

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Konstrukce ohýbacího nástroje pro díly  
'chytré zárubně'

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Autor:** Jan Petr

**Studijní program:** Teoretický základ strojírenského  
inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Valeš

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petr** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **475072**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukce ohýbacího nástroje pro díly 'chytré zárubně'**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of bending tool for production of 'smart door frame'**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem práce je návrh konstrukce ohýbacího nástroje využívaného pro výrobu dílů použitých ke konstrukci 'chytré zárubně'.

- 1) Úvod do problematiky tváření
- 2) Návrh konstrukce ohýbacího nástroje
- 3) Příprava výkresové dokumentace
- 4) Shrnutí výsledků a závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Vukota Bojanovic  
ASM Handbook Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming  
Metal Forming Handbook, SCHULER GmbH  
Další literatura na doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Michal Valeš, ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. František Tatíček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

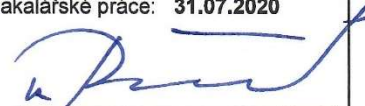
Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**



Ing. Michal Valeš  
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.



Datum převzetí zadání



Podpis studenta

**Abstrakt:**

Teoretická část této práce se zabývá technologií plošného tváření se zaměřením na ohýbání a hluboké tažení. Praktická část se věnuje návrhu ohybového nástroje pro díly 'chytré zárubně' pro firmu Kerval a.s. s cílem vytvořit kompletní výrobní dokumentaci.

**Klíčová slova:**

Plošné tváření; ohýbání; ohýbací nástroj; dveřní zárubeň

**Abstract:**

Theoretical part of this thesis deals with technology of sheet metal forming with focus on bending and deep drawing. Experimental part describes designing process of bending tool for parts of 'smart door frame' for Kerval a.s. The main goal of this thesis is to create a complete manufacturing documentation of that tool.

**Keywords:**

Sheet metal forming; bending; bending tool; door frame

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Konstrukce ohýbacího nástroje pro díly 'chytré zárubně“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Valeše, s využitím literatury, která je uvedena v seznamu použité literatury na konci této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne.....

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Valešovi a konzultantovi Ing. Františku Tatíčkoví, Ph. D za cenné rady při návrhu nástroje a celkově za pomoc při psaní této práce. Také bych rád poděkoval Ing. Břetislavu Machkovi za rady ohledně technologických postupů.

# Obsah

1. Úvod.....	7
2. Tváření.....	8
2.1 Dělení.....	8
3. Plošné tváření.....	10
3.1 Hluboké tažení.....	10
3.2 Ohýbání.....	12
3.2.1 Neutrální osa.....	12
3.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu.....	13
3.2.3 Odpružení.....	14
3.2.4 Základní operace ohýbání.....	17
3.2.5. Ohybová síla pro ohyby tvaru V, U a přes hranu.....	21
3.2.6 Vliv vláken na ohýbání.....	23
3.2.6 Zkoušky ohýbatelnosti.....	24
3.2.6 Technologické zásady.....	25
4. Ohybový nástroj.....	26
4.1 Princip chytrých zárubní.....	26
4.2 Analýza vyráběných dílů.....	27
4.3 Výpočty.....	28
4.3.1 Výpočet odpružení zobáčků.....	28
4.3.2 Výpočet ohýbací síly.....	31
4.4 Konstrukční řešení nástroje.....	32
4.5. Průběh ohýbání.....	35
5. Závěr.....	38
6. Seznam literatury.....	39
7. Seznam příloh.....	41

# 1. Úvod

V současné výrobní praxi se klade velký důraz na optimalizaci výrobních postupů. Toho je dosahováno zvýšením sériovosti, standardizací, ale hlavně snižováním výrobních nákladů. Platí ovšem, že čím je výrobek jednodušší a čím větší je sériovost jeho výroby, tím je těžší výrobní proces optimalizovat. Ještě těžší je to u výrobků, které musejí splňovat bezpečnostní a jiné normy a předpisy. Přesně to je situace, ve které se nacházejí výrobci dveřních zárubní, které se montují do každého domu v desítkách kusů.

Jednou z možností výroby dveřních zárubní je vyrábět je svařováním z tvarovaných plechů, což jim zajišťuje vlastnosti jako například tuhost, pevnost nebo protipožární ochranu, které potřebují, aby splnily bezpečnostní zkoušky, dostaly stavebně technické osvědčení (STO) a mohly být používány. Distribuce těchto výrobků probíhá v již svařeném stavu, což je velice neefektivní. V osobním autě je téměř nemožné je převézt a při hromadné přepravě zaberou mnoho místa, přičemž většina z toho je jen vzduch. Složitější rovnání s vyplňováním mezer je vyloučené z důvodu poměrně vysoké hmotnosti.

Firma Kerval a.s. přišla s řešením (tzv. projekt chytrých zárubní), které má tyto nedostatky odstranit, a přitom zůstanou zachovány všechny vlastnosti, které jsou potřeba k získání STO. Tato práce se nezabývá konstrukcí tohoto řešení, ale návrhem nástroje a technologického postupu pro ohýbání dílů, které toto řešení realizují. Cílem práce je tedy tvorba výkresové dokumentace pro realizaci ohýbacího nástroje.

## 2. Tváření

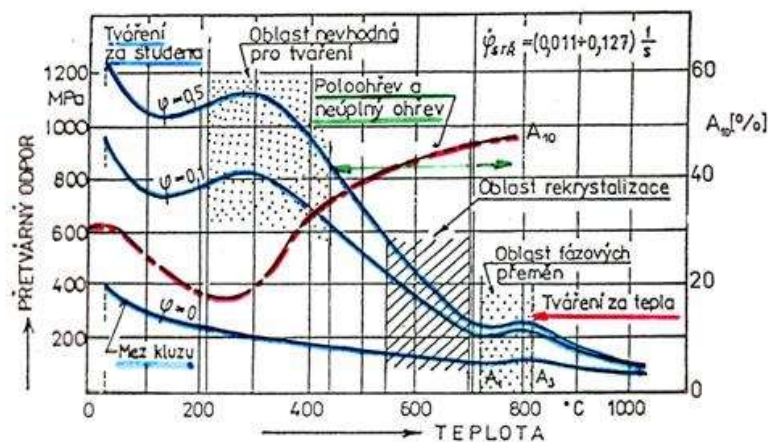
Tváření kovů je proces, při kterém se vlivem vnějších sil mění rozměrové a mechanicko-fyzikální vlastnosti zpracovávaných dílců, a během kterého nedochází k úběru materiálu, tj. není ubírána tříska. K těmto změnám dochází v důsledku plastických deformací, které nastanou při překročení meze kluzu daného materiálu. Nesmí být ovšem překročena mez pevnosti, protože jinak dojde ke znehodnocení zpracovávaného dílce.

Mezi výhody tváření patří značná produktivita práce, minimum odpadového materiálu a schopnost přiblížit se rozměrově konečnému produktu. Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací ceny strojů a nástrojů a také existují limity velikosti vyráběných dílů. [1]

### 2.1 Rozdělení technologie tváření

Základní dělení tváření je podle teploty a podle působení vnějších sil.

**Dělení podle teploty:** Sledujeme vztah teploty tvářeného dílce a kritické teploty, kterou je teplota rekrystalizace (uvádí se jako 40% teploty tání v Kelvinech daného materiálu). Probíhají-li operace za teploty nižší jak rekrystalizační (do cca 30% teploty tání), pak mluvíme o tváření za studena, při kterém dochází ke zpevňování materiálu a klesá míra plastičnosti daného materiálu. Toto lze obnovit žiháním nad rekrystalizační teplotu. Pokud probíhá celá operace nad touto teplotou (nad cca 70% teploty tání) jde o tváření za tepla. Zde ke zpevňování nedochází (respektive se obnovuje dostatečně rychle) a je možné dosáhnout mnohem větších deformací s vynaložením mnohem menších sil. Interval mezi těmito dvěma typy označujeme jako tváření za poloohřevu a většinou jde o kompromis mezi oběma předchozími. [1] [3]



Obrázek 1 - Rozdělení tváření podle teploty [1]



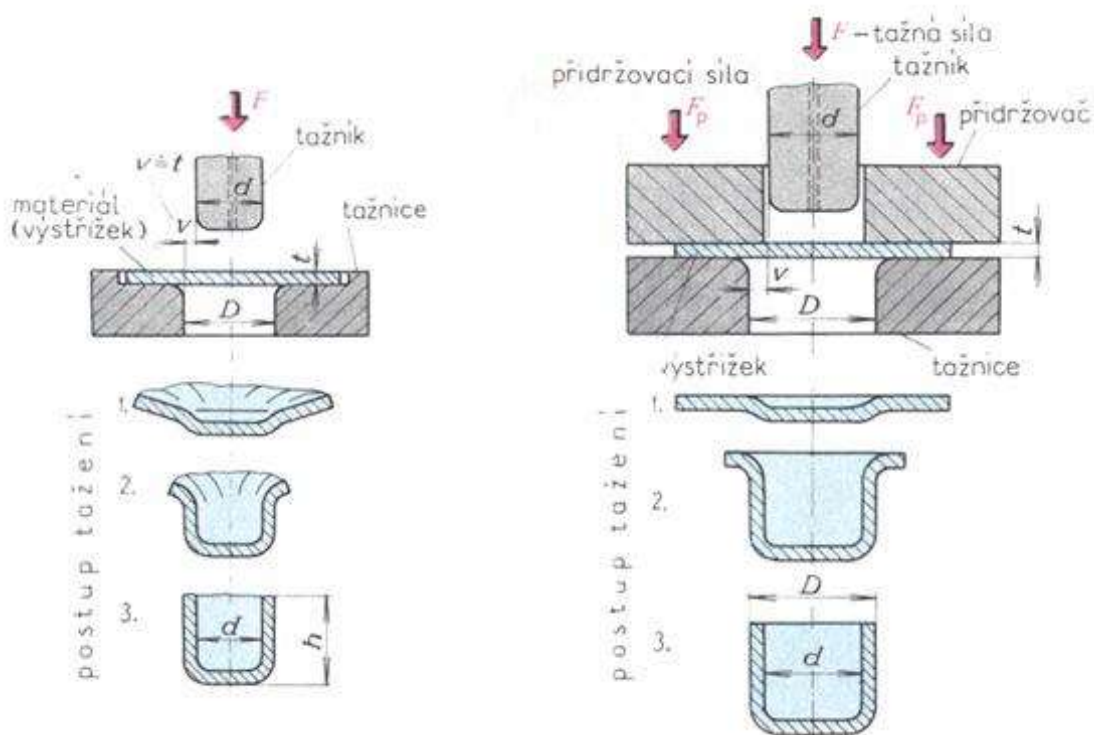
**Dělení podle stupně deformace:** Sledujeme v kolika směrech probíhá deformace v materiálu. Tváření, které vyvolává šíření deformace jen ve dvou směrech, nazýváme plošným, do něhož patří například tažení, ohýbání a stříhání. Druhým typem je tváření objemové, při kterém nastává deformace ve všech třech směrech. Objemovým tvářením jsou například kování, válcování a protlačování. [1] [3]

## 3. Plošné tváření

### 3.1 Hluboké tažení

Hluboké tažení je technologická operace, při které se rovinný plechový přístřih přetvoří na prostorový nerozvinutelný tvar. Mezi operace hlubokého tažení patří především technologie prostého tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování nebo zužování. Lze vytahovat tvary jak rotačně symetrické, tak hranaté, pokud budou mít zaoblené rohy.

