

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301                      Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: 2301R016                Dopravní a manipulační technika

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Ohybový nástroj pro plechový díl vozidla

Autor:                      **Radim BUZOVSKÝ**

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

Akademický rok 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radim BUZOVSÝ**  
Osobní číslo: **S12B0115P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Ohybový nástroj pro plechový díl vozidla**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Vypracujte řešerši z oblasti nástrojů pro výrobu plechových dílů. Navrhněte ohybový nástroj pro plechový díl. Vypracujte kompletní konstrukční návrh ohybového nástroje zadaného dílu včetně výkresové dokumentace. Návrh doplňte potřebnými technologickými analýzami.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše problému
2. Vytvoření modelu zadaného dílu ve 3D + 2D
3. Konstrukční návrh ohybového nástroje pro zadaný díl s potřebnými technologickými analýzami
4. Vypracování 3D modelů a výrobní dokumentace ohybového nástroje
5. Zhodnocení navržené konstrukce formy

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

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

**VLK, F.** *Stavba motorových vozidel.* Brno: nakl. Vlk, 2003


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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Eduard Müller**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 22. září 2014

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D, za odborné vedení a připomínky, které mi dal při návrhu a konstrukci ohybového nástroje. Dále bych rád poděkoval Ing. Eduardu Müllerovi za odbornou konzultaci, cenné rady a připomínky, které mi při konstrukci ohybového nástroje velice pomohli. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Buzovský	Jméno Radim	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUČÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Jméno Martin	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Ohybový nástroj pro plechový díl vozidla		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	76	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	40	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	36
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje úpravu zadaného nástroje ve 3D, popis výroby plechového dílu, konstrukční návrh ohybového nástroje, popis jednotlivých částí nástroje a výkresovou dokumentaci.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">konstrukce, krytka, ohýbání, ohybový nástroj, Siemens NX 8</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Buzovský	Name Radim	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 “Transport and handling machinery“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Name Martin	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Progressive sheet metal bending tool of part the vehicle		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	76	<b>TEXT PART</b>	40	<b>GRAPHICAL PART</b>	36
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The thesis includes a 3D tool design, description of the production metal sheet part, construction of bending tool, description of individual tool parts and drawings.
<b>KEY WORDS</b>	Construction, Cover part, bending, Bending tool, Siemens NX 8

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ZKRATKY A SYMBOLY.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>OHÝBÁNÍ.....</b>	<b>2</b>
3.1	Výpočet sil.....	6
3.1.1	<i>Ohyb do tvaru „V“ .....</i>	<i>6</i>
3.1.2	<i>Ohyb do tvaru „U“ .....</i>	<i>6</i>
3.2	Vůle při ohýbání .....	7
3.3	Geometrie nástroje.....	8
3.4	Postupové nástroje .....	9
<b>4</b>	<b>POSTUP TVÁŘENÍ PLECHOVÉ KRYTKY.....</b>	<b>10</b>
4.1	Materiál krytky .....	10
4.2	Polotovar krytky .....	10
4.3	Použité nástroje.....	10
4.4	Postup tváření .....	12
4.4.1	<i>Postupový střížný nástroj .....</i>	<i>12</i>
4.4.2	<i>Postupový ohybový nástroj.....</i>	<i>15</i>
<b>5</b>	<b>KONSTRUKCE OHYBOVÉHO NÁSTROJE .....</b>	<b>19</b>
5.1	Sestava ohybového nástroje.....	19
5.2	Popis jednotlivých komponent .....	20
5.2.1	<i>Upínací desky.....</i>	<i>20</i>
5.2.2	<i>Základní desky.....</i>	<i>20</i>
5.2.3	<i>Podkladové bloky .....</i>	<i>22</i>
5.2.4	<i>Ohybníky.....</i>	<i>22</i>
5.2.5	<i>Ohybnice.....</i>	<i>24</i>
5.2.6	<i>Ohybové vložky.....</i>	<i>26</i>
5.2.7	<i>Ohybové matrice .....</i>	<i>27</i>



5.2.8	<i>Stavěcí prvky</i> .....	27
5.2.9	<i>Vyhazovače</i> .....	28
5.2.10	<i>Vodící prvky</i> .....	29
5.2.11	<i>Pružiny</i> .....	31
5.2.12	<i>Dorazy</i> .....	31
5.2.13	<i>Transportní prvky</i> .....	32
<b>6</b>	<b>VÝPOČET OHYBOVÝCH SIL A VŮLÍ</b> .....	<b>33</b>
6.1	Výpočet síly .....	33
6.1.1	<i>Ohybová síla pro tváření prolisu</i> .....	33
6.1.2	<i>Ohybová síla pro tváření patek pro upnutí</i> .....	33
6.1.3	<i>Ohybová síla pro tváření plechových rukávů</i> .....	33
6.1.4	<i>Maximální ohybová síla v prvním kroku</i> .....	34
6.1.5	<i>Maximální ohybová síla druhého kroku</i> .....	34
6.1.6	<i>Celková ohybová síla</i> .....	34
6.2	Výpočet vůlí při ohýbání .....	34
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>36</b>
	<b>INTERNETOVÉ ZDROJE</b> .....	<b>36</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>37</b>
	<b>VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE</b> .....	<b>38</b>

## 1 ZKRATKY A SYMBOLY

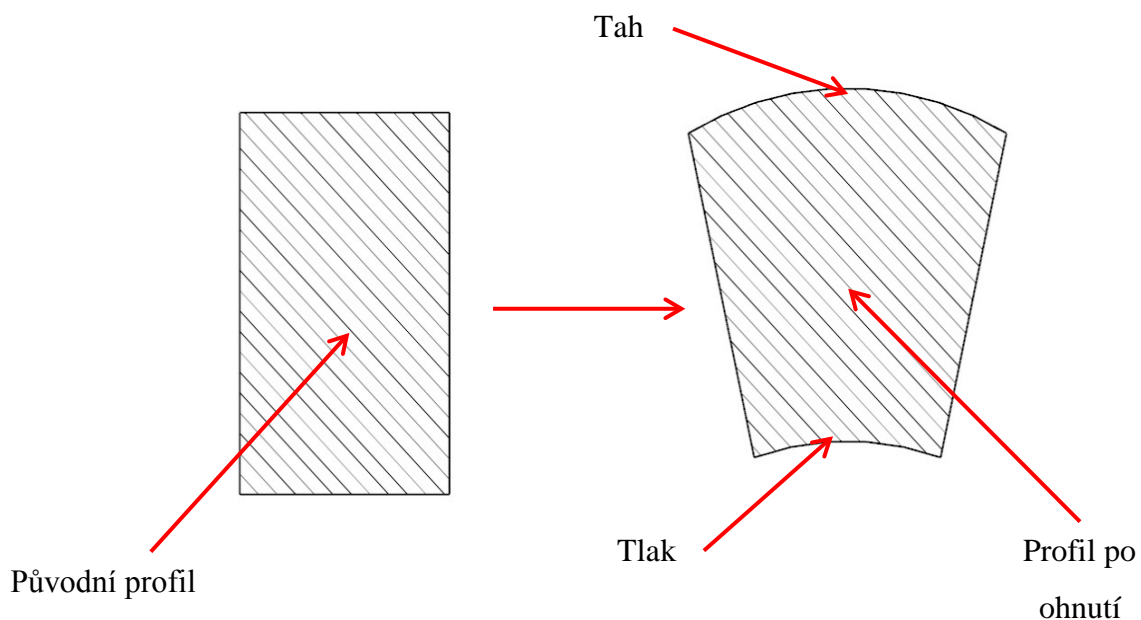
Atd.	a tak dále
CAD	Computer aided design (počítačová podpora konstruování)
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
MPa	Jednotka tlaku
mm	Jednotka délky
N	Jednotka síly
°	Jednotka rovinného úhlu
KKS	Katedra konstruování strojů
FST	Fakulta strojní
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

## 2 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je návrh postupového ohybového nástroje pro plechovou krytku automobilu. Práce je zaměřena na výrobu plechové krytky od počátku do konce tváření. Dále úpravou zadaných modelů jednotlivých komponent ohybového nástroje v programu Siemens NX 8. V závěrečné části práce jsou popsány funkce jednotlivých komponent použitých v nástroji.

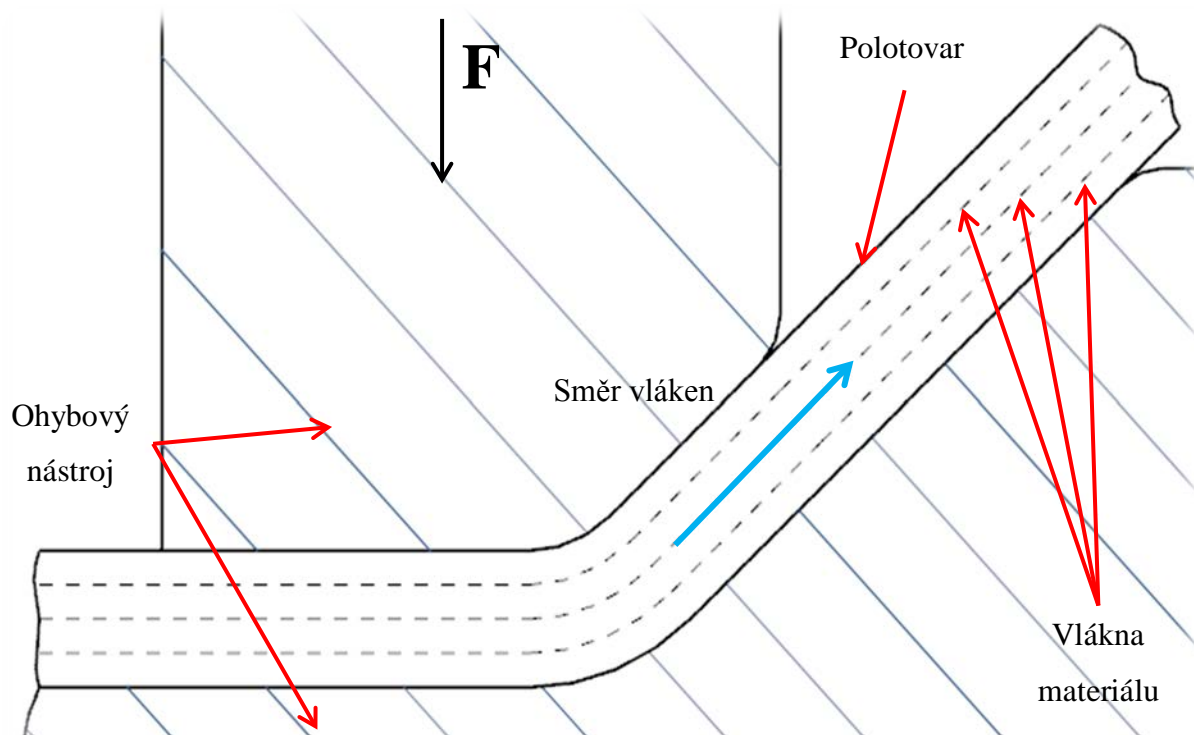
## 3 OHÝBÁNÍ

Ohýbání je tvářecí proces, při kterém dochází k trvalé deformaci materiálu. Polotovar se v ohybovém nástroji mění na výlisek. Ohýbání spadá do plošného tváření. Materiál se vzniklým napětím ohýbá do různých úhlů ohybu s různými poloměry zaoblení hran, přičemž získává požadovaný tvar. Při ohybu dochází ke změně průřezu. Je-li průřez polotovaru obdélníkový, změní se jeho průřez v lichoběžníkový. Pokud je průřez v příčném směru dostatečně široký, k deformaci nedochází a to proto, že proti deformaci v příčném směru působí odpor materiálu jeho velké šířky oproti jeho malé tloušťce [9].



Obrázek 1 Deformace průřezu při ohýbání pro obdélníkový profil

Při ohýbání se vrstvy materiálu na vnitřní straně stlačují a na vnější straně natahují. Vzhledem k rozdílným mechanickým vlastnostem materiálu napříč a podél vláken, je zapotřebí, aby ohybová hrana ležela napříč směru vláken ohýbaného materiálu viz Obr.2 [4].

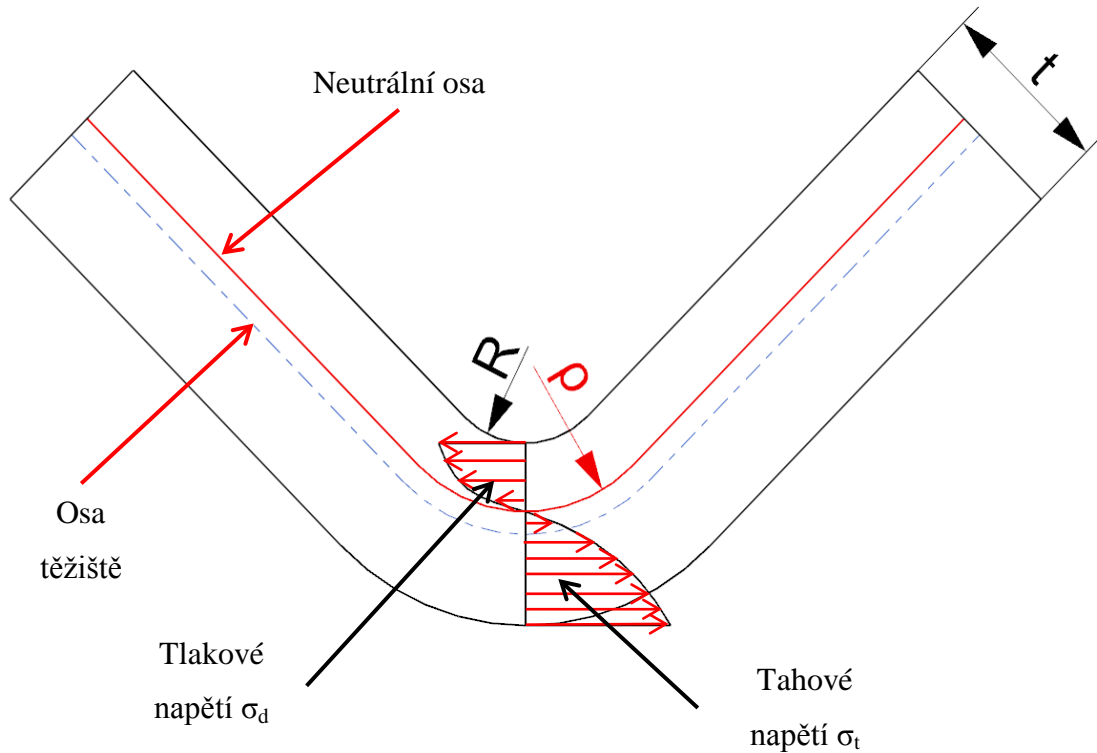


Obrázek 2 Směr vláken při ohýbání

Mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami je neutrální osa, ve které nepůsobí napětí a při ohýbání se nenatahuje ani nestlačuje viz Obr.3. Na počátku je poloha neutrální osy uprostřed průřezu. Poloha neutrální osy odpovídá poloze těžiště. Při ohybu se poloha neutrální osy posouvá ke stěnám polotovaru. Směr, kterým se posouvá, závisí na druhu ohýbaného materiálu a na poměru vnitřního poloměru ohybu  $R$  a tloušťky polotovaru  $t$ . Pro poměr  $R/t < 6$  lze předpokládat, že dojde k posunutí neutrální osy. Pokud je poloměr ohybu podstatně větší než tloušťka polotovaru, kdy je poměr  $R/t > 12$ , lze uvažovat, že neutrální osa je uprostřed tloušťky průřezu ohýbaného výlisku [4]. Její poloměr lze určit:

$$\rho = R + x \cdot t$$

kde  $\rho$  je poloměr neutrální osy v místě ohybu a  $x$  je součinitel posunutí neutrální vrstvy. Délka polotovaru se stanoví podle rozvinutí polotovaru do roviny podél neutrální osy [9].



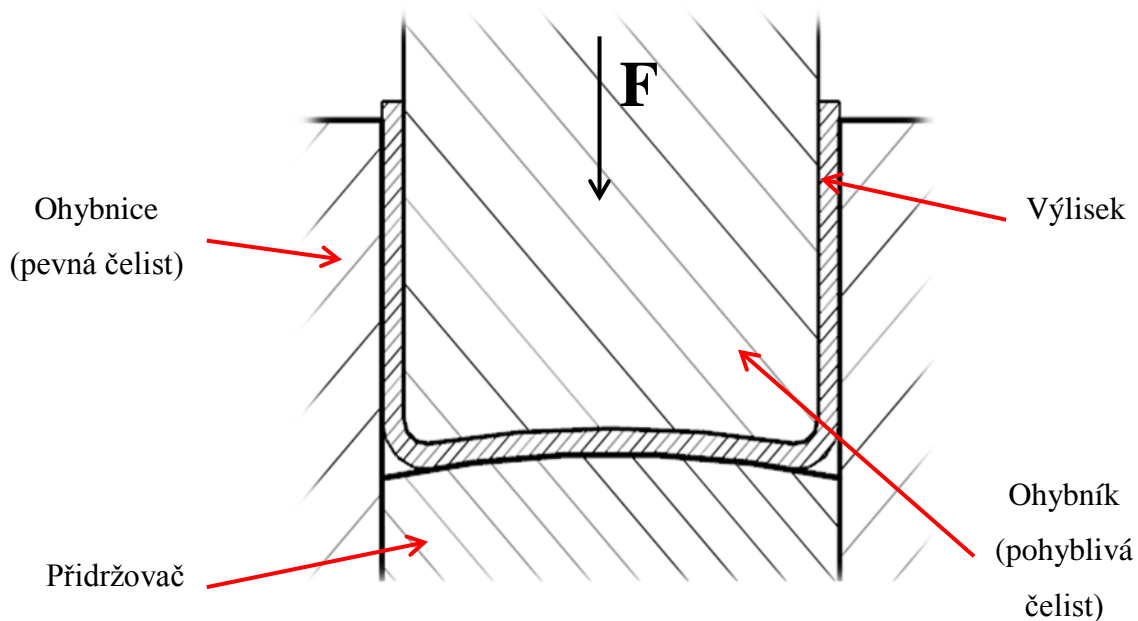
Obrázek 3 Napětí v materiálu při ohybu

Jelikož se napětí v místě ohybu mění z tahového napětí přes neutrální osu na tlakové napětí, je tedy patrné, že celý zatěžovaný průřez nebude deformován pouze plasticky a po odlehčení zatížení dojde ke zpětné pružné deformaci, která závisí na stupni plastické deformace v místě ohybu a na druhu ohýbaného materiálu. Toto odpružení se projeví jako úhlová odchylka  $\gamma$ . Její velikost závislá na úhlu ohnutí  $\alpha$  a poměru poloměru ohybu  $R$  a způsobu ohýbání [4].

