



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA RADLIČKY

PRODUCTION OF BLADE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Hochman

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Jan Hochman</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.</b>
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba radličky

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Radlička je součástí zemědělského stroje používaného pro podmítání půdy. Jedná se o prostorovou součást tvaru šipky se dvěma otvory, pro její upevnění pomocí šroubů. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby radličky.

### Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat technologičnost konstrukce a navrhnout postup výroby.
- Zpracovat literární studii věnovanou tváření plechu se zaměřením na zvolené výrobní technologie.
- Navrhnout optimální výrobní postup, doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci tvářecího nástroje.
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

### Seznam doporučené literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. (2002): Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

NOVOTNÝ, Karel. (1992) Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

LIDMILA, Zdeněk. (2008): Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany. 105 s. ISBN 978-8-7213-579-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

HOCHMAN Jan: Výroba radličky.

---

Tato bakalářské práce se zabývá výrobou radličky v postupovém stříhadle a následným ohnutím v jednoduchém ohýbacím nástroji. Původně byl zamýšlen sdružený nástroj, ale kvůli jeho velikosti bylo od něj bylo upuštěno. To mělo za následek více možností nástřihových plánů a lepší ekonomii výroby. Byla vybrána varianta s otáčením. Výrobek bude vyráběn ze svitku oceli S235JR (11 375). Na základě výpočtů byl zvolen výstředníkový lis Šmeral S 160 o síle 1 600 kN. Ekonomické hodnocení výroby je uvedeno v závěru práce.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, postupové stříhadlo, ohýbací nástroj

## **ABSTRACT**

HOCHMAN Jan: Production of Blade.

---

This bachelor thesis is aimed at the making of a small size ploughshare with a progressive cutting machine, followed by bending with a bending device. Initially, a compound device had been intended, however, this design has been desisted due to the size of such device. This has led to more possibilities in the cutting planning and the production economics. The rotating design has been chosen. The product is to be made of a steel coil S235JR (11 375). Based on the calculation, the eccentric press machine Smeral S 160 with 1 600 kN force power has been chosen. The economic evaluation is presented at the end of the thesis.

Keywords: cutting, bending, progressive cutting machine, bending device.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOCHMAN, Jan. *Výroba radličky*. Brno, 2019. 39 s, 8 výkresů, 1 příloh, CD. bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 24.5.2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

**Zadání**

**Abstrakt**

**Bibliografická citace**

**Čestné prohlášení**

**Poděkování**

**Obsah**

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ .....	10
1.1 Popis součásti .....	10
1.2 Volba materiálu součásti .....	10
1.3 Výrobní možnosti .....	11
2 STŘÍHÁNÍ .....	12
2.1 Průběh stříhání a Střížná plocha .....	12
2.2 Střížná síla, střížná práce, střížný odpor .....	13
2.3 Vůle mezi střížníkem a střížnicí .....	14
2.4 Stanovení rozměrů střížníků a střížnice a přesnost výstřížku .....	15
2.5 Postup vystříhování, nástroj pro vystříhování .....	16
2.6 Stříhání malých otvorů .....	17
3 OHÝBÁNÍ .....	17
3.1 Průběh a výsledek ohýbání tyčí a širokých pásů .....	17
3.2 Ohybový moment .....	18
3.3 Poloha neutrální vrstvy .....	19
3.4 Minimální poloměr ohybu .....	20
3.5 Pružná deformace při ohýbání neboli odpružení .....	20
3.6 Síla a práce při ohýbání .....	21
3.7 Konstrukce a přesnost ohýbaných součástí .....	21
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ .....	23
4.1 Varianta ve sdruženém nástroji .....	23
4.2 Varianta výroby ve střížném nástroji a ohybovém nástroji .....	23
4.3 Plocha výstřížku .....	24
4.4 Volba nástřihového plánu .....	24
4.5 Výpočet střížné síly, práce, těžiště a volba lisu .....	26
4.6 Stanovení rozměru střížníku a střížnic .....	27
4.7 Konstrukce stříhacího nástroje .....	31
4.8 Ohýbací nástroj .....	35
4.9 Konstrukce ohýbacího nástroje .....	35
4.10 Materiály nástrojů .....	37
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	37
6 ZÁVĚRY .....	39

**Seznam použitých zdrojů**

**Seznam použitých symbolů a zkratek**

**Seznam obrázků**

**Seznam tabulek**

**Seznam příloh**

**Seznam výkresů**

## Úvod [1, 2, 3, 4, 16, 19, 20, 21, 22]

Mezi nejstarší technologie zpracování kovů a slitin kovů patří tváření. V dnešní době se touto technologií vyrábí mnoho součástí v sériové výrobě a velkosériové výroby např. skelet automobilů je vyráběna z tváření dílů viz Obr. 5.

Tato technologie se dělí na tváření, objemové tváření a plošné tváření. Mezi způsoby výroby objemovým tvářením patří například protlačování, tažení, zápusťkové kování atd. a mezi způsoby výroby plošného tváření patří například stříhání, ohýbání, lemování, ražení např. mince viz Obr. 1 atd. Další příklady součásti vyráběných tvářením jsou na Obr. 4, Obr. 2 a Obr. 3.

Nejdůležitější podmínkou pro výrobu součástí touto technologií je, aby materiál, ze kterého se bude daná součást vyráběna, byl dobře tvářitelný. To znamená, že materiál při zatížení bude tvar trvale změněn tvar bez prasknutí a po odlehčení mu zůstane nový požadovaný tvar.



Obr. 1 Mince [16]



Obr. 5 Skelet automobilu [19]



Obr. 2 Šroub [20]



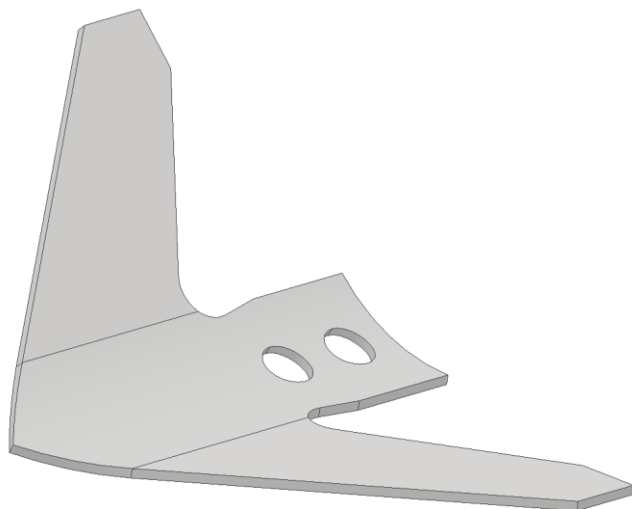
Obr. 3 Klíč [22]



Obr. 4 Sponka [21]

## 1 Rozbor zadání [23, 24]

Na Obr. 6 je zadaná součást s roční produkcí 40 000 kusů za rok. Jedná se o radličku s rozměry 256x170x44. Součásti tohoto typu jsou používány na zemědělských strojích k orbě půdy nebo k tvorbě řádku na polích. Na Obr. 7 je příklad stroje s radličkou.



Obr. 6 Vyráběná radlička [24]



Obr. 7 Sazeč brambor [23]

### 1.1 Popis součásti

Součást je šípovitého tvaru a tloušťky 3 mm. Ve střední části je ohnutá velkým poloměrem zaoblení 135° a nachází se zde dva otvory. Tyto otvory slouží k upnutí součásti na stroj. Radlička s výjimkou dvou otvorů a jejich rozestupu má nízkou výrobní přesnost.

### 1.2 Volba materiálu součásti [6, 7, 14, 15]

Pro tuto součást byl zvolen materiál ČSN 11 375 (S235JR dle nového značení). Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé jakosti. Mechanické vlastnosti a chemické složení viz Tab. 1.