Při tažení s vysokým stupněm deformace má materiál v oblasti příruby tendenci se vlnit. Tomu lze zabránit použitím větší tažné mezery, přidržovače nebo brzdných drážek, které zpomalují tok materiálu a lze je využívat lokálně. Kvůli nebezpečí utržení dna je také nutné většinou tvářet na několik operací. [1] [2] [3]

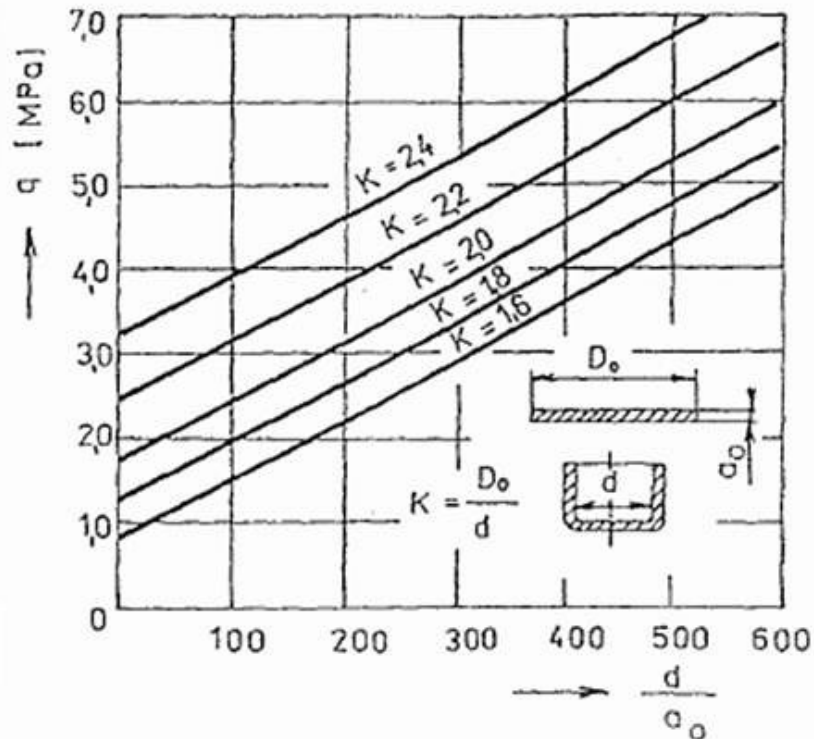


Obrázek 2 - Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [1]

Pro stanovení tažné síly se používá zjednodušený vztah

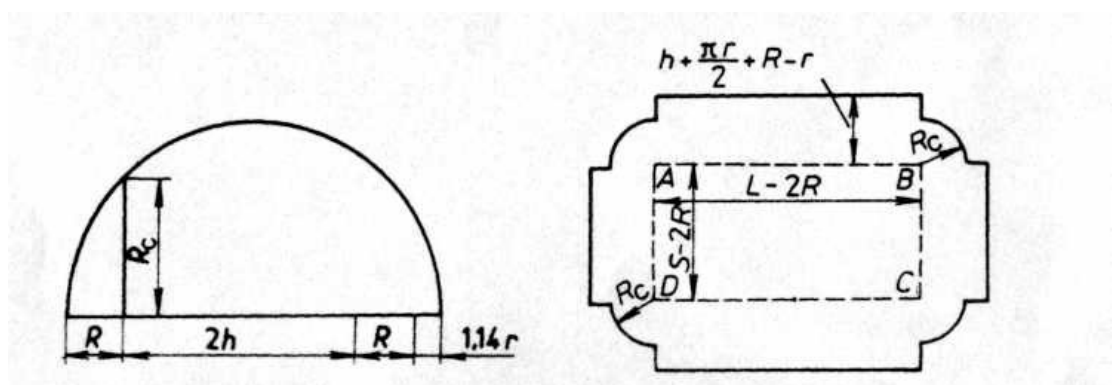
$$F_t = L \cdot s \cdot R_m + S_p \cdot p \text{ [N]},$$

kde  $L$  – délka obvodu polovýrobku [mm],  $s$  – tloušťka plechu [mm],  $R_m$  – mez pevnosti materiálu [MPa],  $S_p$  – plocha přidržovače [mm<sup>2</sup>] a  $p$  – tlak přidržovače [MPa], který lze určit numerickým modelováním anebo lze empirických vztahů z grafu.[2]



Obrázek 3 - Tlak přidržovače v závislosti na tloušťce materiálu  $a_0$  a stupni tažení pro hlubokotažnou ocel [2]

Stanovení velikosti polotovaru se opět zjednodušuje. Rotačně symetrické díly se vytahují z kruhového přístříhu o stejné ploše, jakou bude mít výsledný díl. U hranatého dílu je určení složitější a vychází se ze tvaru na Obr.4.



Obrázek 4 - Základní tvar pro hranatý přístříh (čárkovaný obdélník je budoucí výtažek) [3]

kde  $R$  – poloměr u dna [mm],  $r$  – poloměr na stěně [mm],  $h$  – výška výtažku [mm],  $S$  a  $L$  – příčné rozměry [mm].  $R_c$  – určíme geometricky nebo vypočítáme podle vztahu

$$R_c = \sqrt{2Rh + R^2 + 1.14Rr} \text{ [mm]}.$$

Poté se finální tvar vždy zkouší experimentálně. [3]

Pro dosažení kvalitních výsledků je nutné dodržovat určité technologické zásady, mezi které patří [1]:

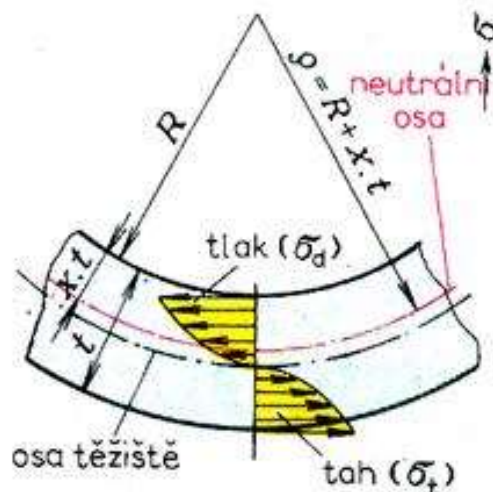
- co nejmenší výška výtažku,
- volit výtažky rotačního tvaru s rovným dnem,
- rohy hranatých výtažků velmi zaoblit,
- příruby na výtažku používat jen pokud je to nezbytné pro jejich funkci,
- navrhovat tolerance rozměrů tak, aby nástroj nemusel být kalibrován,
- volit materiály s vysokou tažností.

## 3.2 Ohýbání

Ohýbání je technologický proces, při kterém je polotovar zatěžován ohybovým momentem, kterým je trvale deformován bez výrazné změny průřezu. [4]

### 3.2.1 Neutrální osa

Během ohýbání jsou vlákna na vnitřní straně ohybu namáhána na tlak, zatímco vlákna na vnější straně jsou namáhána tahem. Z toho vyplývá, že existuje tzv. neutrální osa, což je vlákno, které není zatížené a nedeformuje se.



Obrázek 5 - Rozložení napětí v ohýbaném polotovaru [1]

Neutrální osa je před zatížením uprostřed průřezu a se zmenšujícím se poloměrem ohybu se přesouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Její polohu, respektive poloměr ohybu, určíme lineární aproximací

$$\rho = R + xt \text{ [mm]},$$

kde  $R$  – vnitřní poloměr ohybu [mm],  $t$  – tloušťka materiálu [mm] a  $x$  – součinitel posunutí neutrální osy podle následující tabulky

Tabulka 1 - Součinitel posunutí neutrální osy [1]

$R/t$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
$x$	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

Délku ohybu neutrální osy vypočteme podle vztahu

$$L = \frac{\pi\rho\alpha}{180} \text{ [mm]},$$

kde  $\alpha$  – úhel ohybu [°], čehož využíváme pro stanovení rozvinuté délky polotovaru. [1][4]

### 3.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu

**Minimální poloměr  $R_{min}$** , je poloměr, při jehož překročení dochází k porušení integrity materiálu ve vnějším natahovaném vláknu. Ovlivňuje ho plastičnost materiálu, jeho tloušťka a druh, kvalita povrchu a způsob ohýbání. Přesnou hodnotu lze dostat z následujícího vzorce, ovšem v praxi se používá zjednodušení pomocí koeficientu.

$$R_{min} = \frac{t}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = ct \text{ [mm]},$$

kde  $\varepsilon_c$  – prodloužení, při kterém napětí v materiálu přesáhne pevnost v tahu  $R_m$  [mm],  $t$  – tloušťka [mm]. Hodnoty koeficientu  $c$  popisuje následující tabulka.

Tabulka 2 - Koeficient minimálního poloměru [3]

Materiál	$c$ [-]
měkká ocel	0,4÷0,6
středně tvrdá ocel	1,5
měkká mosaz	0,3÷0,4
hliník	0,35
dural	3÷6
měkká měď	0,25

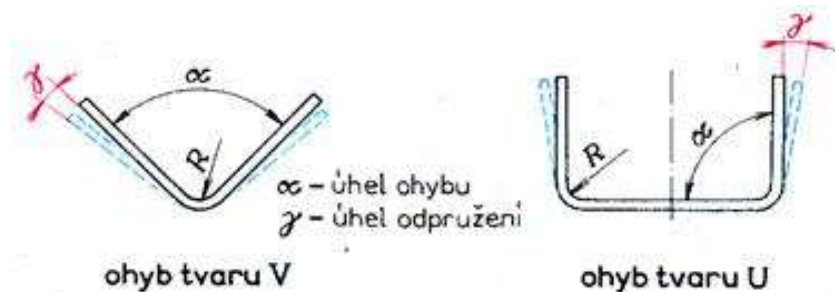
**Maximální poloměr  $R_{max}$** , je poloměr, při němž se ve vnějších vláknech objeví trvalá deformace. Je ovlivněn tloušťkou materiálu a jeho mechanickými vlastnostmi.

$$R_{max} = \frac{t}{2} \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]},$$

kde  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa],  $R_e$  – mez kluzu [MPa] a  $t$  – tloušťka [mm]. [3]

### 3.2.3 Odpružení

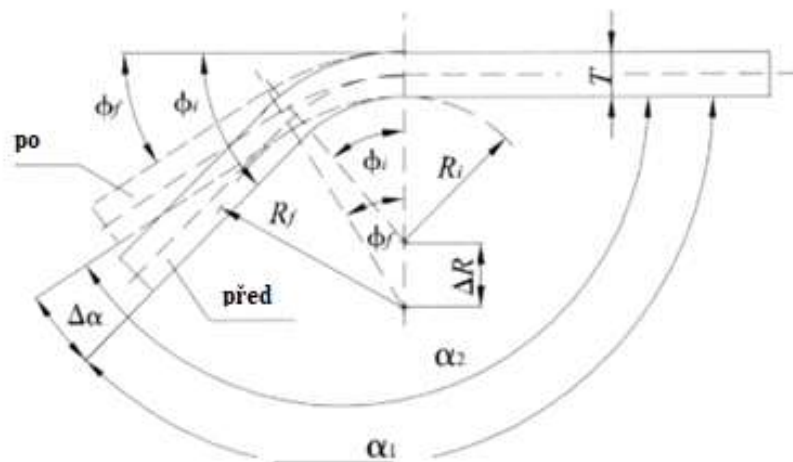
Při odeznění vnějších sil dojde k vrácení elastické deformace materiálu kolem neutrální osy a tím k poklesu celkové míry deformace. Tento nežádoucí jev se nazývá odpružením a je nutné s ním počítat při návrhu technologického postupu. Odpružení klesá s rostoucí tloušťkou a zmenšujícím se poloměrem ohybu. [1] [4]



Obrázek 6 - Odpružení pro ohyby V a U [1]

Určit úhel odpružení je poměrně složitý proces a existuje mnoho způsobů, jak se dobrat výsledku. Zde je uvedeno několik odlišných postupů z různých zdrojů.

#### Výpočet dle V.Boljanovice [5]



Obrázek 7 - Schéma odpružení dle V.Boljanovice [5]

Výpočet koeficientu odpružení

$$K_s = \frac{R_i + \frac{T}{2}}{R_f + \frac{T}{2}} = \frac{\varphi_f}{\varphi_i} = \frac{180^\circ - \alpha_f}{180^\circ - \alpha_i},$$

který je pro některé materiály podle AISI i uveden.