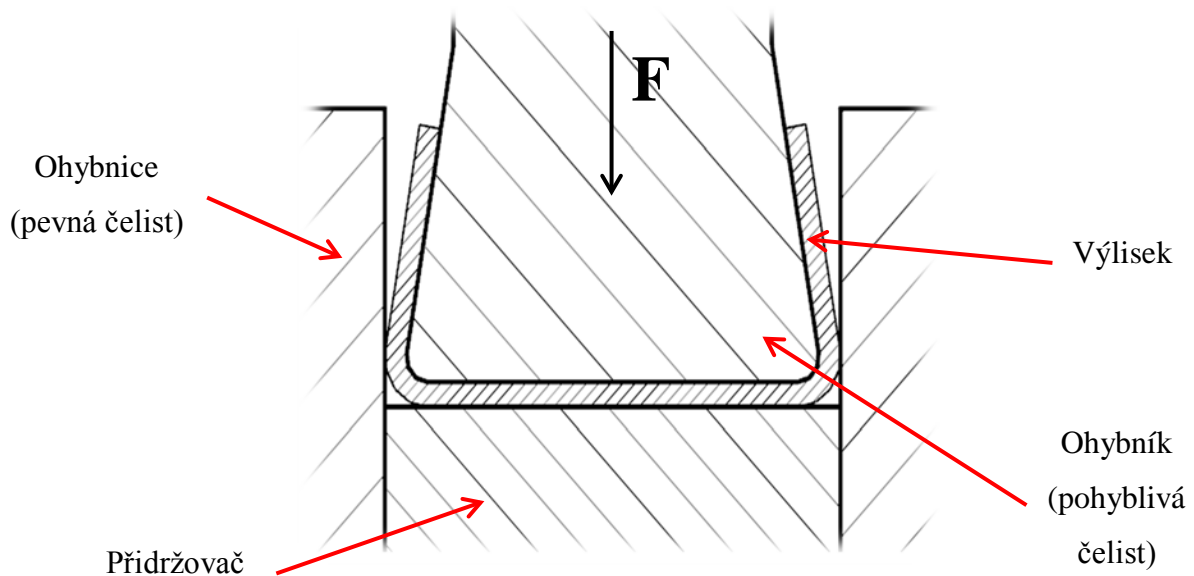


Obrázek 4 Odpružení materiálu při ohybu

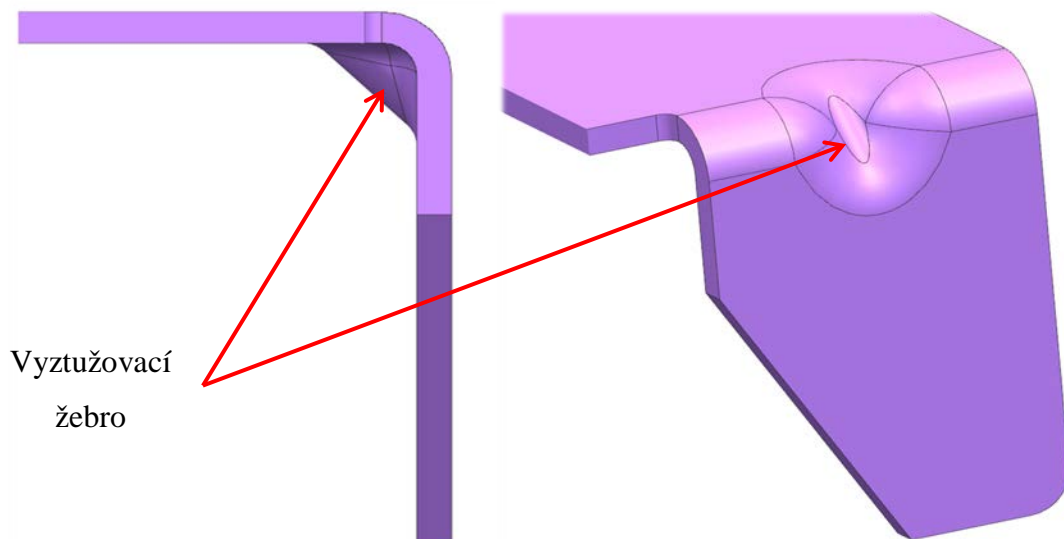
Odpružení se většinou omezí tím, že se polotovar ohne navíc o hodnotu odpružení, která se určí z tabulek a z empirických vztahů. Při konstrukci nástroje se musí s tímto odpružením počítat a nástroj proto upravit tak, aby měl výlisek požadovaný tvar. Dalšími způsoby jak zabránit odpružení polotovaru je například vylisováním vyztužovacího žebra v místě ohybu viz Obr.7, zpevněním polotovaru v rozích rázem, zkosením pohyblivé čelisti o úhel  $\gamma$  viz Obr.6, zaoblením pohyblivé čelisti i přídržovače viz Obr.5 [9], atd.



Obrázek 5 Zaoblení pohyblivé čelisti a přídržovače



Obrázek 6 Zkosení pohyblivé čelisti



Obrázek 7 Vyztužovací žebro

### 3.1 Výpočet sil

Základním rozdělením ohýbání je ohyb do tvaru „V“ a ohyb do tvaru „U“.

#### 3.1.1 Ohyb do tvaru „V“

Ohýbaný polotovar je považován za nosník na dvou podporách zatěžovaný silou uprostřed obou podpor. Ohýbací síla se potom vypočítá podle:

$$F = \frac{2 \cdot b \cdot t^2}{3 \cdot l} R_m$$

Kde  $b$  je šířka polotovaru,  $l$  je vzdálenost podpor a  $R_m$  je mez pevnosti materiálu [6].

#### 3.1.2 Ohyb do tvaru „U“

Ohýbací sílu při ohybu do tvaru „U“ lze vypočítat podle:

$$F = \frac{4 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_p + 1,2 \cdot t + r_m)}$$

Kde  $r_p$  je poloměr ohýbací čelisti,  $r_m$  je poloměr pevné čelisti [6]. Pro výpočet ohýbací síly lze též použít Ruhmannův vztah:

$$F = 0,22 \cdot t \cdot l \cdot R_m$$

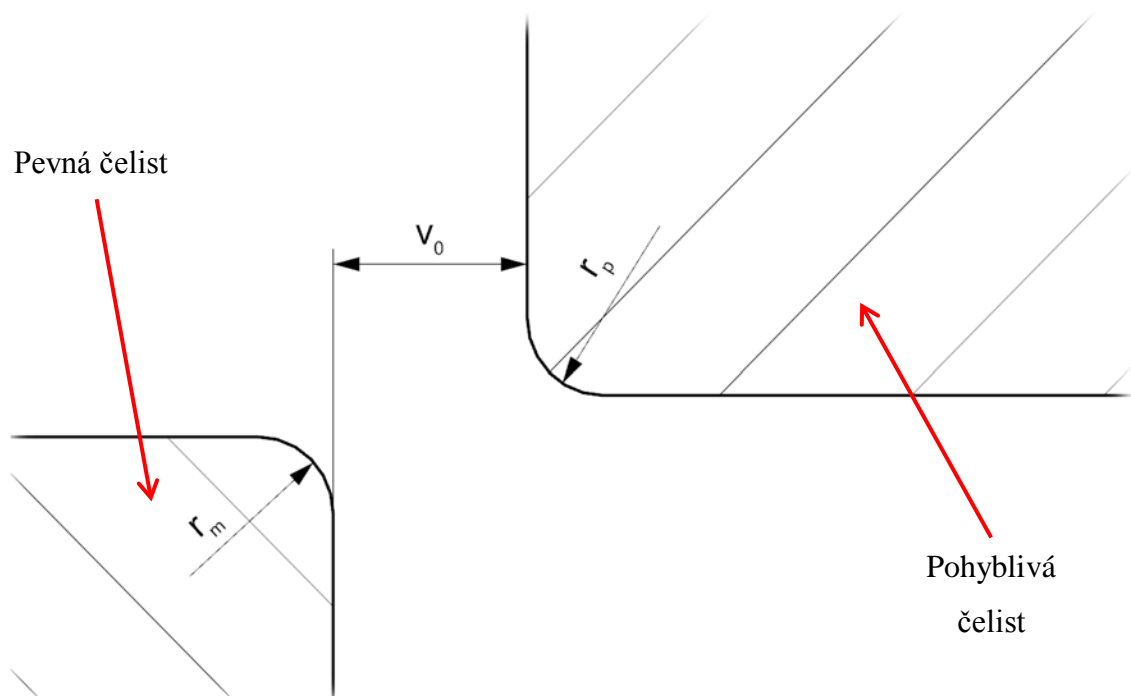
Kde  $l$  je délka ohybu. Sílu vypočtenou podle Ruhmannova vztahu je nutno zvýšit o 30% v případě použití spodního přidržovače. Zvýšení síly je nutné i pro malé poměry  $R/t$  a malou vůli v nástroji [4].

### 3.2 Vůle při ohýbání

Pod vůlí při ohýbání si lze představit vzdálenost mezi ohybníkem a ohybnicí. U ohýbání do tvaru „V“ odpovídá vůle tloušťce ohýbaného polotovaru. Tato vůle se nastaví seřízením zdvihu lisu. Při ohýbání do tvaru „U“ je vůle závislá hlavně na tloušťce polotovaru a délce ramena  $l_0$ , které odpovídá vzdálenosti od středu ohybu k ohýbací hraně. Tuto vůli lze vypočítat ze vztahu:

$$v_0 = t + t \cdot c$$

Kde  $c$  je součinitel vlivu tření ohýbaného polotovaru o pevnou čelist se zřetelem na délku ramena  $l_0$  [5].

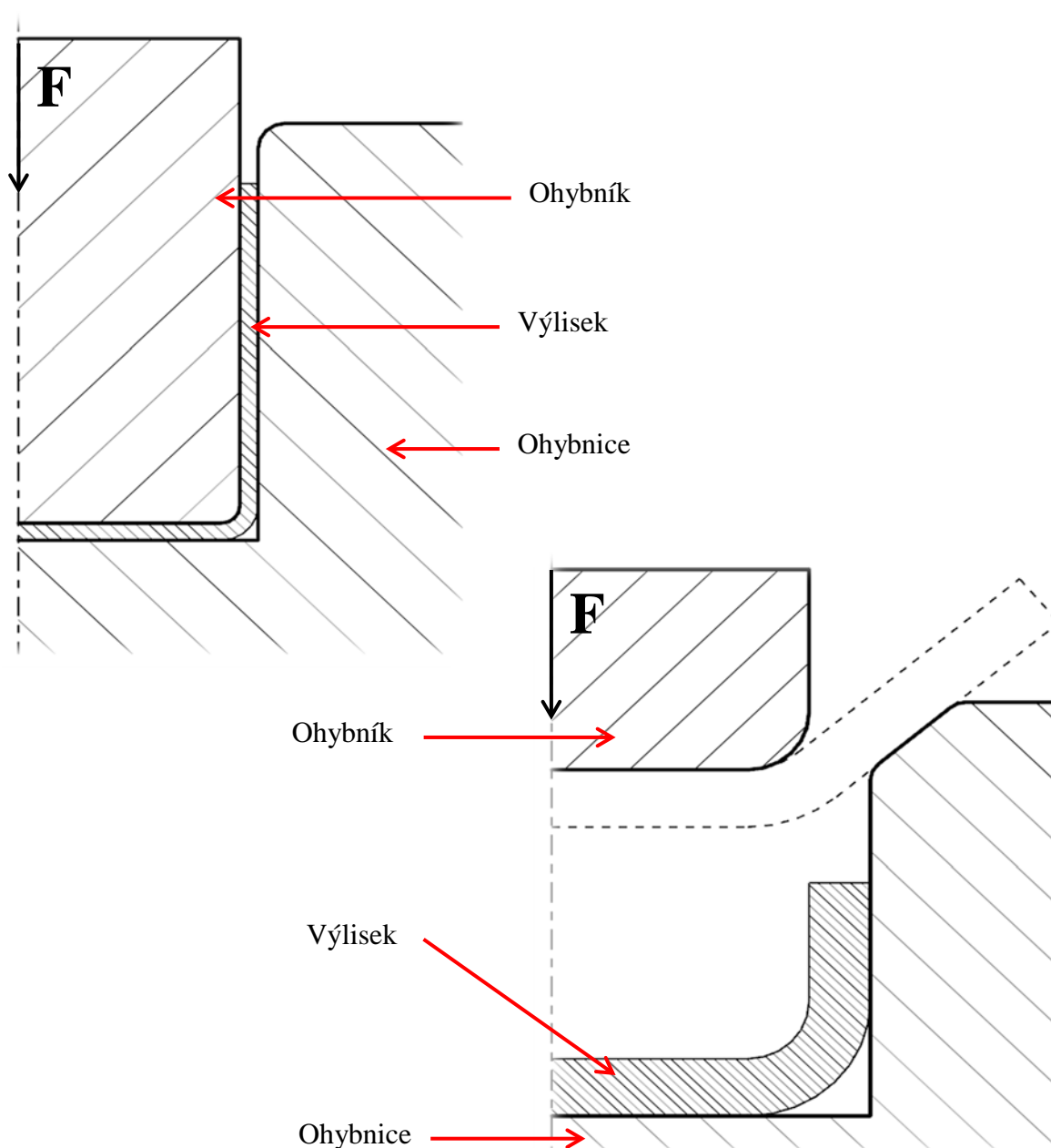


Obrázek 8 Vůle mezi čelistmi

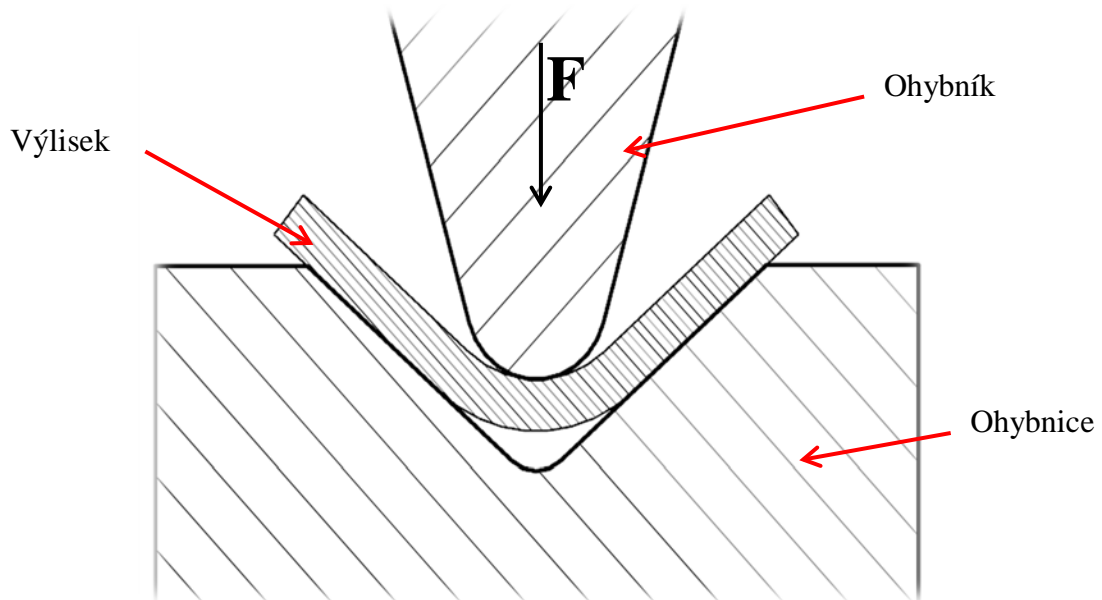


### 3.3 Geometrie nástroje

Geometrií nástroje se rozumí poloměry zaoblení pevných a pohyblivých částí ohybového nástroje. Tvar pevné části nástroje má vliv na velikost ohýbací síly a na jakost ohýbané součásti. Čím je menší poloměr zaoblení, tím jsou větší specifické tlaky mezi polotovarem a nástrojem a je tím větší riziko vzniku otláčenin. Velikost rádiusu je závislá i na rozměrech průřezu ohýbané součásti. Poloměry zaoblení u pohyblivých částí ohybového nástroje se určují dle vnitřního poloměru výrobku. Měl by být co nejmenší, aby se dosáhlo co největší plastické deformace v rozích výrobku a nedocházelo tak k vysokému odpružení [4].



Obrázek 9 Geometrie nástroje ohýbání do U pro tenký a silný polotovar



Obrázek 10 Geometrie nástroje ohýbání do V

### 3.4 Postupové nástroje

Pokud je zapotřebí k výrobě výrobku více operací, je možné tyto operace zařadit za sebou v jednom nástroji. Při každém zdvihu se provedou všechny operace, které jsou v nástroji umístěny. Těmto nástrojům se říká nástroje postupové. Pokud to je možné, lze do jednoho nástroje sdružit několik technologií, např. stříhání, ohýbání, tažení, ražení. Nástroj se tedy konstruuje jako nástroj postupový sdružený. Pro vysoké využití materiálu a možnosti plné automatizace, se jako polotovary často používá pas, nebo svitek. U těchto nástrojů se odvádí nepotřebný materiál propady nebo skluzu. U menších postupových nástrojů se velmi často přesouvá polotovar z jedné operace do druhé ručně obsluhou u lisu. To platí i pro odstraňování vzniklého nepotřebného materiálu. Jednotlivé části nástroje jsou popsány, nebo označeny štítky, které jednoznačně popisují ve které části nástroje je prováděna daná operace. Popisky se štítky jsou umístěny na nástroji tak, aby na ně obsluha viděla [5].