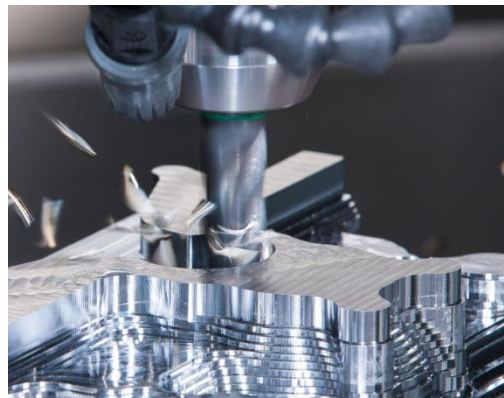
Tab. 1 Mechanické vlastnosti a složení oceli ČSN 11 375

Mechanické vlastnosti					
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]		Mez kluzu $R_e$ [MPa]		Tažnost $A_{80}$ [%]	
360		235		26	
Chemické složení					
C max. [hm %]	Mn max. [hm %]	Si max. [hm %]	P max. [hm %]	S max. [hm %]	N max. [hm %]
0,17	1,50	-	0,045	0,045	0,014

### 1.3 Výrobní možnosti [1, 2, 17, 18]

Vzhledem ke zvolené součásti a velikosti série přichází v úvahu několik výrobních možností výroby:

- Obrábění – součást lze vyrobit obráběním. Tuto metodu vidíme na Obr. 8. Podstata této výroby je založena na třískovém odběru materiálu, než vznikne požadovaný tvar. Mezi výhody této metody patří vysoká přesnost. Vzhledem k tvaru zadané součásti a jejím velkým poloměrem ohybu této součásti by byl potřeba velký polotovár a vzniklo by hodně odpadu. Dalším důvodem pro zamítnutí této technologie byla dlouhá výrobní doba jedné součásti, což by se projevilo ve vyšší ceně a v neposlední řadě narušením vláken materiálu.



Obr. 8 Frézování [18]

- Odlévání – dalším způsobem výroby se nabízí odlévání. Podstata této výrobní metody je vyrobení formy s tvarovou dutinou součásti. Poté je do formy nalit tekutý kov viz Obr. 9, který ve formě ztuhne. Následně je odstraněna forma a nálietek. Mezi výhody odlévání patří možnost velké tvarové složitosti součásti. Mezi nevýhody patří vysoká energetická náročnost na roztavení materiálu. Odlitky nedosahují vysokých přesností a po mechanické stránce jsou na tom hůře, než tvářené součásti



Obr. 9 Odlévání [17]

- Stříhací a ohýbací nástroj – součást lze vyrábět pomocí kombinace dvou nástrojů. V prvním by se z pásu plechu vystříhly tvary součásti bez ohnutí. V druhém nástroji by byl výstřížek posléze ohnut. Možnou výhodou tohoto způsobu výroby by bylo lepší výtěžnost plechů, protože by mohl být výstřížek na pásu plechu lépe umístěn. Nevýhodou této metody je fakt, že je zapotřebí dvou nástrojů, a proto bude podstatně více manipulace. Výhodou součásti vyrobené touto metodou jsou dobré mechanické vlastnosti, protože nebyly přerušeny směry vláken v součásti
- Sdružený nástroj – poslední uvažovanou technologií výroby je vyrábět součást ve sdruženém nástroji. Tento nástroj umožňuje vyrobit součást z pásu plechu tak, že by se nejprve v nástroji v prvních operacích vyrobil zadaný tvar a následně by byl požadovaně ohnut. Nakonec by došlo k odstřížení finálního výrobku z plechu. Výhodou této varianty je fakt, že by se součást vyrobila v jednom nástroji. Z toho plyne snížení potřeby manipulace oproti kombinaci stříhacího a ohýbacího nástroje. Výhodou součásti vyrobené touto metodou jsou dobré mechanické vlastnosti, protože nebyly přerušeny směry vláken v součásti

Vzhledem ke tvaru a počtu vyráběných součástí je zvolenou technologií sdružený postupový nástroj, potažmo kombinace stříhacího a ohýbacího nástroje.

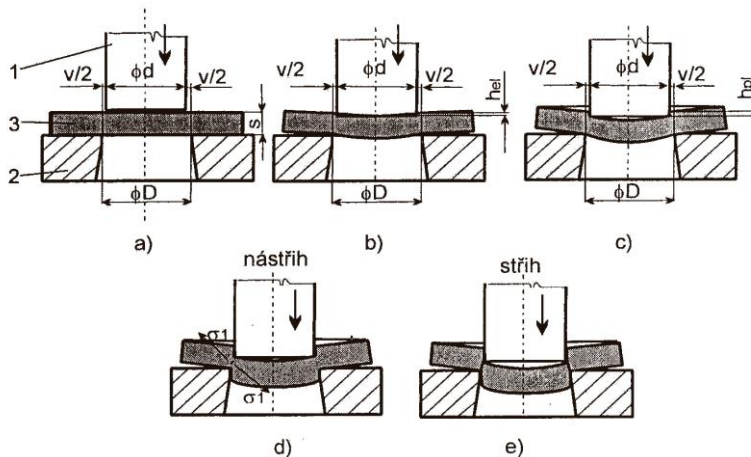
## 2 Stříhání [1, 2]

Technologie stříhání se používá k výrobě plošných součástí z plechů. U této technologie se zejména používá děrování, kde je vystřižená část odpadem a vystřihování, kde je vystřižená část požadovaná součást.

### 2.1 Průběh stříhání a Střížná plocha [1, 2, 3]

Průběh stříhání či děrování ve střížném nástroji se dělí na tři etapy:

- V první fázi dojde k dosednutí střížníku na stříhaný materiál viz Obr. 10 a). Materiál ještě není stříhán, neboť dochází k pružné deformaci. Napětí je menší, než je mez kluzu materiálu. Na konci této fáze začne docházet k deformaci viz Obr. 10 b). Střížník vnikne do hloubky 5 až 8 % stříhaného materiálu
- V druhé fázi začne vnikat střížník do materiálu viz Obr. 10 c). V materiálu začíná trvalá plastická deformace. Střížník vnikne do hloubky 10 až 25 % stříhaného materiálu.
- V počátku třetí fáze je u stříhaného materiálu dosaženo hodnot pevnosti materiálu ve stříhu. Začne vznikat tzv. nástřih z povrchových trhlinek materiálu viz Obr. 10 d). V důsledku stavu napjatosti a šíření trhlinek a jejich postupnému propojení vznikne stříh viz Obr. 10 e).

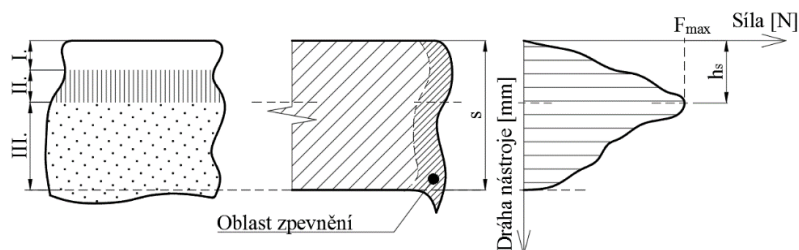


Obr. 10 Střížný proces [1, 25]

#### 2.1.1 Stříhaná plocha [1, 3]

Stříhaná plocha má typický průběh viz Obr. 11:

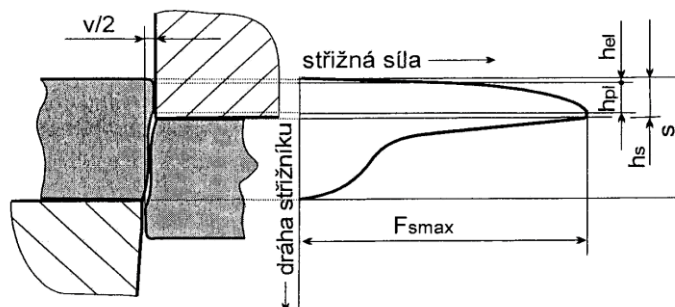
- První pásmo – pásmo pružné deformace. Vzniká elastickým vniknutím střížníku do materiálů
- Druhé pásmo – pásmo plastického stříhu. Pro toto pásmo je typická hladká a lesklá část střížné plochy. Na tuto plochu má vliv také rychlost stříhu. Čím bude rychlost stříhu vyšší, tím bude tato oblast spolu s deformačním zpevněním menší.
- Třetí pásmo – pásmo lomu. V něm dojde k oddělení materiálu pod smykovým napětím. Pro toto pásmo je typické porušení materiálu ve tvaru ‚S‘ a vzniku ořepu na konci tohoto pásma.
- Oblast zpevnění – tato oblast vznikne v důsledku deformačního zpevnění.



