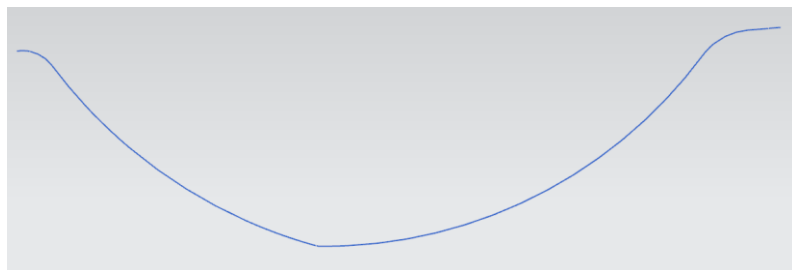
Obr. 30 Řez rolnou a vložkou přípravku

Schematický tvar dráhy lemovací rolny je zobrazen na následujících obrázcích. Vřeteno stroje má dostatek prostoru a není v kolizi s přípravkem. Osa vřetena směřuje kolmo k nárysu

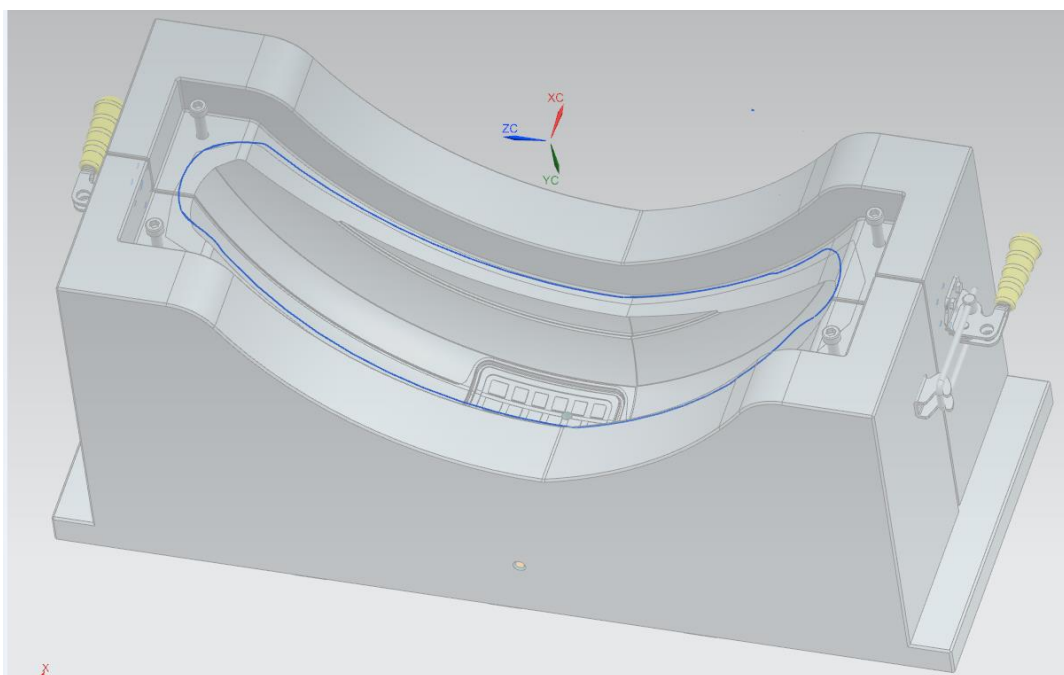
dráhy. Vzhledem k rozevřenému tvaru blatníku je osa vřetene vždy nakloněná od středu přípravku směrem ven.



Obr. 31 Půdorys dráhy lemovací rolny

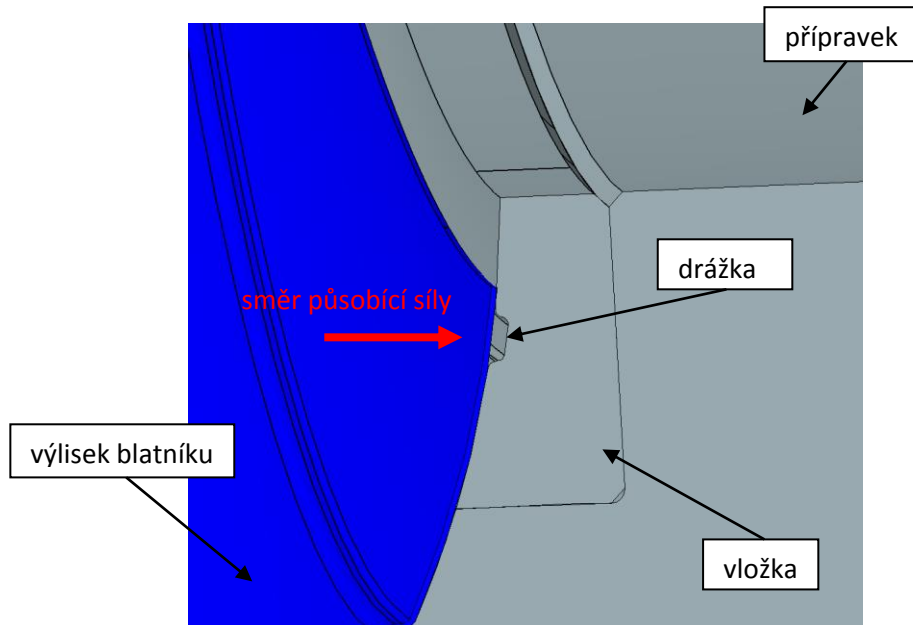


Obr. 32 Nárýs dráhy lemovací rolny



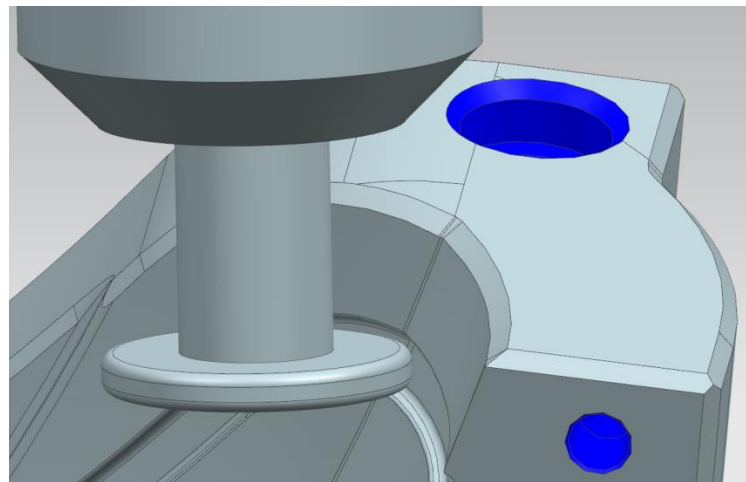
Obr. 33 Schéma dráhy lemovací rolny v přípravku

Na obrázku 34 je přípravek s vloženým blatníkem v řezu. Je zde vidět drážka ve vložce, do které se blatník zatlačuje.



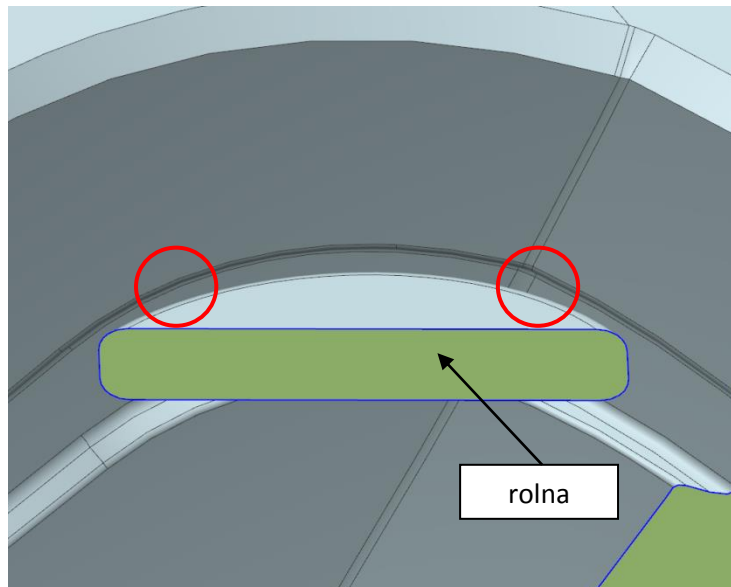
Obr. 34 Přípravek v řezu

Drážka vytvořená ve vložce je v přechodových rádiusech rozšířená o 0,4mm, aby při výrobě lemu nedocházelo k poškození okraje lemu blatníku, nebo k zaseknutí lemovací rolny.



Obr. 35 Rolna v přechodovém rádiusu

Na obrázku 36 je lemovací rolna v řezu v přechodovém rádiusu s vyznačenými místy, kde by mohlo docházet ke vzpříčení, kdyby drážka v těchto místech nebyla rozšířená.



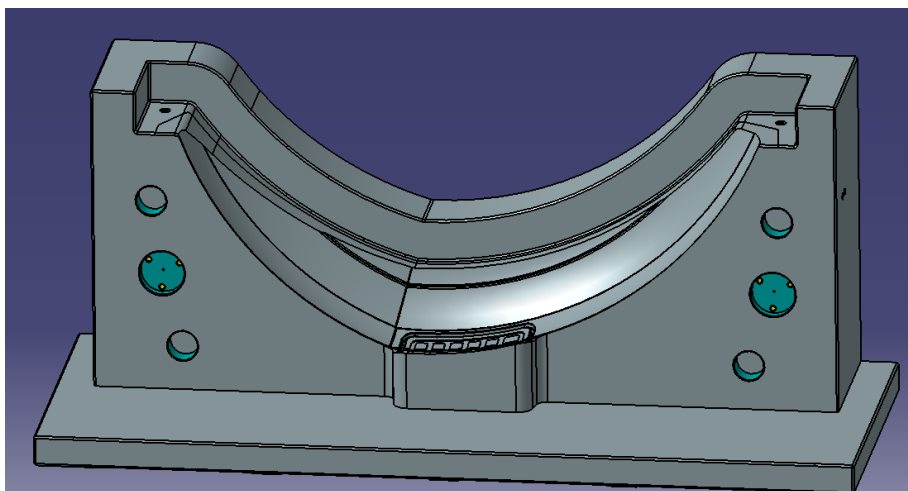
Obr. 36 Místa možného vzniku vzpříčení

Nakonec se po stranách povolí hákové rychloupínky, pomocí pružin se přípravek otevře a hotový blatník se vyjme ven. Poté se celý proces opakuje na dalším kusu blatníku.

3.3.2 Navržený přípravek – varianta 1

a) Díl se základnou

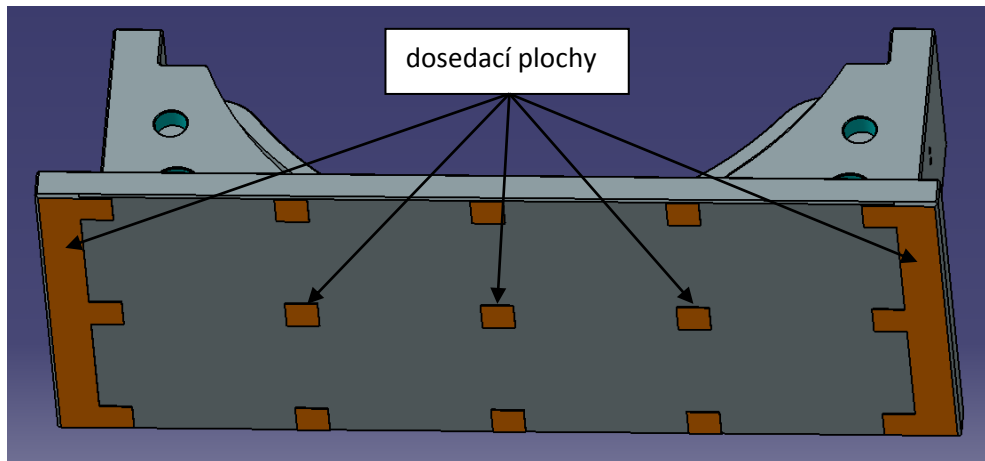
Základní díl přípravku tvoří část se základnou, pomocí které se upíná přípravek do frézky. Díl je vyrobený ze dvou částí. Z podstavce, který je tvořen 30 mm silnou ocelovou deskou a formou. Forma je vyfrézovaná z jednoho bloku oceli. Tyto dvě části, jsou k sobě svařené a ve stroji se nepohybují. Rozměry přípravku jsou 826 x 320 x 348.5 mm.



Obr. 37 Díl se základnou

Na spodní části desky, která leží na pracovním stole frézky, jsou vytvořené dosedací plochy (obr. 38), aby se dal přípravek přesněji upnout do stroje a předešlo se tak vzniku vad,

od nerovné dosedací plochy. Po stranách desky, kde budou umístěny upínky, je dosedací plocha vytvořená v celé délce.

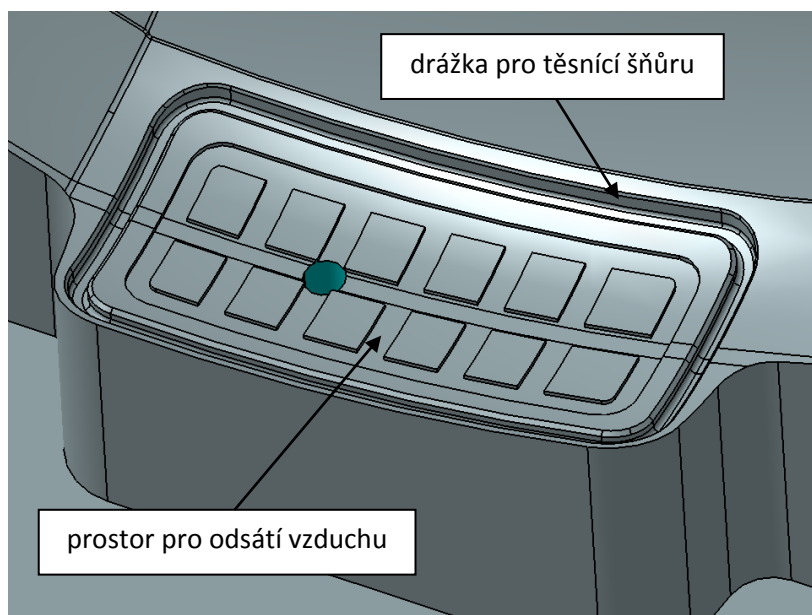


Obr. 38 Úprava spodní plochy přípravku

V přípravku je vyfrézovaný tvar blatníku, do kterého se výlisek usadí při tvorbě lemu. Kvalita obrobeneho povrchu pro tvar blatníku nemusí být ve vysoké kvalitě, slouží pouze k přidržení blatníku, aby se v přípravku nepohyboval, případně nekroutil. Obě části budou vyrobeny z běžné konstrukční oceli třídy 11 375 dle ČSN

V horní části přípravku je obrobena část, do které se umístí ocelová vložka. Ta se připevní pomocí dvou šroubů ve vertikálním směru. V horizontálním směru se vložka opře o stěnu přípravku. Při tvorbě lemu, kdy bude lemovací rolna zatlačovat okraj blatníku do drážky, budou vznikat hlavně horizontální síly.

Dále je v přípravku vytvořen systém pro podtlakové upnutí blatníku (obr. 39). Vnější drážka je 4mm široká i hluboká a slouží pro vložení těsnící šňůry. Šňůra je v kontaktu s blatníkem a vytváří uzavřený prostor, odkud se odsaje vzduch pomocí vývěvy a vznikne tím podtlak, který drží blatník v přípravku.



Obr. 39 Systém pro podtlakové upnutí

Vnitřní prostor slouží k odsátí vzduchu, čím bude plocha větší, tím větší bude upínací síla. Hloubka vybrání je 1 mm. Plocha není vyfrézovaná v celé ploše, protože by jinak mohlo dojít k deformaci blatníku vzniklou upínací silou. Upínací síla je závislá na velikosti plochy, z které se odsaje vzduch a na použité vývěvě, jak velký podtlak dokáže vyvinout.