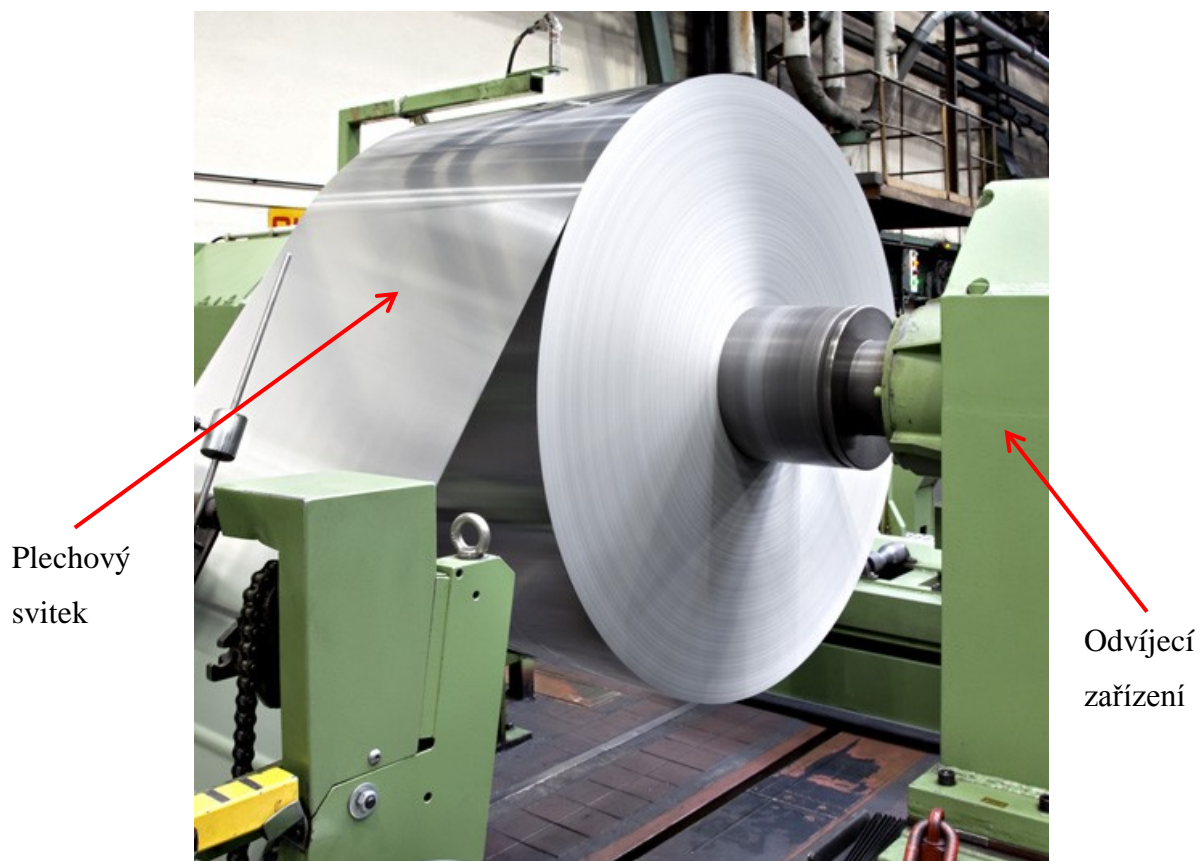
## 4 POSTUP TVÁŘENÍ PLECHOVÉ KRYTKY

### 4.1 Materiál krytky

Krytka bude vyrobena z oceli 11 305 dle ČSN 41 1305. Jedná se o nelegovanou ocel, která je vhodná ke tváření za studena, obzvláště k hlubokému tažení a je odolná proti stárnutí [11]. Pevnost oceli v tahu je 270 – 350 MPa [12].

### 4.2 Polotovar krytky

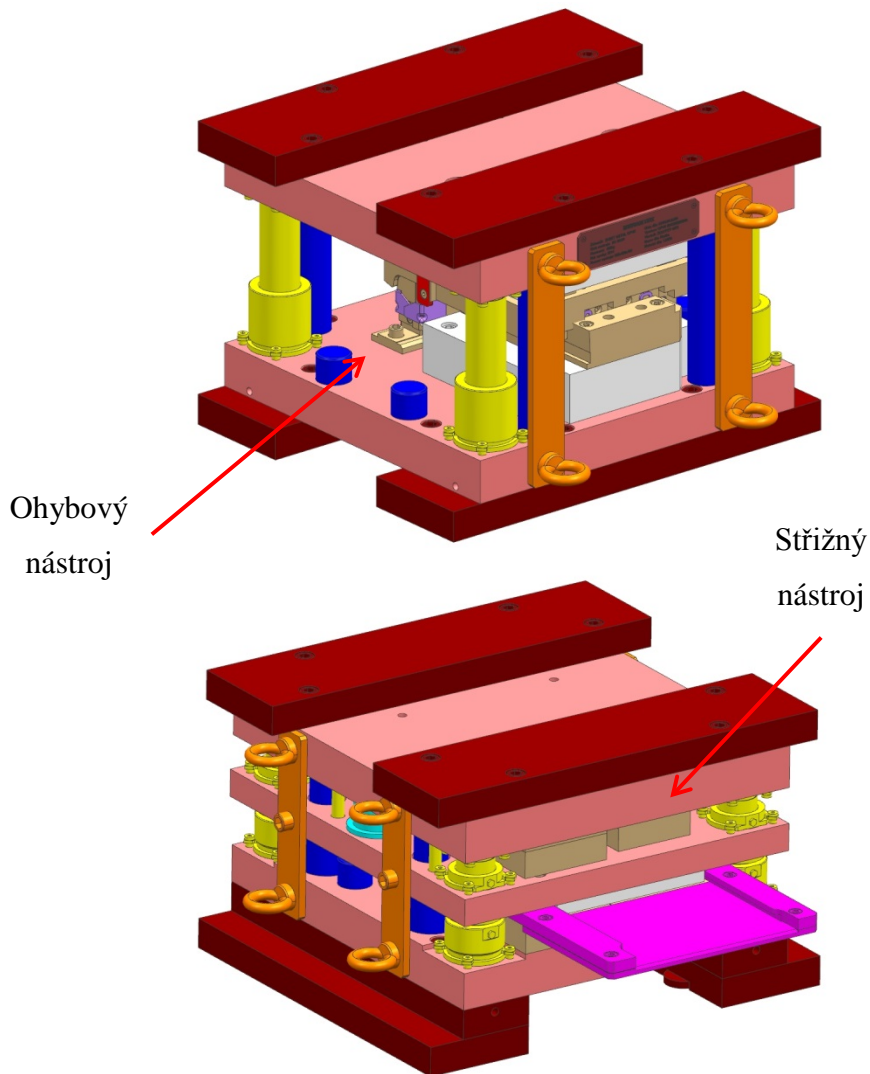
Polotovarem krytky bude plechový svitek o tloušťce 2 mm a šířce 245 mm.



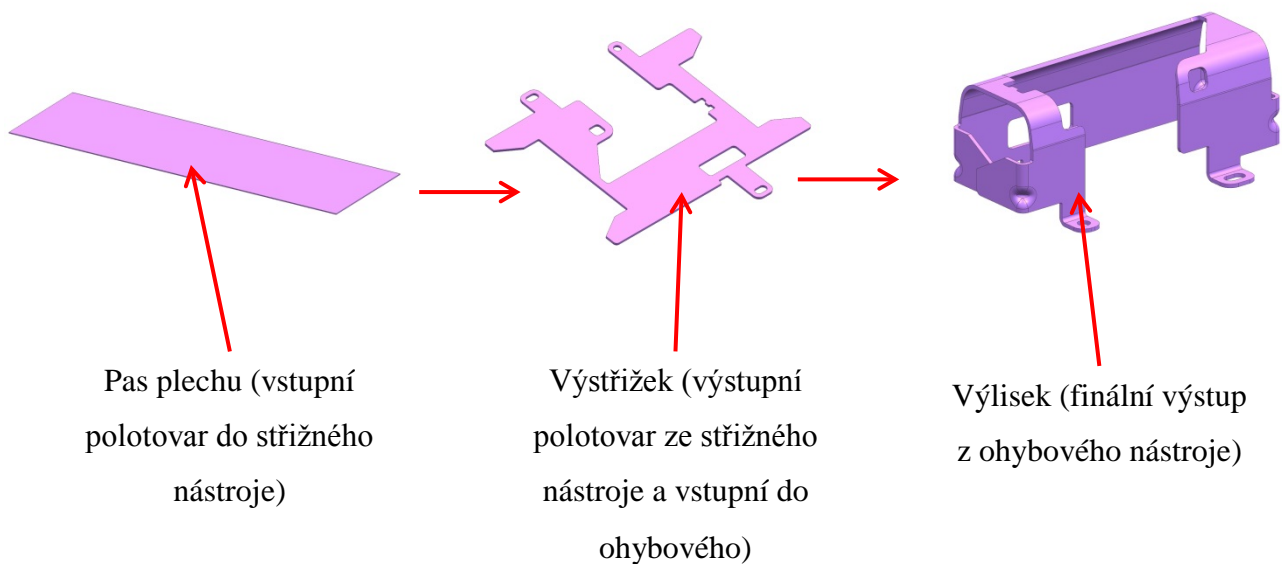
Obrázek 11 Plechový svitek [8]

### 4.3 Použité nástroje

Plechová krytka bude vyrobena na dvou postupových nástrojích. Nejdříve se vystříhne z pasu výstřižek na postupovém střížném nástroji, který se poté bude tvářet v postupovém ohybovém nástroji do finálního tvaru.



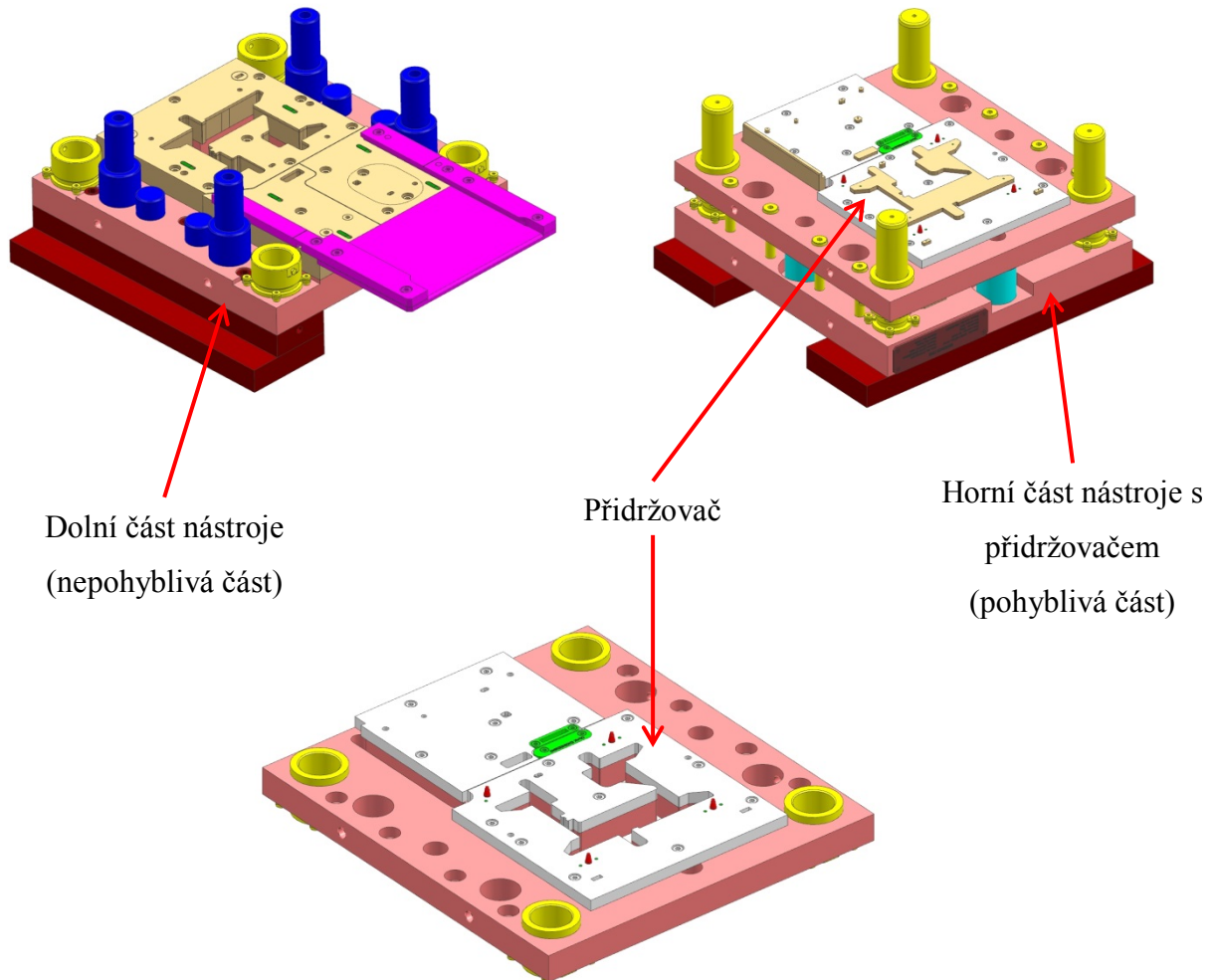
Obrázek 12 Použité postupové nástroje



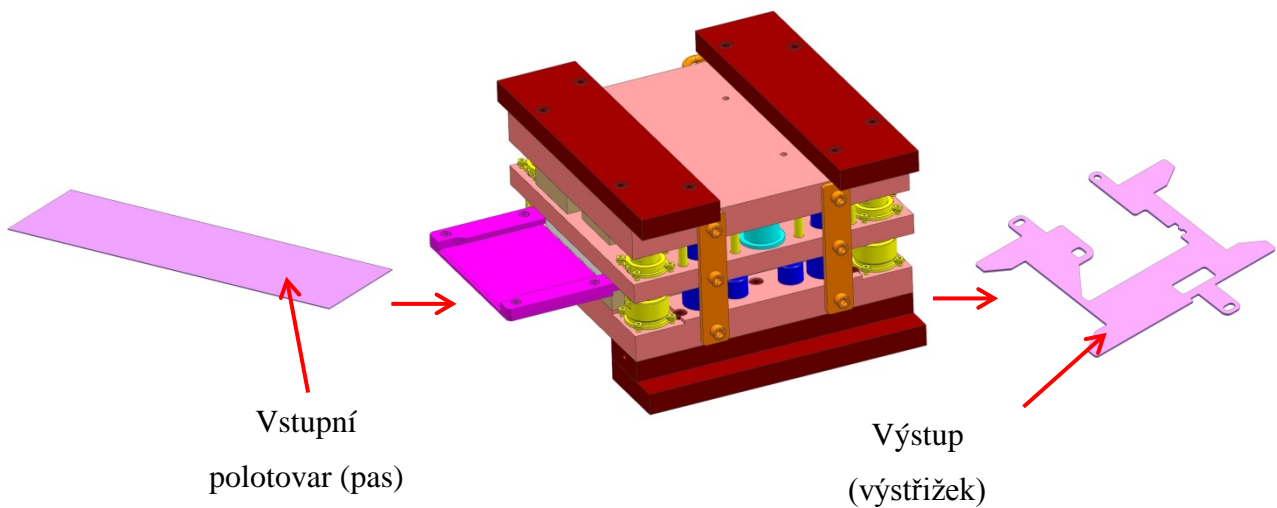
Obrázek 13 Polotvar před, při a po tváření