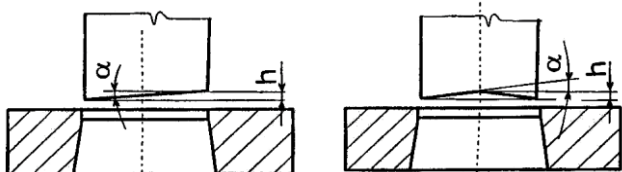
Obr. 11 Střížná plocha [3, 25]

## 2.2 Střížná síla, střížná práce, střížný odpor [1, 2]

Střížná síla na počátku charakteristicky prudce roste. Na začátku dochází k elastickému vnikání střížníku do materiálů. Následně se materiál začne plasticky deformovat a deformačně zpevňovat, což má za následek další, ale pomalejší růst síly. Po vzniku prvních trhlin se síla nepatrně zmenší. Potom dojde k úplnému utržení materiálu s charakteristickou 'S' křivkou a velice rychlým poklesem síly. Průběh lze vidět na Obr. 13.



Obr. 13 Průběh střížné síly [1, 25]



Obr. 12 Úpravy střížníků [1, 25]

U tlustých plechů lze snížit maximální velikost střížné síly  $F_{smax}$  pomocí úprav střížníků a střížnice viz Obr. 12. Plech se bude stříhat postupně, což bude mít za následek snížení maximální síly, ale práce

pod křivkou zůstane stejná jako by se stříhalo bez úprav. Střížná síla se vypočte podle následujícího vztahu:

$$F_s = n \cdot S_s \cdot \tau_s = n \cdot S_s \cdot 0,8 \cdot R_m = n \cdot l_s \cdot s \cdot (0,75 \text{ až } 0,9) \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.1)$$

kde:  $n$  – koeficient zvyšování střížné síly v důsledku otupování hran  
nabývá hodnot  $n = 1,1$  až  $1,3$  [-]

$S_s$  – stříhaná plocha [ $\text{mm}^2$ ]

$\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

$l_s$  – délka střížné hrany [mm]

$s$  – tloušťka materiálu [mm]

$R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]

Střížná práce je rovna ploše pod křivkou střížné síly na Obr. 13. A vypočte se následujícím vztahem:

$$A_s = \lambda \cdot F_{smax} \cdot s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot x \cdot s \cdot F_s \text{ [J]} \quad (2.2)$$

kde:  $\lambda$  – koeficient plnosti diagramu [-]

$F_{smax}$  – maximální velikost střížné síly [N]

$x$  – koeficient pro výpočet střížné práce  $0,5 \div 0,55$

Střížný odpor je dán pevností materiálů, ale skutečný deformační odpor se odvíjí na způsobu stříhání:

- Tření mezi výstřížkem a bokem střížné hrany nástroje. Pokud nebudeme mazat tření se zvyšuje v rozmezí  $\mu = 0,18$  až  $0,30$
- Záleží na tloušťce stříhaného plechu, tvaru a velikosti stříhané plochy. Pokud je velikost stříhané plochy větší a plech silnější, střížný odpor se zmenšuje.

- Střížná vůle ovlivňuje velikost střížného odporu. Pokud je střížná vůle optimální, je nejmenší střížný odpor. Tento poměr se dá vyjádřit poměrem tloušťky stříhaného plechu a střížné vůle na velikost střížného odporu. Vyjadřujeme vzorcem:

$$\tau_s = \left( \frac{m \cdot s}{d} + 0,6 \right) R_m \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

kde:  $v$  – střížná vůle [mm]

$d$  – průměr výstřížku [mm]

$m$  – koeficient závislosti na poměrné vůli  $v/s$ , optimální je 1,2 [-]

- Podmínky stříhání ovlivňuje rychlost, mazání, stav střížných hran a tvar střížnice. Při rychlém stříhání je větší střížný odpor. Mazání střížný odpor snižuje a zmenšuje sílu potřebnou k vysunutí výstřížků ze střížnice o 30 % až 40 %. V průběhu střížného procesu dochází k otupování střížných hran, což má za následek zvětšení střížného odporu. Tento jev se zohledňuje při konstrukci střížného nástroje. Konkrétně se velikost potřebné střížné síly zvětšuje koeficientem ‘ $n$ ’.

Je třeba určité síly  $F_t$  k setření výstřížku ze střížníku a síly  $F_v$  k vytlačení výstřížku ze střížnice. Tyto síly lze vypočítat následujícími vztahy:

$$F_t = k \cdot F_s \text{ [N]} \quad (2.4)$$

$$F_v = k_1 \cdot F_s \cdot n \text{ [N]} \quad (2.5)$$

kde:  $k = 0,02$  až  $0,08$  pro  $s < 1$  mm

$k = 0,06$  až  $0,12$  pro  $s = 1$  až  $5$  mm

$k = 0,08$  až  $0,15$  pro  $s > 5$  mm

$k = 0,05$  až  $0,10$  větší hodnota náleží tenčím materiálům

$n$  – počet výstřížků nacházejících se ve válcové ploše střížnice

Kontrola na vzpěr slouží k zjištění, jestli střížník během práce nedojde k vybočení. Výpočet délky, kterou volný střížník nesmí přesáhnout udává následující vztah:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde:  $E$  – Youngův modul pružnosti [MPa]

$I$  – Kvadratický moment průřezu střížníku [mm<sup>4</sup>]

$n$  – koeficient bezpečnosti  $n \in (1,5 - 2)$  [-]

Kontrola na otlacení slouží ke zjištění, jestli nedojde k zatlačení střížníku do horní části nástroje. Vypočte se dle vztahu níže. Její hodnota nesmí přesáhnout hodnotu maximálně dovolenou.

$$\sigma = \frac{F_s}{S_{st}} = \frac{l_{st} \cdot s \cdot \tau_s}{S_{st}} \text{ [MPa]} \quad (2.7)$$

kde:  $S_{st}$  – plocha střížníku [mm<sup>2</sup>]

### 2.3 Vůle mezi střížníkem a střížnicí [1, 2]

Na kvalitu střížné plochy má vliv velikost střížné vůle, střížný odpor a životnost stříhadla. Optimální střížná vůle je, když velikost střížné vůle je největší přípustná pro požadovanou kvalitu výroby, protože se zmenšující se střížnou vůlí vzrůstá střížná síla a střížná práce.

Při normálním stříhání dosahuje střížná vůle hodnot 3 až 20 % (střížná vůle je součet mezer mezi střížníkem a střížnicí) Konkrétní hodnoty pro způsoby stříhání v tabulce Tab. 2.

**Tab. 2 Velikost střížné vůle**

Způsob stříhání	Tloušťka materiálu $s$ [mm]	Střížná vůle $v$ [% $s$ ]
Běžné vystřihování a děrování ocelí	do 0,2	0
	0,3 až 3,0	10 až 16
	3 až 10	16 až 20
	10 až 20	20 až 24
Vystřihování s „hladkou“ střížnou plochou	do 0,3	4 až 8
	3 až 10	8 až 12
	10 až 20	12 až 16
Vystřihování a děrování hliníku	do 3	4 až 8
	3 až 10	8 až 12

Z tabulky vyplývá, že pro plechy tenčí než 0,2 mm se stříhá v podstatě bez vůle.

V praxi se využívá nejvíce hodnot z tabulek nebo vztahy získané na základě praktických zkoušek:

- pro plechy s tloušťkou  $s \leq 3$  mm

$$v = 2cs\sqrt{0,1\tau_s} \quad (2.8)$$

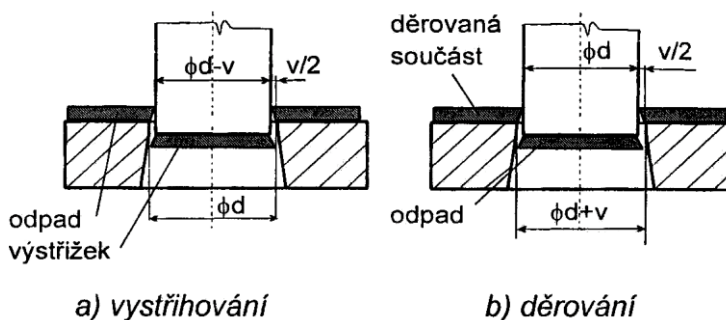
- pro plechy s tloušťkou  $s > 3$  mm

$$v = 2(1,5s - 0,015)\sqrt{0,1\tau_s} \quad (2.9)$$

kde:  $c$  – koeficient volen na základě požadované kvality střížné plochy [-]

Koeficient  $c$  nabývá hodnot 0,005 až 0,035, kde se 0,005 užívá pro nejvyšší kvalitu střížné plochy a 0,035 pro nejmenší střížnou sílu.

Během stříhání dochází k opotřebení nástroje a střížná vůle se mění, proto se nové nástroje vyrábějí s minimální přípustnou vůlí. V případě, kdy je výrobkem výstřížek, má střížnice požadovaný rozměr výrobku a střížník je o střížnou vůli menší. V případě děrování, kdy je ve výrobku zhotovován otvor, má střížník požadovaný rozměr a střížnice je o danou vůli větší. Názorně lze vidět na Obr. 14.