Výpočet upínací síly pro navržený přípravek s použitím vývěvy:

$$F = p \cdot S$$

$$F = 2 \cdot 0,0026 \cdot 10^5$$

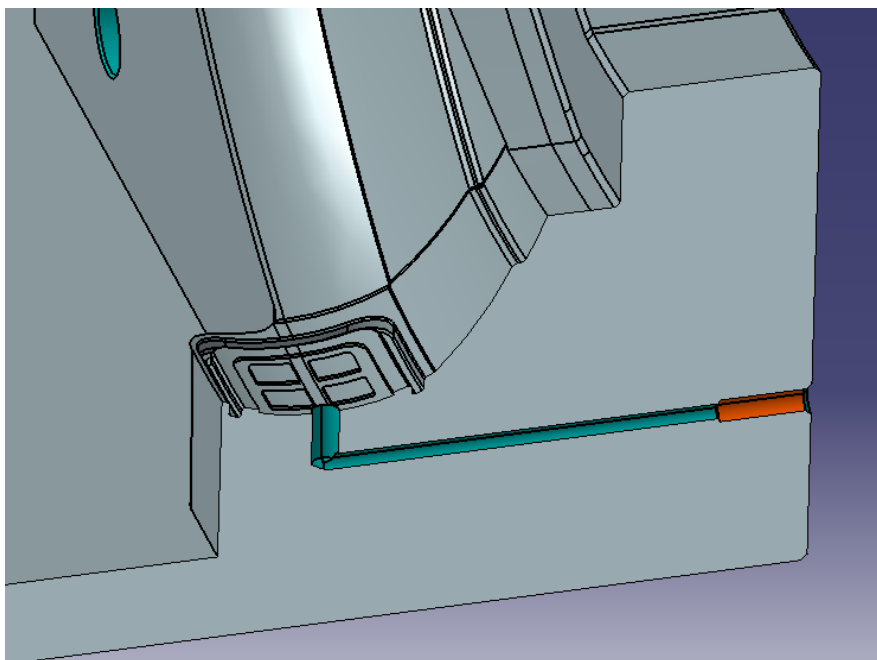
$$F = 520N$$

F ... upínací síla [N]

p ... podtlak vytvořený vývěvou [bar]

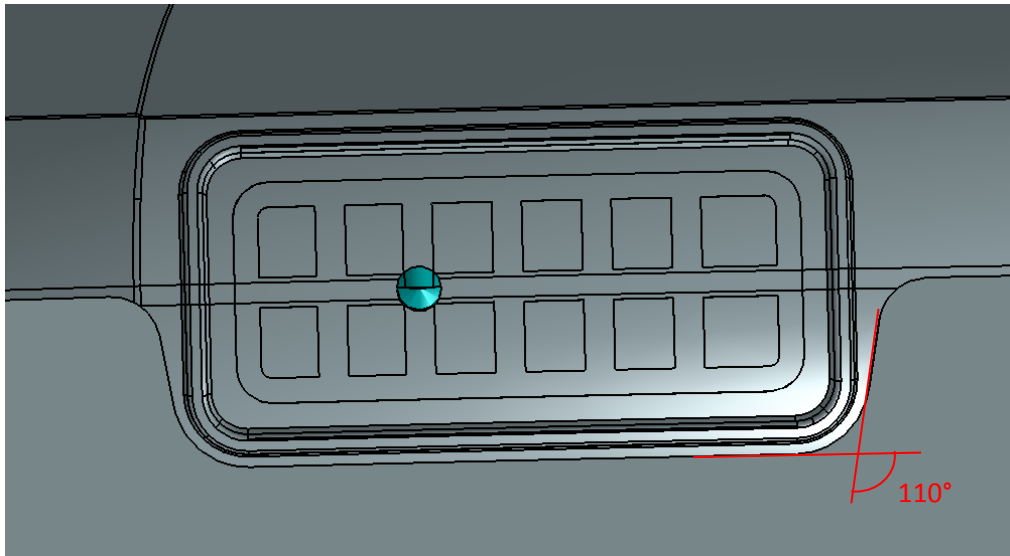
S ... plocha, ze které se odčerpá vzduch [m²]

Pro připojení vývěvy a ventilu k přípravku je vytvořené vrtání se závitem M10 ze zadní strany (obr. 40). Na něj navazuje odsávací kanál ø6 mm. Nakonec se napojuje vertikální kanál ø9 mm vyústěný do plochy pro vytvoření podtlaku.



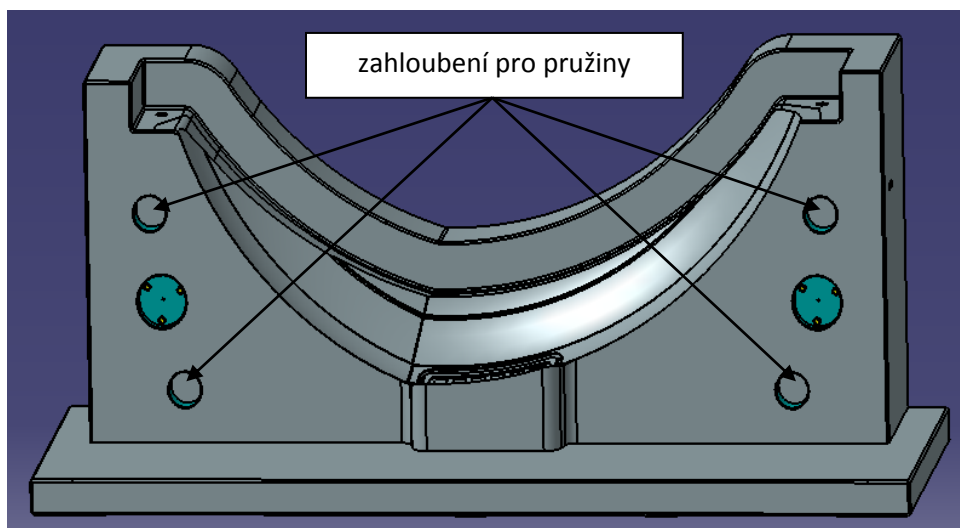
Obr. 40 Odsávací kanál s připojením pro ventil

Celá část pro podtlakové upínání je v jednom kuse, aby nedocházelo ke snížení upínací síly vlivem netěsností mezi dvěma díly přípravku. Tím není zapotřebí další těsnění, které by bylo mezi díly. Boky části pro upínání jsou pod úhlem 110° (obr. 41). To je z důvodu, aby nedocházelo ke vzpříčení mezi díly při otevírání a zavírání přípravku.



Obr. 41 Sklon boků

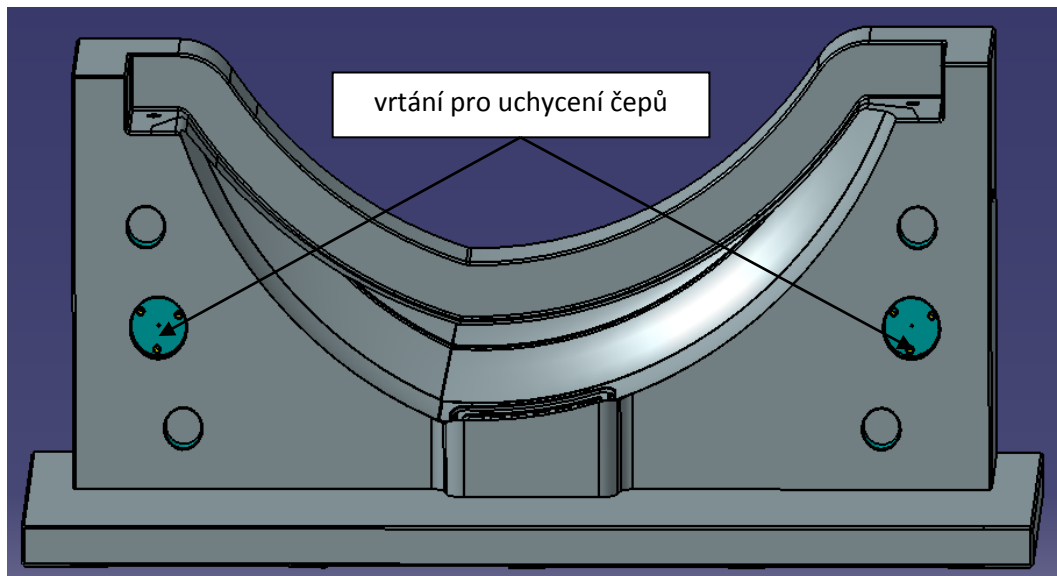
V přední části dílu jsou čtyři zhloubení (obr. 42). Ty slouží pro uložení pružin, které rozevírají přípravek po uvolnění hákových rychloupínek po stranách. Pružiny posunou druhý díl přípravku o přibližně 3 cm, aby bylo možné vyjmout hotový blatník. Vzdálenost odsunutí je vymezena rychloupínkami, které zůstávají zaháknuté v upínacím háku.



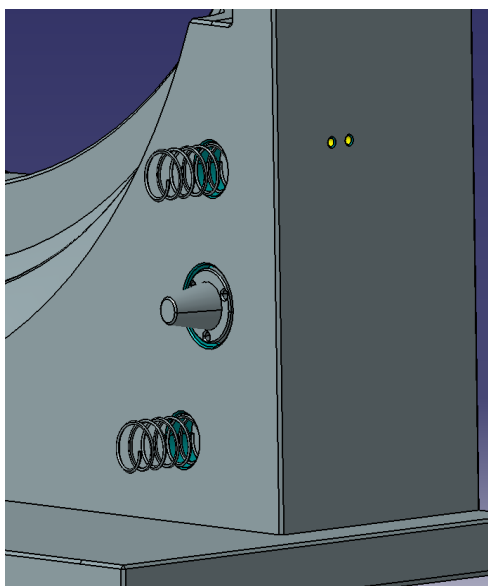
Obr. 42 Zhloubení pro uložení rozevíracích pružin

Na přední straně jsou vytvořena ještě dvě vrtání pro uchycení středících čepů (obr. 43). Tyto čepy (obr. 45) slouží ke správnému napozicování pohyblivého dílu k nepohyblivému dílu při dotažení rychloupínek, aby bylo dosaženo výroby rovnoměrného lemu po celém obvodu blatníku a nevznikaly tam nechtěné přechody. Čepy jsou do přípravku uchyceny pomocí tří šroubů. Jsou vyrobeny z nástrojové oceli a jsou tvrzené a broušené. Mají kuželový tvar, aby při rozevírání a zavírání přípravku nedocházelo ke vzpříčení. Délka kuželové části

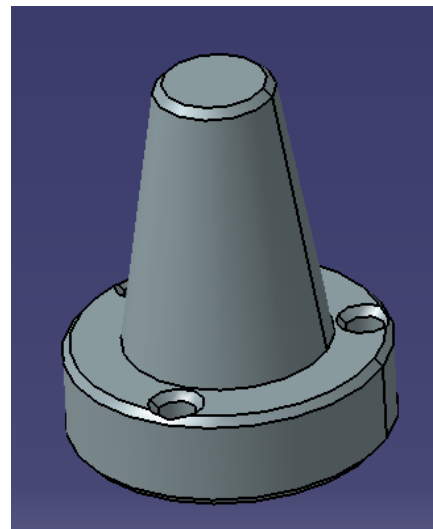
čepu je 3,9 mm, takže při otevření přípravku se čep nedostane mimo kuželovou díru v pohyblivém díle, proto nehrozí, že by došlo ke kolizi mezi čepem a pohyblivým dílem.



Obr. 43 Vrtání pro uchycení čepů



Obr. 44 Čep a pružiny uložené v přípravku

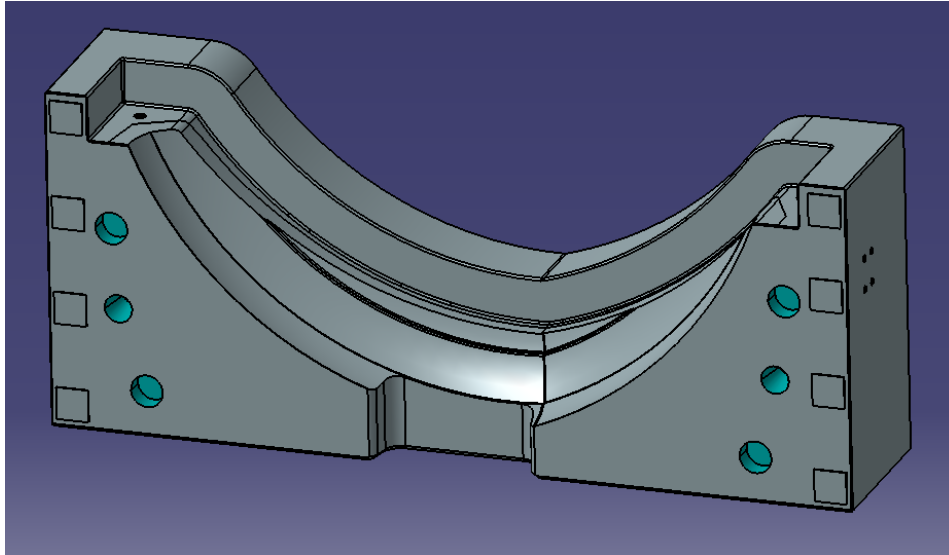


Obr. 45 Středící čep

Na každé straně přípravku jsou dvě díry se závitem M6 pro uchycení háku pro rychloupínku. Dvě závitové díry M16 pro transport přípravku jsou na horních plochách dílu. Do nich se upevní závěsná oka.

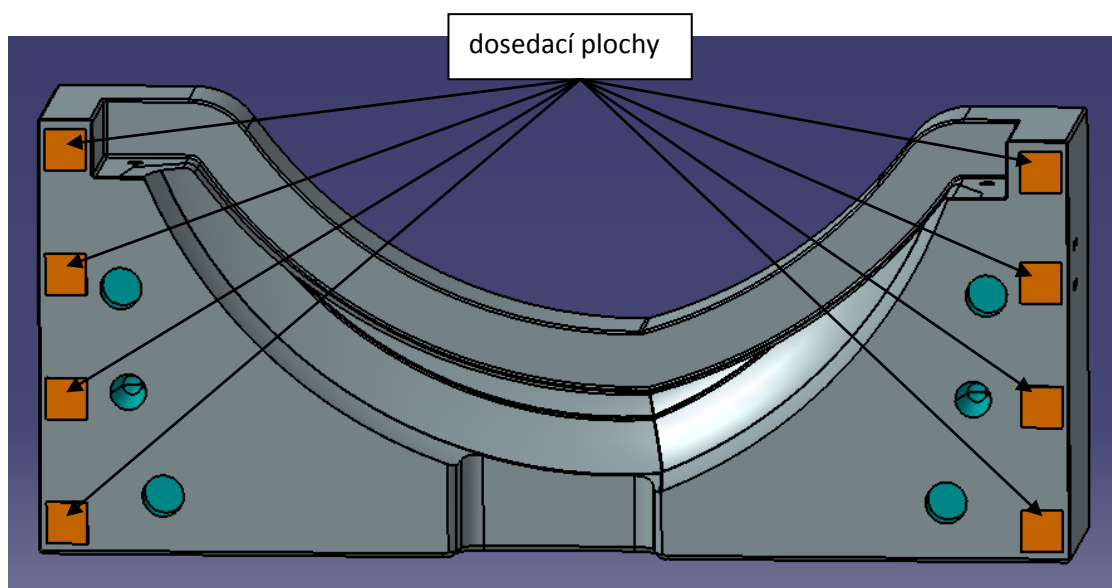
b) Pohyblivý díl

Pohyblivý díl (obr. 46) je protikus pro díl se základnou. Je vyroben z jednoho bloku oceli a je v něm vyfrézovaný tvar blatníku. Stejně tak jsou v něm vytvořené otvory pro pružiny a obrobená část pro vložku. Je pohyblivý, aby šel díl s vytvořeným lemem vyjmout z přípravku. Pohyb zajišťují pružiny.