## 4.4 Postup tváření

### 4.4.1 Postupový střížný nástroj

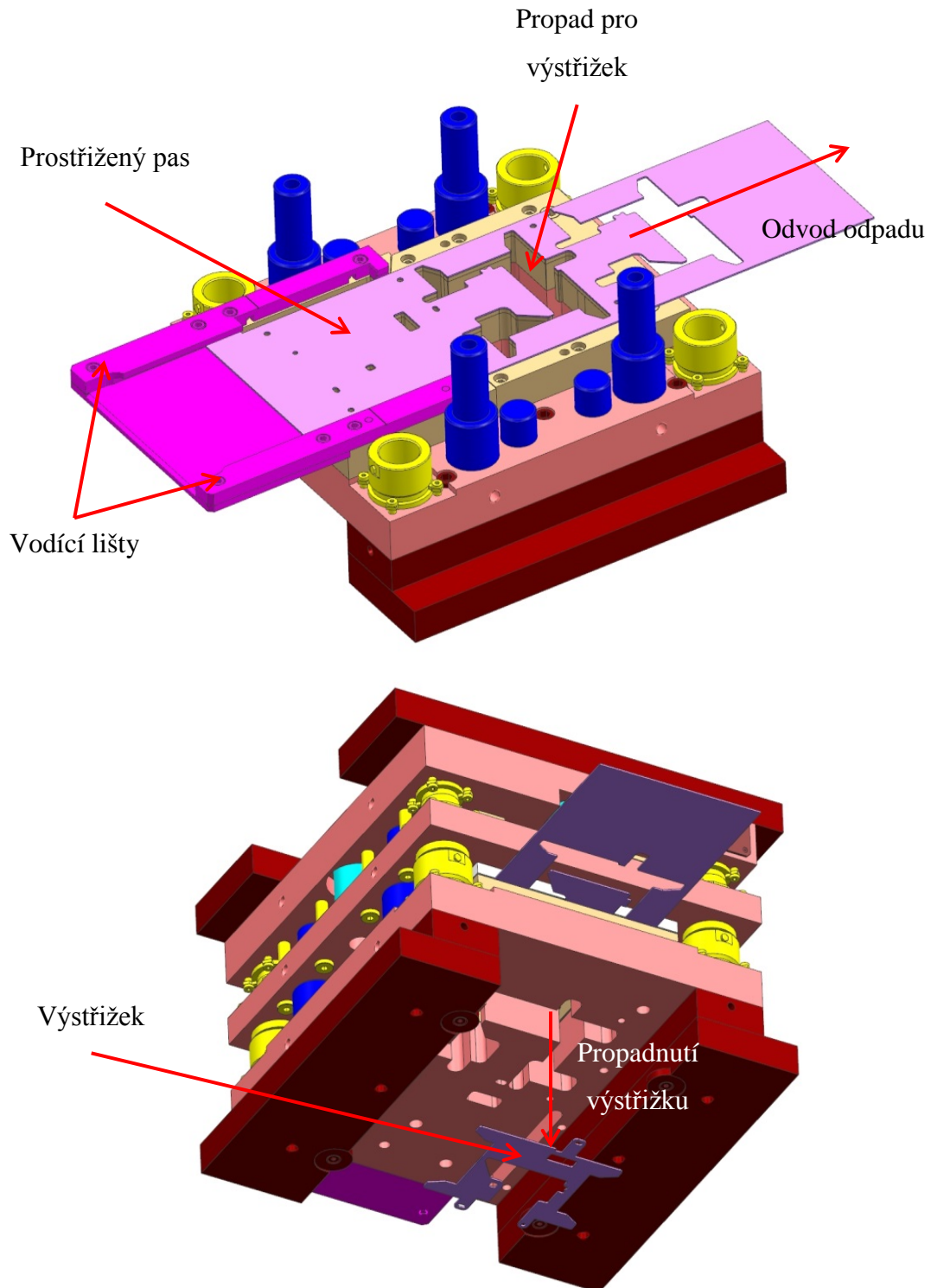


Obrázek 14 Části postupového střížného nástroje



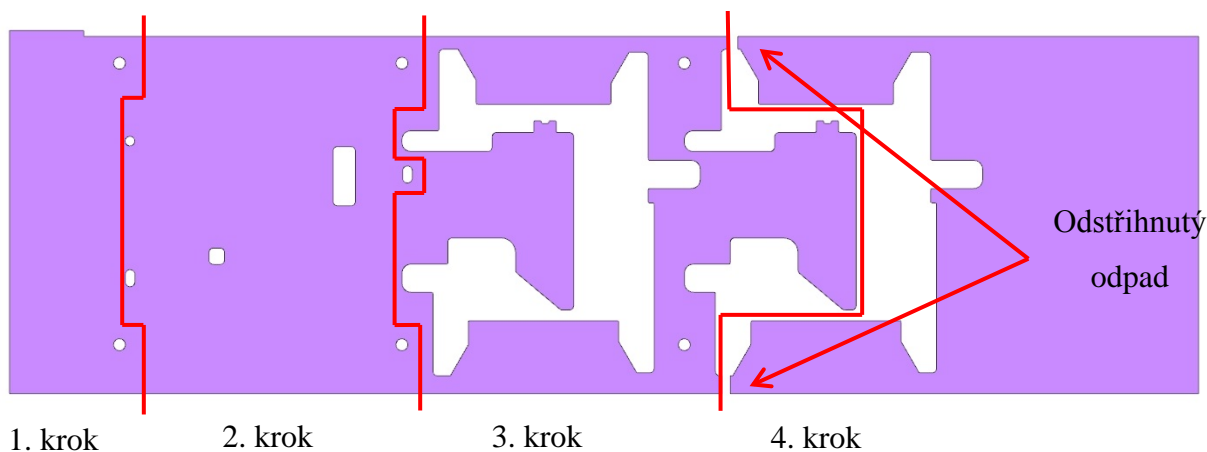
Obrázek 15 Vstup a výstup ze střížného nástroje

V tomto nástroji se upravuje vstupní polotovar (ocelový pas) na výstřížek, který bude dále tvářen v ohybovém nástroji. Ocelový pas z plechového svitku vstupuje do nástroje ze strany vodících lišt, kde je naveden do nástroje. Z druhé strany nástroje odchází odstřížený odpad. Výstřížek propadne tvarovým otvorem umístěným v nástroji viz Obr.16 do sběrného boxu.



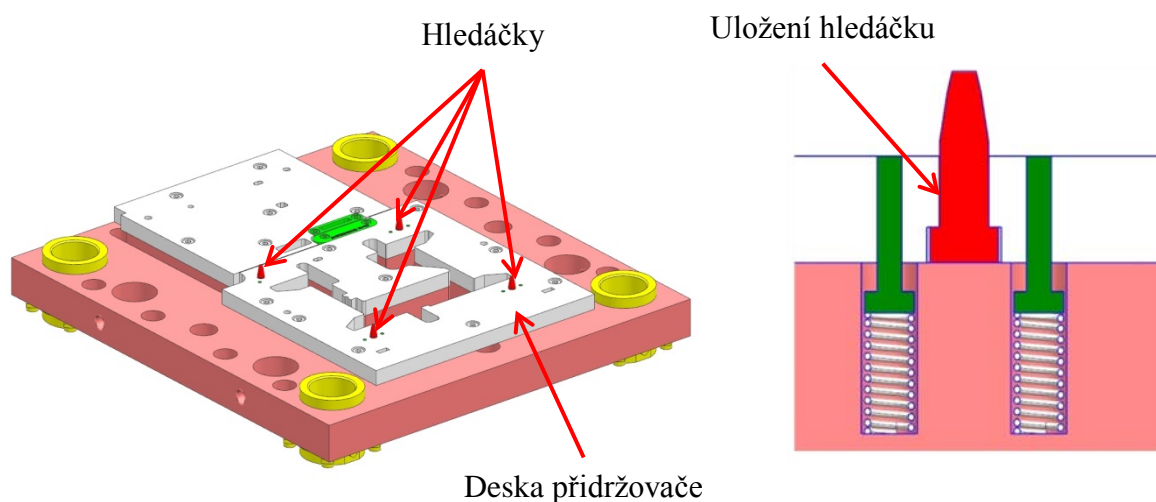
Obrázek 16 Odvod materiálu

Požadovaného tvaru výstřížku se dosáhne ve čtyřech krocích. Při každém zdvihu horní části nástroje se polotovár periodicky posouvá odvíjením pasu ze svitku přes podávací a naváděcí zařízení.



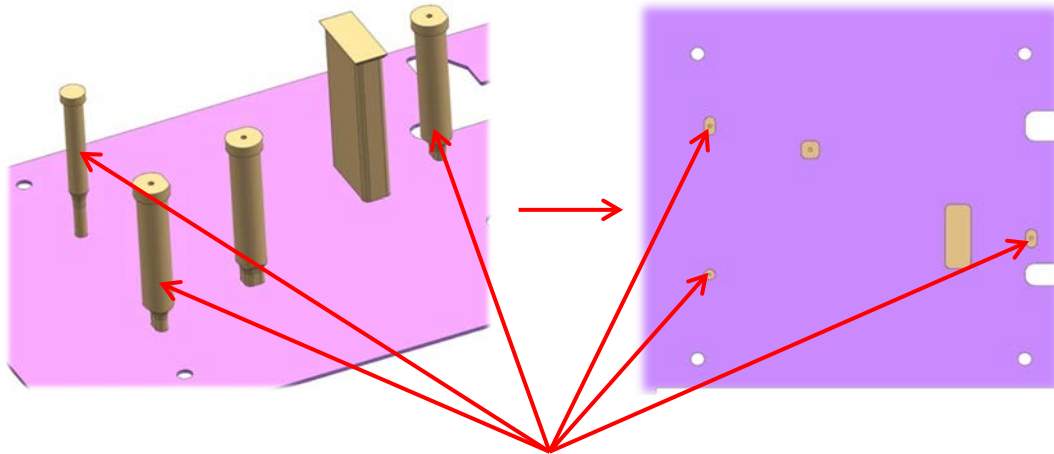
Obrázek 17 Jednotlivé kroky při stříhání

V prvním kroku je pas naveden do nástroje. Vystříhnou se dva kruhové otvory o průměru 8 mm viz Obr.17. Tyto otvory se stříhají pro hledáčky, které jsou umístěny v desce přidržovače viz Obr.18. Hledáčky ustavují pas v následujících krocích nástroje. Jedná se o kolíky, které jsou z jedné strany zkoseny. Díky tomuto zkosení jednoduše zapadnou do otvoru v pasu. Hledáčky slouží pro přesné ustanovení plechového pasu v nástroji a určují tak rozptyl podávání plechu mezi jednotlivými kroky. Dále při prvním kroku proběhne zastřížení jedné strany plechu na šířku 241 mm.



Obrázek 18 Hledáčky ve střížném nástroji

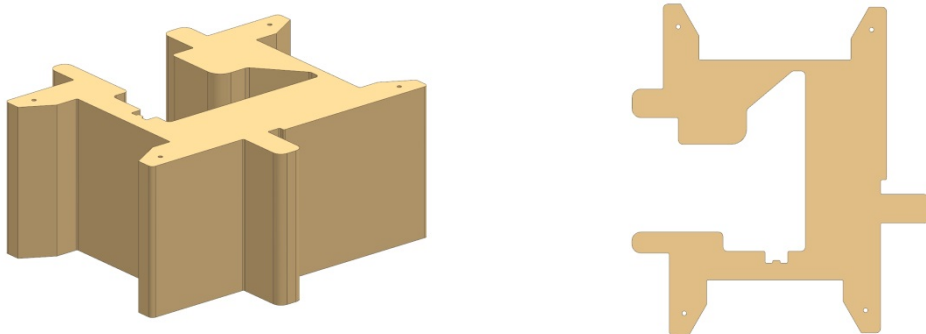
Ve druhém kroku se vystříhne pět otvorů. Jeden kruhový a dva oválné. Díky těmto otvorům bude možno hotovou krytku upnout. Dále se vystříhnou dva obdélníkové otvory viz Obr.19.



Střížníky pro otvory na upnutí krytky

Obrázek 19 Střížníky druhého kroku

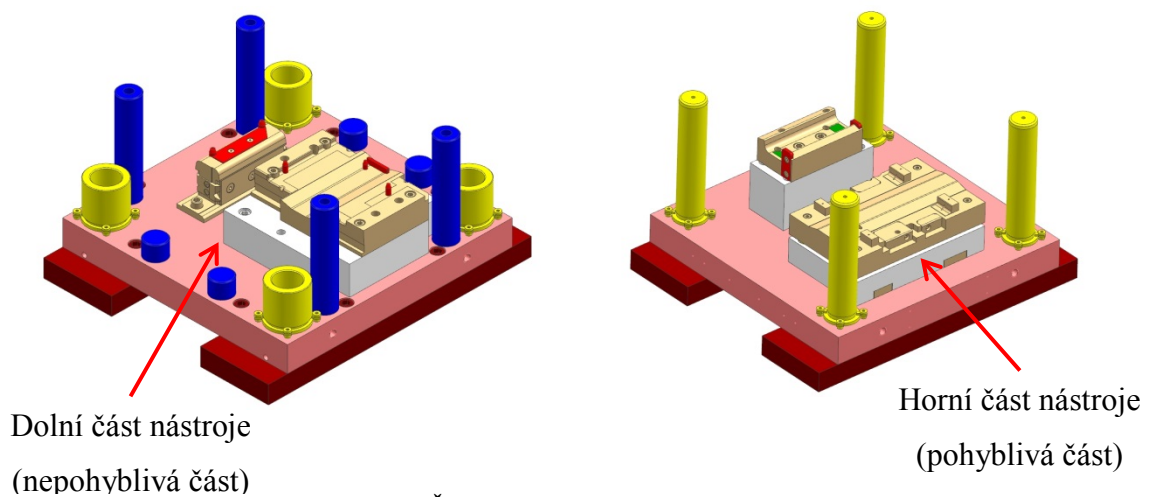
Ve třetím kroku se tvarovým střížníkem vystříhne požadovaný výstřížek viz Obr.20. Vystřížený kus propadne tvarovým otvorem v nástroji.



Obrázek 20 Tvar střížníku ve třetím kroku

Ve čtvrtém kroku dojde k odstříhnutí odpadu od ocelového pasu. Odpad padá do sběrného boxu. Tento odpad se využije pro výrobu nové oceli.

#### 4.4.2 Postupový ohybový nástroj



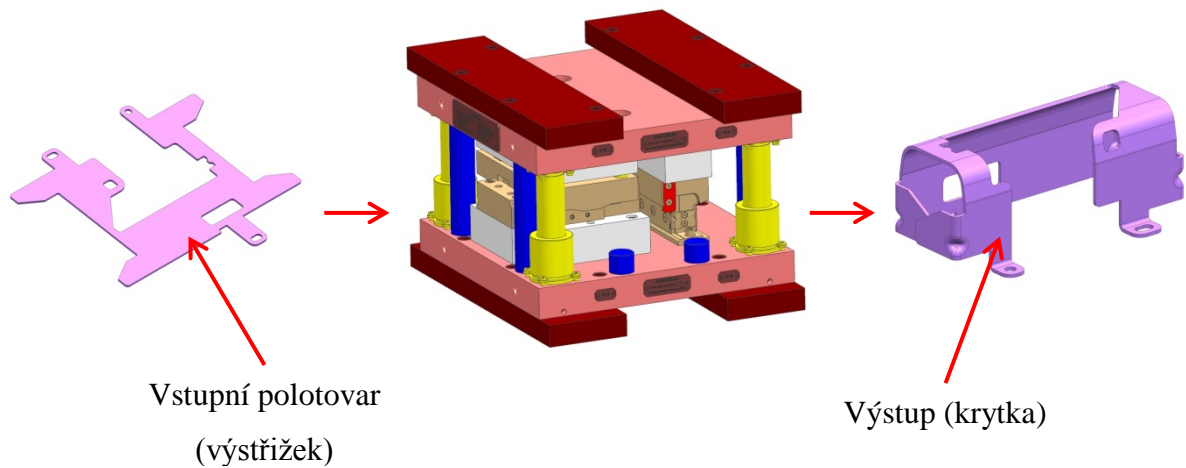
Dolní část nástroje  
(nepohyblivá část)

Horní část nástroje  
(pohyblivá část)

Obrázek 21 Části postupového ohybového nástroje

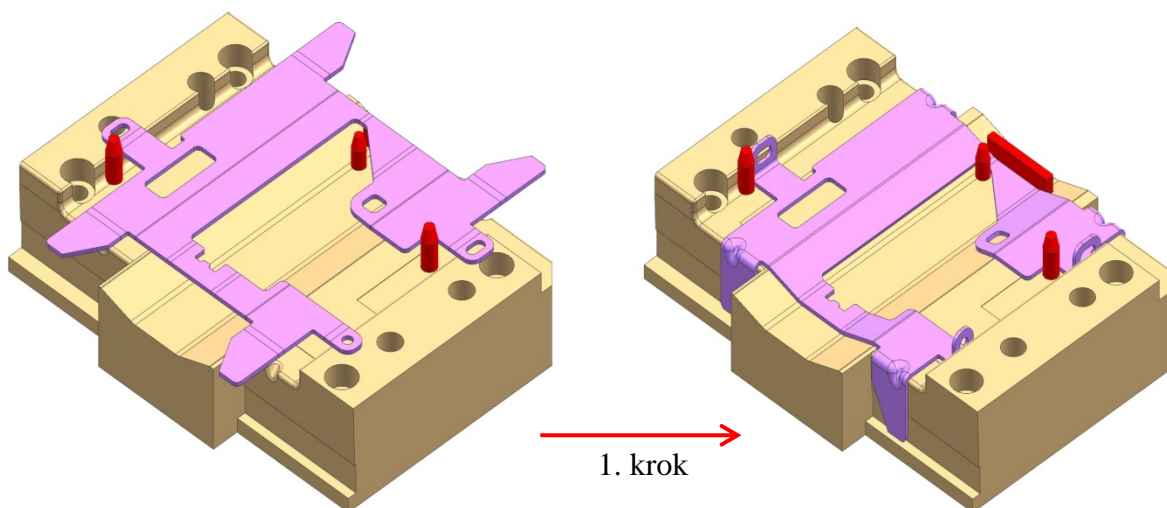


Do ohybového nástroje vstupuje jako polotovar výstřižek ze střížného nástroje. Výsledný tvar výlisku se dosáhne ve dvou krocích. Z jedné operace na druhou je polotovar manuálně přesouván obsluhou u stroje, proto je nutné, aby nástroj byl viditelně popsán, v jaké jeho části probíhá jaká operace. Na rozdíl od střížného nástroje zde nevzniká odpad. Výstupem je tedy hotová krytka.