**Obr. 14 Střížná vůle u vystřihování a děrování [1, 25]**

## 2.4 Stanovení rozměrů střížníků a střížnice a přesnost výstřížku [1, 2]

Rozměry střížníku a střížnice vychází z výkresové dokumentace stříhané součásti. Snažíme se střížník a střížnici vyrobit v rozměrech, které vyrobí nejvíce součástí s ohledem na opotřebení nástroje.

Při chodu nástroje se časem střížník zmenšuje a střížnice se zvětšuje. V praxi je při vystřihování výhodné většinu tolerance přenést na střížnici, protože opotřebení střížníku má menší vliv než opotřebení střížnice a v případě děrování je tomu naopak.

Stříhané součásti se dají rozdělit do tří skupin podle přesnosti:

- výstřížky s nižší přesností (IT 14 až IT 16)
- výstřížky se střední přesností (IT 11 až IT 12)
- výstřížky se zvýšenou přesností (IT 6 až IT 9)

Pro první dvě skupiny platí v případě vystřihování:

$$D_s = (d - 0,8P_u)^{+ps} \quad (2.10)$$

$$d_k = (D_s - v)_{-pk} \quad (2.11)$$

kde:  $D_s$  – rozměr střížnice [mm]

$d_k$  – rozměr střížníku [mm]

$d$  – předepsaný rozměr výstřížku [mm]

$P_u$  – úchylka vystřihovaného tvaru [mm]

$ps$  – přídavek na zhotovení střížnice [mm]

$pk$  – přídavek na zhotovení střížníku [mm]

V případě děrování:

$$d_k = (d + 0,8P_u)_{-pk} \quad (2.12)$$

$$D_s = (d_k + v)^{+ps} \quad (2.13)$$

Na vystřihování má vliv řada faktorů:

- konstrukce nástroje (přesnost zhotovení a stav nástroje)
- stříhaný materiál (tloušťka, druh a stav)

Do tloušťky materiálu 4 mm a rozměru menší než 200 mm se stříhá s přesností desetiny mm, což je IT 12 až IT 14. V případě stříhadla se zvýšenou přesností a vodicími stojánky se stříhá s přesností až tři desetiny což je IT 9 až IT 11. Nejpřesnější vystřihování dosahuje stříhadlo s tlačnou hranou nebo metodou přistřihování (která se dnes moc nepoužívá), jež dosahuje přesnosti kolem 0,05 mm, což je IT 6 až IT 8.

Stupeň přesnosti stříhaného výrobku bývá o tři stupně menší, než je stupeň přesnosti stříhadla – např. při výrobě součásti IT 10 je střížník a střížnice vyroben v přesnosti IT 7.

Drsnost pracovních ploch střížníku a střížnice:

- pro tloušťku  $s \leq 1$  mm je drsnost  $R_a = 0,8$  až  $0,4$
- pro tloušťku  $s > 1$  mm je drsnost  $R_a = 3,2$  až  $1,6$

## 2.5 Postup vystřihování, nástroj pro vystřihování [1, 2]

Vystřihování slouží k výrobě různých tvarů, které mohou být jako konečný výrobek nebo vznikne polotovar pro další zpracování např. ohýbání. U součástí s otvory nebo složitějšími tvary se součásti vystřihují v postupovém stříhadle tzn. – součást je vyrobena v několika krocích.

Při návrhu střížného nástroje je třeba vzít v potaz složitost tvaru, obvod výstřížku, otvory, vzdálenost mezi otvory, tloušťka a druh materiálu.

Výstřížek se umísťuje na pás plechu takovým způsobem, aby byl plech maximálně využit. Je třeba dodržet minimální vzdálenosti mezi výstřížky navzájem a od okraje pásu, tyto hodnoty jsou dány tabulkami.

Pásy plechu se nakupují buď jako pláty nebo svitek. Normalizované pláty se volí v případě menší produkce a jsou vhodně rozstříhány na pásy naopak svitek se volí v případě hromadné produkce výroby. Svitky lze objednat i s požadovanou šířkou materiálu.

Nástroj pro vystřihování se skládá z horní a dolní části. Na horní část stříhadla se nachází upínací deska, ve které je upínací stopka pro beran lisu a můžou se zde nacházet otvory vodících sloupků. Pod ní se nachází tvrdá podložka z tenkého plechu. Dále následuje kotevní deska, ve které jsou otvory pro umístění střížníků. Ty se opírají o tvrdou podložku a jsou zajištěny pomocí rozšíření v horní části střížníků. Upínací deska, tvrdá podložka a kotevní deska jsou smontovány pomocí šroubů a přesnost smontování je dosažena pomocí kolíků.

Ve spodní části je upínací deska s boční hranou pro upnutí ke stolu lisu a otvory pro propad stříhaného materiálu. Na ní leží střížnice. Na horních stranách střížnice jsou umístěny dvě vodící lišty. Na nich spočívá vodící deska s otvory pro střížníky, která slouží jako stěrač. To celé je opět sešroubováno a vystředěno pomocí kolíků.

Pás plechu je položen na střížnici a jeho polohu zajišťují vodící lišty. Pro zajištění požadované vzdálenosti kroku se používají dorazy. Při činnosti nástroje projde pásem plechu střížníky a vystřižený materiál propadne nástrojem dolů. Následně dojde k posunutí o krok a opět dojde k dalšímu stříhání. Tento cyklus se opakuje do konce pásu plechu.

K zajištění vyšší přesnosti se používají normalizované vodící stojánky. Ty slouží k přesnějšímu centrování horní a dolní části stříhadla. Pro ještě vyšší přesnost se užívají tzv. hledáčky. Ty jsou umístěny podobně jako střížníky nebo jsou součástí střížníku, ale nestříhají, jenom přesněji zacentrují plech pro další stříh. Fungují na principu kužele, který se zasune do již vystřižených otvorů po předchozích operacích.

## 2.6 Stříhání malých otvorů [1, 2]

Při běžném stříhání je možno vystřihnout otvor o minimálním průměru, kde je roven průměr otvoru tloušťce stříhaného plechu. Menší otvory není možno stříhat, protože by nástroj již neměl dostatečnou pevnost a stabilitu volného konce střížníku. Nejmenší střížník v nástroji je třeba zkontrolovat na vzpěr. V případě, že by se střížník vyhnul je třeba ho třeba zafixovat pomocí pouzdra.

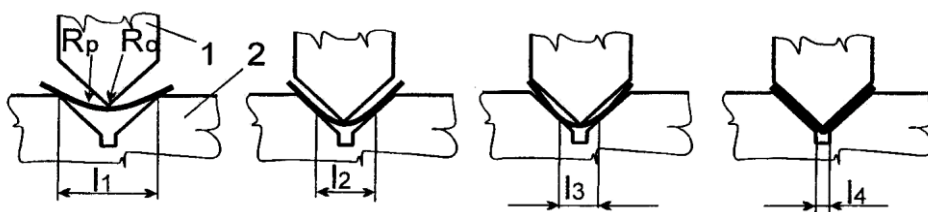
Pro děrování malých otvorů je důležité dobře zajištěny střížník v celé délce a silný tlak přidržovače kolem celého obvodu.

## 3 Ohýbání [1, 2, 3]

Nejčastěji se ohýbá výstřížek z plechu. Nástroje používané při ohýbání jsou ohýbací stroje, ohraňovací lisy, zakružovací stroje a ohýbací automaty, které zároveň provedou jak vystřižení, tak i ohyby.