Obr. 46 Pohyblivý díl

Na ploše, která přiléhá k dílu se základnou, jsou vytvořené dosedací plochy (obr. 47), které jsou obrobené s větší přesností, zbylá plocha je o 1 mm vyfrézovaná. Dosedací plochy jsou jen po stranách dílu, kde jsou díly spojené pomocí rychloupínek. Ve střední části nejsou dosedací plochy potřebné, protože při výrobě lemu rolna, která zatlačuje blatník do drážky, tlačí ze středu přípravku směrem ven, takže tlačí díly od sebe. Jsou zde kuželové díry pro středící čepy. Na každém boku jsou čtyři závitové díry M6 pro uchycení pákových rychloupínek. Na horní straně jsou závitové díry M16 pro závěsná oka.

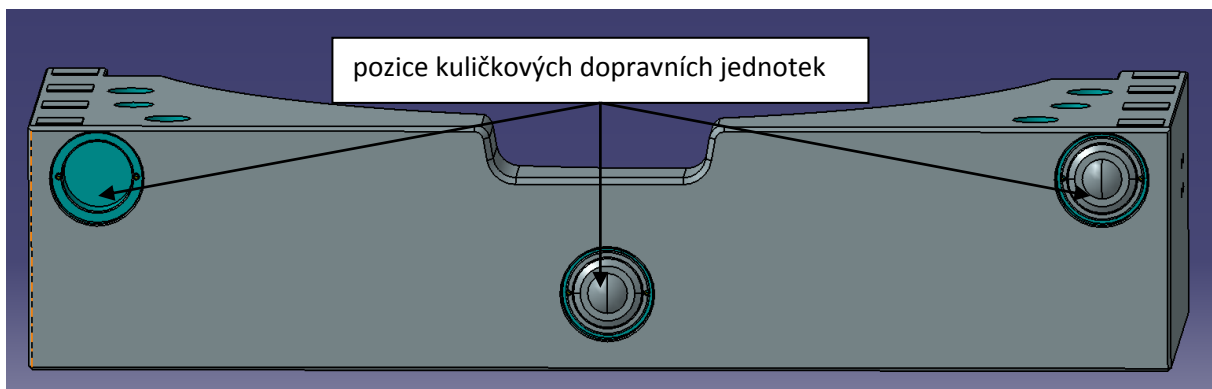


Obr. 47 Dosedací plochy

Aby se mohl díl pohybovat, bylo zapotřebí na spodní část dílu upevnit pohyblivý element. Bylo nutné brát v potaz, že díl se při otevírání a zavírání neposouvá rovnoměrně lineárně, jelikož pákové rychloupínky jsou ovládané ručně. Proto zde není možné použít lineární posuv, jelikož by zde docházelo ke vzpříčení a vysokému opotřebení posuvu. To by vedlo k častým výměnám a prodražování výroby. Proto zde byly navrženy pro posuv kuličkové dopravní jednotky (obr. 48). Tyto jednotky umožňují pohyb do všech stran, mají dostatečnou nosnost a dají se snadno vyměnit. V přípravku jsou uchyceny dvěma šrouby.



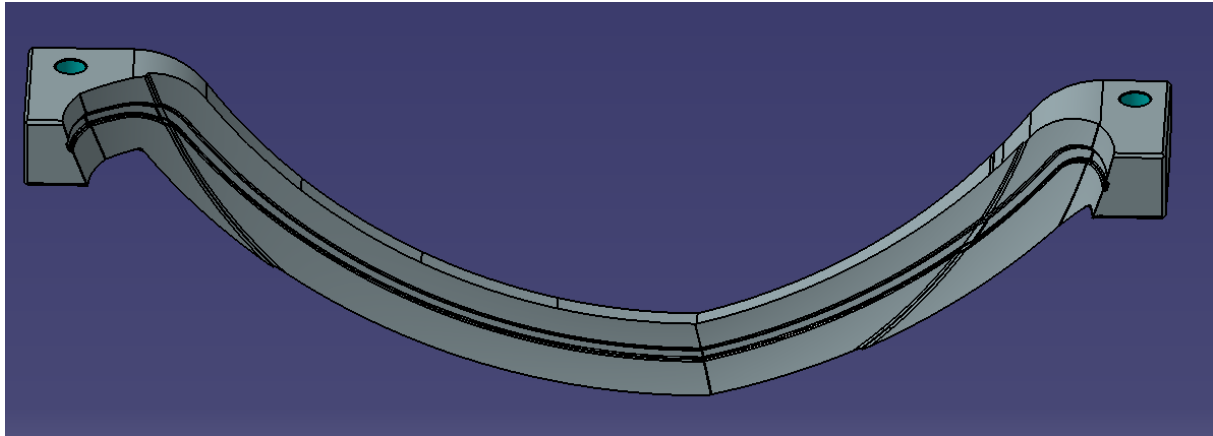
Obr. 48 Kuličková dopravní jednotka [7, 8]



Obr. 49 Kuličková dopravní jednotka v přípravku

c) Vložka

Vložka (obr. 50) je vyrobená z jednoho kusu oceli. Je v ní vyfrézovaná drážka, která slouží k vytvoření lemu po obvodu blatníku. Lemovací rolna zatlačuje plech blatníku do drážky a vytváří tak lem. Proto je tento díl velmi namáhaný a proto je tvrzený, aby se prodloužila jeho životnost. Vložka je v přípravku uchycena pomocí dvou šroubů. Dále pak kontaktem dosedacích ploch mezi vložkou a přípravkem, tím je zamezeno pohybu vložky jak ve vertikálním tak v horizontálním směru. V případě, že by se vložka poškodila, se dá snadno vyměnit. Vložka bude vyrobena z materiálu 19 312.8 dle ČSN.



Obr. 50 Vložka

d) Háková upínka

Provedení s dvojitým třmenem

Hákové upínky s dvojitým třmenem vynikají vysokou upínací silou. Jejich použití je velmi různorodé. Např. ve slévárenství jako uzavírací nebo přitahovací mechanismus. Tyto upínky umožňují také upínání do pravého úhlu. [14]

Na přípravku jsou použity dvě hákové upínky (obr. 51). Každá má upínací sílu 7000N a hmotnost 1100g.



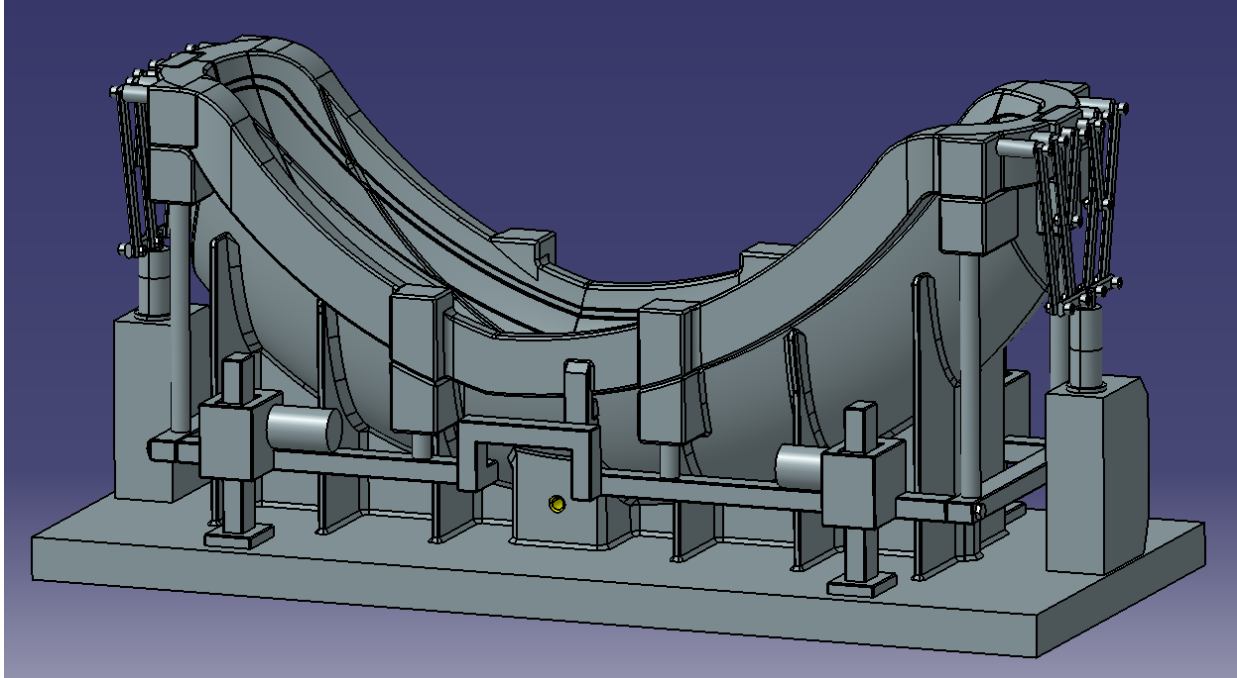
Obr. 51 Háková upínka

Výhody	Nevýhody
jednoduchá konstrukce	vyšší hmotnost
výroba přímo ve firmě MBtech	manuální obsluha
nižší cena	nižší produktivita

Tab. 2 Klady a zápory varianty 1

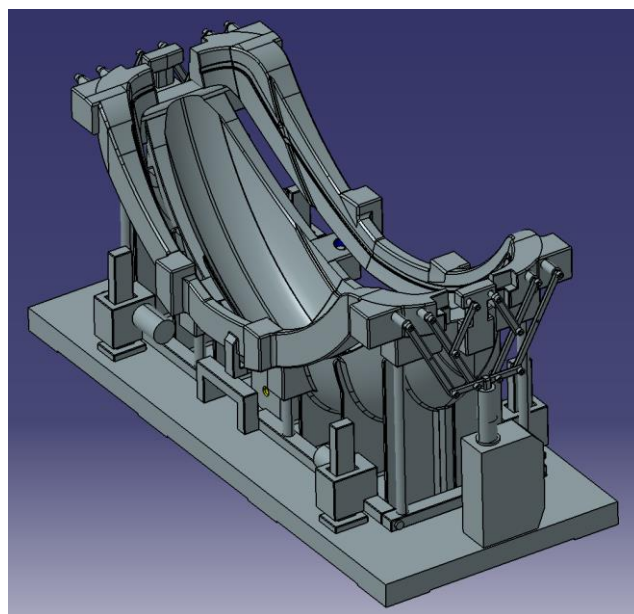
3.3.3 Navržený přípravek – varianta 2

Druhá varianta (obr. 52) byla navržena s ohledem na vyšší produktivitu. Je automatizovaná a obsluha ručně vkládá výlisky blatníků a vyndává hotové výrobky z přípravku.



Obr. 52 Automatizovaný přípravek

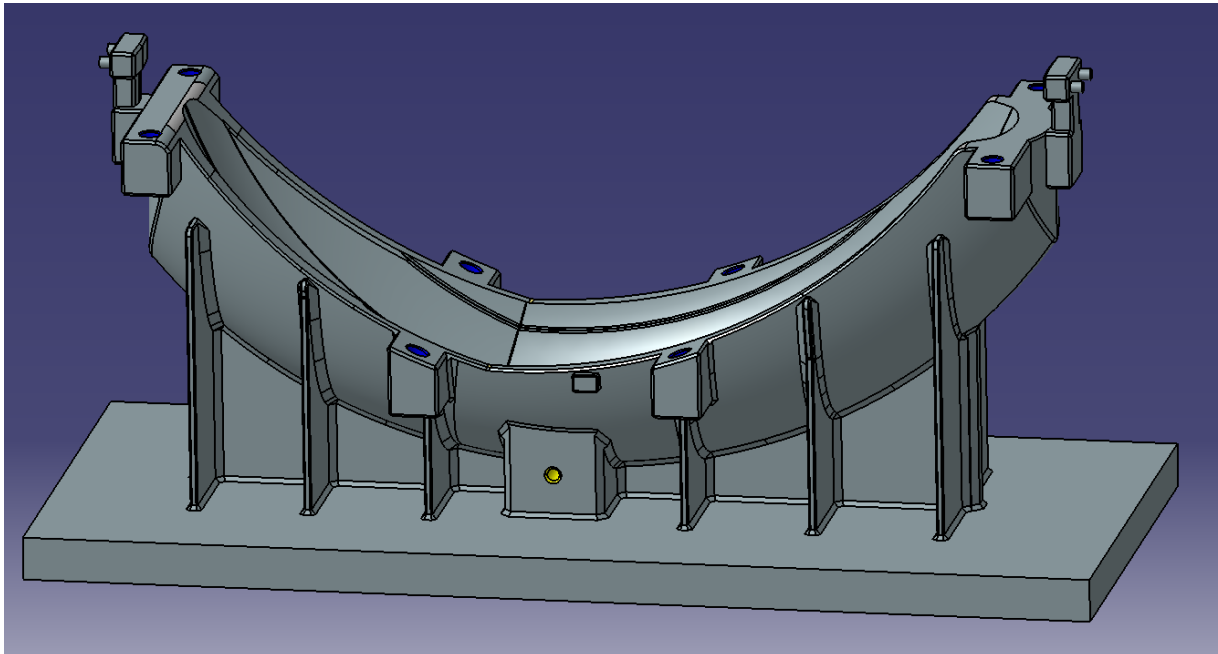
Princip druhé varianty je stejný jako u varianty 1. Přípravek se upne do pětioké frézky, vloží se do něj výlisek blatníku. Jako nástroj se místo frézy použije lemovací rolna, která po obvodu zatlačí blatník do drážky v přípravku. Rozdíl je ve hmotnosti přípravku, náročnosti na obrábění a rozevírání a zavírání přípravku je automatizované pomocí elektrických elementů.



Obr. 53 Rozevřený přípravek

a) Spodní díl

Spodní díl (obr. 54) je hlavní nosnou částí přípravku, na něj jsou namontované veškeré další součásti přípravku. Pro úsporu materiálu a pro snížení počtu frézovaných ploch, bude tento díl vyrobený jako odlitek. Lití bude provedeno metodou spalitelného modelu. Na odlitku bude vytvořen přídavek 5mm na plochách, které se budou finálně obrábět na čisto.