Tabulka 3- Koeficient odpružení [5]

$R_f/T$	1.0	1,6	2,5	4.0	6.3	10.0	25.0
Material (AISI)	Springback factor ( $K_s$ )						
2024-T	0.92	0.905	0.88	0.85	0.80	0.70	0.35
7075-0 & 2024-0	0.98	0.98	0.98	0.98	0.975	0.97	0.945
7075-T	0.935	0.93	0.925	0.915	0.88	0.85	0.748
1100-0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.943

Dále je uveden vzorec pro výpočet poměru  $\frac{R_i}{R_f}$

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left( \frac{R_i(YS)}{ET} \right)^3 - 3 \left( \frac{R_i(YS)}{ET} \right) + 1,$$

kde (YS) – yield strength neboli mez kluzu  $R_e$  [MPa].

### Výpočet dle VUT Brno [3]

Pro ohyb do tvaru V

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l R_e}{kt E} \rightarrow \beta,$$

pro ohyb do tvaru U

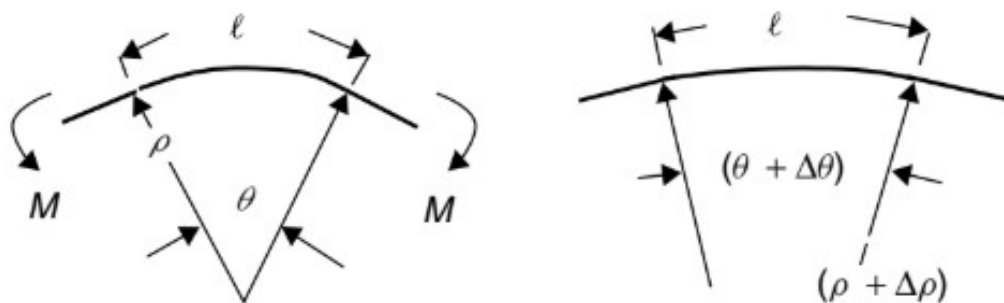
$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \frac{l_m R_e}{kt E} \rightarrow \beta,$$

kde  $\beta$  – úhel odpružení [°],  $l$  – vzdálenost podpor [mm],  $l_m$  – rameno ohybu [mm],  $k$  – součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru  $r/t$  (dle ČSN 22 6001 z diagramu).

Tabulka 4 - koeficient  $k$  [3]

$r/t$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15
$k$	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5

## Výpočet dle Z. Marciniak, J.L. Duncan, S.J. Hu [6]



Obrázek 8 - Schéma odpružení dle Z. Marciniak, J.L. Duncan, S.J. Hu [6]

### Výpočet změny úhlu

$$\Delta\theta \approx -3 \frac{S}{E'} \frac{\rho + \frac{t}{2}}{t} \theta \text{ [rad]},$$

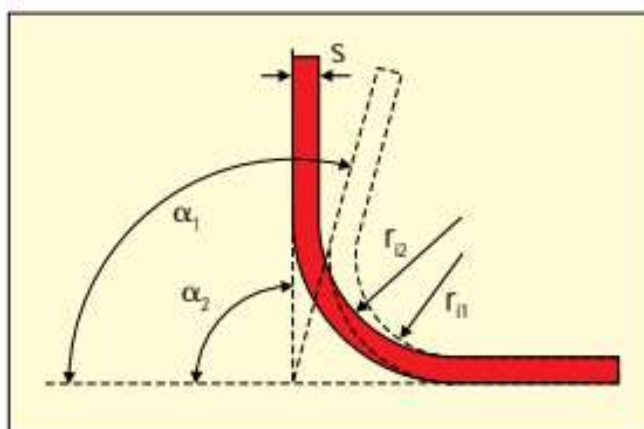
$$S = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f \text{ [MPa]},$$

$$\sigma_f = \frac{R_e + R_m}{2} \text{ [MPa]},$$

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} \text{ [MPa]},$$

kde  $S$  – plastické napětí v ohybu [MPa],  $E'$  – modul pružnosti při rovinném napětí [MPa],  $\nu$  – Poissonovo číslo [-].

### Výpočet dle SCHULER GmbH [7]



Obrázek 9 - Schéma odpružení dle SCHULER GmbH [7]



Poměr úhlů před a po odpružení:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{i1} + 0,5s}{r_{i2} + 0,5s'}$$

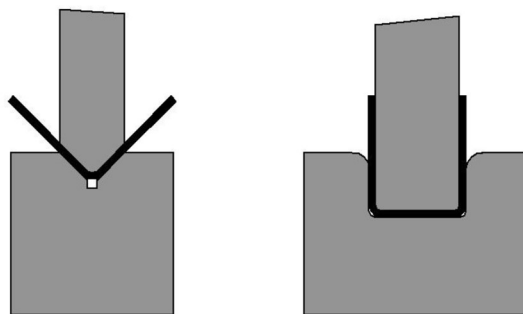
$$r_{i1} = \frac{r_2}{1 + \frac{r_{i2}R_m}{sE}} [mm],$$

kde  $\alpha_1$  – požadovaný úhel [°],  $\alpha_2$  – úhel po odpružení [°],  $r_{i1}$  – vnitřní rádius nástroje [mm],  $r_{i2}$  – vnitřní rádius dílu po odpružení [mm].

Nejčastější metodou kompenzace odpružení je přehnutí materiálu tak, aby měl po uvolnění napětí požadovaný úhel. Nástroj se tedy musí navrhnout s korekcí o úhel odpružení. Mezi další běžné metody patří zvětšení lisovací síly na konci cyklu (tzv. kalibrace) nebo vytvoření prolisů či žeber. [1] [4]

### 3.2.4 Základní operace ohýbání

**Prostým ohybem** je myšleno ohýbání do tvaru U a V za pomoci víceúčelových zařízení.



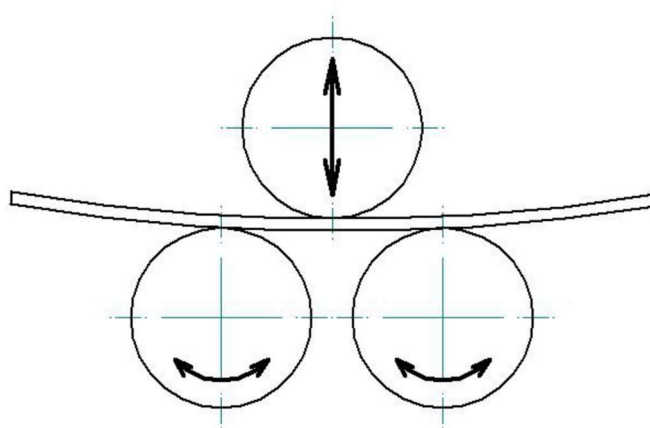
Obrázek 10 - Prosté ohýbání do tvaru U a V [9]

O **ohraňování** mluvíme probíhá-li prosté ohýbání na speciálních, tzv. ohraňovacích lisech. Tyto stroje mají vyměnitelné ohraňovací lišty na ohybníku i ohybnici, které jsou často i několik metrů dlouhé. V kombinaci s CNC řízením, lze jednoduše vyrábět i tvarově složitější ohýbané díly.



Obrázek 11 - CNC ohraňovací lis (dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovací-lis/>)

**Zakružování** je ohýbání materiálu, při kterém ho stáčíme do kruhu, oválu nebo kužele.



Obrázek 12 – Zakružování [9]

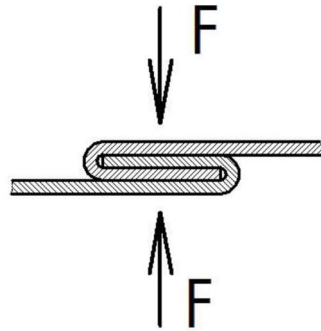
Svislým pohybem prostředního válce vyvíjíme tlak podobně jako u ohybu do V, ovšem s tím rozdílem, že se ohýbaný materiál pohybuje díky dalším dvěma válcům. Tím pádem dojde k ohnutí do oblouku. Většina zakružovaček má odnímatelný horní válec, takže lze zakružovat do kruhu.

**Lemování** upravujeme hrany plechů za účelem zaoblení nebo zpevnění. Lemování také můžeme spojovat plechy, bez nutnosti dalšího spojovacího materiálu, nebo svařování, spojují se tak například pásy na plechových střeších.



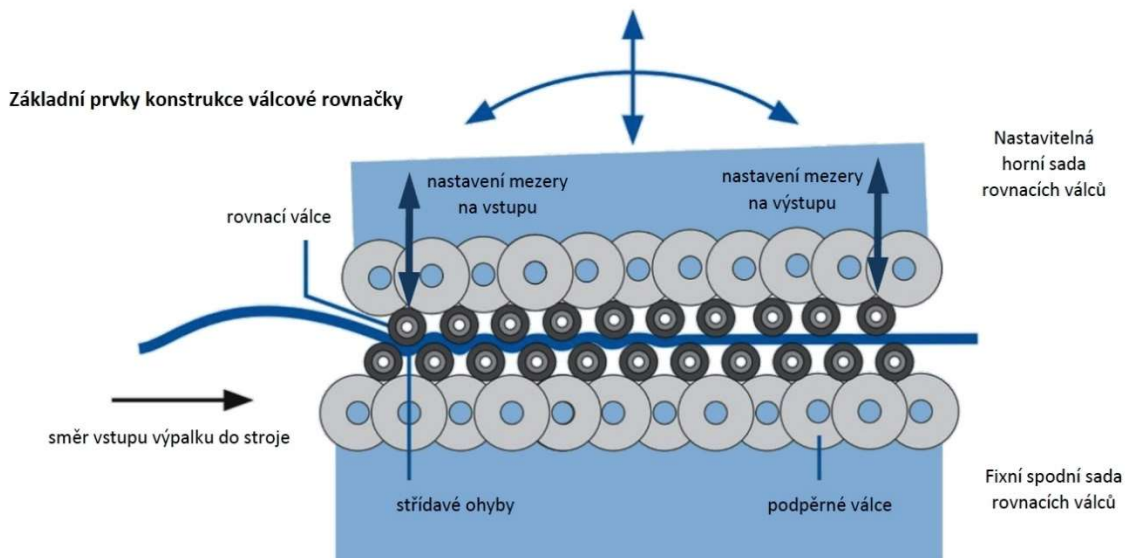
Obrázek 13 - Spojování lemováním [9]

Zvláštním případem lemování je drápkování, při kterém se do sebe zaklesnou dva plechy s předehtnutými okraji a pevně se slisují.



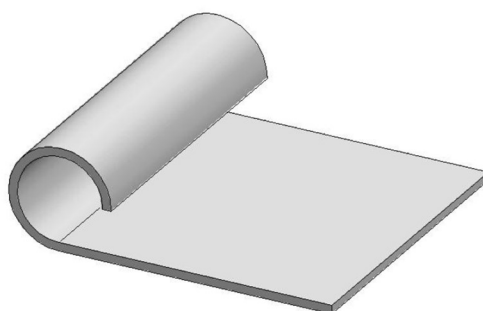
Obrázek 14 - Drápkování [9]

**Rovnění** je série několika ohybů za sebou, které je vyvozeno dvěma řadami válců, mezi kterými je protahován plech. První válce deformují plech nejvíce a vnášejí do materiálu napětí větší, než je mez kluzu. Výstupní válce jsou v takové vzdálenosti, že vyvozují jen elastickou deformaci.



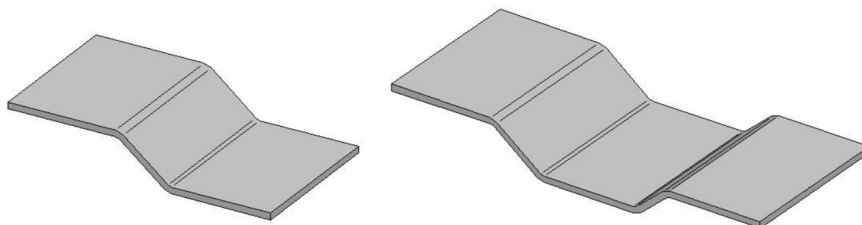
Obrázek 15- Schéma rovnačky (dostupné z: <https://www.stromac.cz/inpage/principy-valcove-rovnacky/>)

**Obrubování** je vytváření ohybu na okrajích plechů s kruhovým průřezem. Podobně jako lemování slouží ke zlepšení jakosti okrajů, ale lze tím vytvořit prostor například pro čep pantů a podobně.