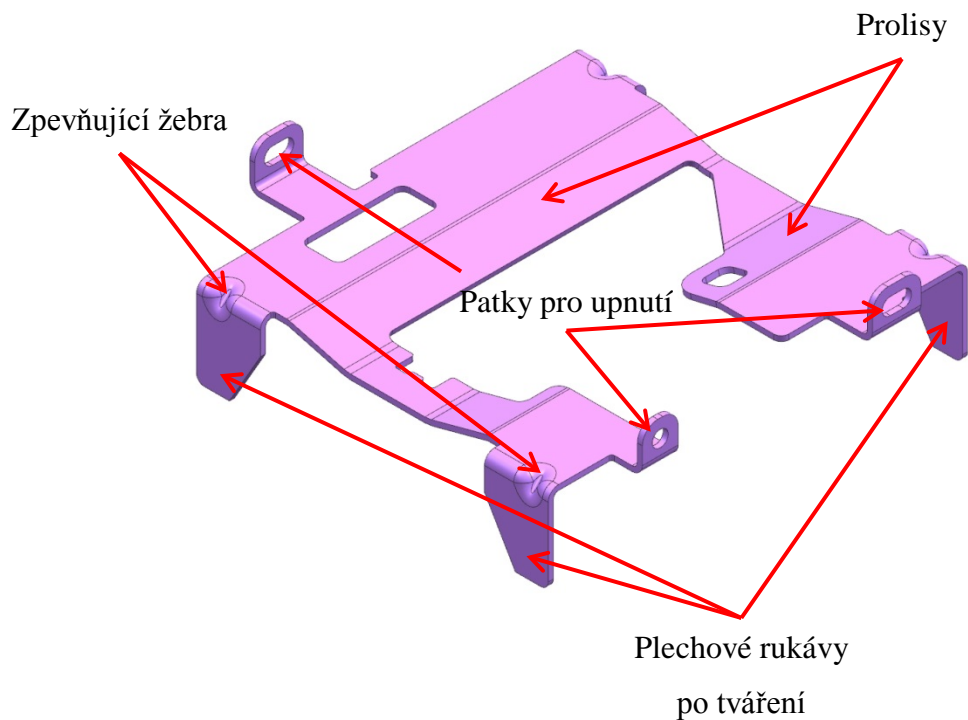


Obrázek 22 Vstup a výstup z ohybového nástroje

V prvním kroku dojde k menšímu prolisu plechu opisující tvar ohybnice viz Obr.23. Tyto vzniklé prolisy jsou důležité pro následující krok viz Obr.24. Tvářecí síla aplikovaná na tyto plochy tváří polotovar do finálního tvaru. Dále se díky osazení na ohybnici a ohybovým vložkám na ohybníku tváří pod pravým úhlem plechové patky sloužící pro upnutí krytky viz Obr.24. Jelikož se počítá s odpružením materiálu, jsou tedy dosedací plochy ohybových vložek opatřeny úkosy o úhlu  $2^\circ$ .

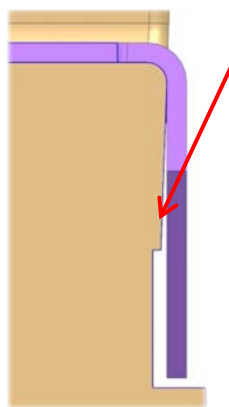


Obrázek 23 První krok při tváření



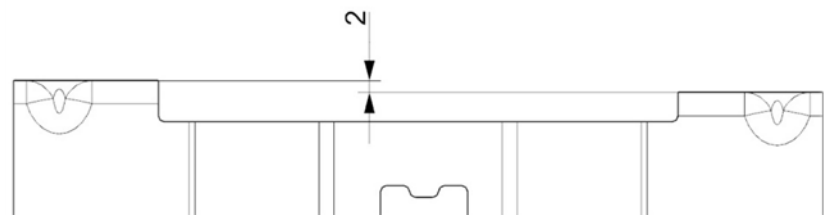
Obrázek 24 Výstup z prvního kroku

S tvářením plechových patek, se tváří i plechové rukávy viz Obr.24. Plechové rukávy jsou tvářeny pomocí ohybových matic uložených v ohybníku. Rukávy jsou ohnuty o  $90^\circ$ . I zde se počítá s odpružením materiálu, proto jsou dosedací plochy ohybnice opatřeny úkosy o úhlu  $2^\circ$ . Dalším opatřením proti odpružení je vyražení vyztužujícího žebra v místě ohybu kolíky umístěnými v ohybových maticích. Protilehlé rukávy jsou vůči sobě odsazeny o 2 mm viz Obr.26. Tímto se zajistí překrytí jednotlivých rukávů v následujícím kroku.



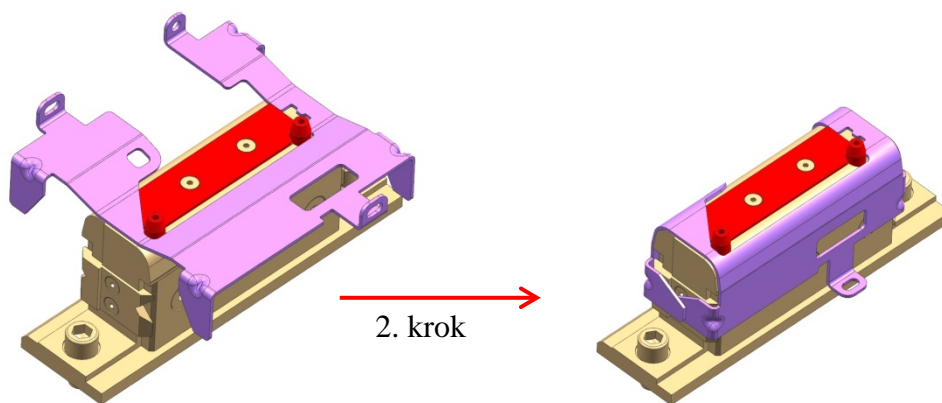
Obrázek 25 Ukázka úkosu na ohybnici

Úkos dosedací  
plochy ohybnice

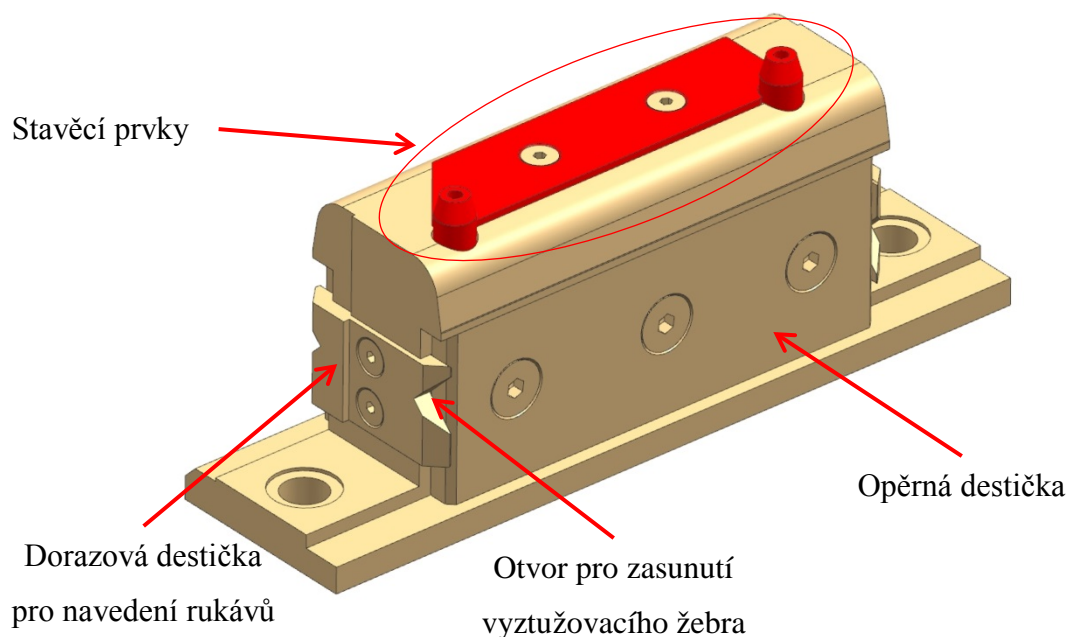


Obrázek 26 Odsazení rukávů

Ve druhém kroku se polotovary tváří do finálního tvaru. Při tomto kroku obsluha nástroje zajistí správné ustavení polotovaru do požadované polohy. Poloha se zajistí pomocí ustavovacích kolíků. Po ustavení začne ohybník tlakem působit na prolisy, vytvořené v prvním kroku. Po ukončení této operace je polotovar přetvořen do finálního tvaru viz Obr.27. Při tváření se plechové rukávy překryjí. Aby se zabránilo kolizi rukávů s dorazovou destičkou, je destička opatřena oboustranným zkosením, tím se zamezí kolizi rukávů s dorazovou destičkou při tváření a destička tak jednoduše navede rukávy do finální polohy viz Obr.28. V dorazové destičce jsou navíc vyfrézovány otvory pro prolisy viz Obr.28. Žebro jednoduše do tohoto otvoru zapadne, aniž by odtlačovalo polotovar od ohybnice a nedošlo tak k deformaci polotovaru.



Obrázek 27 Druhý krok při ohýbání



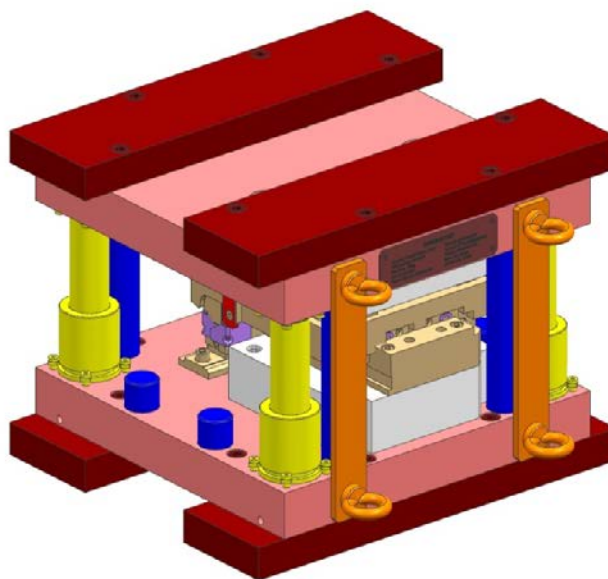
Obrázek 28 Dorazové destičky na ohybnici

## 5 KONSTRUKCE OHYBOVÉHO NÁSTROJE

Pro konstrukci sestavy ohybového nástroje byly použity předem zhotovené modely, které bylo nutné v sestavě seskládat pomocí vazeb. Tyto modely neodpovídaly tvarem pro zhotovení krytky, proto bylo nutné je v modeláři upravit. Dále bylo nutné některé nové modely zhotovit, nebo v případě normalizovaných součástí byly využity CAD data z internetového katalogu. Při úpravě jednotlivých součástí se vycházelo z modelů krytky upravených do tvaru odpovídajícím výstupům z jednotlivých kroků v nástroji. Veškerou práci s modely, sestavami a výkresy byly provedeny v programu Siemens NX 8. Výhodou použití tohoto programu byla možnost rychlé změny tvaru a rozměrů modelů, které se okamžitě projeví na sestavách a výrobních výkresech.

### 5.1 Sestava ohybového nástroje

Při konstrukci nástroje dbáme na jednoduchost nástroje, z důvodu snadného přístupu pro obsluhu. Sestavu ohybového nástroje je možné rozdělit na dvě hlavní části. Horní ohybový nástroj, který je připevněn k beranu lisu a dolní ohybový nástroj, který je upevněn na nepohyblivém stole lisu. Každá část nástroje se skládá z mnoha desek, vodících prvků a tvarových částí. Celková sestava je opatřena transportními prvky a popisovými štítky.



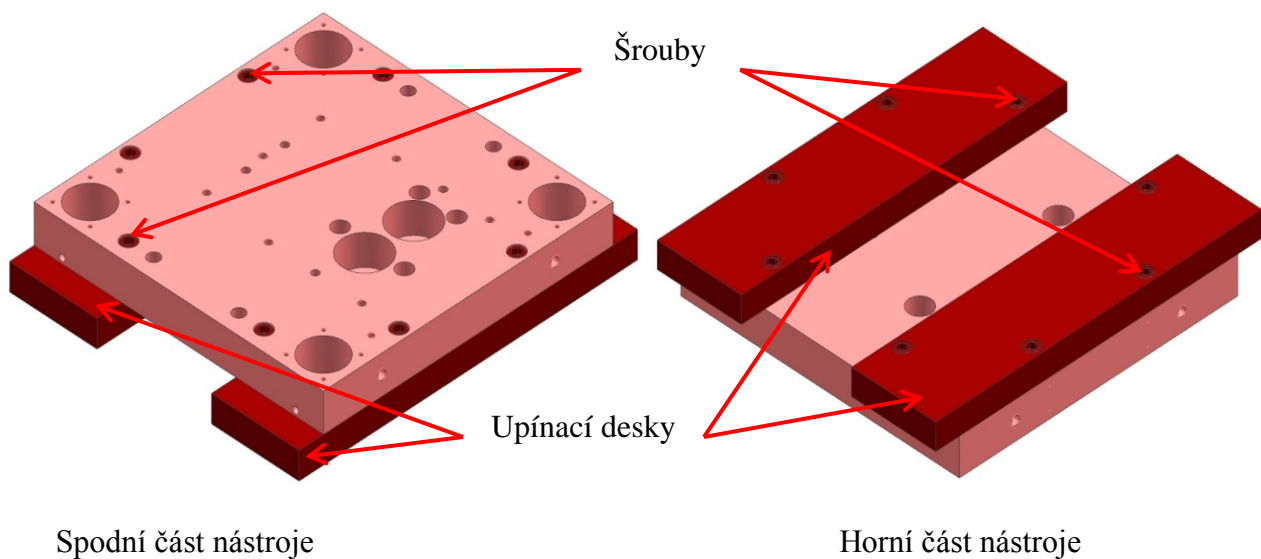
Obrázek 29 Celková sestava ohybového nástroje s transportními prvky

## 5.2 Popis jednotlivých komponent

V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé komponenty, které jsou použity na nástroji.

### 5.2.1 Upínací desky

Na každé části nástroje jsou dvě upínací desky upevněny po krajích nástroje. Každá upínací deska je přišroubována čtyřmi šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem k základní desce. Upínací desky přesahují přes základní desku a díky těmto přesahům je možné jednotlivé části nástrojů upnout k upínacím plochám lisu. Desky se k upínacím plochám stolu upnou pomocí mechanických upínek, které se pohybují v T- drážkách ve stole lisu. Materiál desek je ocel 11 375 dle ČSN 41 1375, vhodná pro statické i dynamické namáhání [7].



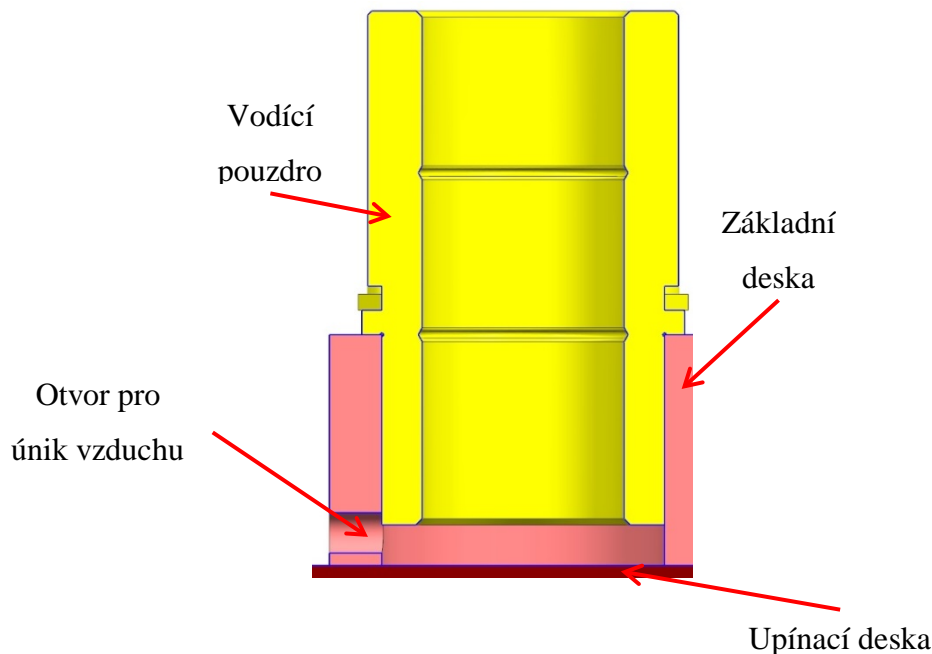
Obrázek 30 Způsob upevnění upínacích desek k deskám základním pomocí šroubů

### 5.2.2 Základní desky

Základní desky jsou jednou z nejdůležitějších částí nástroje. K těmto deskám jsou připevněny vodící prvky, dorazy, transportní prvky, upínací desky, podkladové bloky, ohybové prvky a pružiny.

Vodící prvky jako vodící pouzdra jsou připevněny k základní desce spodního nástroje. Každé pouzdro je připevněno pomocí čtyř držáček. Vodící pouzdra jsou uloženy v otvorech umístěných v základní desce. Tyto otvory jsou ze spodní strany zakryty upínacími deskami. V důsledku pohybu vodícího sloupku v pouzdru by sloupek fungoval jako píst. Stlačoval by vzduch, který je v otvoru pro pouzdro a vznikal by přetlak (při pohybu dolů), nebo podtlak

(vznikal při pohybu nahoru), který by působil proti pohybu sloupku. Proto jsou z boku desek vyvrtány otvory pro odvod vzduchu při pohybu vodícího sloupku viz Obr.31. Tím se zajistí bezproblémový pohyb sloupků v pouzdech. Vodící sloupky jsou připevněny k desce horního nástroje pomocí držáčků (vodící pouzdra mají obdobný způsob uchycení), ale navíc je k nim z druhé strany přišroubována přídržná podložka se zápusťným šroubem, která se při utažení šroubu opře o desku a sloupek tak k desce sevře.



Obrázek 31 Otvor v základní desce pro únik vzduchu

K desce spodního nástroje jsou dále přišroubovány dorazy. Čtveřice dorazů je k desce přišroubována pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem.

Z boků desek jsou vyvrtány otvory pro transportní prvky. Z jedné strany se k deskám přišroubovují ocelové pásy pomocí šroubů a ze strany druhé pomocí závěsných ok.

K základním deskám se připevňují pomocí šroubů podkladové bloky, které drží ohybníky a ohybnice. V deskách jsou vyvrtány otvory pro kolíky, které vymezí přesnou polohu těchto bloků.

K desce spodního nástroje je přišroubována třemi šrouby ohybnice druhého kroku. Kvůli zajištění přesné polohy ohybnice jsou v desce otvory pro kolíky, které zajistí přesnou polohu.

V každé desce jak u horní, tak u dolní části nástroje jsou vyfrézovány dva otvory pro plynové pružiny. V těchto otvorech jsou díry pro zápusťné šrouby, které se k pružinám

přišroubují a drží je přes základní desku. U desky horní části nástroje jsou vyvrtány otvory pro dvě menší plynové pružiny. Tyto menší pružiny se z druhé strany přišroubují pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, pro které jsou v deskách vyvrtané otvory.