Obr. 54 Spodní díl

Metoda spalitelného modelu [9]

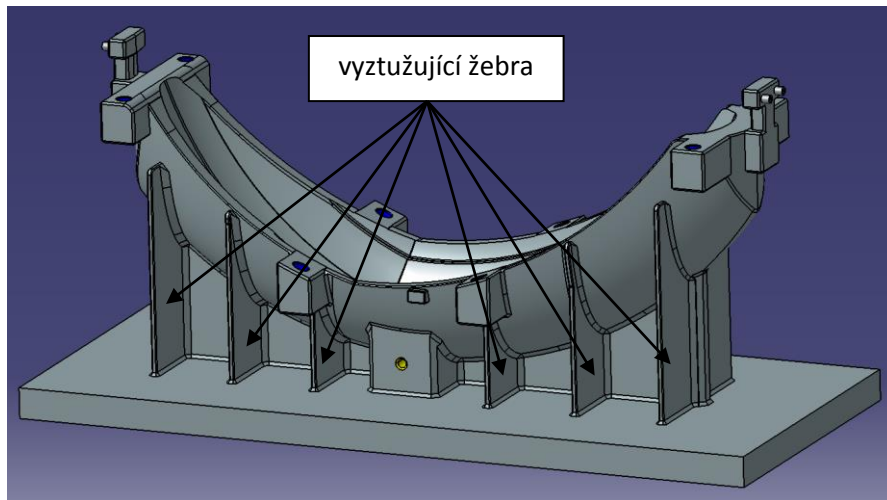
Obecný popis

U běžného formování tzv. plné formy na spalitelný (nebo přesněji řečeno odpařitelný) model odlitku, se model zhotoví z pěnového polystyrenu a zaformuje se buď do samotvrdnoucí směsi nebo přechováním. Model zůstane ve formě až do odlévání. Jedná se o tak zvanou metodu „plné formy“. Formování metodou spalitelného modelu usnadňuje výrobu unikátních odlitků, kdy potřebujeme pouze jeden kus. Tento postup je často využíván pro výrobu odlitků pro lisovací a tvářecí nářadí. Výrazně se díky tomu sníží náklady na výrobu a skladování dřevěných modelů. Odlévání na odpařitelný model je také využíváno v moderní velkosériové výrobě a je známé pod anglickým názvem Lost Foam (ztracená pěna). Princip této výrobní technologie má řadu společných prvků s přesným litím, které využívá vytavitelný model pro zhotovení 1 ks odlitku. V případě metody „Lost Foam“ se forma nepřechuje, ale pouze zasypává suchým ostřivem bez pojiva (směs III.generace). Povrch modelu je opatřen ochranným nátěrem proti penetraci kovu. [9]

Klady a zápory metody

Metoda umožňuje lití tvarově velmi složitých dílů bez nutnosti vyjímání modelu. Proto není zapotřebí úkosů, úprav dělicí roviny, vnějších jader a složitého formování. Dá se využít jak v kusové výrobě tvarově složitých odlitků (např. díly prototypů) tak i v sériové výrobě obtížně formovatelných odlitků (např. tělesa a díly elektromotorů). [9]

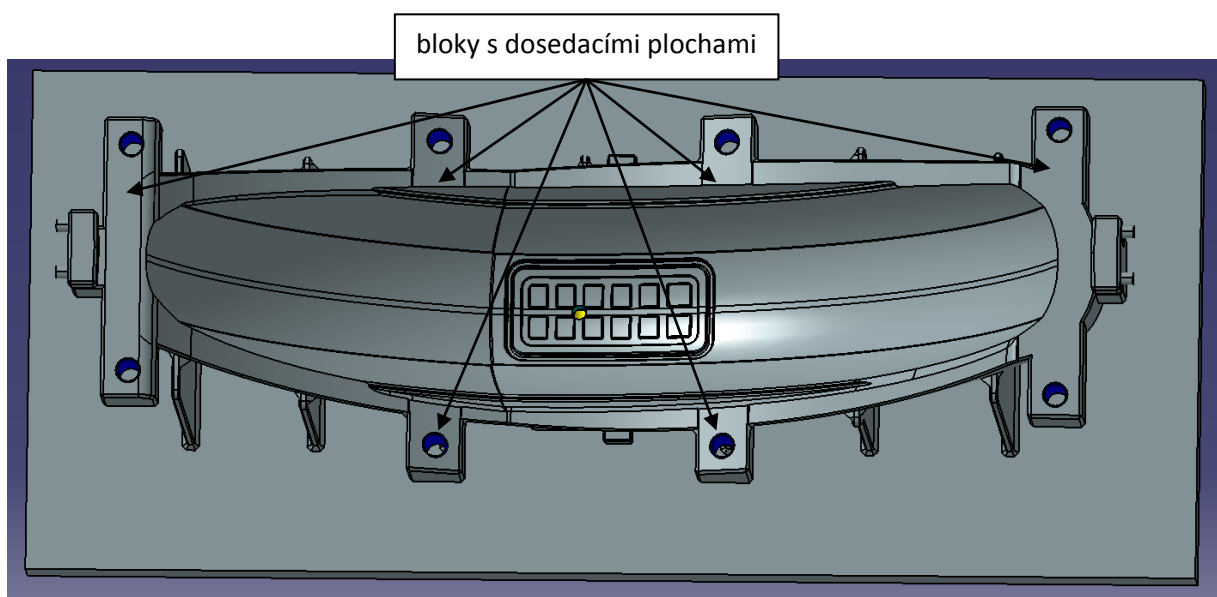
Spodní díl je kvůli snížení váhy vytvořen jako ocelová skořepina kolem blatníku s minimální tloušťkou 10 mm a to jen v nejméně namáhaných místech. Pro zvýšení tuhosti v horizontálním směru, jsou zde vytvořena žebra (obr. 55), jelikož největší namáhání je právě v osách X a Y.



Obr. 55 Spodní díl

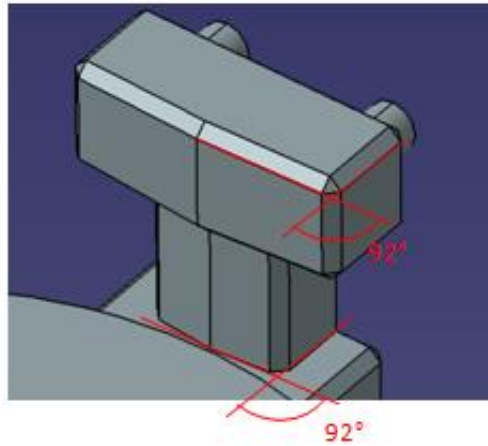
Způsob zajištění plechového výlisku blatníku v přípravku je stejný jako u varianty 1, tj. podtlakové upnutí. Na dně přípravku v prostoru pro uložení blatníku je vyfrézovaná drážka pro těsnící šňůru. V prostoru vymezeném touto drážkou je obrobená plocha pro odsátí vzduchu a vytvoření podtlakové síly, která drží blatník v přípravku ve správné pozici.

Dále jsou na přípravku vytvořeny bloky (obr. 56). V těchto blocích jsou vyvrtané díry s průměrem 14 mm a s tolerancí H7. Ty slouží jako vedení pro uzamykací čepy a zároveň zajišťují horizontální tuhost horních pohyblivých dílů. Na tyto bloky dosedají horní díly, plocha mezi nimi je odlehčená o 0,7 mm. To je kvůli snížení počtu ploch, které by se musely obrábět s vysokou přesností, čímž by se prodražila výroba.



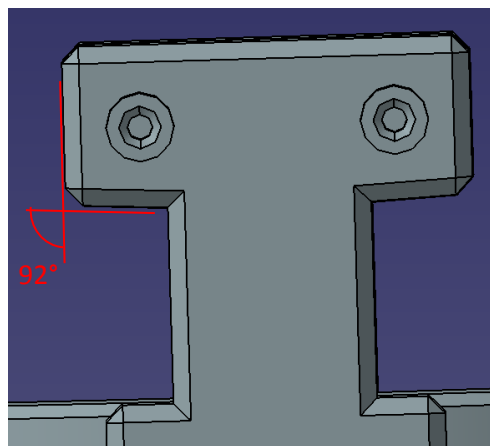
Obr. 56 Bloky

Po stranách přípravku jsou vytvořené sloupky. Ty slouží pro uchycení nůžkového mechanismu, který rozevívá a zavírá pohyblivé díly přípravku a také pro uzamčení pohyblivých dílů. Stěny sloupků (obr. 57) směřující dovnitř přípravku mají sklon 92° . Tím se zabrání případnému vzpříčení při otvírání a zavírání. Na rozdíl od varianty 1, kde je otvírání a zavírání prováděno ručně a je tedy nerovnoměrné, tak v u varianty 2 je zajištěno elektrickými lineárními aktuátory. Takže se pohyblivé díly budou otevírat plynule na obou koncích.



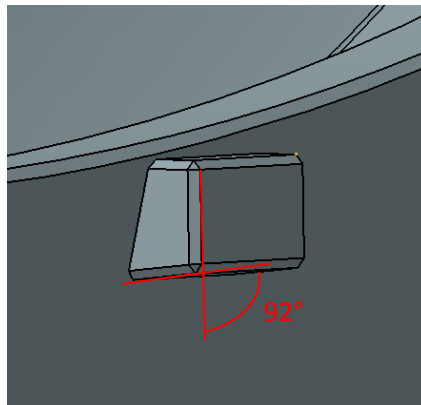
Obr. 57 Úprava sloupků

Další úprava na spodní straně sloupků (obr. 58), které jsou také pod úhlem 92° . Úprava této plochy slouží hlavně k zamezení pohybu horních dílů ve vertikálním směru.



Obr. 58 Spodní plocha sloupků

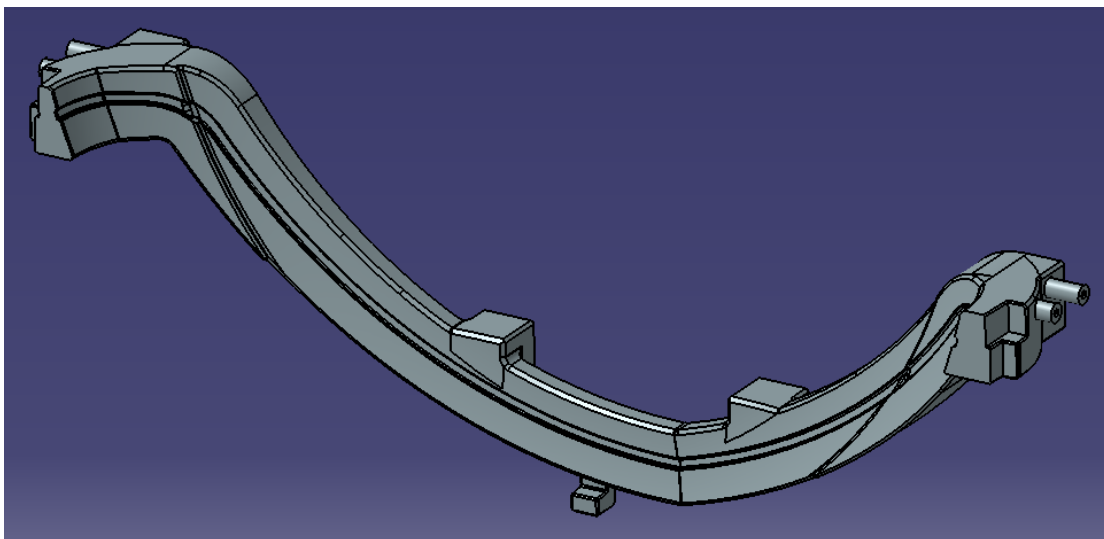
Jako poslední, jsou na spodním přípravku vytvořené úchyty (obr. 59). Ty slouží jako zámek a dosedá na ně část horních dílů. Tím je zamezeno pohybu ve vertikálním směru ve střední části přípravku. Stejně jako u sloupků je i zde spodní plocha pod úhlem 92° , aby při pohybu nedocházelo ke kolizi a plochy na sebe správně dolehly.



Obr. 59 Úchyty

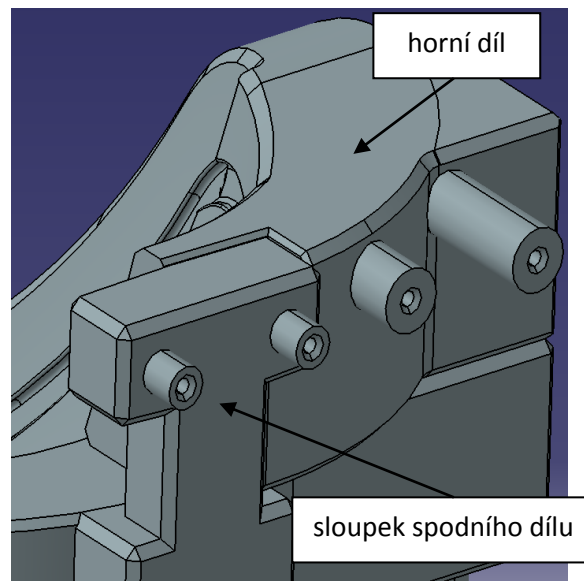
b) Horní pohyblivý díl

V horním pohyblivém dílu (obr. 60) je vyfrézovaná drážka, do které se blatník zatlačuje. Jsou zde čtyři bloky. V každém díra $\varnothing 16H7$, do které se zasouvají lícované čepy. Ty drží horní díl ve správné pozici a přenášejí sílu vzniklou při vytváření lemu. Celý díl je vyfrézovaný z jednoho kusu oceli.



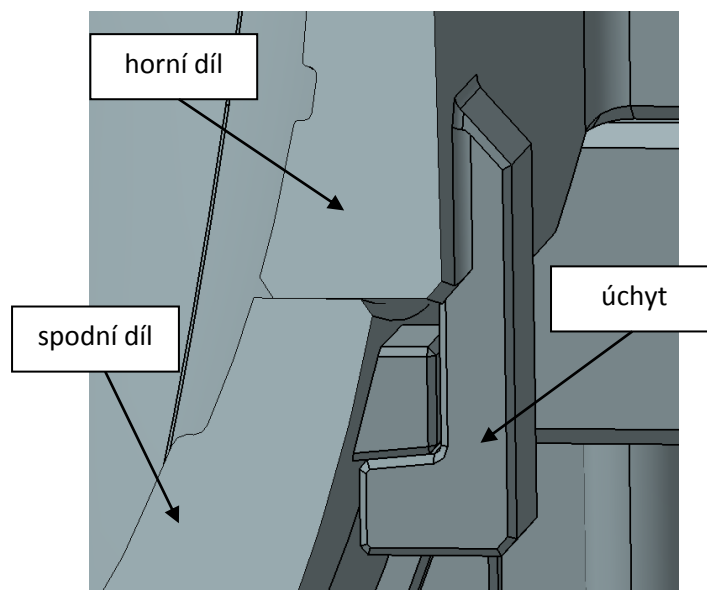
Obr. 60 Horní pohyblivý díl

Na koncích dílu jsou obrobené kapsy, do kterých zapadají sloupky spodního dílu (obr. 61). Tyto kapsy ve spojení se sloupky zabraňují horním dílům, aby se při výrobě lemu v přípravku pohybovaly.



Obr. 61 Uzamčení horního dílu v přípravku

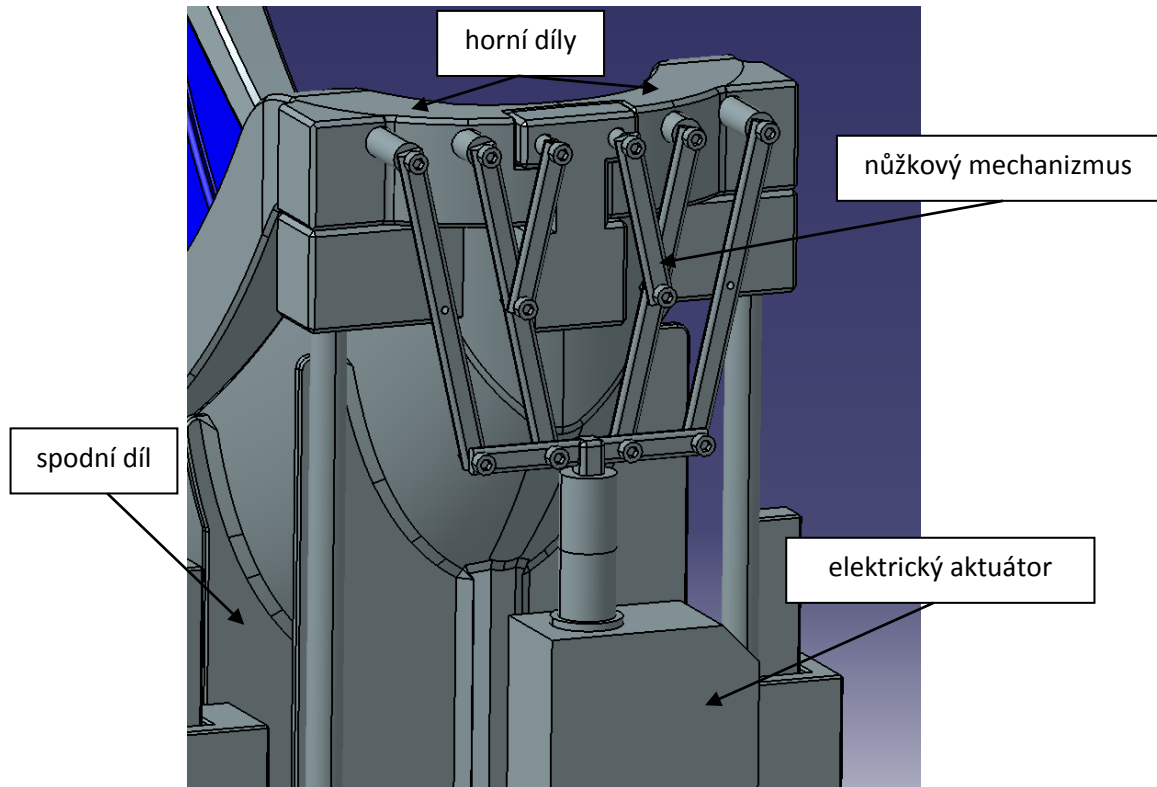
Ve střední části horního dílu je vytvořen úchyt (obr. 62), který stejně jako kapsy na koncích, zamezuje pohybu dílu v uzavřeném stavu.