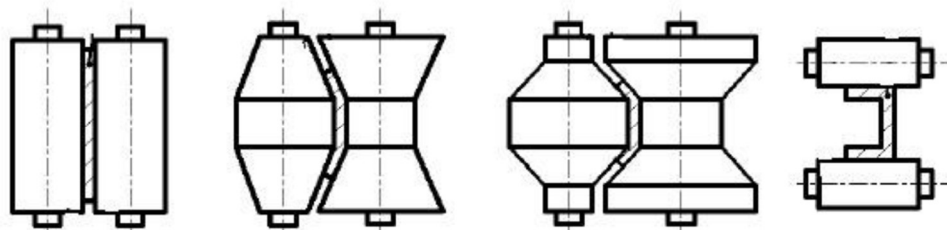
Obrázek 16 – Obrubování [9]

**Osazování a přesazování** jsou operace, při kterých jednu rovinnou plochu posuneme o určitou vzdálenost oproti druhé na stejném dílci. Lze to provádět, jak na kraji polotovaru (osazování), tak uvnitř polotovaru (přesazování).



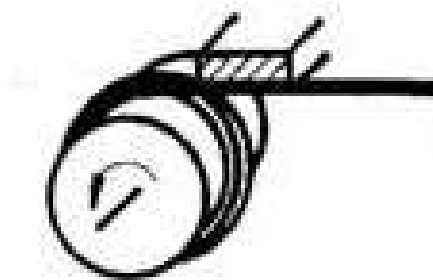
Obrázek 17 - Osazení a přesazení [9]

**Profilování** je prováděno postupným válcováním pásu kovu tvarovými válci. Většinou slouží pro hromadnou výrobu standardizovaných profilů nebo trubek.



Obrázek 18 - Profilování U profilu [9]

**Navíjení** je proces, při kterém je polotovar navíjen na válec nebo kužel a dostává s ním shodný tvar. Nejčastěji se navíjí svitky plechu nebo pružiny.

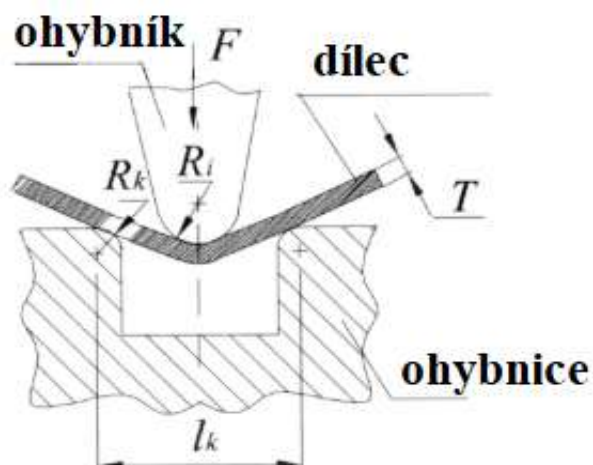


Obrázek 19 – Navíjení [1]

### 3.2.5. Ohybová síla pro ohyby tvaru V, U a přes hranu

Situace U a V se řeší jako nosník na dvou podporách, který je zatížený silou uprostřed.

**Ohyb V:**



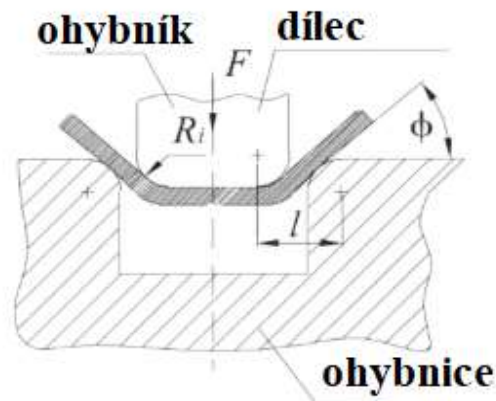
Obrázek 20 - Schéma pro výpočet síly ohybu do V [5]

$$F_{oV} = \frac{4M_o}{l_k - 2(R_k + R_i + T) \sin \frac{\varphi}{2}} \left( \cos \frac{\varphi}{2} \right)^2 [N],$$

$$M_o = \sigma_o W_o [Nmm],$$

kde  $\varphi$  – úhel ohybu [°],  $R_i$  – poloměr ohybníku [mm],  $R_k$  – poloměr hrany ohybnice [mm],  $T$  – tloušťka [mm],  $l_k$  – vzdálenost mezi podporami [mm],  $W_o$  – modul průřezu v ohybu [mm<sup>3</sup>],  $\sigma_o$  – ohybové napětí [MPa]

## Ohyb U:



Obrázek 21 - Schéma pro výpočet síly ohybu do U [5]

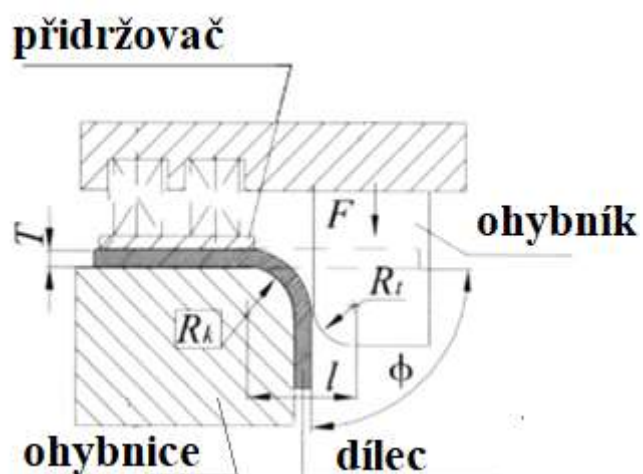
$$F_{oU} = \frac{2M_o}{l} (1 + \sin \varphi) \quad [\text{N}],$$

$$l = R_i + R_k + T \quad [\text{mm}],$$

$$M_o = \sigma_o W_o \quad [\text{Nmm}],$$

kde  $\varphi$  – úhel ohybu  $[\circ]$ ,  $R_i$  – poloměr hrany ohybníku [mm],  $R_k$  – poloměr hrany ohybnice [mm],  $T$  – tloušťka [mm],  $l$  – vzdálenost mezi podporami [mm],  $W_o$  – modul průřezu v ohybu  $[\text{mm}^3]$ ,  $\sigma_o$  – ohybové napětí [MPa]

## Ohyb přes hranu:



Obrázek 22 - Schéma ohybu přes hranu [5]

Jelikož jde technicky o poloviční ohyb do U, tak je potřeba poloviční síla

$$F_{oH} = \frac{M_o}{l} (1 + \sin \varphi) \text{ [N]},$$

$$l = R_i + R_k + T \text{ [mm]},$$

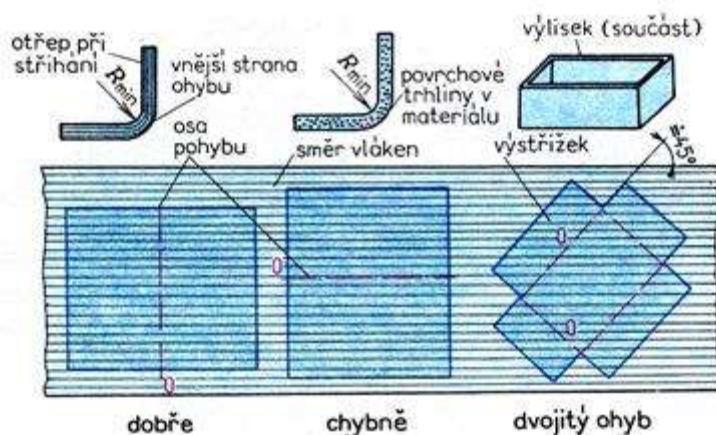
$$M_o = \sigma_o W_o \text{ [Nmm]},$$

kde  $\varphi$  – úhel ohybu [°],  $R_i$  – poloměr hrany ohybníku [mm],  $R_k$  – poloměr hrany ohybnice [mm],  $T$  – tloušťka [mm],  $l$  – vzdálenost mezi podporami [mm],  $W_o$  – modul průřezu v ohybu [mm<sup>3</sup>],  $\sigma_o$  – ohybové napětí [MPa].

Vypočtenou ohybovou sílu, pak musíme zvětšit o sílu přidržovače (pokud je použit). Dále se síla zvětšuje o cca 30 %, jako kompenzace tření mezi nástrojem a ohýbanou součástí. Pokud kompenzujeme odpružení kalibrací, tak je k celkové síle nutné připočítat i toto zvýšení síly. [5]

### 3.2.6 Vliv vláken na ohýbání

Válcováním oceli do plechů vzniká struktura, která má odlišné vlastnosti podél a napříč směru válcování.

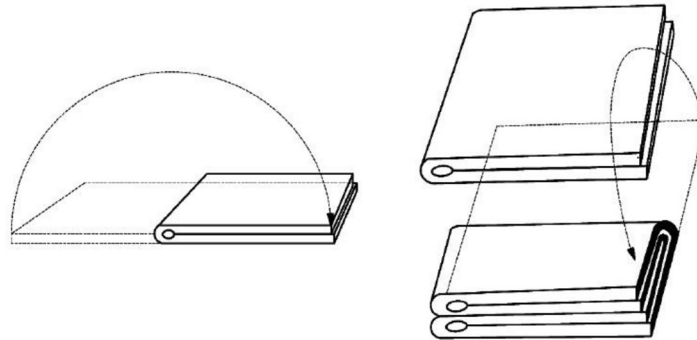


Obrázek 23 - Vliv vláken na ohýbání [1]

Osa ohybu by měla být minimálně pod úhlem 30° (nejlépe 90°) vůči směru válcování. Při ohybu ve dvou směrech by měla osa ohybu svírat s vlákny nejlépe 45°. U polotovarů připravených střiháním musí být otřep na vnitřní straně ohybu. [1]

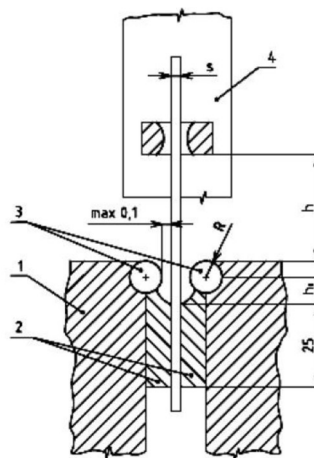
### 3.2.6 Zkoušky ohýbatelnosti

**Zkouška dvojitým ohybem** se provádí na plechu tvaru čtverce o straně 200 mm s odjehlenými hranami. Postupně se přeloží na čtvrtinu, což u ocelí vhodných k tváření za studena nevyvolá vznik trhlin v nejnamáhanějších místech. [11]



Obrázek 24 - Zkouška dvojitým ohybem [9]

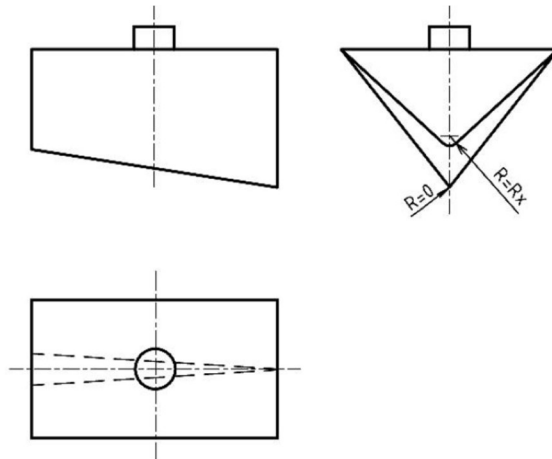
**Zkouškou střídavým ohybem** se určuje odolnost plechu proti porušení střídavým ohýbáním o 90° kolem válcových ploch předepsaného poloměru. Zkušebním tělesem je obdélník 100x20 mm, tloušťky do 3 mm. Rychlost ohýbání je 60 ohybů za minutu. [11]