### 3.1 Průběh a výsledek ohýbání tyčí a širokých pásů [1, 2]

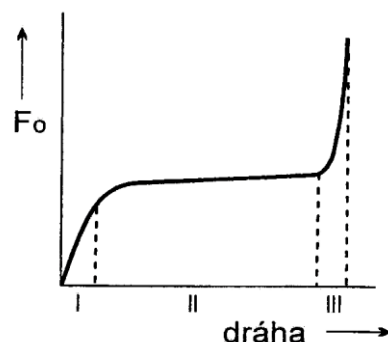
Při ohýbání do „V“ ohybu je ohýbaná součást položena ve dvou místech na ohybnici. Tento proces je zachycen na Obr. 15. Následně začne sjíždět dolů ohybník s požadovaným rádiusem  $R_o$ . Ten se dotkne ohýbané součásti a začne jí



Obr. 15 Průběh ohýbání v nástroji [1, 24]

ohýbat. Ohyb o rádiusu  $R_p$  na součásti se zvětšuje a zmenšuje se při tom rameno ohybu,  $l'$ . Následně je na součásti dosažen rádius ohybníku. Součást v tomto okamžiku je z větší části v plošném kontaktu s ohybníkem a ohybnicí, při čemž dochází ke kalibrování součásti. Na Obr. 16 je vidět závislost síly na dráze. Lze ji rozdělit do tří částí:

- oblast pružného ohybu
- oblast plastického ohybu
- oblast kalibrování



Obr. 16 Průběh ohýbací síly [1, 24]

V případě ohybu, kdy je šířka materiálu menší, než je tloušťka je možné napětí ( $\sigma_2 = 0$ ) ve směru šířky zanedbat. Na součásti vznikne vně ohybu jednoosé tahové napětí a ve vnitřní straně ohybu vznikne jednoosé tlakové napětí. Je-li šířka pásu větší, než je tloušťka, nastává vně ohybu pásu plošné tahové napětí a na vnitřní straně ohybu plošné tlakové napětí.

Neutrální vrstva deformace je místo v ohybu, která v ohybu součásti rozděluje část stlačeného a prodlužovaného materiálu. Podobně existuje neutrální vrstva napětí, která rozděluje v ohybu součásti tahovou a tlakovou napjatost.

### 3.2 Ohybový moment [1, 2]

Na začátku ohybu dochází k pružné deformaci. Po jejím překročení nastává deformace trvalá neboli plastická. V krajních vrstvách vzniká plastická deformace. Když v ohybu vznikne napětí kritické hodnoty je ohybový moment:

$$M_{oel} = \frac{b \cdot s^2}{6} \sigma_k [Nm] \quad (3.1)$$

kde:  $\sigma_k$  – kritický přetvárný odpor [-]  
 $b$  – šířka ohýbaného pásu [mm]

Při následném pokračování ohybu, se plastická deformace šíří hlouběji a napětí v průřezu bude mít lichoběžníkový tvar. Ideální plastický ohyb nastává u úzkých tyčích, protože plastická oblast pronikne celým průřezem materiálu. Ohybový moment je:

$$M_{opl} = \frac{b \cdot s^2}{4} \sigma_k [Nm] \quad (3.2)$$

U širokých pásů při ohýbání nedochází k deformaci v příčném směru, což má za následek neměnnou šířku pásu. Napětí je:

$$\sigma_2 = \mu \cdot \sigma_1 [MPa] \quad (3.3)$$

A platí zde podmínka plasticity pro rovinný stav napjatosti:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_k [MPa] \quad (3.3)$$

V případě širokých pásů, platí pro ohybové momenty následující vztahy:

$$M_{oel} = \frac{b \cdot s^2}{6} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k [Nm] \quad (3.4)$$

$$M_{opl} = \frac{b \cdot s^2}{4} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k [Nm] \quad (3.5)$$

Celková hodnota napětí vzrůstá při ohýbání tyčí a pásů. Výsledné napětí je na povrchu, kde dochází k největší deformaci.  $\sigma_p = \sigma_k + \Delta\sigma_k$

### 3.3 Poloha neutrální vrstvy [1, 2]

Pro stanovení rozměru polotovaru a minimálního poloměru zaoblení je důležitá poloha neutrální vrstvy deformace. Při poloměru zaoblení  $R_o$ , vůči tloušťce materiálu  $s$ , a jejich poměru  $R_o/s > 12$  lze předpokládat, že neutrální vrstva je uprostřed v průřezu součásti. Poloměr neutrální vrstvy deformace je:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} \quad [mm] \quad (3.6)$$

V případě malého poloměru ohybu  $R_o$  a tloušťce materiálu, kdy je poměr  $R_o/s \leq 6$ , nastane v místě ohybu ztenčení materiálu a posunutí neutrální vrstvy deformace směrem k vnitřní straně ohybu viz Obr. 17.

$$\rho = \frac{(R - R_o)}{2} \cdot z_z \cdot z_r \quad (3.7)$$

kde:  $z_z - s_1/s$  je koeficient ztenčení [-]

$z_r - s_1/s$  je koeficient rozšíření [-]

$s, b, s_1, b_1$ , – tloušťka šířka materiálu před a po ohnutí [mm]

V případě ohýbání širokých polotovarů se neprojeví deformace v příčném průřezu ani v příčném šíření, kdy  $b \geq 3s$ , je  $z_r = 1$ . Při ohýbání úzkých pásů kdy je  $b \leq 3s$  dochází jen k malé změně šířky pásu a hodnota  $z_r$  je v řádu setin větší.

Na koeficientu ztenčení  $z_z$  závisí stupeň deformace, úhel ohybu, tření a tvárnost materiálu.

V praxi se poloha neutrální vrstvy u širokých pásů plechu určuje pomocí koeficientu  $x$ , který vyjadřuje její posunutí. Užívá se tento vztah:

$$\rho = R_o + xs \quad (3.8)$$

Na základě poměru rádiusu ohybu  $R_o$  a tloušťky materiálu  $s$ ,  $R_o/s$  je závislá hodnota koeficientu  $x$ . Se stoupající hodnotou poměru  $R_o/s$  stoupá i hodnota  $x$ .

K určení délky ohnuté části nám určuje velikost poloměru neutrální vrstvy, která je dána délkou neutrální vrstvy mezi začátkem a koncem ohybu. Délka ohybu se vypočítá z rovnice:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} (R_o + xs) \quad [mm] \quad (3.9)$$

kde:  $\gamma$  – délka ohybu úhel [°]

Hodnotu ztenčení plechu  $z$  lze určit tímto vztahem:

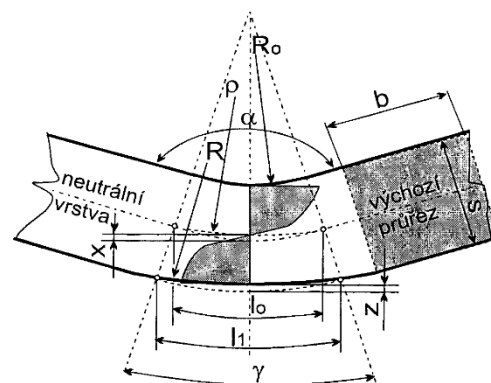
$$z = \frac{s^3}{4(2R_o + s)^2} \quad [mm] \quad (3.10)$$

U velkého poloměru ohybu je ztenčení minimální a při zmenšeném poloměru ohybu dochází ke ztenčení plechu.

Pokud se ohýbají kruhové tyče či dráty k deformaci průřezu prakticky nedochází  $R_o > 1,5 d$ , ten nastává pokud  $R_o < 1,5 d$ .

Rozhraní v materiálu, kde nepůsobí tah ani tlak se nazývá neutrální vrstva napětí. Tato vrstva a její poloha se mírně odlišuje od neutrální vrstvy deformace. Její polohu lze určit následujícím vztahem:

$$\rho_n = \sqrt{R_o \cdot R} \quad (3.11)$$



Obr. 17 Schéma ohýbání [1, 24]

### 3.4 Minimální poloměr ohybu [1, 2]

Minimální rádius ohybu ovlivňuje úhel ohybu, šířka ohýbaného polotovaru, způsob ohýbání, plastičnost a anizotropie materiálu. Anizotropie materiálu vzniká při válcování plechů, kdy v něm v důsledku deformace vznikají tzv. vlákna, která jsou protáhlá zrna materiálu. V případě překročení poloměru ohybu povede k porušení ve vnější natahované části polotovaru.

Pokud napětí ve vnějších vláknech překročí mez pevnosti a tahu, dojde k porušení ohýbaného materiálu, které vychází z plastičnosti a z mezního prodloužení materiálu. Velikost prodloužení vláken lze vyjádřit vzorcem:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{(R_o + s) - (R_o + \frac{s}{2})}{R_o + \frac{s}{2}} = \frac{s}{2R_o + s} [mm] \quad (3.12)$$

kde:  $l_1$  – vzdálenost vnějších hran ohybu [mm]

$l_0$  – vzdálenost konců neutrální vrstvy v průřezu [mm]

Minimální rádius ohybu vypočítáme pomocí této rovnice:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c \cdot s [mm] \quad (3.13)$$

kde:  $\varepsilon_{max}$  – mezní prodloužení [mm]

$c$  – materiálový součinitel [-]

Směr vláken v polotovaru má vliv na minimální poloměr ohybu. Nejhorší je situace, kdy je ohyb prováděn rovnoběžně se směrem vláken v materiálu a nejlepší je situace, když je ohyb proveden kolmo na směr vláken. Rozdíl může být až čtyřnásobný.