Obr. 62 Úchyt na horním dílu

c) Nůžkový mechanismus

Pro rozevírání a zavírání přípravku byl vytvořen nůžkový mechanismus (obr. 63). Aby bylo zajištěno, že se horní díly budou posunovat pouze v horizontálním směru a nebudou se otáčet, což by mohlo vést ke vzpříčení nebo i zaseknutí horních dílů, je mechanismus dvojitý. Je po obou stranách, aby se přípravek rozevíral rovnoměrně.



Obr. 63 Nůžkový mechanismus

d) Lineární aktuátor

Pohyb nůžkového mechanismu je zajištěn elektrickým aktuátorem (obr. 64). Oproti plynovému je o trochu dražší. Výhoda elektrického je však plynulý chod. V tomto případě je nutné zajistit, aby se přípravek rozevíral a zavíral po obou stranách rovnoměrně. Tím se zabrání případným kolizím dílů přípravku a vzpříčení. U plynového pohonu nelze zajistit rovnoměrný chod a tím by mohlo docházet k poškození přípravku. Použití hydraulického pohonu by bylo možné, avšak takové řešení by bylo jak finančně, tak technicky náročnější. Proto byl zvolen elektrický.



Obr. 64 Elektrický aktuátor LA23 [10]

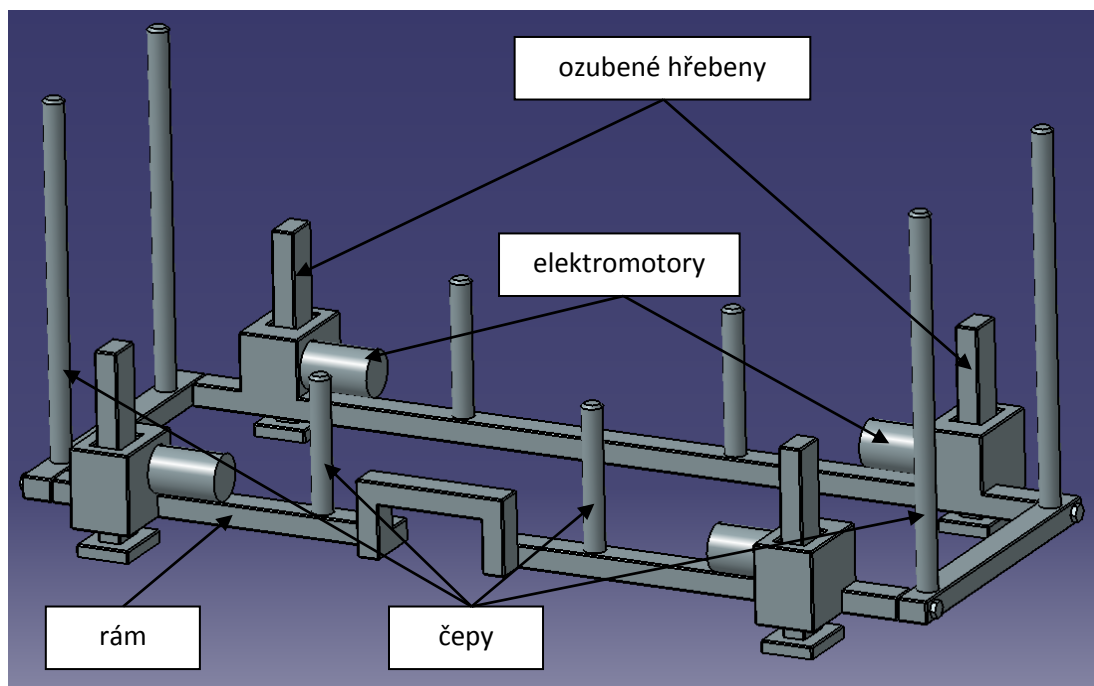
Pohon LA23 je malý a silný pohon, určený pro použití v tahu či v tlaku (až 2500 N). Lze jej použít v různých aplikacích, kde je limitujícím faktorem velikost aktuátoru. [18]

Výhody elektrického lineárního pohonu LA23 :

- Kompaktní design
- Velká zdvihová síla
- Výměnné kabely
- Možnost osazení systémem inteligentního řízení IC (pouze v provedení TECHLINE)
- Max. síla : 2500 N
- Max. rychlost : 12,6 mm/s

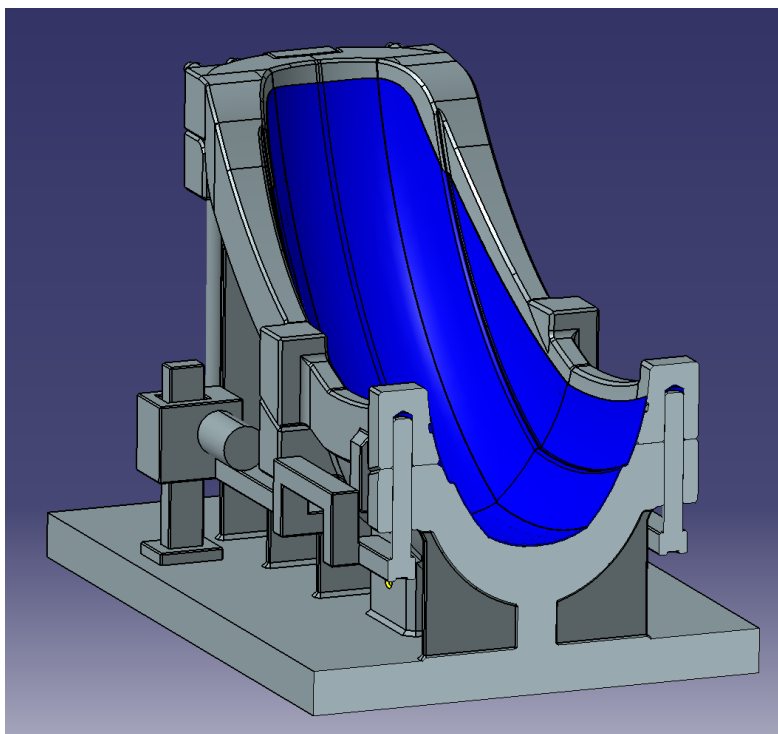
e) Rám s čepy a hřebenovým posunem

Pro zajištění horních pohyblivých dílů ve správné poloze v přípravku při vytváření lemu slouží lícované čepy o průměru 14 mm. Ty jsou zašroubované do nosného rámu. Čepy zároveň přenášejí zatížení vzniklé při výrobě lemu. Pohyb celého rámu s čepy zajišťují čtyři elektromotory. Ty pomocí ozubeného kola posouvají celý rám ve vertikálním směru po ozubeném hřebenu. Díky elektromotorům je pohyb lineární a plynulý.



Obr. 65 Rám s čepy a hřebenovým posunem

Celý rám je složený ze čtyř dílů. Na předním dílu nosného rámu je vytvořené přemostění. To proto, aby bylo možné připevnit k přípravku hadici od vývěvy, která vytváří podtlak v upínací části. Celé přemostění je svařované. Dále jsou k přednímu a zadnímu dílu přivařené bloky pro uchycení elektromotorů. Bloky také slouží jako vedení pro ozubené hřebeny. Boční díly rámu jsou k přednímu a zadnímu dílu přišroubované, aby bylo možné rám na přípravek namontovat a v případě potřeby výměny opotřebovaného dílu opět jednoduše rozmontovat.



Obr. 66 Horní pohyblivé části přípravku zajištěné čepy

Výhody	Nevýhody
nižší hmotnost	výroba odlitku u externího dodavatele
automatizované otvírání přípravku	složitější konstrukce
vyšší produktivita	vyšší cena
	více pohyblivých dílů - vyšší riziko vzniku poruch

Tab. 3 Klady a zápory varianty 2

Spodní díl této varianty přípravku by bylo možné vyrobit i jako svařenec. Ten je však pro výrobu tohoto přípravku méně vhodný než odlitek.

Odlitek

+	-
díl z jednoho kusu	výroba odlitku u externího dodavatele
není potřeba následného tepelného zpracování	
metoda spalitelného modelu přímo vhodná pro kusovou výrobu	
méně obrábění a odebraného materiálu	

Svařenec

+	-
výroba přímo ve firmě MBtech	velké množství odpadu při frézování hlavní části dílu
možnost modifikace během výroby	pracnost a náklady na výrobu jednotlivých částí
	nutnost tepelného zpracování pro odstranění pnutí po svařování
	kvalita svarů

4. Zhodnocení a doporučení

4.1 Výběr optimální varianty z hlediska fixních a variabilních nákladů

Byl proveden výpočet pro výběr optimální varianty z hlediska fixních a variabilních nákladů. Za pomoci prototypového centra byla stanovena cena výroby jednotlivých variant přípravku a průměrné variabilní náklady na výrobu jednoho kusu blatníku.

Cena výroby varianty 1: 240 000 Kč

Variabilní náklady varianty 1: 80 Kč

Cena výroby varianty 2: 350 000Kč

Variabilní náklady varianty 2: 50 Kč

Výpočet nákladového bodu zvratu:

$CN_1 = FN_1 + PVN_1 \cdot q$ celkové náklady varianty 1

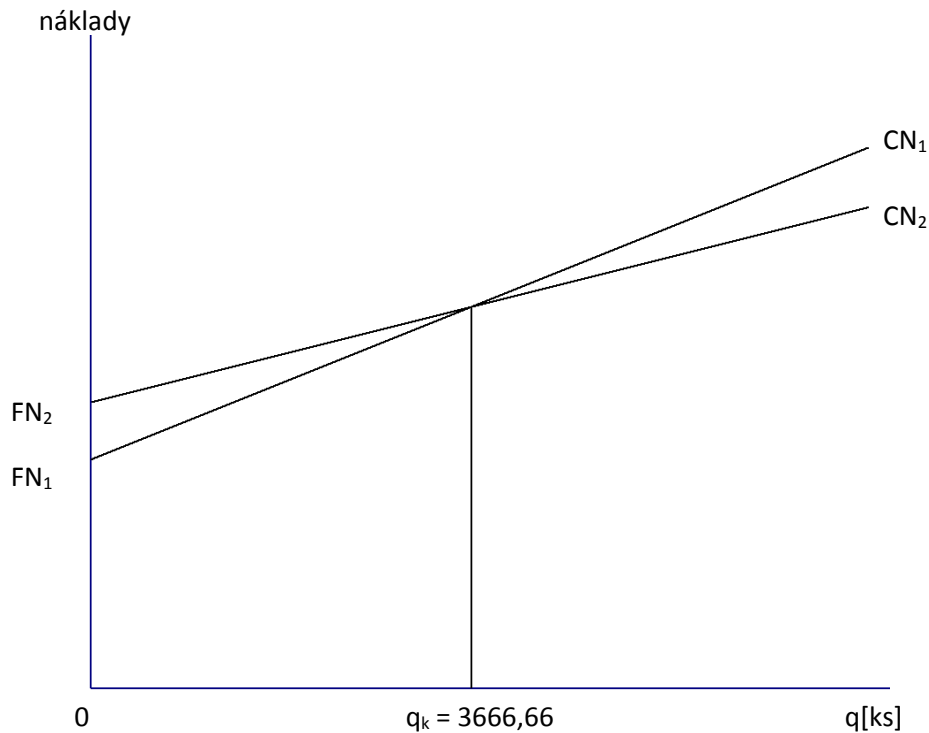
$CN_2 = FN_2 + PVN_2 \cdot q$ celkové náklady varianty 2

$CN_1 = CN_2$

$$q = \frac{FN_2 - FN_1}{PVN_1 - PVN_2} = q_k \quad (4.1)$$

$$q_k = \frac{350\,000 - 240\,000}{80 - 50}$$

$$q_k = 3666,66 \text{ ks}$$



Graf 1 Bod zvratu

CN – celkové náklady

FN – fixní náklady

PVN – průměrné variabilní náklady

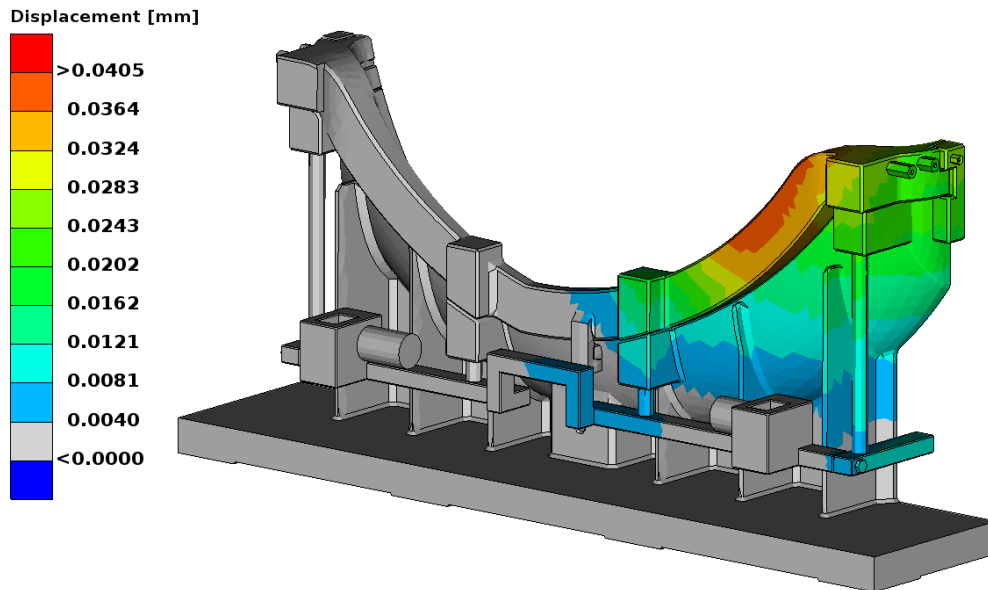
q – počet kusů

q_k – bod zvratu

Z výpočtu bylo zjištěno, že při výrobě do 3667 ks je výhodná varianta přípravku 1. Při počtu vyráběných kusů nad 3667, se stává výhodnější varianta 2. Jelikož vstupní údaje pro tento výpočet jsou v této fázi stanoveny přibližným odhadem, je výsledek výpočtu pouze orientační, ale ukazuje trend výhodnosti.