Obrázek 25 - Zkouška střídavým ohybem [9]

**Zkouška podle Gütha** se používá k určení minimálního poloměru ohybu plechu. Plech je ohýbán ohybníkem s poloměrem rostoucím od nuly do hodnoty  $R_x$ , přičemž poloměr, na kterém se objeví trhliny ve zkušebním vzorku je minimálním poloměrem ohybu. [11]





Obrázek 26 - Zkouška podle Gütha [9]

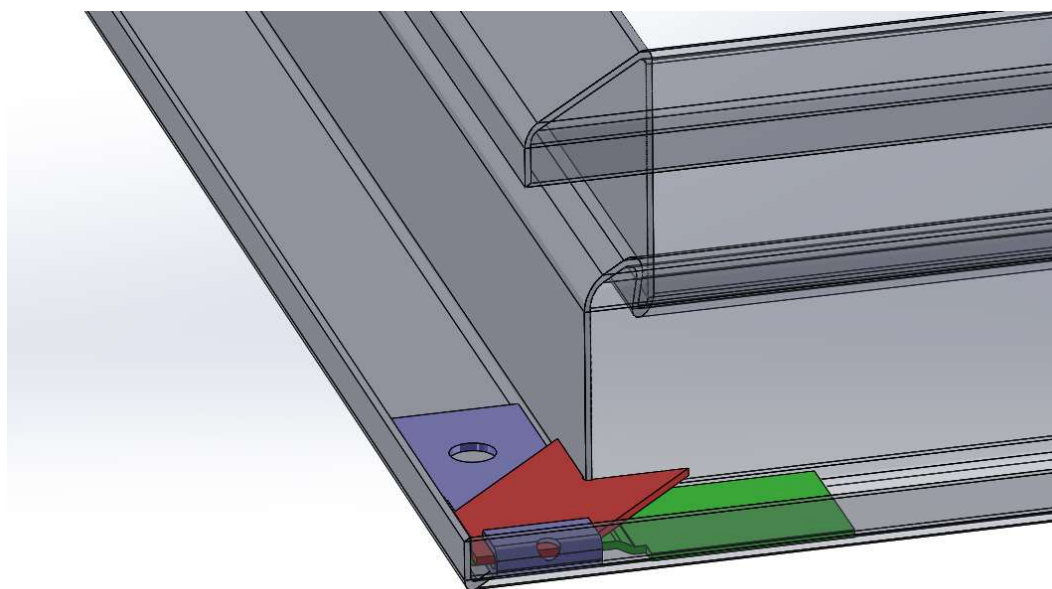
### 3.2.6 Technologické zásady

- dbát na vzájemnou polohu osy ohybu a směru vláken od válcování
- tolerovat pouze nezbytné rozměry, a to v rámci mezí běžného ohýbání, ostatní ponechávat bez tolerance
- správně zvolit poloměr ohybu pro snížení odpružení a prevenci destrukce materiálu
- otvory tvořit v dostatečné vzdálenosti od ohybu, nebo je vytvářet až po ohnutí
- osa ohybu by měla být kolmá k obrysu součásti, aby nedocházelo k nechtěným posunům, popřípadě nežádoucí deformaci
- v místě ohybu se materiál ztenčuje, doporučuje se počítat se ztenčením o 20%
- vždy ohýbat celou šířku součásti, pokud chceme jen část je nutné ji oddělit nastříhnutím [4] [8]

## 4. Ohybový nástroj

### 4.1 Princip chytrých zárubní

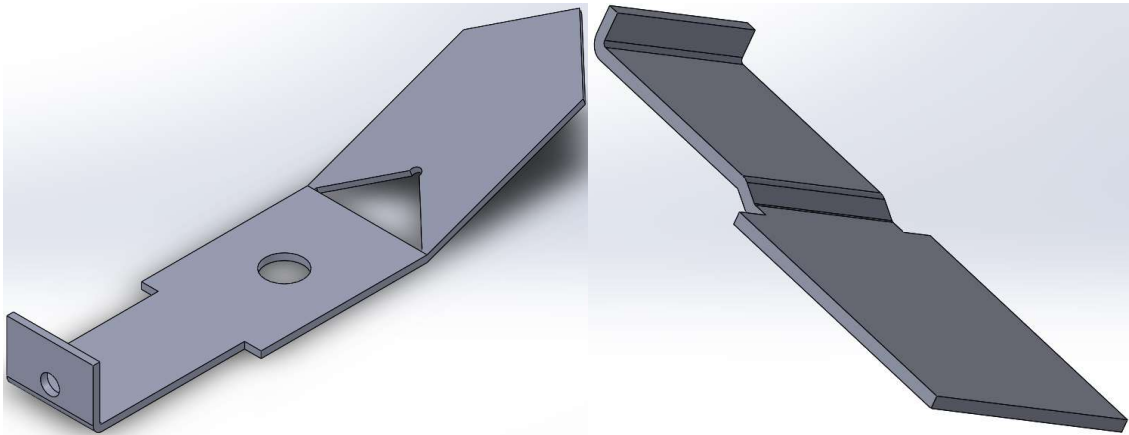
Nejdůležitější myšlenkou je možnost převážet zárubně v rozloženém stavu. Je tedy nutné spojit jednotlivé díly jinak než svařováním. Chytré zárubně jsou řešením, které využívá mechanického klínu, který je rozeprěn mezi jednotlivými díly zárubní a tím je spojí a zafixuje. Chytrostí je zde tedy myšlený spoj, který zaručuje splnění vlastností pro STO a zároveň je možné zárubně sestavit na místě stavby (nemá to tedy nic společného konektivitou či mobilními telefony).



*Obrázek 27 - Princip chytrých zárubní*

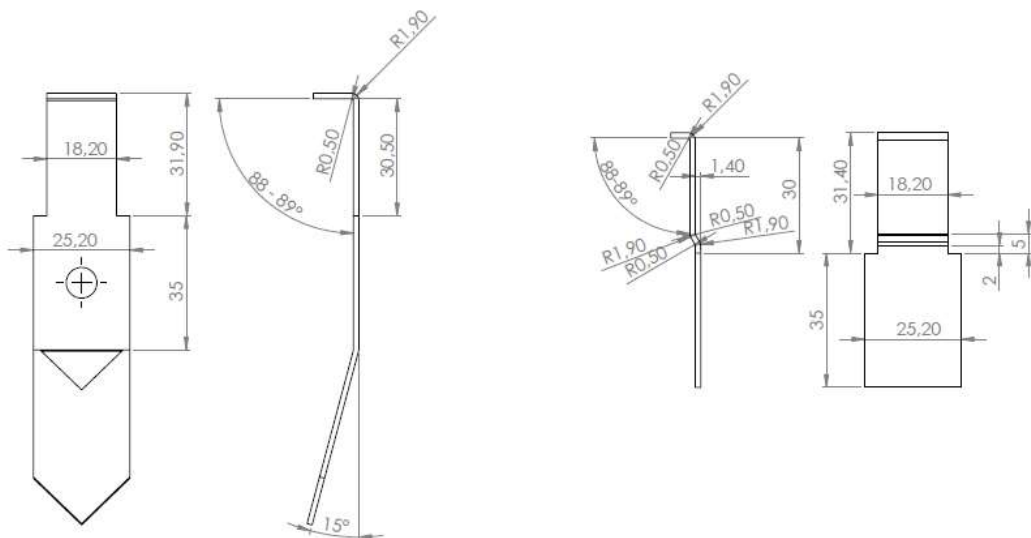
Na obrázku vidíme celou sestavu po složení. Modrý díl je z výroby spojen svařou k levé části zárubní, zelený díl je obdobně spojen s pravou částí. Červený klín (neboli šipka), který zajišťuje vlastní spojení, je z výroby spojený s modrým dílem, a to takovým způsobem, že je ho možné jednoduše odlomit. Snadná odlomitelnost je zajištěna mírným přizdvihnutím šipky tak, aby se pod ni dal vstrčit prst, a malou plochou spoje, takže dojde k rychlému oddělení. Při sestavení je na své místo vtlačena kladivem či paličkou a poté je celý mechanismus pojištěn ohnutím modrého dílu.

## 4.2 Analýza vyráběných dílů



Obrázek 28 - Modely vyráběných dílů

Tato práce se nezabývá konstrukčním návrhem dílů. Cílem práce je tvorba dokumentace k návrhu ohýbacího nástroje, který bude schopen realizovat díly (Obr. 29). Pro zjednodušení popisu nazvěme levý díl „dlouhým“ a pravý díl „krátkým“. Oba díly přicházejí do stroje ve formě rovinného výstřižku, který bude ohnut do potřebného tvaru.



Obrázek 29 - Rozměry dlouhého (vlevo) a krátkého (vpravo) ohybku

Na krátkém dílu je potřeba udělat osazení o 1,4 mm ve vzdálenosti 2 mm od přechodu mezi širokou a úzkou částí a také ohnout „zobáček“ ve vzdálenosti 30 mm od přechodu. U dlouhého dílu je potřeba ohnout špičku vzadu v nejužším místě spojení o cca 15° a zobáček vepředu, ve vzdálenosti 30,5 mm od přechodu šířek. Ostrý úhel, který svírají zobáčky s rovinou plechu, má být 88÷89°.



Hledaný poloměr je  $R_{i2}$

$$\frac{R_i + \frac{T}{2}}{R_f + \frac{T}{2}} = \frac{180^\circ - \alpha_f}{180^\circ - \alpha_i}$$

$$-(180^\circ - \alpha_f) \frac{R_f + \frac{T}{2}}{R_i + \frac{T}{2}} + 180^\circ = \alpha_i$$

$$87,732^\circ = \alpha_i$$

### Výpočet dle VUT Brno [3]

Protože se ohyb přes hranu více podobá ohybu do U, tak pro výpočet použijeme vztah pro U ohyb.

$$l_m = 5 \text{ mm}, R_e = 280 \text{ MPa}, k = 0,58, t = 1,5 \text{ mm}, E = 210000 \text{ MPa}$$

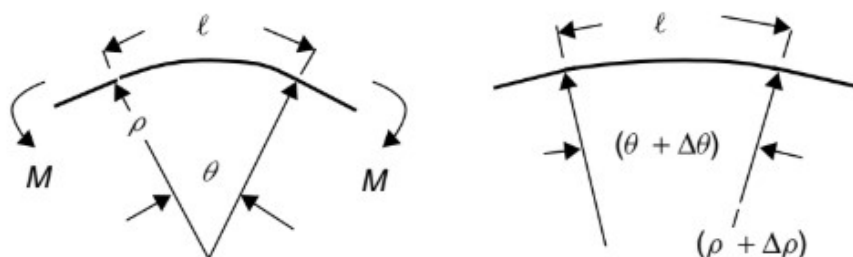
$$\text{tg}\beta = 0,75 \frac{l_m R_e}{kt E}$$

$$\beta = 0,3528^\circ$$

### Výpočet dle S.J. Hu, Z.Marciniak, J.L. Duncan [6]

$$R_e = 280 \text{ MPa}, R_m = 400 \text{ MPa}, E = 210000 \text{ MPa}, \nu = 0,3, t = 1,4 \text{ mm},$$

$$\rho = 1,5 \text{ mm}$$



$$\Delta\theta \approx -3 \frac{S}{E'} \frac{\rho + \frac{t}{2}}{t} \theta \approx -0,738^\circ$$

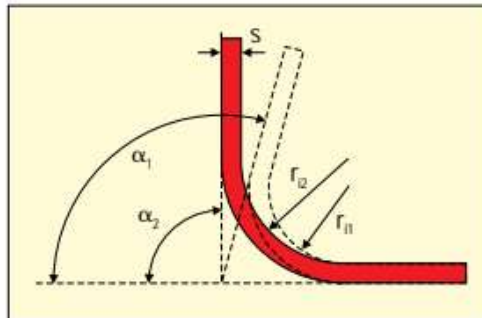
$$S = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f = 392,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{R_e + R_m}{2} = 340 \text{ MPa}$$