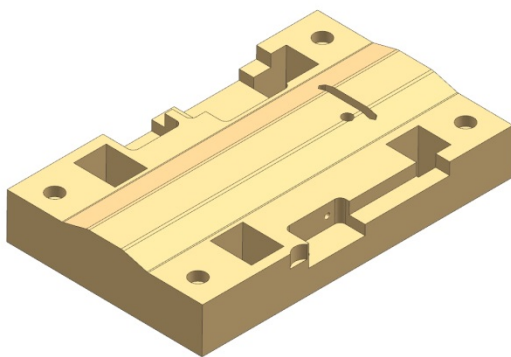
Materiál základních desek je ocel 19 520 dle ČSN 41 9520. Je to ocel s velmi dobrou obrobiteľnosťou, vhodná pro práci za studena. Je vhodná pro součásti, které se budou značně obrábět. Jelikož se do základních desek vrtá a frézuje mnoho děr, je tato ocel velmi vhodná [7].

### 5.2.3 Podkladové bloky

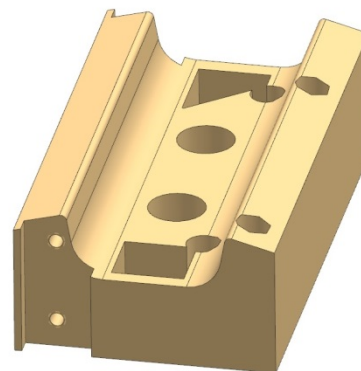
Hlavní funkcí podkladových bloků je podložení ohybníků a ohybnic. Vymezení přesné polohy je zaručeno kolíky a pery. Ohybníky a ohybnice jsou k blokům přišroubovány, nebo jsou v blocích uloženy vodící prvky, díky kterým se ohybníky a ohybnice pohybují. V blocích jsou vyfrézovány otvory, kterými procházejí plynové pružiny. Podkladové bloky jsou upevněny na základních deskách. Materiálem těchto bloků je nelegovaná ocel 19 083 dle ČSN 41 9083 vhodná pro práci za studena [7].

### 5.2.4 Ohybníky

Jsou to součásti umístěné na pohyblivé části ohybového nástroje, které přímo působí na polotovar a podílejí se na jeho tváření. Působením ohybníku opisuje polotovar jeho tvar. Na nástroji je použit v každém kroku jeden ohybník.



Ohybník prvního kroku

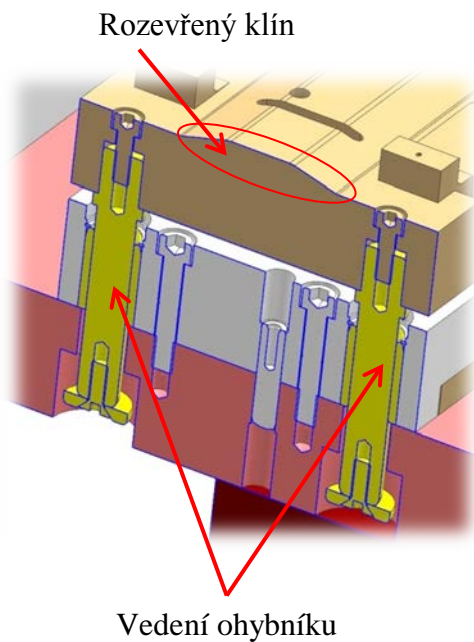


Ohybník druhého kroku

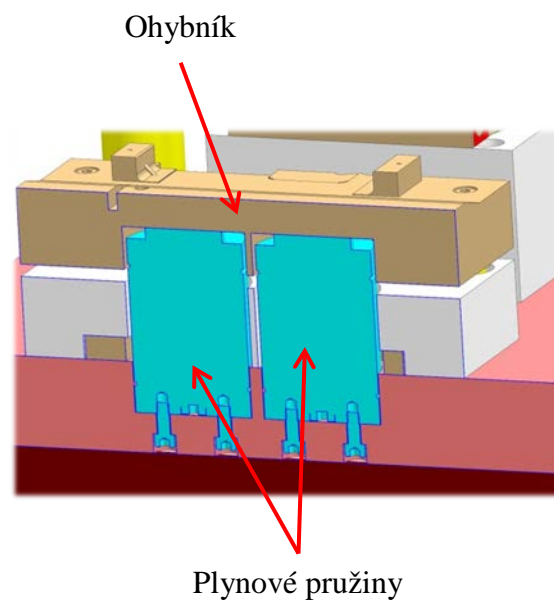
Obrázek 32 Ohybníky na nástroji

Tvar ohybníku v prvním kroku je navržen tak, že působením na plochý výstřižek vytvoří menší prolis, který svým tvarem připomíná rozevřený klín viz Obr.33. V ohybníku jsou vyfrézovány plochy, do kterých se vloží ohybové vložky, které jsou k ohybníku

přišroubovány šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Působením ohybníku s ohybovými vložkami na výstřižek, se ohnou plechové patky pro upnutí. Dále jsou v ohybníku vytvořeny elektrojiskrovým obráběním čtyři obdélníkové otvory, ve kterých jsou vloženy ohybové matrice, které při ohýbání tváří plechové rukávy. Ohybník není uložen napevno, ale je přišroubován k vodícím sloupkům, které se pohybují ve vodících pouzdech uchycených v podkladovém bloku viz Obr.33. Aby nedošlo k vypadnutí ohybníku, jsou ke sloupkům z druhé strany přišroubovány přídržné podložky, které se opřou o základní desku při zdvižení nástroje a zabrání tak vypadnutí ohybníku. Pokud by byl ohybník přišroubován na pevně k podkladovému bloku, vznikalo by při působení síly na polotvar v ohybníku napětí a chvění. Kvůli vyrovnaní sil a zachycení chvění, jsou pod ohybníkem umístěny plynové pružiny viz Obr.34.



Obrázek 33 Vedení ohybníku

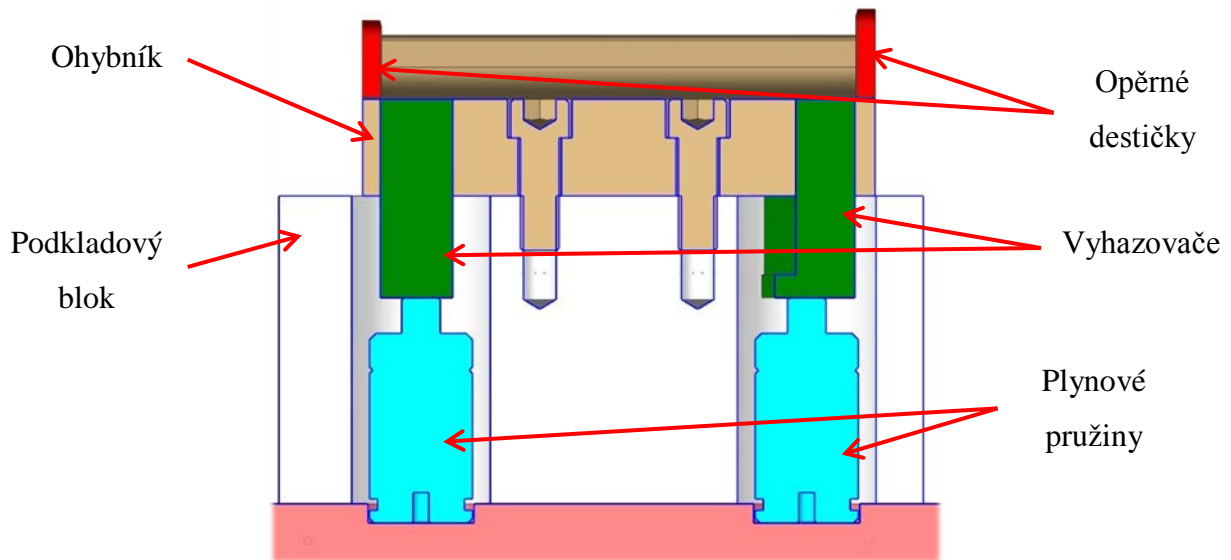


Obrázek 34 Opření ohybníku o pružiny

Ohybník ve druhém kroku má vnitřní plochy do tvaru „U“ a vyvýšené vnější plochy, které jsou zkoseny. Tyto plochy tlačí při pohybu nástroje dolů na prolis polotovaru, který vznikl v prvním kroku. Ramena plechu se tak pomalu tváří, až pomalu sklouznou do vnitřních ploch ohybníku, které dají polotovaru finální tvar. V ohybníku jsou elektrojiskrovým obráběním vytvořeny dva otvory. První obdélníkového tvaru a druhý trojúhelníkového. V těchto otvorech jsou umístěny vyhazovače viz Obr.35. Pro zabránění posuvu polotovaru při tváření jsou ze strany k ohybníku přišroubovány opěrné destičky. Mezi destičkami a ohybnicí je 0,1 mm vůle. Dále jsou v ohybníku vyvrtány čtyři průchozí díry. Dvě slouží k ustavení



přesné polohy ohybníku vůči podkladovému bloku. Do zbylých dvou děr se při tváření zasunou středící kolíky pro vymezení přesné polohy polotovaru, umístěné v ohybnici.



Obrázek 35 Řez ohybníkem druhého kroku

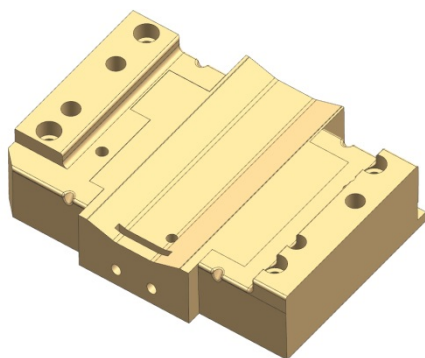
Materiál ohybníků je legovaná nástrojová ocel 19 573 dle ČSN 41 9573, vhodná pro práci za studena, odolná proti lomům, vhodná pro tvářecí nástroje. V zušlechtném stavu je její tvrdost minimálně 63 HRC [7].

### 5.2.5 Ohybnice

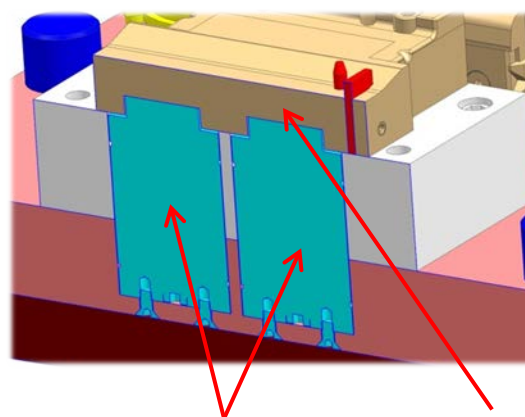
Ohybnice jsou umístěny ve spodní (nepohyblivé) části nástroje. Stejně jako ohybníky působí přímo na polotovar a podílejí se na jeho tváření. Ohybníky tlačí na polotovar, který je přitlačen k ohybnicím a opisuje jejich tvar. Na nástroji jsou použity čtyři ohybnice.

V prvním kroku jsou tři ohybnice vedle sebe viz Obr.37. Krajiní ohybnice jsou přišroubovány na pevně k podkladovému bloku. Jejich přesná poloha na desce se vymezení pomocí kolíků a per. Na těchto ohybnicích se tváří patky pro upnutí a plechové rukávy pod úhlem 90°. Pro žebra, která vzniknou v tomto kroku, jsou v krajiních ohybnicích vyfrézovány otvory, do kterých se žebro zatlačí. Prostřední ohybnice svým tvarem zapadá mezi okrajové ohybnice. Ohybnice nejsou vedle sebe uloženy na těsně, ale je mezi nimi vůle 0,2 mm. Tvářecí plochy prostřední ohybnice mají tvar negativu ohybníku (rozevřený klín), který do ohybnice zapadá. Polotovar tedy opisuje tvar ohybnice a vznikne zde menší prolis. Tato ohybnice není napevno přišroubována k desce, ale je položena na plynových pružinách umístěných v podkladovém bloku viz Obr.36. Skrz podkladový blok jsou k ohybnici přišroubovány čtyři lícované šrouby. V případě manipulace s nástrojem se hlavy šroubů opřou o podkladový blok a zabrání vypadnutí ohybnice. Uložení ohybnice na pružinách plní

stejnou funkci jako uložení u ohybníku. V každé ohybnici jsou vyvrtány díry pro středící kolíky. U prostřední ohybnice je obrobena navíc drážka pro stavěcí destičku.



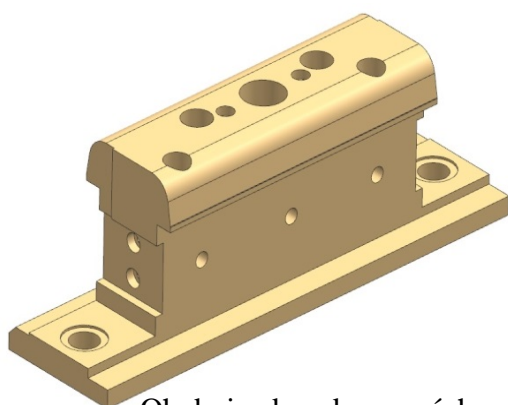
Obrázek 37 Ohybnice prvního kroku



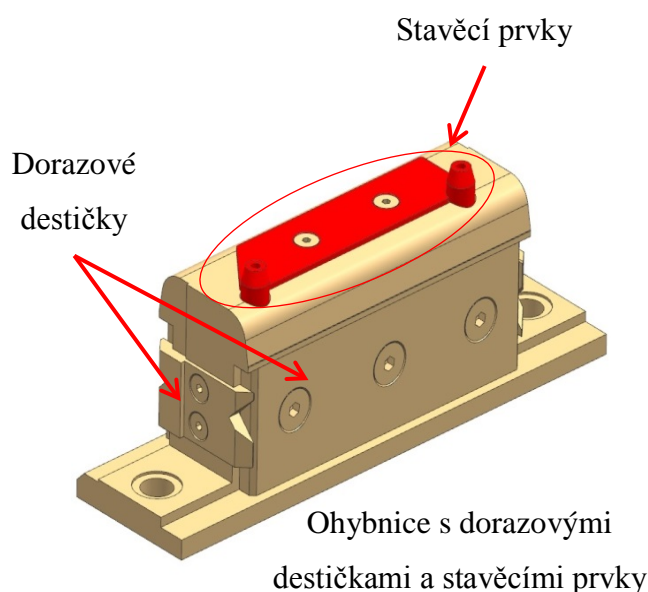
Plynové pružiny  
Ohybnice

Obrázek 36 Usazení prostřední ohybnice na pružinách

Ohybnice ve druhém kroku je napevno přišroubována pomocí tří šroubů k základní desce a pomocí kolíků je zajištěna její přesná poloha na nástroji. Tvar ohybnice je navržen tak, aby jí polotovar obepnul a udržel její tvar poté, co ohybník přitlačí polotovar k ohybnici. K ohybnici se přišroubovují dorazové destičky, ke kterým se přitlačí ramena plechu viz Obr.39, tím se zajistí finální tvar krytky. Další prvky, které se připevní k ohybnici jsou ustavovací kolíky a přitlačná destička která ustaví plech do požadované polohy.

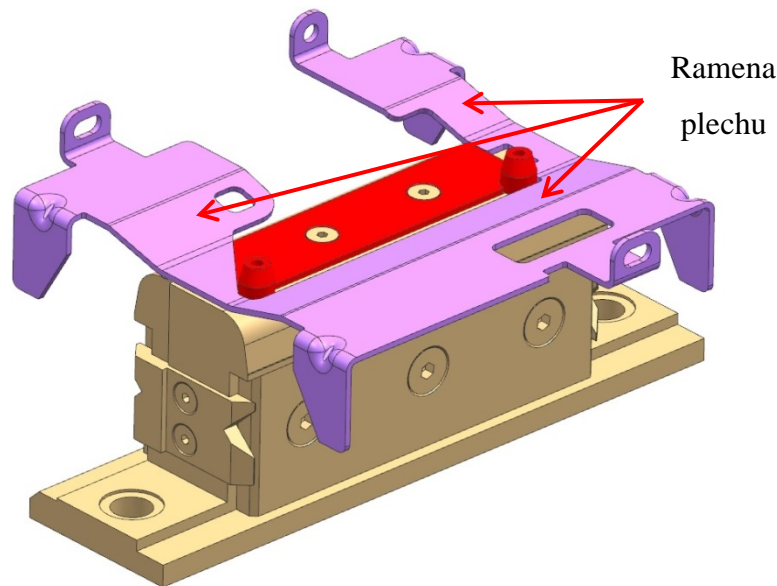


Ohybnice bez dorazových destiček



Ohybnice s dorazovými destičkami a stavěcími prvky

Obrázek 38 Ohybnice druhého kroku

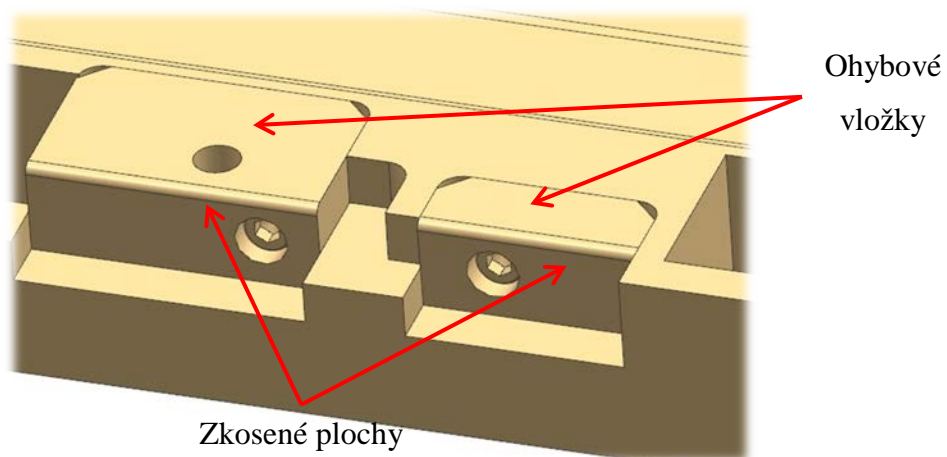


Obrázek 39 Plech ustavený na ohybnici

Na ohybnici je použit stejný materiál jako na ohybníky a to legovaná nástrojová ocel 19 573 dle ČSN 41 9573, která je vhodná pro práci za studena, dosahující minimální tvrdosti 63 HRC v zušlechtném stavu [7].