Šířka ohýbaného polotovaru má vliv na minimální rádius – čím je plech větší, tím větší je  $R_{min}$ . Při ohybu plechu je největší napětí uprostřed ohybu a směrem ke kraji ohybu se napětí zmenšuje. Z toho vyplývá – pokud vznikne v ohybu trhlinka, je uprostřed ohybu, a ne na kraji. V důsledku tohoto lze užší pásy více ohnout než široké.

Při výrobě, kdy je polotovar výstřižek z plechu, pro dosažení minimální hodnoty rádiusu  $R_{min}$  je nutné, aby výstřižky byly zakládány do ohýbacího nástroje ostřinami směrem ke vnitřnímu rádiusu – byly stlačovány a ne natahovány.

V případě, kdy materiál nemá dostatečné plastické vlastnosti a je hodně plasticky tvářen, aby nedošlo k prasknutí při ohýbání, je třeba odstranit deformační zpevnění pomocí vhodné metody tepelného zpracování.

Teoretická minimální hodnota poloměru je  $R_{min} = (0 \text{ až } 8) \cdot s$ , ale v praxi se používá o 10 až 20 % větší.

### 3.5 Pružná deformace při ohýbání neboli odpružení [1, 2]

Při ohýbání materiálu se musí překonat pružná deformace, aby v materiálu proběhla trvalá plastická deformace. Po ukončení zatěžování materiálu v ohýbacím nástroji, se ohýbaná součást odpruží. Velikost odpružení bude jiná při volném ohybu bez kalibrování a jiná při ohybu s kalibrováním a ražením úhlu.

Velikost odpružení při ohýbání závisí na stupni deformace, úhlu ohybu, pružných vlastnostech ohýbaného materiálu a druhu ohybu do ‚V‘ ohyb a ‚U‘ ohyb. Odpružení je závislé také na velikosti poloměru ohybu a tloušťce materiálu. Odpružení se zmenšuje, pokud je materiál silnější nebo poloměr ohybu menší. Na zpevnění materiálu má vliv kalibrace ohýbání a ražení úhlu. Při ohýbání v nástroji, v souvislosti na geometrických poměrech ohybu můžeme dosáhnout odpružení kladné, nulové nebo i záporné, když vzniklý úhel ohybu je menší, než požadovaný. V případě ražení úhlu a jeho kalibrování dochází, k dvojímu odpružení opačného smyslu:

- odpružení kladné – v zaoblené části výlisku
- odpružení záporné – rovné úseky mezi ohýbacími čelistmi

Tyto protichůdné deformace vytváří výsledný tvar.

Velikost odpružení získáme buďto výpočtem nebo pomocí tabulek, které byly stanovené na základě zkoušek. V případě ohybu do ,V‘ se dá úhel odpružení  $\beta$  spočítat následujícím vztahem:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l_v \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} \quad (3.14)$$

kde:  $l_v$  – vzdálenost podpor mezi kterými je ohyb uskutečněn [mm]

$k = 1 - x$  – součinitel zohledňující polohu neutrální vrstvy ( $k = 0,5$  až  $0,68$ ) [-]

$E$  – modul pružnosti v tahu [Pa]

V případě ohybu do ,U‘ se dá úhel odpružení  $\beta$  spočítat následujícím vztahem:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,79 \frac{l_m \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} \quad (3.15)$$

### 3.6 Síla a práce při ohýbání [1, 2]

Z ohybového momentu vnějších sil, které jsou rovny momentu sil vnitřních, můžeme určit sílu, kterou potřebujeme pro ohýbání. Abychom mohli určit vnitřní sílu, musíme znát v ohýbaném průřezu přesný průběh vnitřního napětí.

Při výrobě polotovaru, kdy je ohyb do tvaru ,V‘ a nosník na dvou podporách vzdálených  $l_v$ , který je ve středu zatížený silou  $F_o$ , lze určit moment vnějších ohybových sil vzorcem:

$$M_o = \frac{1}{4} F_o l_v \quad (3.16)$$

Pro výpočet velikosti ohybové síly dosadíme vztah velikosti ohybového momentu 3.16 do 3.5 a upravíme rovnici.

$$F_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{b \cdot s^2 \cdot \sigma_k}{l_v} \quad (3.17)$$

Při tření a kalibraci ohybu se dá zjistit celková ohýbací síla pomocí vzorce:

$$F_{oc} = F_o + F_{tř} + F_{kal} = F_o + 0,3F_o + q \cdot S_k \quad (3.18)$$

kde:  $q$  – kalibrační tlak [MPa]

$S_k$  – kalibrovaná plocha průmětu kolmém na směr pohybu ohýbací čelisti [mm<sup>2</sup>]

Součinem síly  $F_{oc}$  a dráhy , $h$ ‘ na které síla působí lze vypočítat potřebnou práci pro ohýbání. V průběhu deformace se mění ohýbací síla, kdy její průměrná hodnota je cca 50 % maximální síly.

$$A_o = \frac{1}{2} F_{oc} \cdot h \quad (3.19)$$

### 3.7 Konstrukce a přesnost ohýbaných součástí [1, 2]

Při výrobě součástí zhotovovaných součástí v ohýbacích nástrojích je nutno dodržovat technologickou konstrukci:

- minimální délka ohýbaného ramene – ohýbané rameno , $a$ ‘ musí být minimálně 2 krát delší než je šířka materiálu , $s$ ‘. V případě, že výsledné rameno je kratší než minimální, vyrobí se delší a po ohybu se zkrátí.

- minimální vzdálenost okraje otvoru od ohybu – platí zde stejná minimální vzdálenost jako u délky ohýbaného ramene. V případě, že by byl okraj otvoru blíže může dojít k jeho deformaci. Je-li nutný otvor blízko ohybu, tak se prvně vyrobí ohyb a následně otvor.
- při výrobě ostrého ohybu dochází k zeslabení v místě ohybu. Lze vyrábět pomocí dodatečné kalibrace.
- osa ohybu musí být kolmá na směr vláken, pokud není, je třeba zvětšit  $R_{\text{omin}}$ .
- při ohýbání kde jsou ramena různě dlouhá, dochází k posunu ve směru delšího ramene. Tomu lze předejít třeba zarážkami, kolíky v otvorech plechu atd.

Rádus zaoblení ohýbací čelisti je optimální ve dvou až tři násobku tloušťky materiálu  $R_o = (2 \text{ až } 3)s$ , a kdy vnitřní rádus protilehlé čelisti je  $R = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot (R_o + s)$ . Na základě tloušťky ohýbaného materiálu, která určuje vůli mezi ohýbacími čelistmi, kdy vůle je zpravidla rovna tloušťce materiálu.

Pro přesnost při ohýbání v ohýbacích nástrojích je důležité:

- tvar a rozměr výlisku
- stejnorodost mechanických vlastností výchozího materiálu
- konstantnost tloušťky výchozího materiálu
- přesnost a charakter ohýbadla
- použití kalibrace

Při ohýbání se více opotřebují pevné čelisti ohýbadel než čelisti pohyblivé. Z toho důvodu se volí přídavek na opotřebení pevné části čelisti  $P_o = 0,8 P_u$  ( $P_u$  úchylka ohýbaného tvaru) a na opotřebení pohyblivé čelisti je přídavek  $P_{o1} = 0,2 P_u$ .