$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} = 230769,2 \text{ MPa}$$

### Výpočet dle SCHULER GmbH [7]

$$R_m = 400 \text{ MPa}, s = 1,5 \text{ mm}, E = 210000 \text{ MPa}, \alpha_2 = 92^\circ, r_2 = 1,5 \text{ mm}$$



$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_1 + 0,5s}{r_2 + 0,5s}$$

$$r_1 = \frac{r_2}{1 + \frac{r_2 R_m}{s E}} = 1,497 \text{ mm}$$

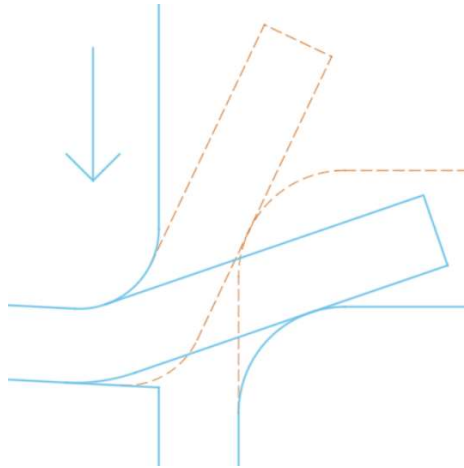
$$\alpha_1 = \alpha_2 \frac{r_2 + 0,5s}{r_1 + 0,5s} = 92,126^\circ$$

Pro menší úhel  $88^\circ$  dostáváme různé výsledky odpružení podle zvolené metody

Tabulka 7 - Srovnání úhlu odpružení

Metoda	Úhel odpružení
Dle V.Boljanovice	$0,268^\circ$
Dle VUT Brno	$0,3528^\circ$
dle S.J. Hu, Z.Marciniak, J.L. Duncan	$0,738^\circ$
Dle SCHULER GmbH	$0,126^\circ$

Protože každá metoda dává odlišný výsledek, rozhodl jsem se navrhnout takový design nástroje, který umožní korigovat úhel ohnutí pomocí zdvihu.



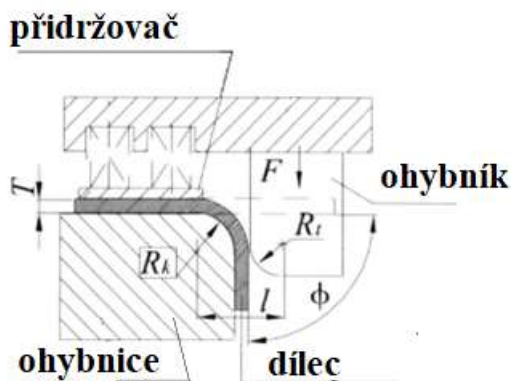
Obrázek 30 - Úhel ohnutí řízený zdvihem

#### 4.2.2 Výpočet ohýbací síly

$$R_i = 1,5 \text{ mm}, R_k = 2 \text{ mm}, T = 1,4 \text{ mm}, \sigma_o = R_m = 400 \text{ MPa}, b_0 = 18,2 \text{ mm}, \varphi = 92^\circ$$

Jelikož se ohýbá 8 ohybů najednou, tak celková šířka funkční části nástroje je

$$b_c = 8b_0 = 145,6 \text{ mm}.$$



$$M_o = \sigma_o W_o = \sigma_o \frac{T^2 b_c}{6} = 400 \frac{1,4^2 \cdot 145,6}{6} = 19\,025 \text{ Nmm}$$

$$l = R_i + R_k + T = 1,5 + 2 + 1,4 = 4,9 \text{ mm}$$

$$F_{oH} = \frac{M_o}{l} (1 + \sin \varphi) = \frac{19\,025}{4,9} (1 + \sin 92^\circ) = 7763 \text{ N}$$

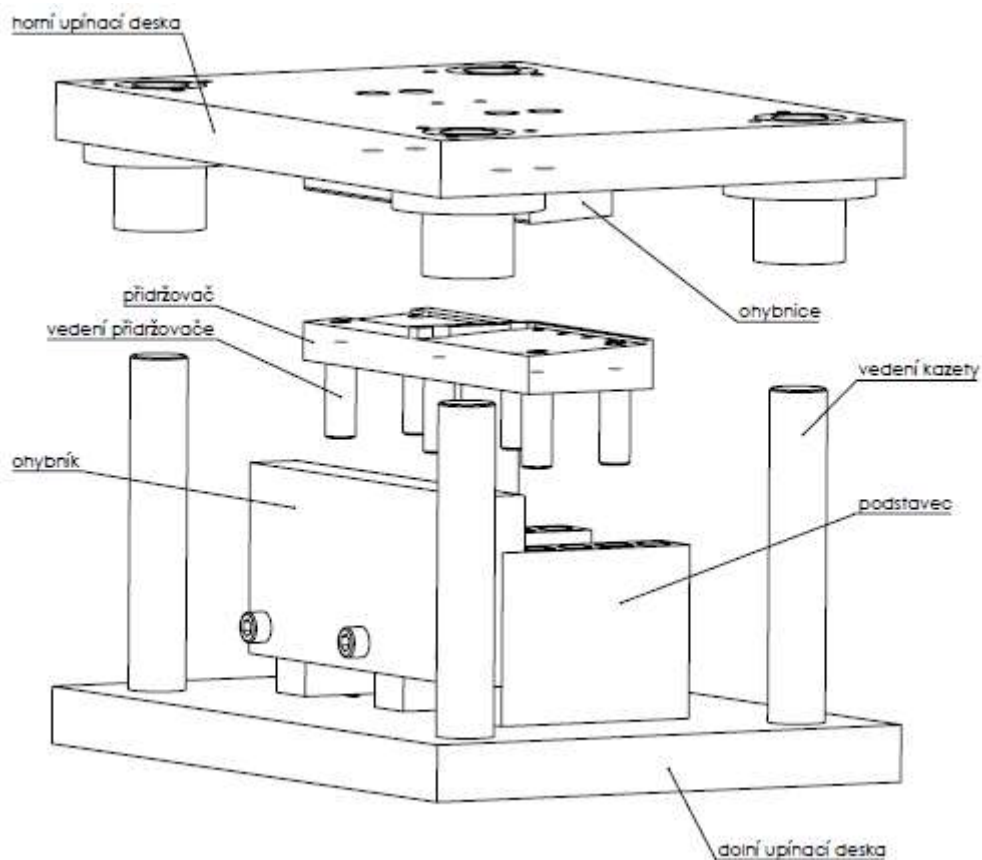
Dále musím započítat sílu potřebnou k překonání přidržovače, tj 3600 N, a třecí sílu, cca 30 % ( $F_{oH} + F_p$ ). Celková síla je tedy

$$F_c = 1,3(F_{oH} + F_p) = 1,3(7763 + 3600) = 14773 \text{ N}$$

Lis, pro který je tento nástroj navrhován, disponuje silou 25 000 N a je tedy dostatečně silný.

#### 4.4 Konstrukční řešení nástroje

Kromě rozměrů dílů, které má tento nástroj vyrábět, byly součástí zadání i několik podmínek. Nástroj má být obsluhován ručně, tedy že zandávání a vyjímání dílů provádí obsluha. Musí zde tedy být dostatečný prostor pro lidské ruce a také jednoduchá soustava dorazů, aby bylo zajištěno umístění dílů na správné místo. Nástroj také má být efektivní a na jeden pracovní zdvih provést všechny potřebné ohyby, a to na čtyřech kusech od každého typu.

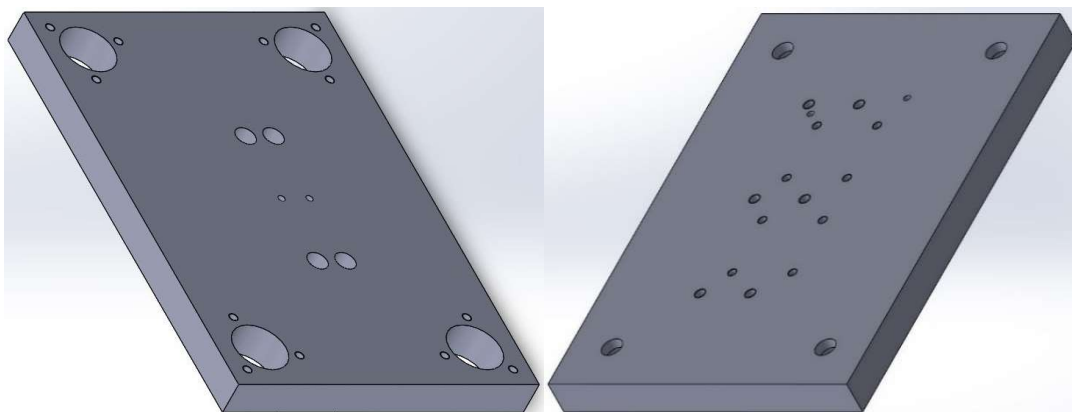


Obrázek 31 - Sestava nástroje

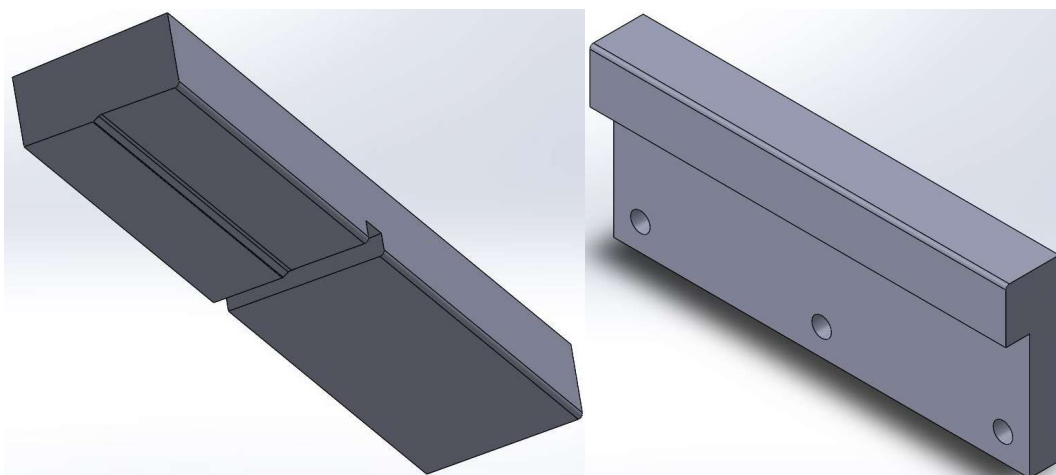
Nástrojová kazeta je do stroje upnuta pomocí horní (Příloha 4) a dolní (Příloha 3) upínací desky, které jsou propojeny 4 vodícími sloupky s kluzným pouzdem. Hlavní pracovní části nástroje jsou ohybnice (Příloha 11), ohybník (Příloha 10) a přidržovač (Příloha 8), které spolu tvoří tvar ohybku. Ohybnice je upevněna přímo na horní desku pomocí šroubů a kolíků. Na dolní desce jsou šrouby připevněné dvě plynové pružiny, na kterých je volně uložen přidržovač. Přesnou polohu přidržovače vymezují tři podstavce, z nichž dva



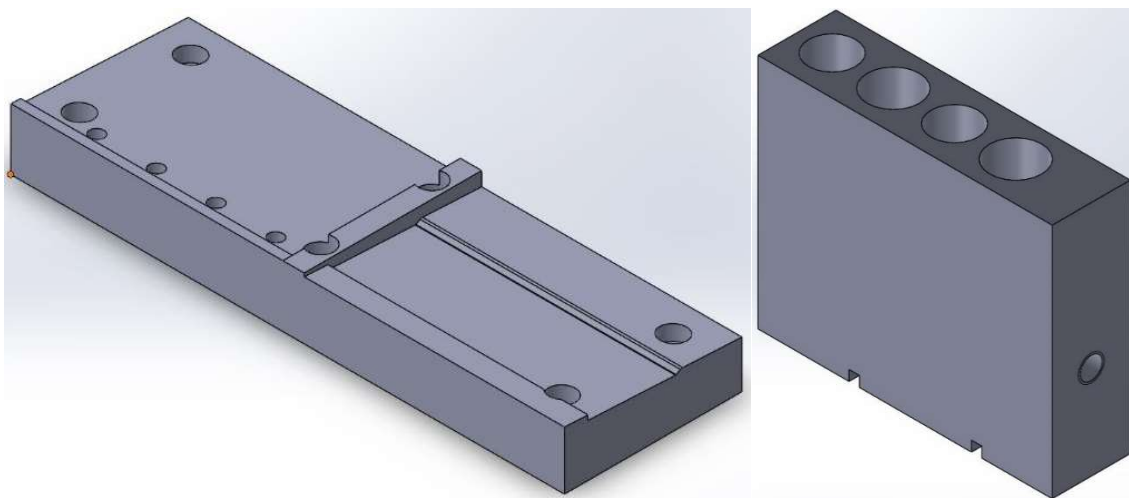
(Příloha 6) jsou jen přišroubované, zatímco třetí (Příloha 5), vodící, je ustaven i kolíky ke spodní desce, a to pomocí šesti vodících sloupků (Příloha 9) s kluzným, bronzovým pouzdem (Příloha 7). Na těchto podstavcích leží a je k nim přišroubován i vlastní ohybník.