### 5.2.6 Ohybové vložky

Ohybové vložky jsou součástí ohybníku. Při pohybu horního nástroje směrem k ohybnici, tlačí na plech v místě, kde se ohýbají patky pro upnutí. Jinak řečeno ohybové vložky v těchto místech vtlačují plech mezi ohybník a ohybnici, která má v těchto místech vyfrézovaný náběh pro tváření patek o 90°. Plocha vložky přiléhající k plechu je zkosena o 2°, tím se ohne o úhel odpružení viz Obr.40. Vložky upevněné k ohybníku mají různou velikost, ta závisí na šířce plechové patky.

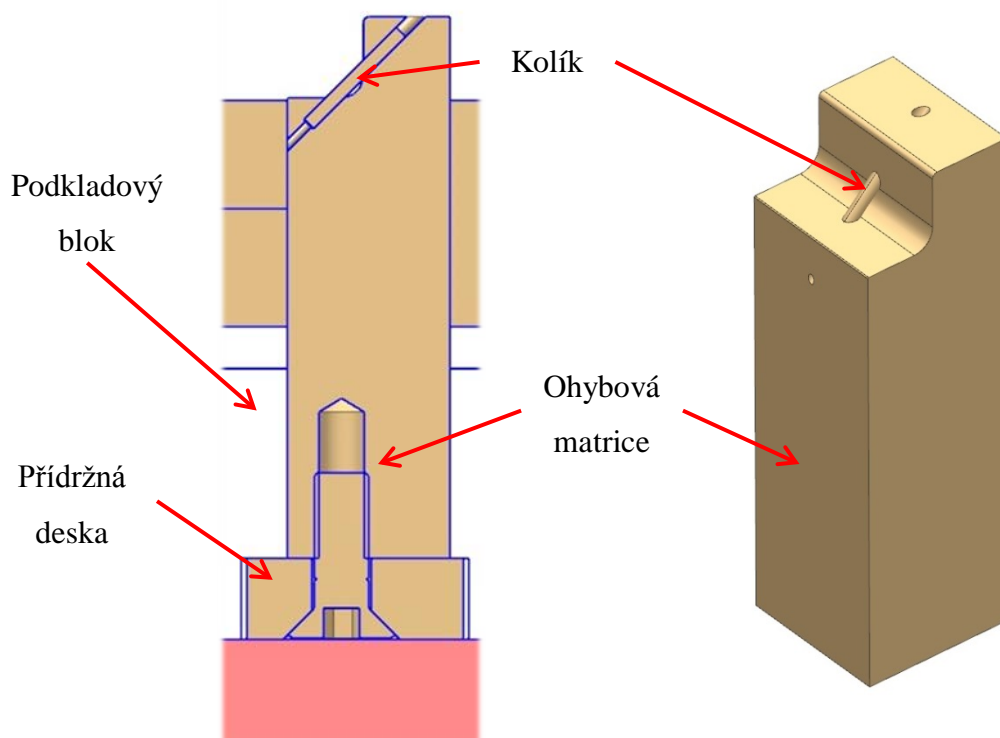


Obrázek 40 Ohybové vložky umístěné na ohybníku

Na ohybové vložky je použita ušlechtilá legovaná ocel 19 313 dle ČSN 41 9313, která je jako ostatní oceli vhodná pro práci za studena. Ocel dobře odolává proti opotřebení a je dobře leštitelná [7].

### 5.2.7 Ohybové matrice

Ohybové matrice jsou součástí pohyblivé části nástroje. Pohybem dolů tlačí na plechové rukávy, které zahýbají směrem k ohybnici. V maticích jsou umístěny kolíky viz Obr.41, které zatlačují materiál do otvorů v ohybnici a vytvoří tak vyztužovací žebra. Na rozdíl od ohybových vložek nejsou matrice součástí ohybníku. V ohybníku jsou pouze vloženy, ale jsou upevněny pomocí přídržné desky a zápusťných šroubů k podkladovému bloku.



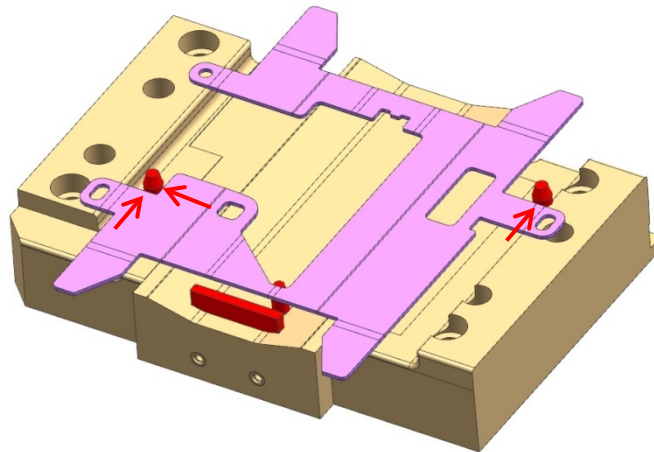
Obrázek 41 Ohybová matrice

Materiál ohybových matic je stejný jako materiál ohybnic a ohybníků, tedy nástrojová ocel 19 573.

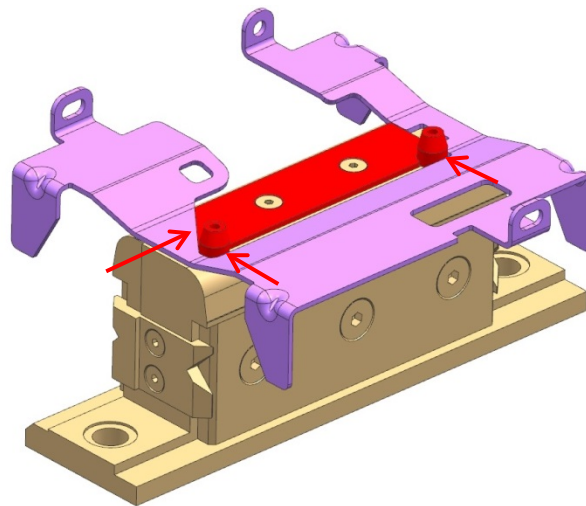
### 5.2.8 Stavěcí prvky

Funkcí stavěcích prvků je nastavit polotovar na nástroji takovým způsobem, aby při tváření dosáhl polotovar požadovaného tvaru. Tyto prvky jsou umístěny na ohybnících. V prvním kroku obsluha opře polotovar o dva krajní kolíky viz Obr.42. Poté během tváření je

materiál vtačen mezi třetí kolík a destičku. Ve druhém kroku se polotovár opře o přítlačnou destičku, která opisuje část vystřiženého vnitřku polotovaru a dále o dva kolíky viz Obr.43. Všechny kolíky jsou z jedné strany zkosené. Toto zkosení směřuje směrem z ohybnic. Díky tomuto zkosení se usnadní navádění kolíků při zasouvání do ohybníků.



Obrázek 42 Zapření polotovaru a o středící kolíky v prvním kroku

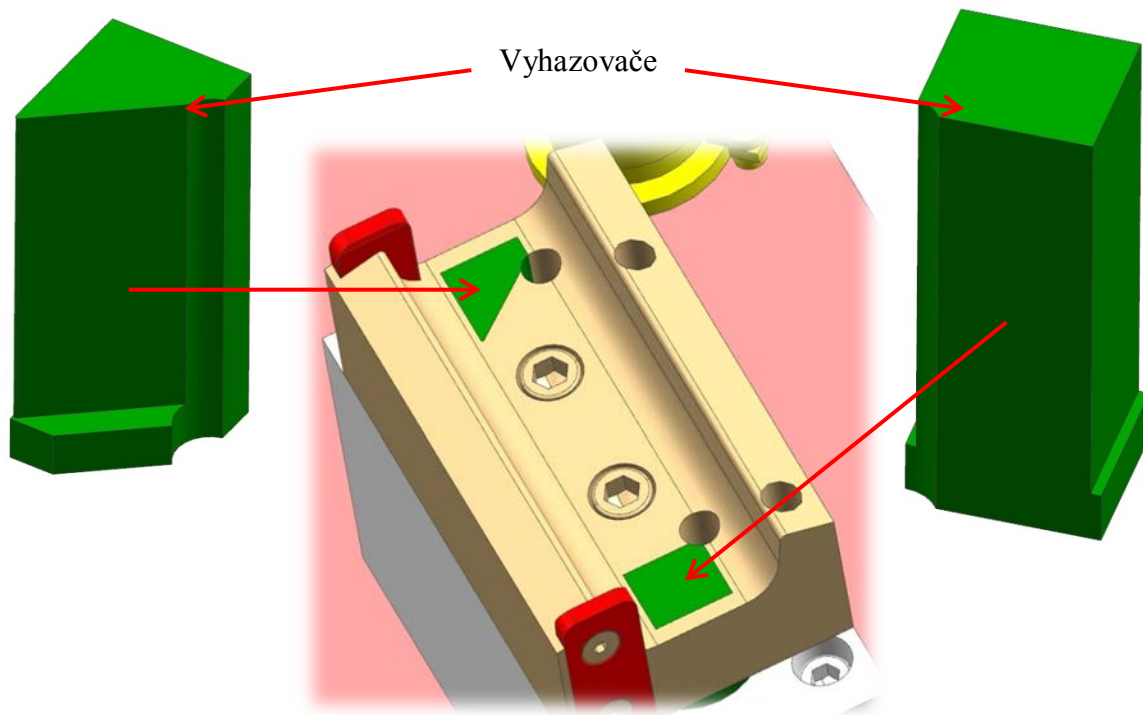


Obrázek 43 Zapření polotovaru o přítlačnou destičku ve druhém kroku

### 5.2.9 Vyhazovače

Po tváření polotovaru ve druhém kroku se může stát, že polotovár zůstane vzpříčený v ohybníku. Aby se tak nestalo, jsou v ohybníku umístěny vyhazovače, které působí na plynové pružiny při sevření polotovaru ohybníkem a ohybnicí. Při sevření vyhazovače zatlačí na polotovár vzpříčený v ohybníku, uvolní jej a finální výlisek zůstane na ohybnici. Vyhazovače jsou v ohybníku uloženy volně, proti jejich uvolnění, jsou vyhazovače ze strany

opatřeny osazením, které se při zdvihu nástroje opře o spodní stranu ohybníku. Tvar ploch vyhazovačů působících na polotovar je přizpůsoben plochám polotovaru v těchto místech.

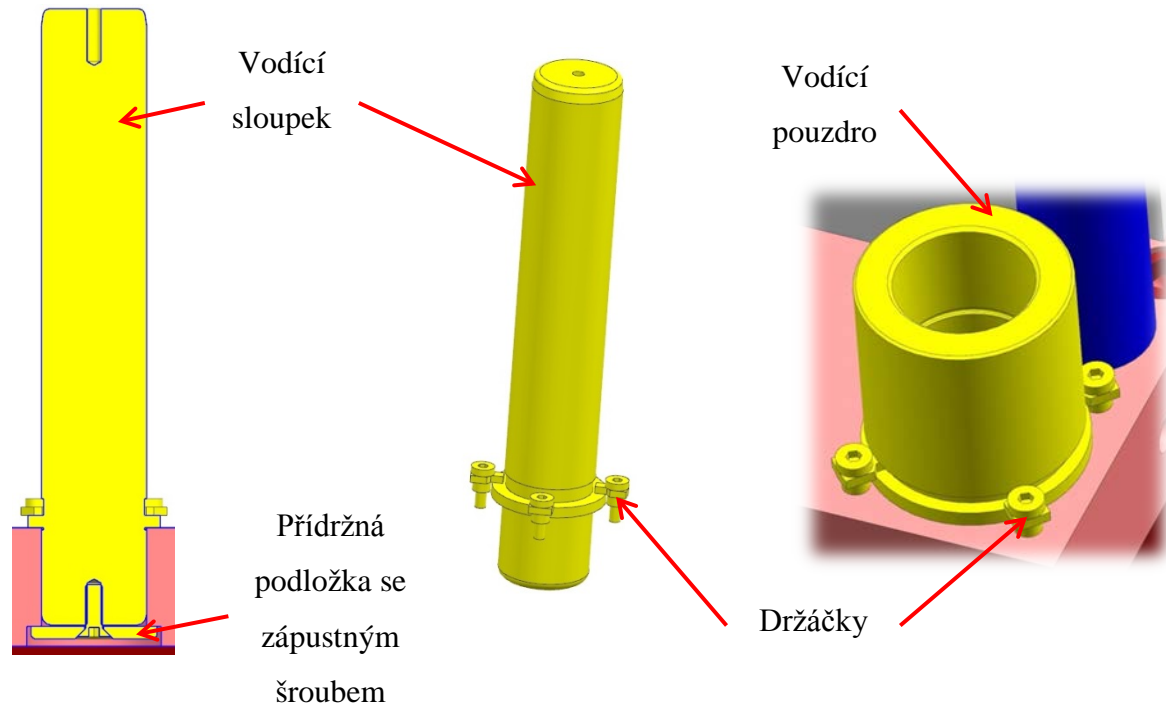


Obrázek 44 Vyhazovače uložené v ohybníku

Materiál použitý na vyhazovače je stejný jako materiál ohybových vložek. Jedná se o legovanou ocel 19 313 dle ČSN 41 9313.

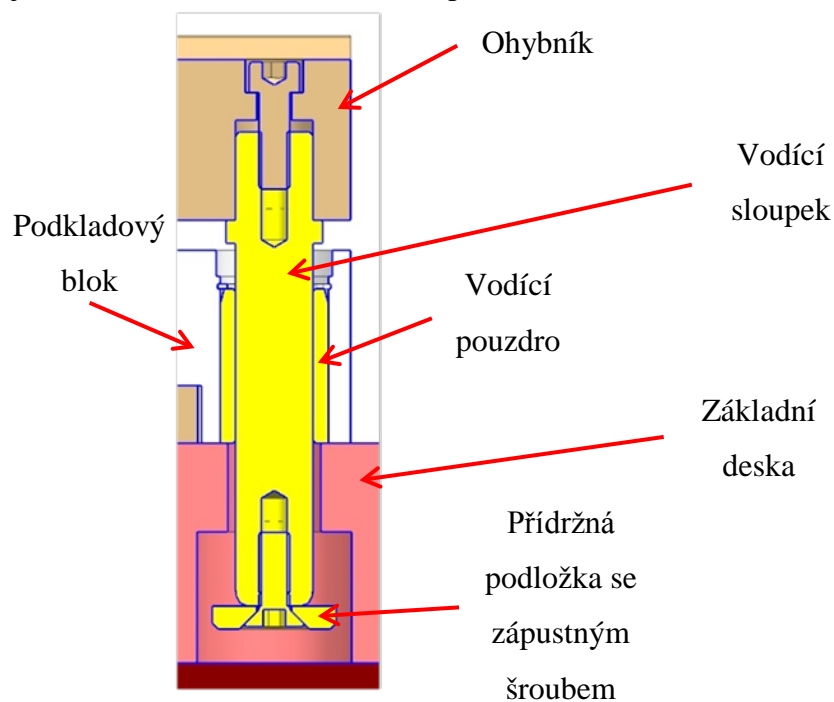
### 5.2.10 Vodící prvky

Nástroj je veden čtyřmi vodícími sloupky s osazením od firmy FIBRO, umístěnými v rozích horního nástroje. Sloupky jsou k nástroji připevněny z jedné strany pomocí držáčeků, které se zašroubují do základní desky a sevrou osazení sloupku s deskou. Z druhé strany pomocí přídržné podložky se zápustným šroubem, která přitlačí osazení k desce po utáhnutí šroubu viz Obr.45. Mazání sloupků je zajištěno mazáním vodících pouzder s bronzovou výstelkou od firmy FIBRO, ve kterých se sloupky pohybují. Vodící pouzdra jsou připevněna k základní desce spodního nástroje pouze pomocí držáčeků, které sevrou jejich osazení s deskou. Pouzdra jsou kluzná, ocelová vedení s bronzovou výstelkou s mazací drážkou. Tato pouzdra je nutno promazávat i několikrát denně, to záleží na pracovní rychlosti. Mazivo zůstává v drážkách pouzdra a promazává plochy sloupku, který se v pouzdře pohybuje přímočaře [13].



Obrázek 45 Vodící prvky na nástroji

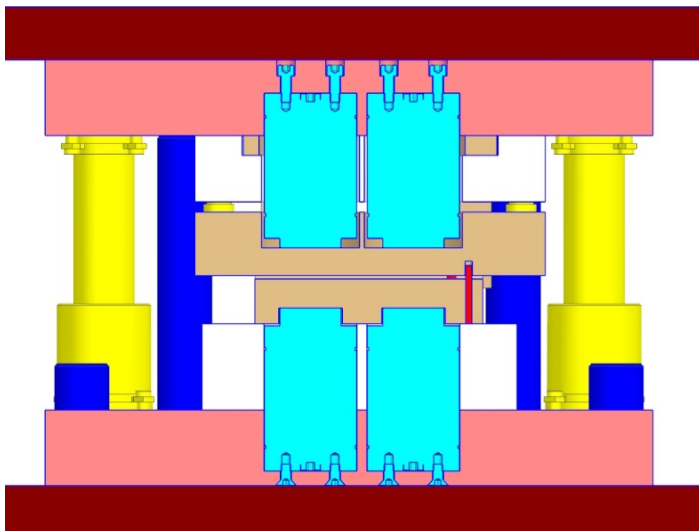
Další vodící prvky zajišťují pohyb ohybníku. Vedení ohybníku je zajištěno pomocí čtyř vodících sloupků, které jsou k ohybníku přišroubovány z jedné strany, a z druhé strany jsou sloupky zajištěny přídržnou podložkou se zápusťným šroubem viz Obr.46. Sloupky se pohybují v bronzových kluzných pouzdrech s grafitovými tělísky od firmy FIBRO umístěných v podkladovém bloku. Grafitová tělíska mají schopnost vsřebat do sebe mazivo a udržet si ho po nějakou dobu. Proto není nutné tato pouzdra tak často mazat [13].