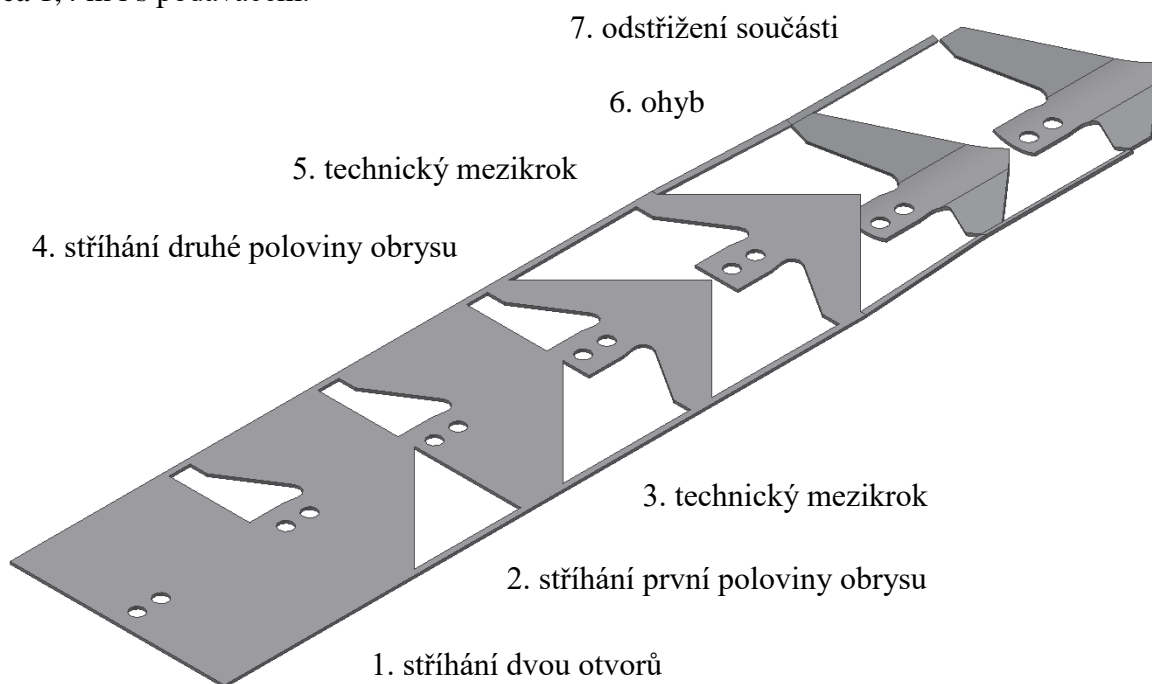
Kvalita povrchu výlisku je dána výchozím materiálem, konstantností tloušťky, povrchem materiálu, drsností povrchu ohýbacích čelistí a jejich geometrií, vůlí mezi ohýbacími čelistmi a na způsobu mazání.

## 4 Konstrukční řešení

### 4.1 Varianta ve sdruženém nástroji

Původní zamýšlený způsob výroby byl ve sdruženém postupovém nástroji. Ukázalo se, že vhodná varianta na tento způsob výroby by byla na 7 operací. Na Obr. 18 je pás plechu zachycující tyto operace. První dva střížníky vystříhnou dva malé otvory. Při druhé operaci vystříhnou dva střížníky část vnějšího tvaru. Třetí operace je mezikrok, kde se nic nestříhá, protože by došlo ke kolizi střížníků z druhé operace a čtvrté. Čtvrtá operace – dva střížníky vystříhnou většinu zbývajících částí vnějšího tvaru. Pátá operace je opět mezikrokem, z důvodu kolize mezi střížníkem ze čtvrté operace a ohybovou částí nástroje v šesté operaci. Šestá operace vytvoří ohyb součásti. V poslední sedmé operaci bude součást odstřižena od pásu plechu.

Od tohoto řešení nástroje bylo upuštěno, protože nástroj skládající se ze sedmi operací by byl velice dlouhý. Konkrétně délka jednoho kroku by byla 175,5 mm. Délka nástroje by byla cca 1,4 m i s podavačem.



Obr. 18 Varianta výroby ve sdruženém nástroji

### 4.2 Varianta výroby ve střížném nástroji a ohybovém nástroji

Po konzultaci s vedoucím práce a z důvodů výše uvedených se bude součást vyrábět ve střížném nástroji, který vystříhne požadovaný tvar a následně v ohybacím nástroji, součást bude ohnuta o požadovaný rádius. Součást se bude vyrábět ze svitku pásů plechů v postupovém střížném nástroji. Začaly být zvažovány i jiné orientace součásti na plechů z důvodů ekonomičtějšího využití materiálu. To u sdruženého nástroje bylo značně limitováno, z důvodu ohybu součásti, která bude v poslední operaci odstřižena z plechu.

### 4.3 Plocha výstřížku [24]

Pro určení nejvýhodnějšího ekonomického nástřihového plánu, je potřeba vědět, jakou plochu má výstřížek. Plocha výstřížku nebyla klasicky spočítána, ale byla určena pomocí aplikace Autodesk Inventor Professional 2018 z 3D modelu. Plocha výstřížku  $S_v$  je:  $S_v = 17\,615,74\text{ mm}^2$

### 4.4 Volba nástřihového plánu [13]

Vzhledem k velikosti série bude součást vyráběna ze svitku plechu, který bude zakoupen v požadované šířce. Byly zvažovány 5 možností orientace součásti na plechu. Tyto možnosti jsou zobrazeny na Obr. 19, Obr. 20, Obr. 21, Obr. 22 a Obr. 23. Výtěžnost materiálu byla spočítána bez koncových zbytků, protože nemají velký vliv na využití.

Plocha plechu na jeden výstřížek byla spočtena jako obdélníkový polotovár s požadovanými přídávky. Ve variantě číslo 5 byla spočtena pro dva výstřížky a vydělena dvěma.

Výtěžnost materiálu je spočtena jako plocha radličky, podělená plochou plechu na jeden výstřížek, následně vynásobena 100, aby výsledný údaj byl v procentech využití plechu.

#### 4.4.1 Varianta 1

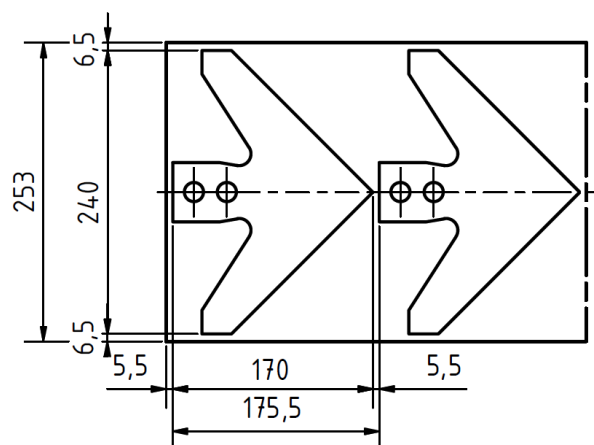
Tato varianta umísťuje součást shodně, jako původně zamýšlená varianta výroby v postupovém sdruženém nástroji.

Plocha plechu na jeden výstřížek:

$$175,5 \cdot 253 = 44\,275\text{ mm}^2$$

Výtěžnost materiálu:

$$\frac{17\,615,74}{44\,275} \cdot 100 = 39,79\%$$



Obr. 19 Nástřihový plán pro Variantu 1

#### 4.4.2 Varianta 2

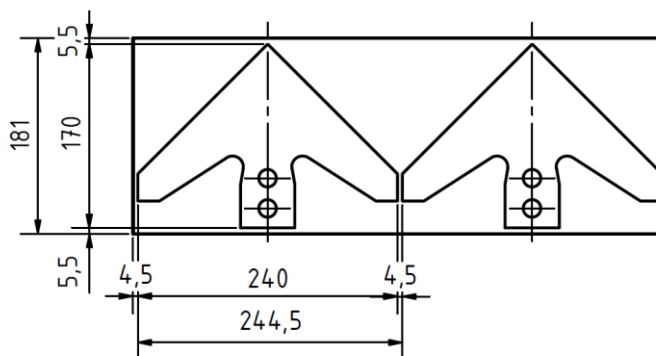
Otočení součásti o  $90^\circ$  vůči variantě 1.

Plocha plechu na jeden výstřížek:

$$244,5 \cdot 181 = 44\,254,5\text{ mm}^2$$

Výtěžnost materiálu:

$$\frac{17\,615,74}{44\,254,5} \cdot 100 = 39,81\%$$



Obr. 20 Nástřihový plán pro Variantu 2

### 4.4.3 Varianta 3

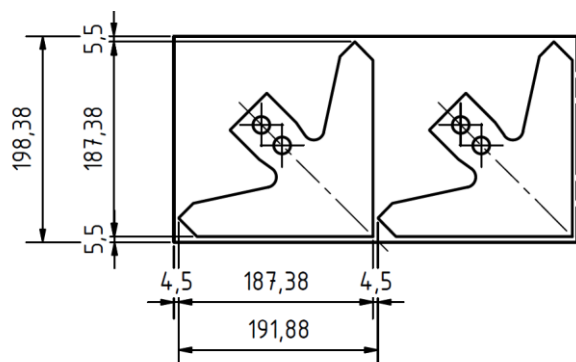
Otočení součásti o 45° vůči variantě 1.