Obrázek 32 – Horní (vlevo) a dolní (vpravo) upínací deska



Obrázek 33 - Ohybnice (vlevo) a ohybník (vpravo)



Obrázek 34 - Přidržovač (vlevo) a podstavec (vpravo)

Jelikož jsou jednotlivé části spojené šrouby a kolíky, lze je v případě poruchy vyjmout, vyměnit nebo opravit a, díky kolíkům, upnout na stejné místo. Jedině pouzdra vodících sloupeků přídržovače jsou nalisována na místo.

Vodící systém celé kazety a plynové pružiny byly zakoupeny od firmy Fibro GmbH a jedná se o tato katalogová označení.

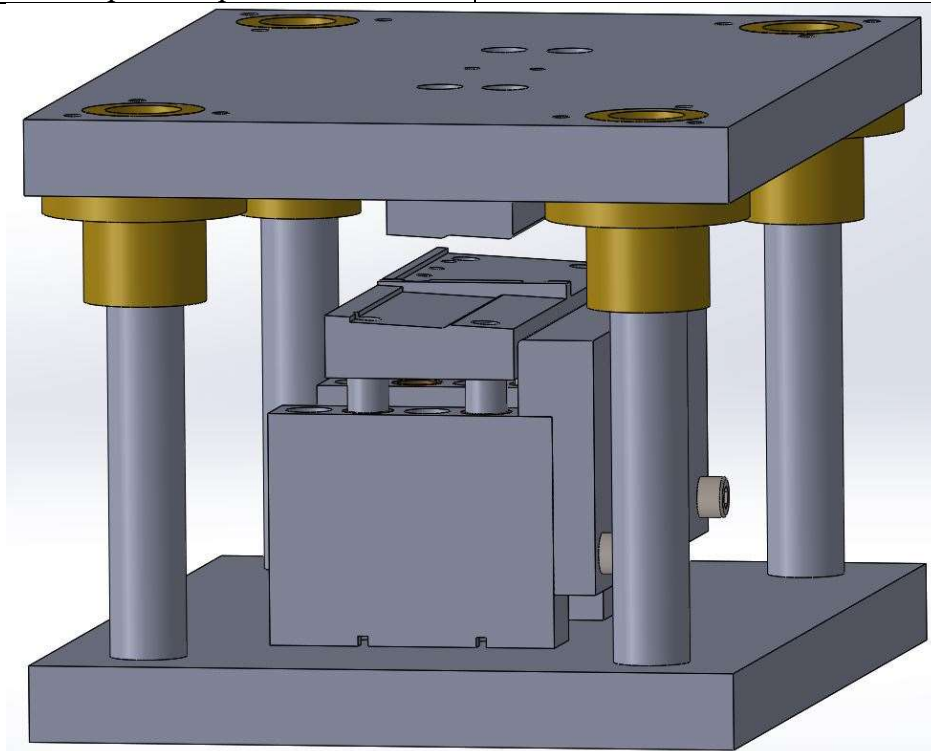
Tabulka 8 - Kupované normálie firmy FIBRO GmbH

Normálie	Katalog. označení	Počet kusů
Vodící sloupek	202.21.030.160.20	4ks
Vodící pouzdro	2081.84.030	4ks
Plynová pružina	2490.14.01800.016	2ks
Držák plynové pružiny	2480.052.1.01800	2ks

Dále byly zakoupeny šrouby a kolíky potřebných průměrů a délek. Ostatní části nástroje byly zakázkově vyrobeny z oceli a vodící pouzdra přídržovače jsou vyrobeny z bronzu.

Tabulka 9 - Materiály částí nástroje

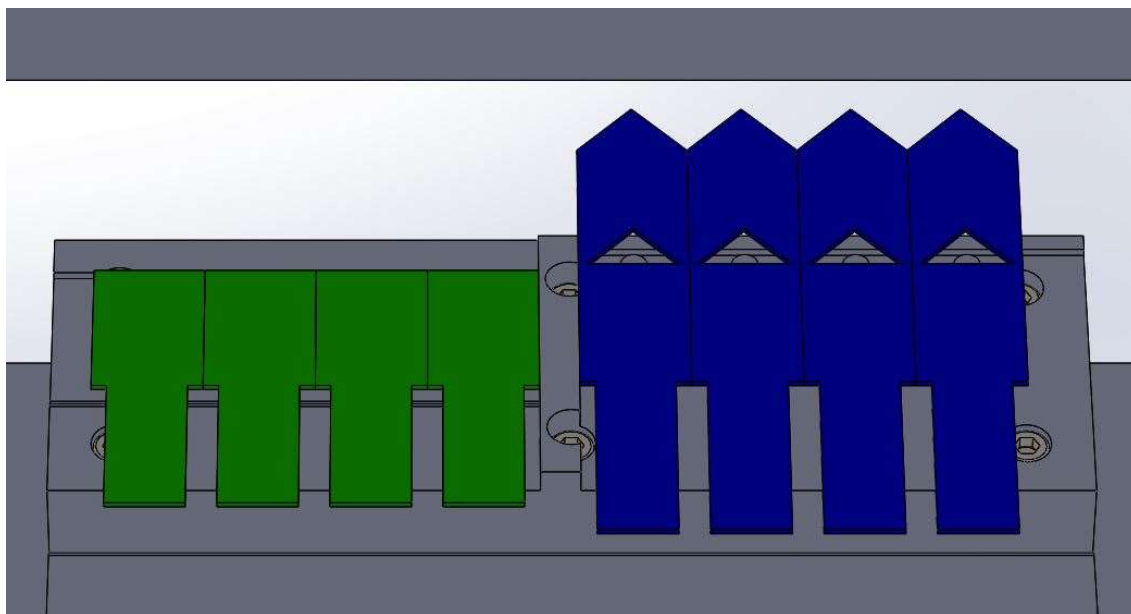
Část nástroje	Materiál
Horní a dolní upínací deska	Ocel 11 373
Podstavce	Ocel 11 500
Ohybník, ohybnice a přídržovač	Ocel 12 020 + cementováno
Vodící sloupky přídržovače	Ocel 11 600 + povrchově kaleno
Vodící pouzdra přídržovače	Bronz CuSn12



Obrázek 35 - Sestava nástroje v horní úvrti

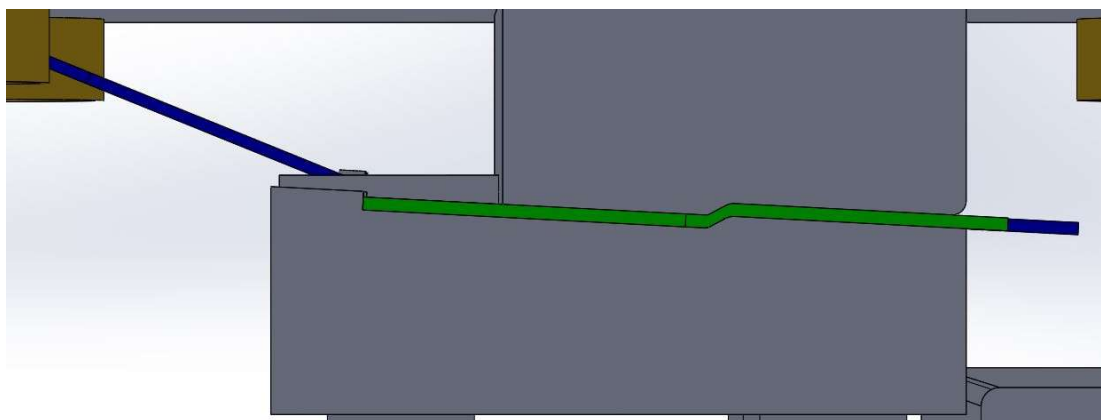
## 4.5. Postup ohýbání

Krátké přístřihy se vkládají do levé části nástroje, kde se dorazí širší stranou o osazení v zadní části nástroje a bokem o střední přepážku, respektive o díl více vpravo. Dlouhé přístřihy ohýbá pravá strana nástroje. Tyto díly se dorážejí o přeponu trojúhelníku, který tvoří spodek šipky, na kolíky a bokem opět o střední přepážku, respektive o díl více vlevo. Na jeden zdvih se ohýbají čtyři kusy od každého dílu, jak bylo požadováno.

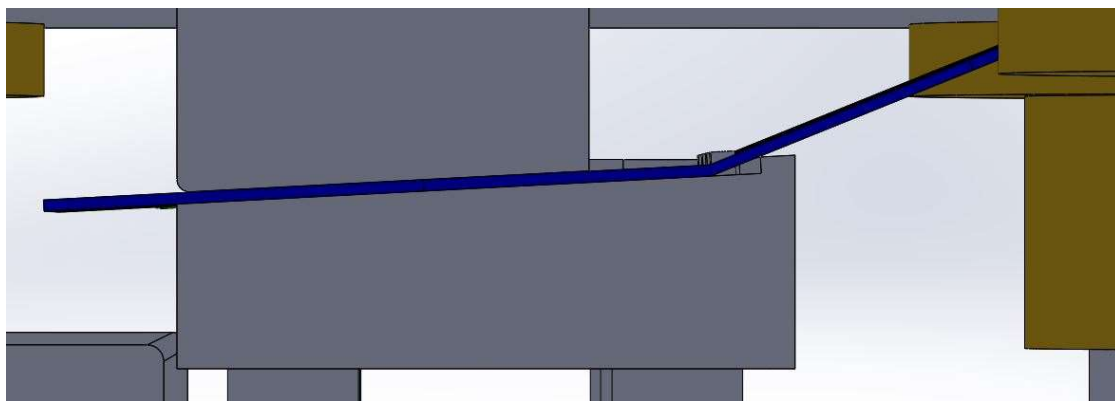


Obrázek 36 - Přístřihy založené v nástroji

Po zahájení pracovního zdvihu klesá ohybnice, až se dosedne na založený plech. V tu chvíli dojde vlivem přidržovače, který je uložen na dvou plynových pružinách o celkové síle 3600 N k vytvoření osazení na krátkém díle a k ohnutí šipky na díle dlouhém. Části dílů, které budou tvořit zobáčky, ještě nejsou v kontaktu s ohybníkem.