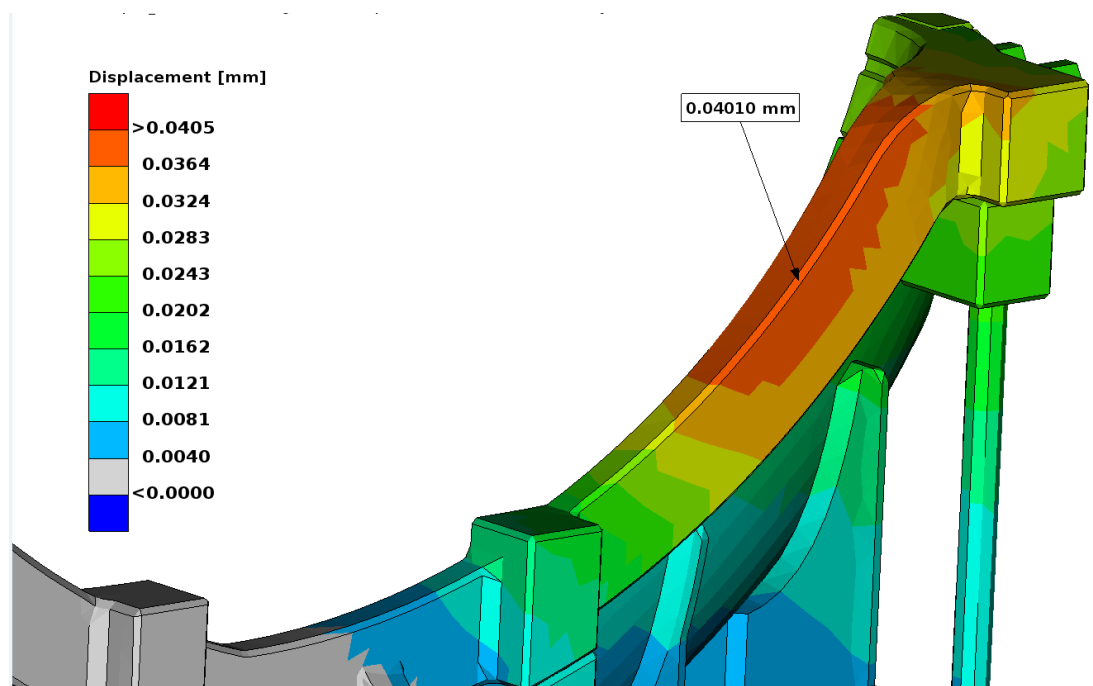
Dále pro ověření správné funkce přípravku byla provedena simulace zatížení vypočtenou silou 6304 N viz kapitola 3.2 *Výpočty – Výpočet tvářecí síly*. Pro simulaci byla zvolena varianta 2, u které je větší pravděpodobnost deformace, díky méně masivní konstrukci.

Zatížení bylo umístěno v drážce horního dílu, uprostřed mezi dvěma čepy, které upevňují horní díl. V tomto místě by měla být deformace největší. Výsledek simulace je vidět na obr. 67.



Obr. 67 Simulace zatížení

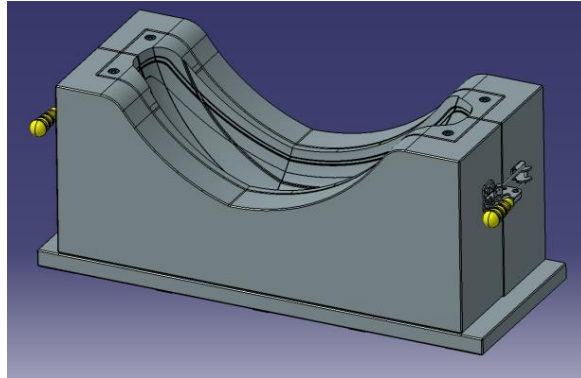
Velikost deformace horního dílu je 0,0401 mm. Pro účel daného přípravku je tato hodnota přijatelná a navržená konstrukce **vyhovuje**.



Obr. 68 Deformace přípravku

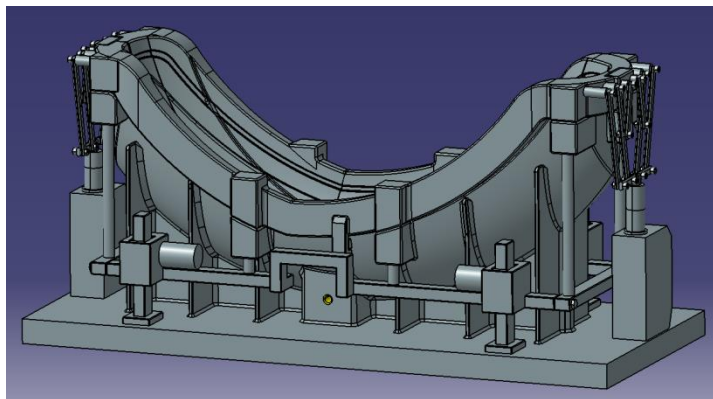
Volba varianty pro použití ve výrobě je závislá na množství vyráběných kusů ročně.

Při plánování výroby do přibližně 3667 kusů ročně, by byla nejvhodnější varianta 1. Je jednoduchá na výrobu. Manuální ovládání otvírání a zavírání přípravku snižuje produktivitu, ale zároveň je levnější pořizovací cena přípravku a snazší údržba.



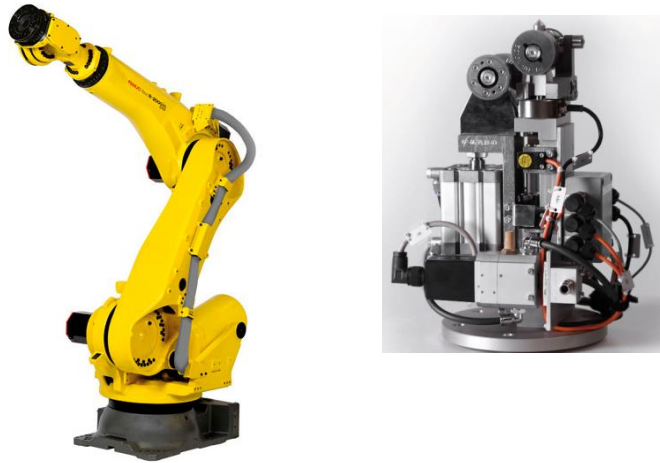
Obr. 69 Přípravek varianta 1

V případě, že by se plánovala výroba nad 3667 kusů ročně, byla by výhodnější varianta 2. Otvírání a zavírání přípravku je automatizované, což usnadňuje obsluhu a zvyšuje produktivitu. Je však dražší a náročnější na údržbu a i díky své složitější konstrukci je náchylnější ke vzniku závad.



Obr. 70 Přípravek varianta 1

Pokud by se plánovala výroba lemů i na jiných dílech, nebo do budoucna výroba nových typů blatníku, na kterých bude takovýto lem, tak je potřeba zvážit, zdali by nebylo vhodnější pořídit univerzální stroj, který by bylo možné použít na všech dílech. Protože tyto dvě navržené varianty jsou pouze jednoúčelové na výrobu lemu na jednom konkrétním typu blatníku. V tomto případě by se musel navrhnout jiný modulární přípravek, který by umožňoval výměnu potřebných dílů podle daného typu blatníku. Pravděpodobně by bylo výhodnější pořídit průmyslového robota s lemovací hlavou, který by se dal jednoduše použít na libovolný tvar blatníku a i na jiné díly karoserie motocyklu. Ale pořizovací cena robota je mnohem vyšší a muselo by se pro něj najít využití i na jiných dílech, případně i pro svařování a jiné operace.



Obr. 71 Průmyslový robot a lemovací hlava [4] [5]

5. Závěr

Cílem této práce bylo navržení nového výrobního postupu pro výrobu lemu blatníku. Předmětem návrhu bylo zvýšení kvality vyráběných dílů a zvýšení produktivity výroby, jelikož současný postup výroby má vysokou zmetkovitost a musejí být vynaloženy další finance na následnou opravu.

Během řešení této práce, bylo zapotřebí dodržet požadavky zákazníka. Hlavním požadavkem bylo využití stávajícího strojního zařízení zákazníka, aby nevznikla nutnost pořízení nového vybavení jen pro potřebu tohoto výrobního postupu.

V této práci bylo navrženo řešení ve dvou variantách. Obě jsou založena na stejném principu. Toto řešení využívá stávajícího strojního zařízení zákazníka a to konkrétně 5osou CNC frézku. Aby bylo možné dodržet standardy a základní pravidla lemování, bylo nutné v úvodu práce zmapovat současný stav technologie lemování a nezbytně nutné výpočetní modely v závislosti na typu lemu, použitém materiálu a jeho tloušťce. Díky tomu bylo možné tyto získané znalosti z rešerše aplikovat pro správnou funkci vlastního řešení.

Navržené varianty se od sebe liší složitostí výroby, hmotností a náročností obsluhy. Varianta 1, je jednodušší na výrobu, má jednoduchý systém otvírání a zavírání pro účel vložení a vyjmutí vyráběného dílu. Nakupované součásti pro přípravku, jako jsou hákové upínky, pružiny, nebo kuličkové dopravní jednotky, jsou levnější. Nevýhodou této varianty je její vyšší hmotnost a manuální otvírání a zavírání přípravku. Varianta 2 byla navržena jako sofistikovanější řešení. Pro snadnější obsluhu je otvírání a zavírání přípravku automatizované. Toto řešení má nižší hmotnost. Nevýhodou jsou dražší nakupované díly, které zajišťují pohyb pohyblivých částí přípravku, jako jsou elektromotory a elektrické aktuátory.

V současné době se zákazník ještě nerozhodl, zda toto řešení využije. Proto funkčnost a spolehlivost přípravku nemůže být zatím posouzena. Ale pro dané požadavky ze strany zákazníka, by navržená varianta 1 měla být optimální a cenově nejdostupnější.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Technologie lemování plechů*; [cit. 2017-17-11] online dostupný z:
https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/66880/2017_BP_Sobotkova_Katerina_170555.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [2] *Přední blatník Jawa*; [cit. 2017-7-10] online dostupný z:
<http://www.4jawa.cz/produkt/166/zadni-blatnik-jawa-kyvacka-175>
- [3] *Přední blatník Jawa*; [cit. 2017-7-10] online dostupný z:
<https://shop.jawacz-dily.cz/plechy-kryty-nosice-c748/predni-blatnik-jawa-kyvacka-panelka-turecky-i3660/>
- [4] *Lemovací hlava*; [cit. 2017-12-12] online dostupný z:
<http://www.fft.de/en/products/fft-rollfalztechnik/fft-edhs130.html>
- [5] *Fanuc: Průmyslový robot*; [cit. 2017-12-12] online dostupný z:
<https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%a1nka-filtru-robot%c5%af/%c5%99ada-r-2000/r-2000ic-270f>
- [6] *Grandic: Lemovací rolna*; [cit. 2018-5-1] online dostupný z:
<http://www.grandic.cz/kombi-brusky-srazecky-hran-dlabacky-hoblovky-frezy-lisy-soustruhy-bernardo-sm-200-signovacka-bernardo>
- [7] *Kuličková dopravní jednotka*; [cit. 2018-9-2] online dostupný z:
<https://cz.rs-online.com/web/p/kulickove-dopravni-jednotky/0687972/>
- [8] *Katalog kuličková dopravní jednotky*; [cit. 2018-20-2] online dostupný z:
<http://www.vkloziska.cz/kulickove-dopravni-jednotky>
- [9] *Technologie zhotovení odlitků*; [cit. 2018-15-3] online dostupný z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=31397
- [10] *Linak: Elektrické aktuátory*; [cit. 2018-2-4] online dostupný z:
<http://www.linak.cz/products/linear-actuators.aspx?product=LA23>
- [11] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 8021426837.
- [12] BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia: časť Plošné tvárnenie*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2004, 97 s. Edícia skript. ISBN 8022721565.
- [13] SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. ISBN 9788021444065.
- [14] LAI, Zhipeng, Xiaotao HAN, Quanliang CAO, Li QIU, Zhongyu ZHOU a Liang LI. The Electromagnetic Flanging of a Large-Scale Sheet Workpiece. *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on* [online]. USA: IEEE, 1406, 24(3), 1-5 [cit. 2018-12-02]. DOI: 10.1109/TASC.2013.2285443. ISSN 10518223. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/document/6627961/?reload=true>