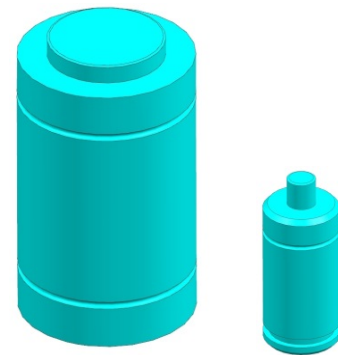
Obrázek 46 Vodící prvky ohybníku

### 5.2.11 Pružiny

Pružiny jsou strojní součásti využívané pro akumulaci sil, tlumení rázů a chvění, dále udržují rovnováhu sil a zajišťují vratný pohyb. Pružiny použité na nástroji jsou pružiny plynové tlačné od firmy FIBRO, plněné dusíkem. Plynové pružiny fungují na principu stlačování tekutin. Jejich výhodou je vysoká zatížitelnost oproti kovovým a pryžovým pružinám. Někteří výrobci plynových pružin uvádějí i několikanásobně větší zatížení než u pružin ocelových, nebo pryžových. Na nástroji jsou použity pružiny dvojí velikost. Dvoje velké pružiny jsou umístěny pod ohybníkem a ohybnicí v prvním kroku. Jedná se o pružiny FIBRO 2490.13.04700.025. Další dvojice menších pružin je umístěna pod vyhazovači u pohyblivé části nástroje ve druhém kroku. Jsou to pružiny FIBRO 2480.22.00050.010.1 [13].



Obrázek 47 Plynové pružiny prvního kroku



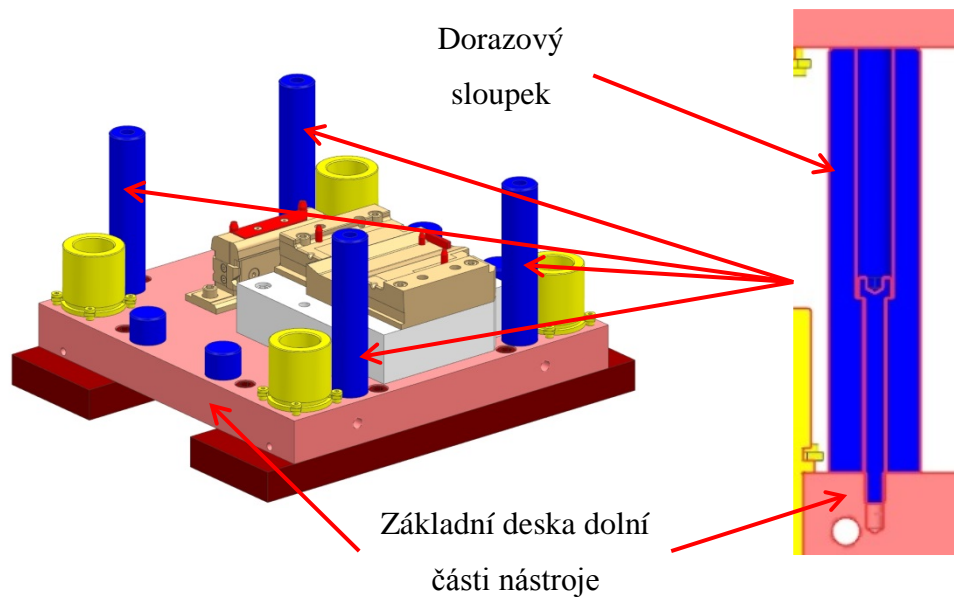
Obrázek 48 Použité pružiny na nástroji

### 5.2.12 Dorazy

Na nástroji jsou použity čtyři dorazové sloupky, které jsou připevněny pomocí šroubů k nepohyblivé (dolní) části nástroje viz Obr.49. Dorazy definují pracovní zdvih nástroje. Fungují jako podpora, kdy se pohyblivá část nástroje o dorazy opře.

Materiálem dorazů je konstrukční ocel 14 220 dle ČSN 41 4220. Ocel má dobrou odolnost proti opotřebení, vysokou povrchovou tvrdost při houževnatosti jádra [7].

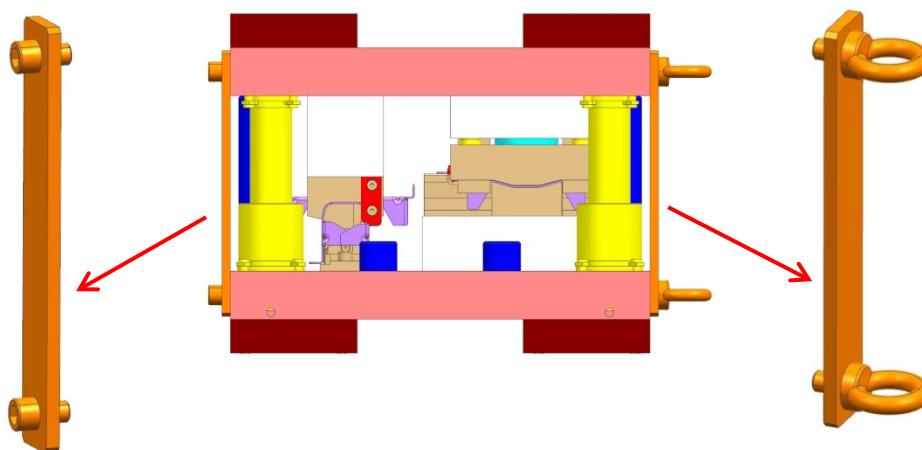




Obrázek 49 Dorazy umístěné na nástroji

### 5.2.13 Transportní prvky

Transport nástroje zajišťují čtyři závěsná oka, která jsou spojena transportními páskami. Pásky zabrání volnému posunutí sestavy nástroje vůči sobě při transportu. Transportní oka jsou rozmístěna do obdélníku z jedné strany. Z druhé strany jsou k nástroji přišroubovány transportní pásky pomocí šroubů. Ty udržují formu v kompaktním stavu.



Obrázek 50 Transportní prvky

## 6 VÝPOČET OHYBOVÝCH SIL A VŮLÍ

### 6.1 Výpočet síly

Výpočet celkové ohybové síly je dosti složitý, jelikož je nutné počítat s celkovou geometrií tvářecích ploch. Dále se započítávají různé vlivy a v neposlední řadě je důležité připomenout, že se jedná o nástroj postupový. Velikost výsledné síly bude zjednodušeně stanovena ze vzorce pro ohyb do tvaru „U“.

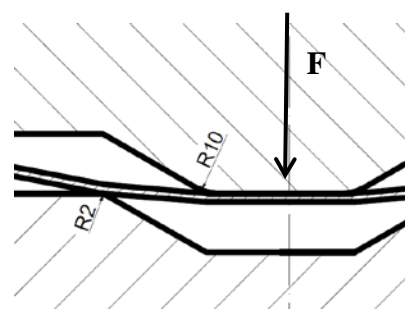
Mez pevnosti pro materiál polotovaru je 270 – 350 MPa. Pro výpočet bude uvažována mez pevnosti  $R_m = 350$  MPa [12].

#### 6.1.1 Ohybová síla pro tváření prolisu

$$F_{11} = \frac{4 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_p + 1,2 \cdot t + r_m)}$$

$$F_{11} = \frac{4 \cdot 146 \cdot 2^2 \cdot 350}{3 \cdot (10 + 1,2 \cdot 2 + 2)}$$

$$F_{11} \cong 18925,925 \text{ N}$$



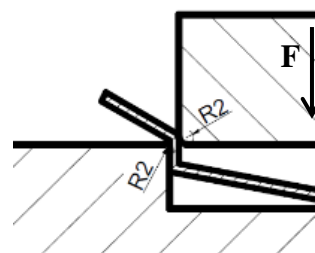
Obrázek 51 Tváření prolisu

#### 6.1.2 Ohybová síla pro tváření patek pro upnutí

$$F_{12} = \frac{4 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_p + 1,2 \cdot t + r_m)}$$

$$F_{12} = \frac{4 \cdot 33 \cdot 2^2 \cdot 350}{3 \cdot (2 + 1,2 \cdot 2 + 2)}$$

$$F_{12} = 9625 \text{ N}$$



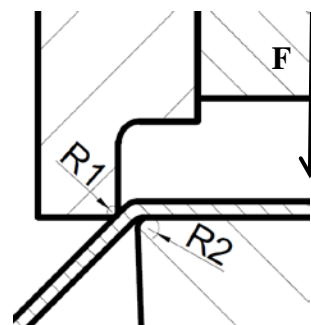
Obrázek 52 Tváření patek pro upnutí

#### 6.1.3 Ohybová síla pro tváření plechových rukávů

$$F_{13} = \frac{4 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_p + 1,2 \cdot t + r_m)}$$

$$F_{13} = \frac{4 \cdot 47,6 \cdot 2^2 \cdot 350}{3 \cdot (1 + 1,2 \cdot 2 + 2)}$$

$$F_{13} \cong 16454,321 \text{ N}$$



Obrázek 53 Tváření rukávů

#### 6.1.4 Maximální ohybová síla v prvním kroku

$$F_1 = F_{11} + F_{12} + F_{13}$$

$$F_1 = 18925,925 + 9625 + 16454,321$$

$$F_1 \cong 45005,246 \text{ N}$$

#### 6.1.5 Maximální ohybová síla druhého kroku

$$F_2 = \frac{4 \cdot b \cdot t^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_p + 1,2 \cdot t + r_m)}$$

$$F_2 = \frac{4 \cdot 146 \cdot 2^2 \cdot 350}{3 \cdot (2 + 1,2 \cdot 2 + 10)}$$

$$F_2 \cong 18925,925 \text{ N}$$

#### 6.1.6 Celková ohybová síla

$$F = F_1 + F_2$$

$$F = 45005,246 + 18925,925$$

$$F \cong 63931,171 \text{ N}$$

Podle velikosti vypočtené síly se volí vhodné lisovací zařízení. Volbu lisu dále ovlivňují celkové rozměry formy. Pro daný případ byl zvolen lis CBA 200 od společnosti TOS RAKOVNÍK s uzavírací silou 2000 kN [10].

## 6.2 Výpočet vůlí při ohýbání

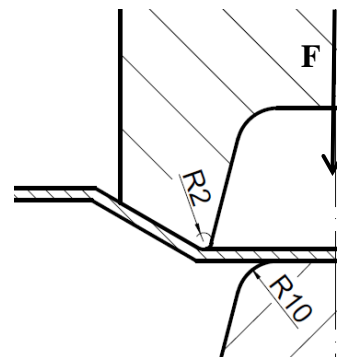
Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí je závislá na tloušťce plechu. Jelikož se tloušťka plechu při tváření nemění, bude vůle mezi jednotlivými tvářecími prvky na nástroji stejná.

Součinitel vlivu tření  $c$  závisí na délce ramena  $l_0$ . Pro délky ramena od 10 mm do 200 mm je součinitel vlivu tření  $c = 0,1 \div 0,15$ . Pro výpočet bude uvažována hodnota  $c = 0,1$  [5].

$$v_0 = t + t \cdot c$$

$$v_0 = 2 + 2 \cdot 0,1$$

$$v_0 = 2,2 \text{ mm}$$



Obrázek 54 Tváření ve druhém kroku

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit finální díl plechové krytky dle zadání, vytvoření vlastní konstrukce ohybového nástroje pro daný plechový díl a vytvoření výkresové dokumentace ohybového nástroje.

V práci byl také popsán celý postup tváření krytky od vstupního polotovaru ve formě plechového pasu odvíjeného ze svitku až po finální výrobek. Byly zde popsány jednotlivé operace, které se provedou jak na střížném nástroji, tak na nástroji ohybovém.

Hlavní částí práce bylo navržení ohybového nástroje včetně prvků pro transport. Ohybový nástroj se skládá ze dvou částí a to z horní části, na které jsou umístěny ohybníky a z dolní části, na které jsou umístěny ohybnice. Na nástroji byly navrženy dorazové sloupky, vodící prvky, podkladové bloky a vyhazovací prvky. Dále pak byly navrženy stavěcí prvky pro snadné ustavení polotovaru v nástroji.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer Press, 1999
- [2] STANĚK, J., NĚMEJC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005
- [3] LEINVEBER, J., RASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scienta, spol. s.r.o. 1998
- [4] KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978
- [5] ŠPINLEROVÁ, M. *Technologie*. <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- [6] ČERNÝ R. NC řízení, automatizace, CNC systémy, pružné výrobní systémy. *Ústav výrobních strojů a zařízení*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/EXT\\_pps/Trumpf\\_bend.pps](http://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/EXT_pps/Trumpf_bend.pps)
- [7] Přehled nabízených produktů. *JKZ Budějovice a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/produkty>
- [8] Plechy a svitky válcované za studena. *Metalimex*. [online]. 15.6.2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.metalimex.cz/produkty/hlinikove-plechy-a-pasy/plechy-a-svitky-valcovane-za-studena>
- [9] LENFELD P. Katedra tváření kovů a plastů. *Skripta*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
- [10] TOS RAKOVNÍK. Dílenské a montážní lisy. *Rakovnické tvářecí stroje s.r.o.* [online]. 10.10. 2013 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.tosrakovnik.cz/article-dilenske\\_a\\_montazni\\_lisy](http://www.tosrakovnik.cz/article-dilenske_a_montazni_lisy)
- [11] Sortiment Ferony. *Ferona, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>
- [12] Ocelové plechy válcované za studena. *Nypro hutní prodej a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
- [13] Normalien, Rundschalttische sowie Präzisionsteile. *FIBRO*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.fibro.de/en/rotary-tables/download-area.html>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Deformace průřezu při ohýbání pro obdélníkový profil.....	2
Obrázek 2 Směr vláken při ohýbání.....	3
Obrázek 3 Napětí v materiálu při ohybu .....	4
Obrázek 4 Odpružení materiálu při ohybu .....	4
Obrázek 5 Zaoblení pohyblivé čelisti a přidržovače.....	5
Obrázek 6 Zkosení pohyblivé čelisti.....	5
Obrázek 7 Vyztužovací žebro .....	6
Obrázek 8 Vůle mezi čelistmi .....	7
Obrázek 9 Geometrie nástroje ohýbání do U pro tenký a silný polotovar.....	8
Obrázek 10 Geometrie nástroje ohýbání do V .....	9
Obrázek 11 Plechový svitek .....	10
Obrázek 12 Použité postupové nástroje .....	11
Obrázek 13 Polotvar před, při a po tváření .....	11
Obrázek 14 Části postupového střížného nástroje .....	12
Obrázek 15 Vstup a výstup ze střížného nástroje.....	12
Obrázek 16 Odvod materiálu .....	13
Obrázek 17 Jednotlivé kroky při stříhání .....	14
Obrázek 18 Hledáčky ve střížném nástroji.....	14
Obrázek 19 Střížníky druhého kroku .....	15
Obrázek 20 Tvar střížníku ve třetím kroku .....	15
Obrázek 21 Části postupového ohybového nástroje .....	15
Obrázek 22 Vstup a výstup z ohybového nástroje .....	16
Obrázek 23 První krok při tváření.....	16
Obrázek 24 Výstup z prvního kroku .....	17
Obrázek 25 Ukázka úkosu na ohybnici.....	17
Obrázek 26 Odsazení rukávů .....	17
Obrázek 27 Druhý krok při ohýbání.....	18
Obrázek 28 Dorazové destičky na ohybnici.....	18
Obrázek 29 Celková sestava ohybového nástroje s transportními prvky.....	19
Obrázek 30 Způsob upevnění upínacích desek k deskám základním pomocí šroubů .....	20
Obrázek 31 Otvor v základní desce pro únik vzduchu.....	21
Obrázek 32 Ohybníky na nástroji.....	22

Obrázek 33 Vedení ohybníku.....	23
Obrázek 34 Opření ohybníku o pružiny .....	23
Obrázek 35 Řez ohybníkem druhého kroku.....	24
Obrázek 36 Usazení prostřední ohybnice na pružinách.....	25
Obrázek 37 Ohybnice prvního kroku .....	25
Obrázek 38 Ohybnice druhého kroku .....	25
Obrázek 39 Plech ustavený na ohybnici.....	26
Obrázek 40 Ohybové vložky umístěné na ohybníku .....	26
Obrázek 41 Ohybová matrice.....	27
Obrázek 42 Zapření polotovaru a o středící kolíky v prvním kroku .....	28
Obrázek 43 Zapření polotovaru o přítlačnou destičku ve druhém kroku.....	28
Obrázek 44 Vyhazovače uložené v ohybníku .....	29
Obrázek 45 Vodící prvky na nástroji .....	30
Obrázek 46 Vodící prvky ohybníku .....	30
Obrázek 47 Plynové pružiny prvního kroku .....	31
Obrázek 48 Použité pružiny na nástroji .....	31
Obrázek 49 Dorazy umístěné na nástroji .....	32
Obrázek 50 Transportní prvky .....	32
Obrázek 51 Tváření prolisu.....	33
Obrázek 52 Tváření patek pro upnutí.....	33
Obrázek 53 Tváření rukávů.....	33
Obrázek 54 Tváření ve druhém kroku.....	34

## VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkres sestavy ohybového nástroje	0-000
Výkres sestavy horní části nástroje	2-000
Výkres základní desky horní části nástroje – vrtání	2-001
Výkres základní desky horní části nástroje – frézování	2-001