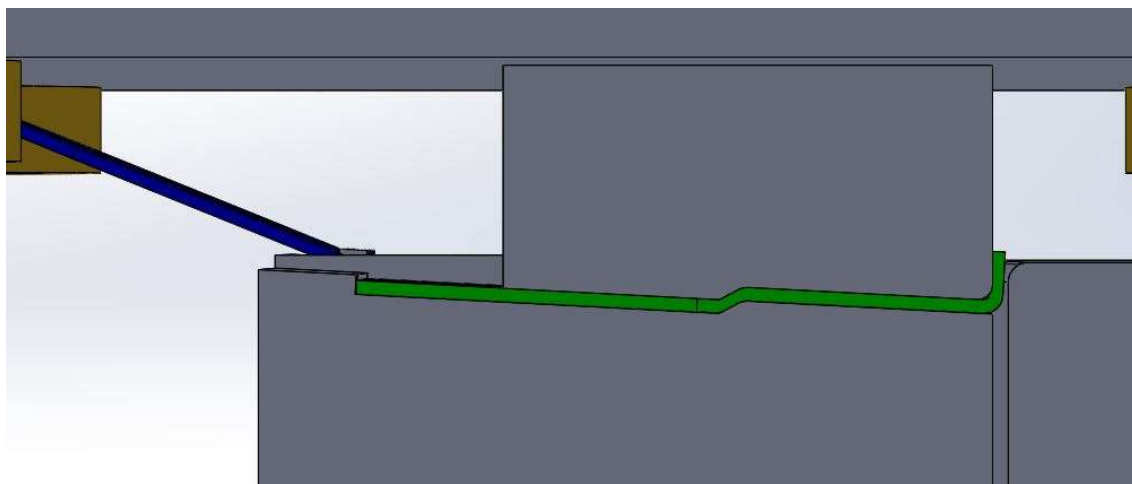


Obrázek 37 - Vytvoření osazení na krátkém dílu

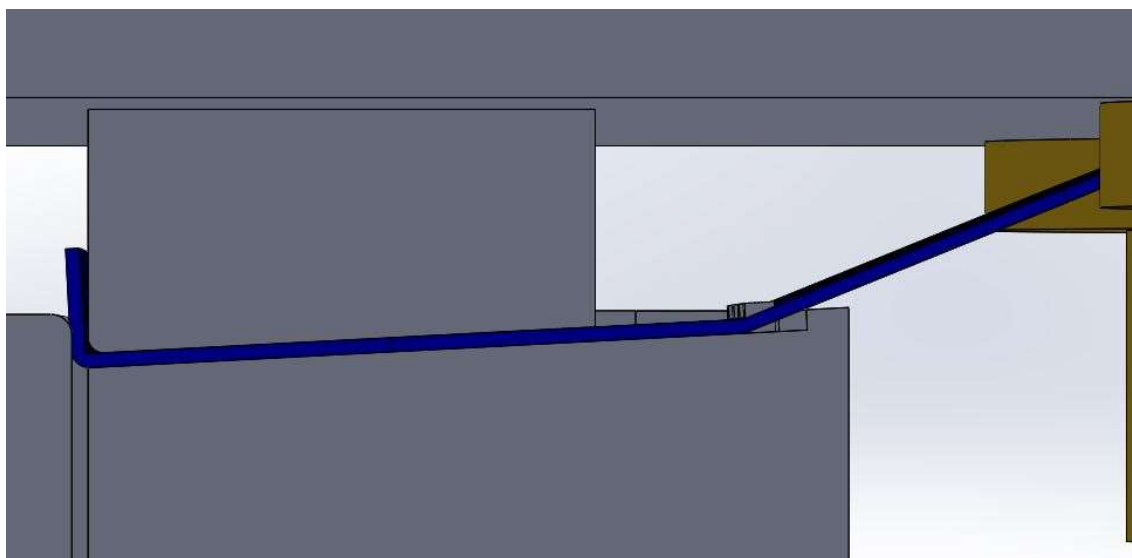


*Obrázek 38 – Ohnutí šipky na dlouhém dílu*

Plně dosednutá ohybnice klesá společně s přidržovačem dolů, a přitom mívá ohýbací hranu ohybníku, což způsobí ohnutí zobáčku směrem nahoru. Hloubka, do které ohybnice zajede, se musí určit experimentálně pro danou jakost materiálu.

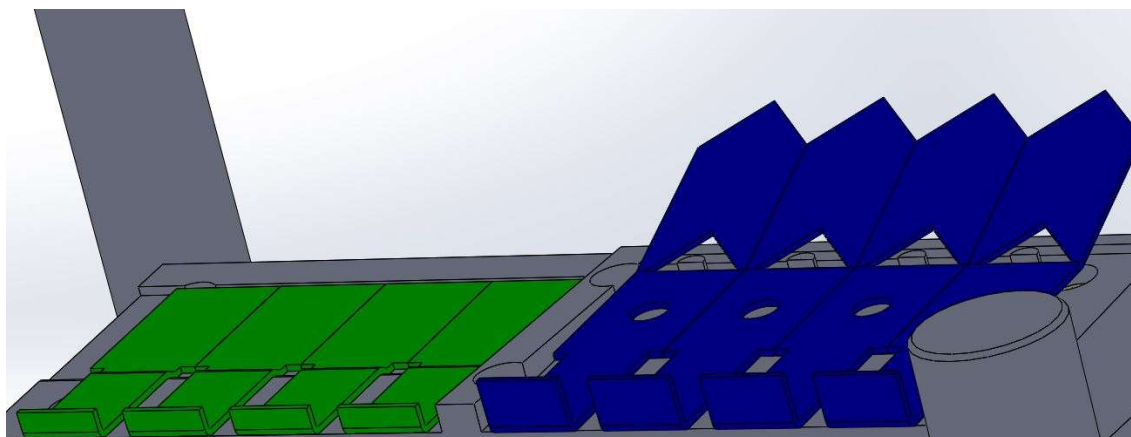


*Obrázek 39 - Ohnutí zobáčku na krátkém dílu*



*Obrázek 40 - Ohnutí zobáčku na dlouhém dílu*

Po dosažení dolní pozice se ohybnice a přidržovač vrátí do výchozí polohy. Vlastní výrobky zůstanou po odlehčení ležet na přidržovači odkud je obsluha odebere. Není zde třeba žádného vyhazovače, o vše se stará gravitace.



*Obrázek 41 - Dokončené díly volně ležící v nástroji*

## 5. Závěr

V teoretické části této bakalářské práce jsem uvedl stručný úvod do technologie tváření, převážně tedy operace ohýbání, která je pro tuto práci stěžejní. Poměrně velký důraz jsem kladl na problematiku odpružení materiálu, pro kterou existuje mnoho výpočetních modelů.

Na začátku praktické části práce jsem vysvětlil, že chytré zárubně jsou mechanickým spojem a nejsou nijak spojené s konektivitou či mobilními telefony. Poté jsem důkladně rozebral vyráběné díly, konkrétně jednotlivé dílčí ohyby, kterých je potřeba dosáhnout.

Následovala výpočtová část, ve které jsem také porovnal jednotlivé metody pro výpočet odpružení. Při porovnání výsledků jednotlivých postupů se ukázalo, že každý dává jiné výsledky a je tedy vhodné určovat míru odpružení spíše experimentálně než analyticky. Jelikož také není jistá konzistence jakosti ohýbaného materiálu (např. mez kluzu), rozhodl jsem, že úhel ohnutí se bude řídit hloubkou pracovního zdvihu, čímž lze také vykompenzovat odpružení. Také jsem stanovil potřebnou lisovací sílu, která vyšla menší než předem určený stroj.

Na konci praktické části jsem, na základě poznatků z teoretické a výpočtové části, navrhl nástroj, který provede všechny ohyby najednou. Pro tento návrh jsem vytvořil CAD model. Finálním produktem této práce je kompletní výrobní výkresová dokumentace navrženého nástroje (Dokumentace je dispozici zaheslovaná na CD – heslo je k dostání u Ing. F. Tatíčka, Ph.D. na FS ČVUT či k nahlédnutí tamtéž. Zaheslování bylo provedeno z důvodu ochrany citlivých firemních dat firmy Kerval a.s.).

Podle vytvořené dokumentace bude nástroj vyroben, testován a posléze nasazen do výroby dílů. Navařením těchto ohnutých dílů do zárubně bude umožněno skládat zárubně přímo na místě stavby, což povede k výraznému zjednodušení logistiky celé operace. Pro stavební firmy lze toto řešení považovat za ekonomičtější a ekologičtější než klasické svařované zárubně, a to hlavně z důvodu větší skladnosti a tím zmenšené potřeby přepravního prostoru, k čemuž se váže i nižší spotřeba pohonných hmot. Jednotlivec pak naopak ocení možnost převézt i několikery zárubně v běžném autě a složit je jen s pomocí kladiva.

## 6. Seznam literatury

- [1] Technologie tváření kovů. Katedra strojírenské technologie [online]. Liberec : TUL [cit. 2020-30-06]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/obsah\\_kovy.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm)
- [2] Akademie tváření: Hluboké tažení. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2020-30-06]. Dostupné z: <http://mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
- [3] Technologie tváření. Katedra strojírenské technologie [online]. Brno: VUT [cit. 2020-30-06]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm)
- [4] Akademie tváření: Ohýbání. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2020-30-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
- [5] BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, c2004, xix, 219 p. ISBN 08-311-3182-9.
- [6] MARCINIAK, Z., J.L DUNCAN a S.J HU. Mechanics of sheet metal forming. Oxford: Butterwort-Heinemann, 2002. ISBN 0750653000.
- [7] Metal forming handbook. Berlin: Springer, 1998. ISBN 3-540-61185-1.
- [8] Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2020-30-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
- [9] ZEDNÍČEK, Zbyněk. Návrh ohýbacího nástroje pro V-ohyb plechu. Brno, 2014. 48s, 10 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
- [10] ČSN EN 10130; Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena – Technické dodací podmínky. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] DVOŘÁK, Milan. Technologie tváření: plošné a objemové tvaření. 2. vyd. Brno: CERM,2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

[12] Sheet metal bending [online]. [cit. 2020-25-07]. Dostupné z:

[http://thelibraryofmanufacturing.com/sheetmetal\\_bending.html](http://thelibraryofmanufacturing.com/sheetmetal_bending.html)

[13] Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2020-25-07]. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>

[14] KRINNINGER, Michael, Daniel OPRITESCU, Roland GOLLE a Wolfram VOLK. Experimental Investigation of the Influence of Punch Velocity on the Springback Behavior and the Flat Length in Free Bending. Procedia CIRP [online]. 2016, 41, 1066-1071 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.procir.2015.12.137. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827116000093>

[15] MERTIN, Chris a Gerhard HIRT. Numerical and experimental investigations on the springback behaviour of stamping and bending parts. Procedia Engineering [online]. 2017, 207, 1635-1640 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.1091. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705817358903>

[16] TEKASLAN, Özgür, Ulvi ŞEKER a Ahmet ÖZDEMİR. Determining springback amount of steel sheet metal has 0.5 mm thickness in bending dies. Materials & Design [online]. 2006, 27(3), 251-258 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.matdes.2004.10.006. ISSN 02613069. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306904002705>

[17] PORNPUSIRI, Natthasak a Kannachai KANLAYASIRI. Effect of bending temperatures on the microstructure and springback of a TRIP steel sheet. Defence Technology [online]. 2019 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.dt.2019.11.018. ISSN 22149147. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221491471931038>

[18] ZHANG, Feifei, Jianbin RUAN, Ji ZHANG, Kai HE a Ruxu DU. Experimental study of springback behavior in incremental bending process. Procedia Manufacturing [online]. 2018, 15, 1290-1297 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.356. ISSN 23519789. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918310527>



## 7. Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres vyráběných dílů

Příloha 2 – Výkres sestavy nástroje

Příloha 3 – Výkres dolní upínací desky

Příloha 4 – Výkres horní upínací desky

Příloha 5 – Výkres vodícího podstavce

Příloha 6 – Výkres podstavce

Příloha 7 – Výkres vodícího pouzdra přídržovače

Příloha 8 – Výkres přídržovače

Příloha 9 – Výkres vodícího sloupku přídržovače

Příloha 10 – Výkres ohybníku

Příloha 11 – Výkres ohybnice

Příloha 12 - Kusovník