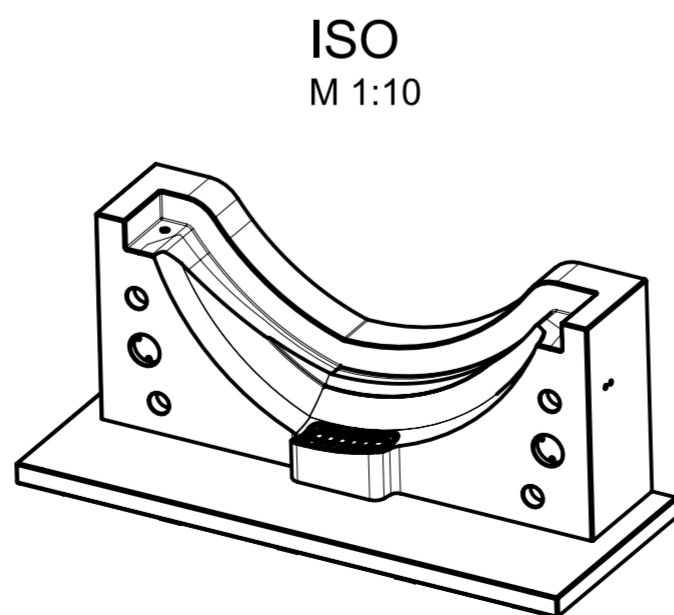
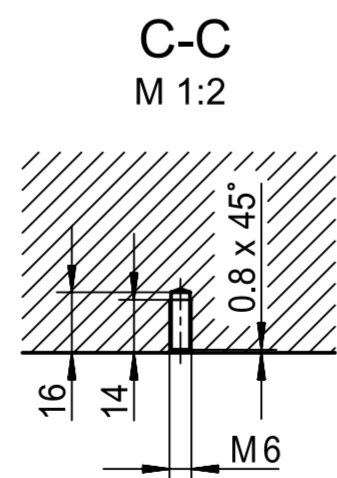
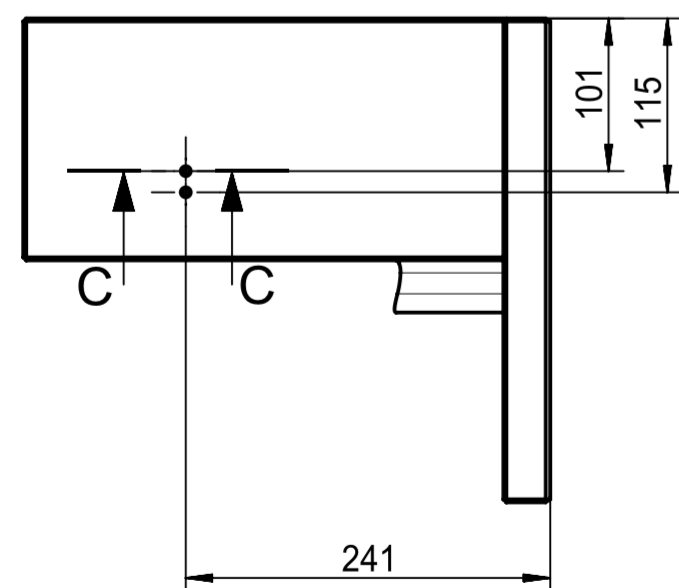
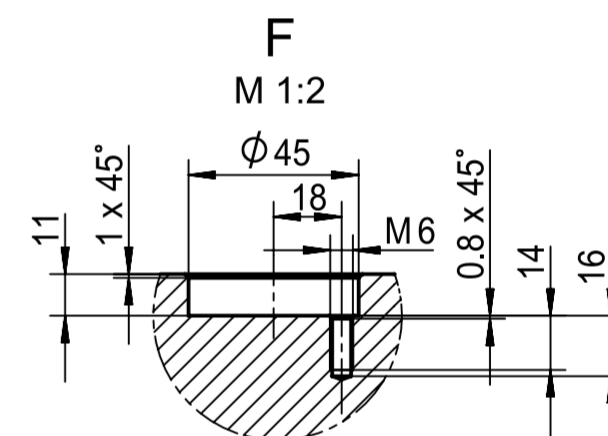
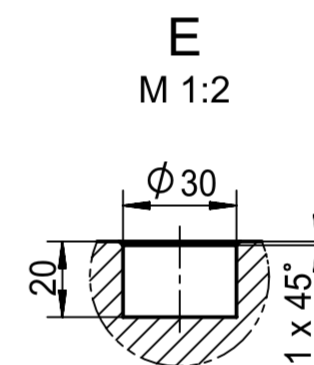
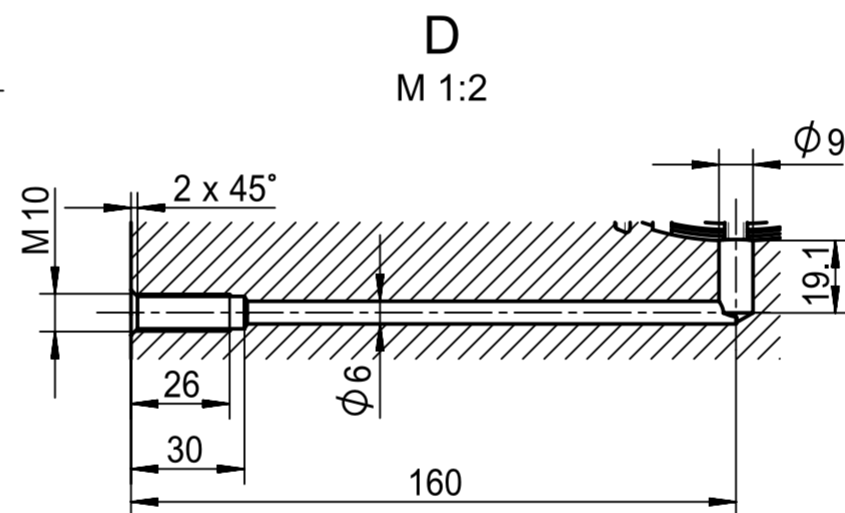
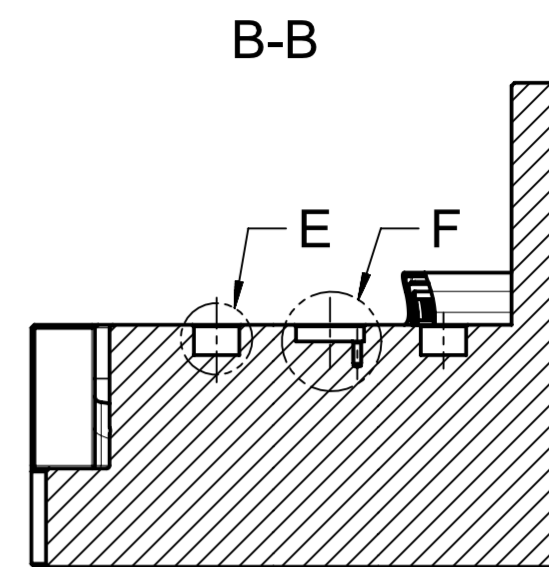
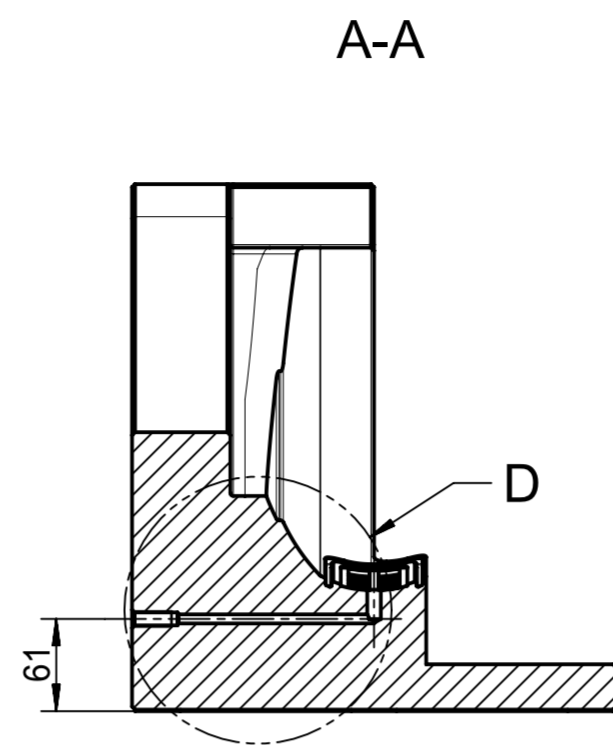
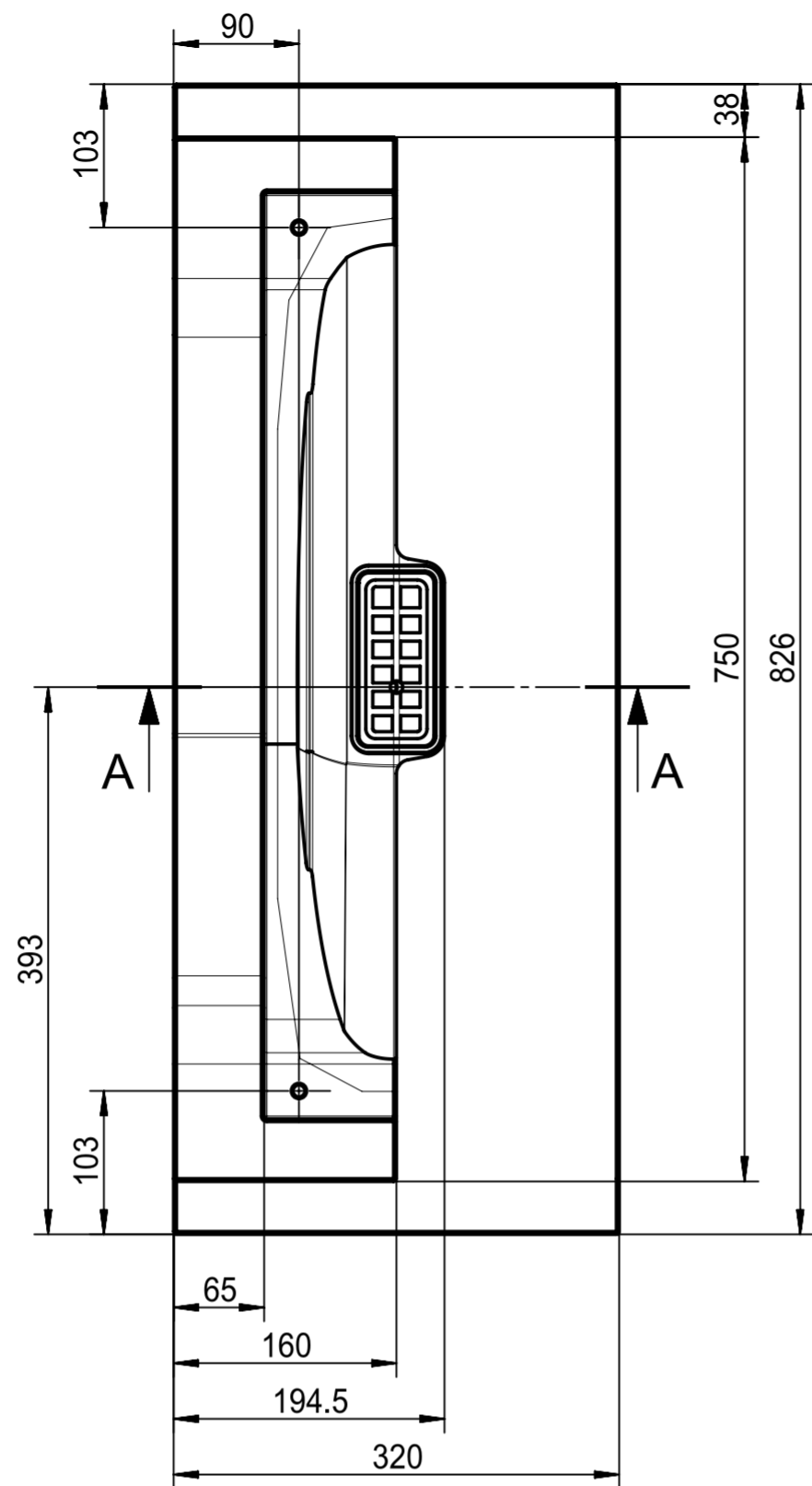
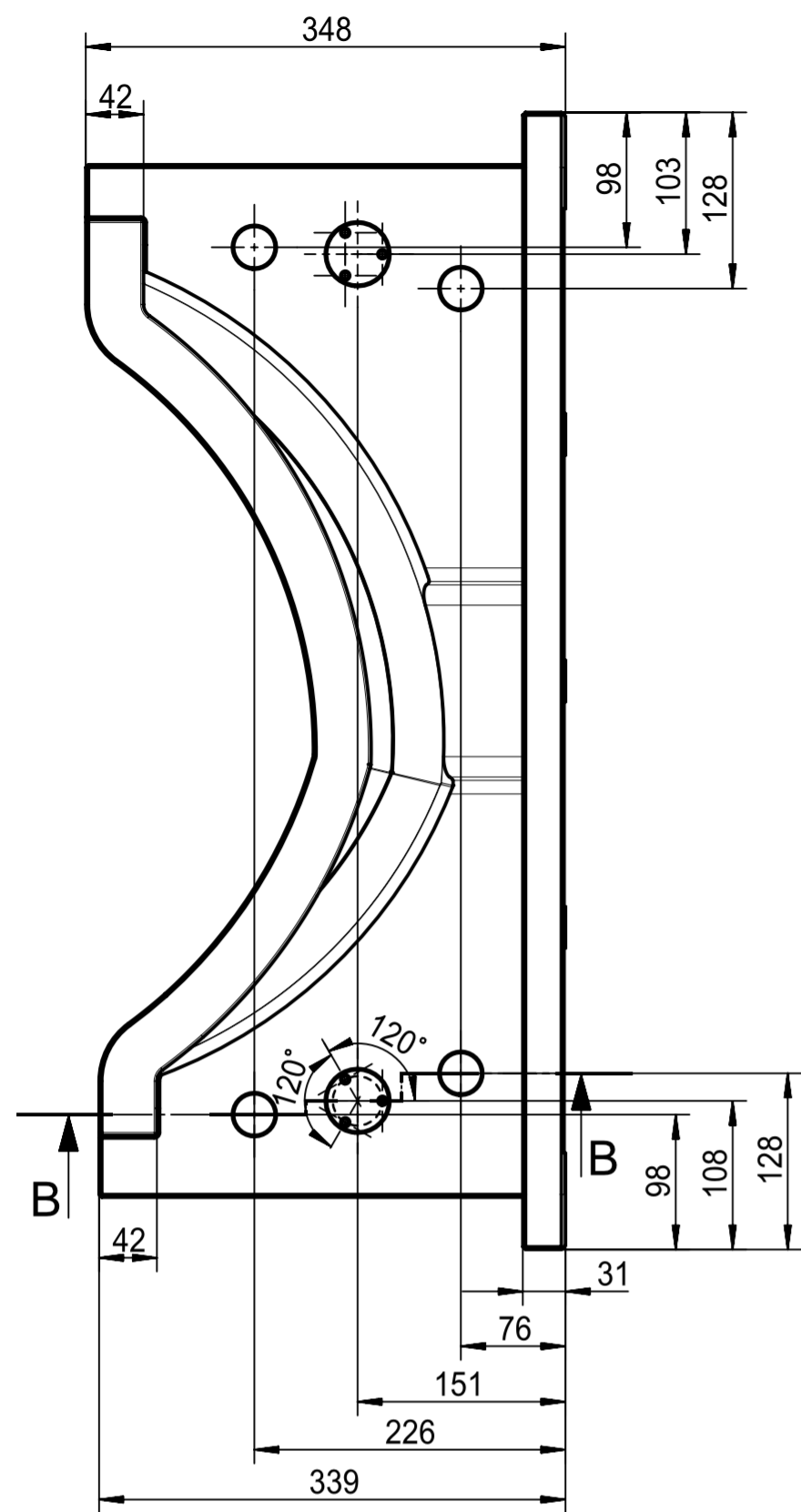
- [15] ŽÁK, Jan, Bohumil BUMBÁLEK a Radko SAMEK. *Speciální letecké technologie I: Určeno pro posl. fak. strojní*. Brno: Československá redakce VN MON, 1990. ISBN 80-214-0128-1.
- [16] SAMEK, Radko. *Analýza mezního stavu plastičnosti a technologické tvářitelnosti*. Praha: VA AZ, 1988.
- [17] BŘEZINA, Richard a Radek ČADA. *Speciální technologie: Technologie a tváření*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1992, 249 s. ISBN 807078122X.
- [18] *Feltrin a Guidolin*; [cit. 2018-07-03] online dostupný z: <http://www.feltrineguidolin.it/en/folding-dies-and-flanging-dies/>
- [19] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [20] *Nejlepší nářadí: ruční lemováčky*; [cit. 2018-20-03] online dostupné z: http://www.nejlepsinaradi.cz/cz_rucni-signovacky,213055.html
- [21] *Eckold: mobilní lemovací kleště*; [cit. 2018-28-03] online dostupný z: <http://www.eckold.cz/produkty/mz-30-88>
- [22] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 8021404019.

Seznam obrázků

Obr. 1 Výlisek blatníku	10
Obr. 2 a 3 Ukázka hotového lemu [2,3]	10
Obr. 4 Rozměry blatníku	11
Obr. 5 Průběh napětí a deformace průřezu [5]	13
Obr. 6 Odpružení tvářeného dílu [12]	14
Obr. 7 Diagram k určení úhlů odpružení pro různé materiály [12].....	15
Obr. 8 Ohýbací síla v závislosti na pozici nástroje [11].....	16
Obr. 9 Nástroj a přípravek pro ohýbání do tvaru V [1].....	17
Obr. 10 Nástroj a přípravek pro ohýbání do tvaru U [1].....	18
Obr. 11 Porušení materiálu při ohýbání [11].....	18
Obr. 12 Defekty lemu [1]	19
Obr. 13 Lemování pomocí pevného nástroje [13].....	20
Obr. 14 Lemování nepevným nástrojem [13]	21
Obr. 15 Princip EMF [1]	22
Obr. 16 Typy lemů [1].....	23
Obr. 17 Vypuklý lem [15]	23
Obr. 18 Vypuklý lem [1]	24
Obr. 19 Diagram Woodova typu pro tvorbu vydutého lemu [16].....	25
Obr. 20 Diagram Woodova typu pro tvorbu vypuklého lemu ($p_{c2} > p_{c1}$) [16].....	26
Obr. 21 Lemování pomocí ruční lemovačky [1]	26
Obr. 22 Ruční lemovací stroje [20].....	27
Obr. 23 Lemovací kleště [21].....	27
Obr. 24 Motorizované lemovačky [1]	28
Obr. 25 Lemovací hlavy [4]	28
Obr. 26 Průmyslový robot [5]	29
Obr. 27 Navržený přípravek.....	32
Obr. 28 Vložení blatníku do přípravku	33
Obr. 29 Ukázka lemovací rolny [6].....	33
Obr. 30 Řez rolnou a vložkou přípravku.....	33
Obr. 31 Půdorys dráhy lemovací rolny	34
Obr. 32 Nábys dráhy lemovací rolny	34
Obr. 33 Schéma dráhy lemovací rolny v přípravku	34

Obr. 34 Přípravek v řezu	35
Obr. 35 Rolna v přechodovém rádiu.....	35
Obr. 36 Místa možného vzniku vzpříčení	36
Obr. 37 Díl se základnou.....	36
Obr. 38 Úprava spodní plochy přípravku.....	37
Obr. 39 Systém pro podtlakové upnutí.....	37
Obr. 40 Odsávací kanál s připojením pro ventil.....	38
Obr. 41 Sklon boků	39
Obr. 42 Zhloubení pro uložení rozevíracích pružin	39
Obr. 43 Vrtání pro uchycení čepů	40
Obr. 45 Středící čep.....	40
Obr. 44 Čep a pružiny uložené v přípravku	40
Obr. 46 Pohyblivý díl	41
Obr. 47 Dosedací plochy	41
Obr. 48 Kuličková dopravní jednotka [7, 8]	42
Obr. 49 Kuličková dopravní jednotka v přípravku	42
Obr. 50 Vložka	43
Obr. 51 Háková upínka	43
Obr. 52 Automatizovaný přípravek.....	44
Obr. 53 Rozevřený přípravek	44
Obr. 54 Spodní díl	45
Obr. 55 Spodní díl	46
Obr. 56 Bloky.....	46
Obr. 57 Úprava sloupků	47
Obr. 58 Spodní plocha sloupků.....	47
Obr. 59 Úchyty	48
Obr. 60 Horní pohyblivý díl.....	48
Obr. 61 Uzamčení horního dílu v přípravku	49
Obr. 62 Úchyt na horním dílu	49
Obr. 63 Úchyt na horním dílu	50
Obr. 64 Elektrický aktuátor LA23 [10].....	50
Obr. 65 Rám s čepy a hřebenovým posuvem.....	51
Obr. 66 Horní pohyblivé části přípravku zajištěné čepy	52

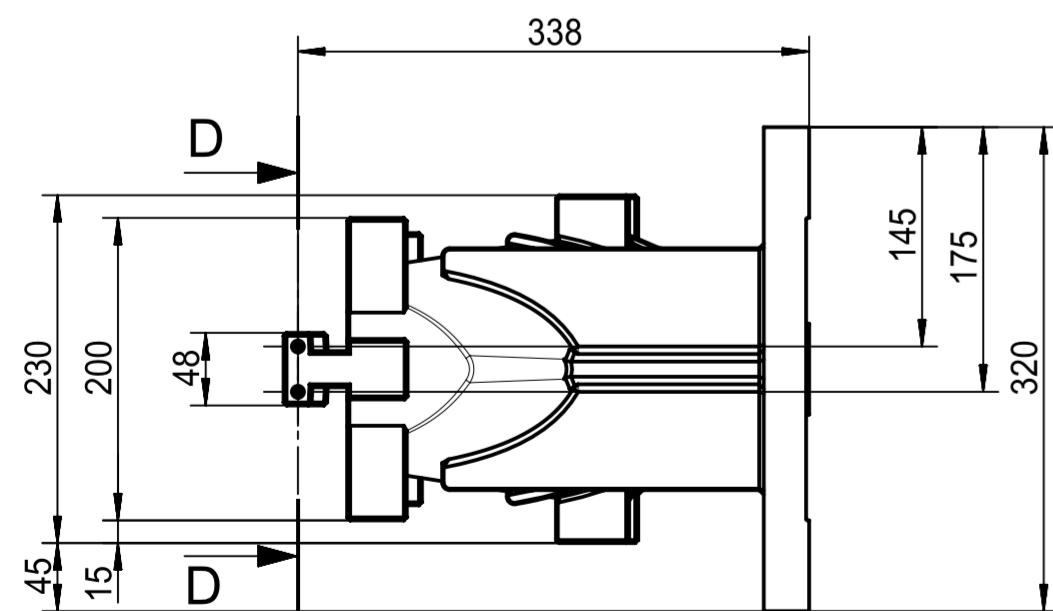
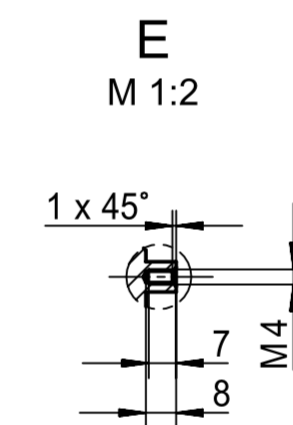
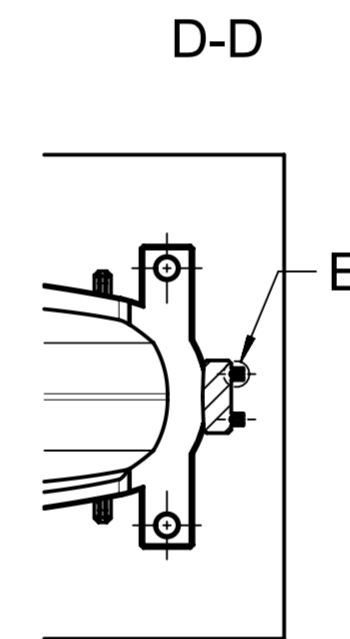
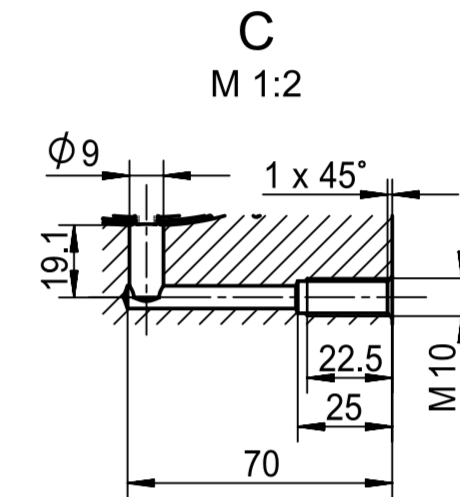
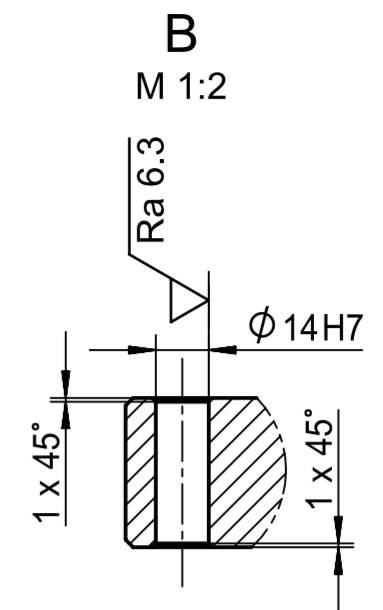
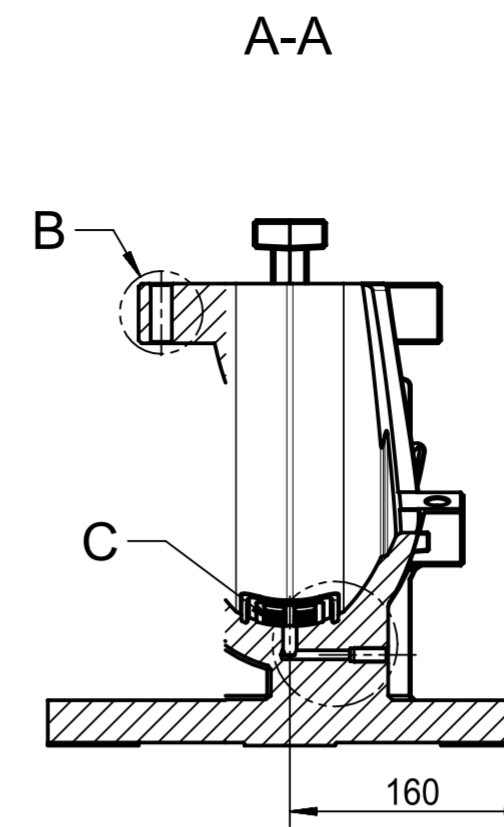
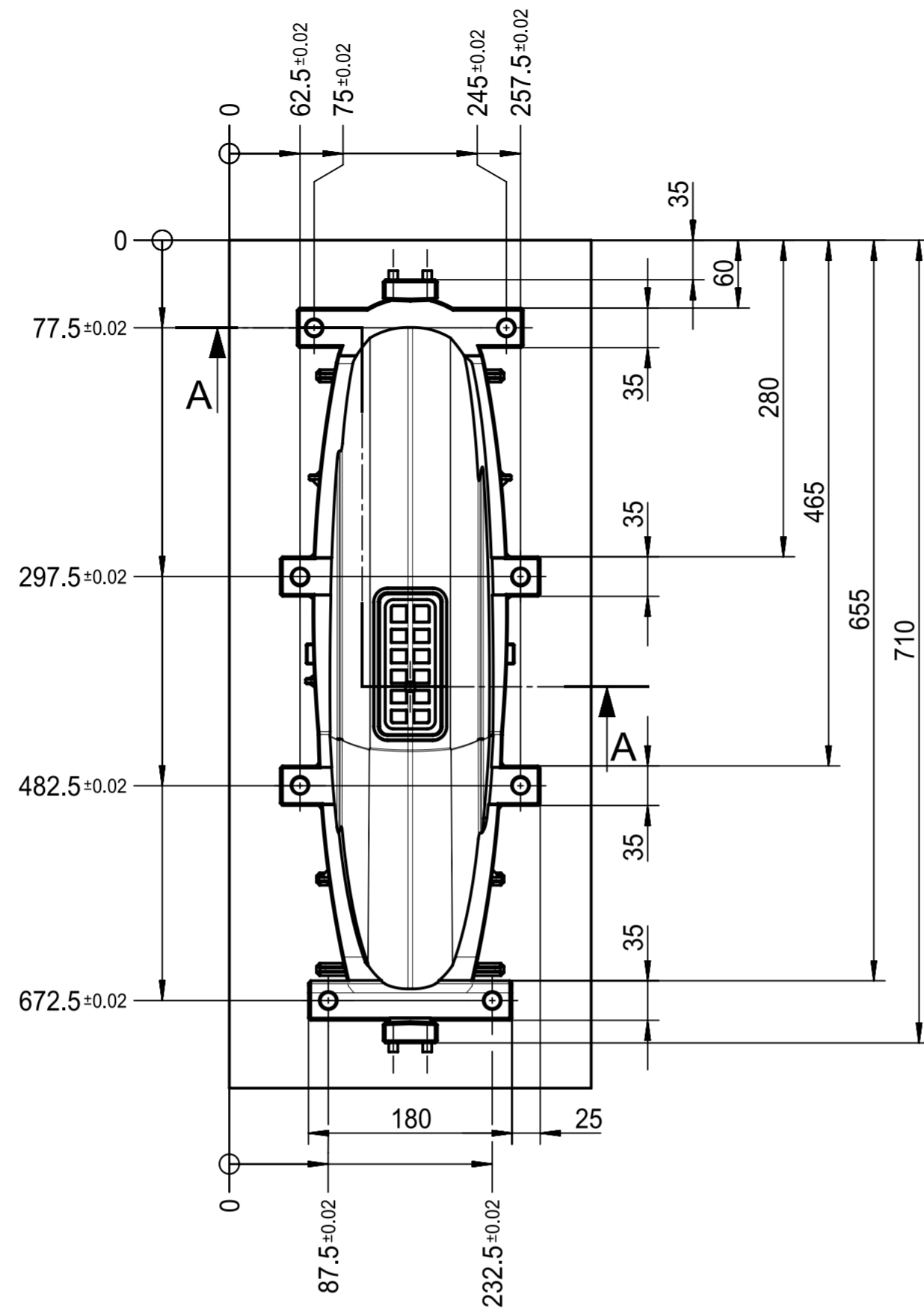
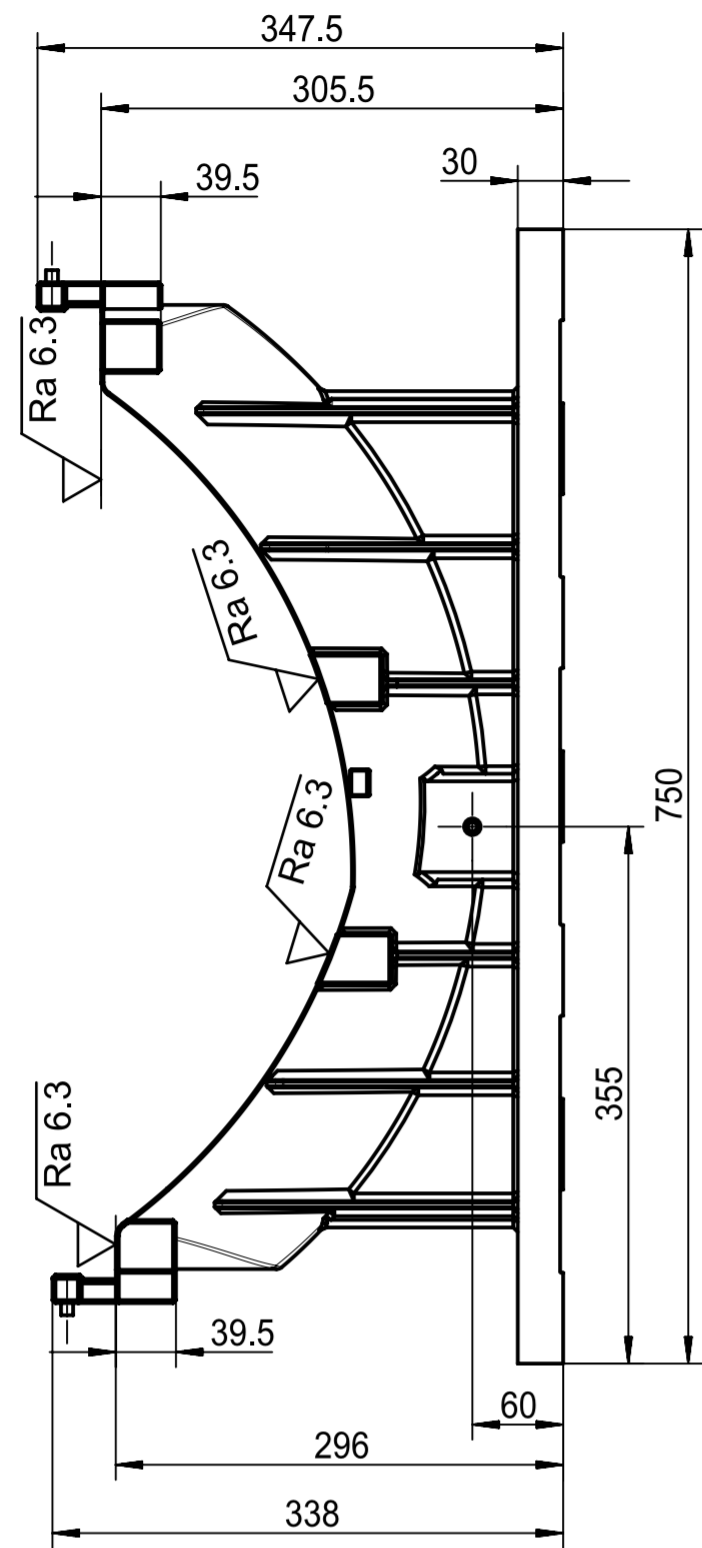
Obr. 67 Simulace zatížení	55
Obr. 68 Deformace přípravku	55
Obr. 69 Přípravek varianta 1	56
Obr. 70 Přípravek varianta 1	56
Obr. 71 Průmyslový robot a lemovací hlava [4] [5]	57



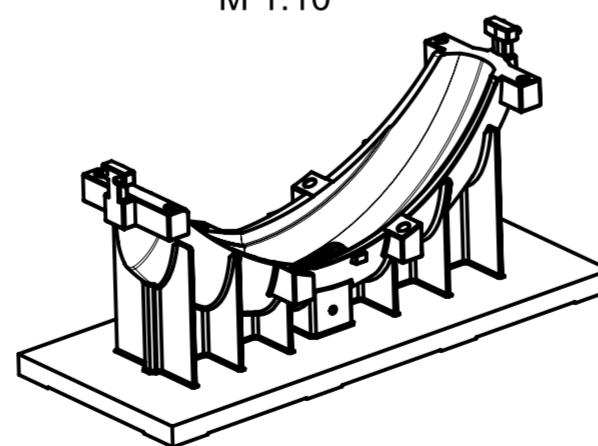
$\sqrt{\text{Ra } 25}$ ($\sqrt{\text{Ra } 6.3}$)

Missing dimensions in 3D data

Norm-Dimension		826 x 320 x 349		Title: PRIPRAVEK 1	
Surface of metal finish:					
Scale: 1:5	Material: EN 10 025 - 2 - 1.0038	Weight: 202 kg	Drawing Number: J-10082018		
	Design Engineer: Libor Kupilik	Date: 26.09.2018			
	Tolerances DIN 2768-m		Release:		
List: 1	Format: A2	Projection: 			



ISO
M 1:10



Missing dimension in 3D data

Norm-Dimension		750 x 320 x 347.5			
Surface of metal finish:					
Scale: 1:5	Material:	CSN 42 2670	Weight:	103, kg	
	Design Engineer:	Libor Kupilik			
	Date:	27.09.2018			
Tolerances DIN 2768-m				Drawing Number:	Release:
List: 1	Format: A2	Projection:			
				J-12082018	