Plocha plechu na jeden výstřížek:

$$191,88 \cdot 198,38 = 38\,065,15 \text{ mm}^2$$

Výtěžnost materiálu:

$$\frac{17\,615,74}{38\,065,15} \cdot 100 = 46,28 \%$$



Obr. 21 Nástřihový plán pro Variantu 3

### 4.4.3 Varianta 4

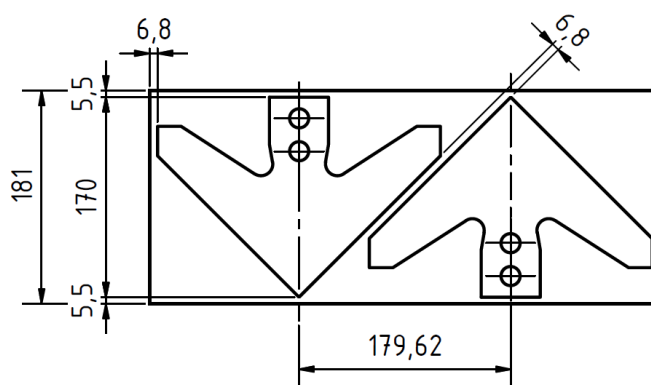
Varianta 2 s otáčením plechu.

Plocha plechu na jeden výstřížek:

$$179 \cdot 181 = 32\,511,22 \text{ mm}^2$$

Výtěžnost materiálu:

$$\frac{17\,615,74}{32\,511,22} \cdot 100 = 54,18 \%$$



Obr. 22 Nástřihový plán pro Variantu 4

### 4.4.3 Varianta 5

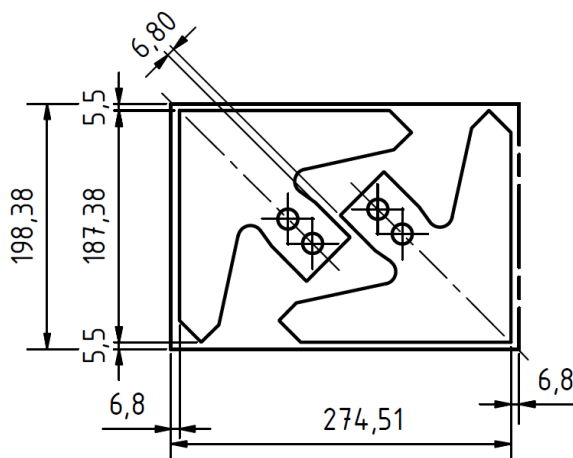
Varianta 3 s otáčením plechu

Plocha plechu na jeden výstřížek:

$$\frac{274,51 \cdot 198,38}{2} = 27\,228,65 \text{ mm}^2$$

Výtěžnost materiálu:

$$\frac{17\,615,74}{27\,228,65} \cdot 100 = 64,7 \%$$



Obr. 23 Nástřihový plán pro Variantu 5

Využití plechů pro jednotlivé varianty nalezneme v Tab. 3. Z tabulky vyplývá, že původní zamýšlený způsob výroby je nejméně výhodný, konkrétně je o 24,9 % méně výhodný, než zvolená Varianta 5.

**Tab. 3 Využití materiálu v uvažovaných variantách**

Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
<b>39,79 %</b>	39,81 %	46,28 %	58,18 %	<b>64,7 %</b>

Na základě porovnání využití materiálu byl zvolen nástřihový plán Varianta 5. Tato varianta zahrnuje otáčení plechu. Součást bude vyráběna ve dvou krocích. V prvním kroku dojde k vystřížení kulatých otvorů a ve druhém k vystřížení součásti.

#### 4.5 Výpočet střížné síly, práce, těžiště a volba lisu

Určení velikosti střížné síly je důležité, proto určení minimální síly lisu.

- Výpočet střížné síly:

$$F_s = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot S_s = 1,4 \cdot 0,8 \cdot 360 \cdot 2\,580 = 1\,040\,256 \text{ N} \quad (2.1)$$

- Výpočet střížné práce:

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot x \cdot s \cdot F_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,55 \cdot 0,003 \cdot 1\,040\,256 = 1\,348 \text{ J} \quad (2.2)$$

##### 4.5.1 Určení těžiště [24]

Z důvodů upnutí nástroje do výstředníkového lisu je vhodné, aby lis byl zatěžován hlavně vertikálním zatížením, jinak by docházelo k většímu opotřebení lisu, což by vedlo k nižší životnosti. Za tímto účelem je třeba určit těžiště stříhající sil. Těžiště bylo určeno pomocí aplikace Autodesk Inventor. Souřadnice ,x' je spočtena vůči začínající hraně, poblíž které jsou umístěny dva kruhové střížníky. Souřadnice ,y' byla spočtena vůči hraně střížnice, u které nejsou vodící sloupky.

$$T = [304,86; 153,22]$$

##### 4.5.2 Volba lisu [26, 27]

Při volbě lisu se z bezpečnostních důvodů uvažuje o potřebné střížné síle  $F_s$  o 50% větší.

$$\begin{aligned} F_{lisu} &\geq 1,5 \cdot F_s \\ F_{lisu} &\geq 1,5 \cdot 1\,040\,256 \\ F_{lisu} &\geq 1\,560\,384 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Ze školního katalogu strojů, byl na základě spočtené hodnoty zvolen lis Šmeral S160. Tento stroj je na Obr. 24 a má sílu 1 600 kN. Další parametry viz tabulka Tab. 4.

**Tab. 4 Hlavní technické údaje lisu Šmeral S160**

Jmenovitá tvářecí síla	1600	kN
Sevření (bez stolní desky)	500	mm
Vyložení	400	mm



**Obr. 24 Šmeral S160 [26]**

<b>Stůl</b>		
Upínací plocha	1 200 x 800	mm
Tloušťka stolní desky	100	mm
<b>Beran</b>		
Upínací plocha	860 x 520	mm
Přestavitelnost	100	mm
Zdvih stavitelný v rozmezí	20-160	mm
Pracovní dráha při max. zdvihu	5,4	mm
Počet zdvihů při trvalém chodu	40/60	mm <sup>-1</sup>
Výkon hlavního motoru	11,0/15,0	kW
<b>Stroj</b>		
Celkový příkon	23,0	kVA
Rozměry		
délka	1390	mm
šířka	2500	mm
výška	3260	mm
Hmotnost	16000	kg

#### 4.6 Stanovení rozměru střížníku a střížnic [10]

- Stanovení střížné vůle

Pro určení rozměru a tolerancí střížníku a střížnice je třeba znát střížnou vůli ,v'. Ta byla určena na základě normy ČSN 20 6015

$$m = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,009 \cdot 3 \cdot \sqrt{288} = 0,4582 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot 0,4582 = 0,9164 \text{ mm} \quad (4.3)$$

kde: m – polovina vůle [mm]

c – koeficient závislý na stupni stříhu, zvolen c = 0,009 [-]

- Výpočet rozměrů střížníku a střížnice

Výpočty jsou prováděny podle normy ČSN 20 6015. V následující tabulce Tab. 5 jsou na základě normy přiděleny hodnoty:

- P – přípustná míra opotřebení [-]
- TE – výrobní tolerance střížnice [mm]
- TA – výrobní tolerance střížníku [mm]

**Tab. 5** Tabulka rozměrů součástí

Jmenovitý rozměr	Tolerance	P	TE	TA
240	± 0,5	0,76	0,29	0,185
200	± 0,5	0,76	0,29	0,185
170	± 0,5	0,76	0,29	0,185
55	± 0,3	0,46	0,19	0,12
50	± 0,3	0,46	0,19	0,12

Jmenovitý rozměr	Tolerance	P	TE	TA
45	± 0,3	0,46	0,19	0,12
40	± 0,3	0,46	0,19	0,12
28	± 0,1	0,16	0,054	0,035
25	± 0,2	0,31	0,12	0,074
18	± 0,2	0,31	0,12	0,074
16	+0,07 -0,00	0,06	0,022	0,015
10	± 0,1	0,16	0,054	0,035

Následně byly spočteny rozměry střížníku a střížnice podle vztahu udávané v normě. Důležité pro výběr správného vztahu je určit, jestli bude prováděno děrování nebo vystřihování a zda se bude rozměr s opotřebením nástroje zvětšovat, zmenšovat anebo jestli zůstane neměnný. Zkratky ve vztazích znamenají:

- RAV – rozměr střížníku při vystřihování
- REV – rozměr střížnice při vystřihování
- RAD – rozměr střížníku při děrování
- RED – rozměr střížnice při děrování
- JR – jmenovitý rozměr

Jmenovitý rozměr: 240

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 240 - \frac{0,76}{2} - 0,964 + 0,185 \right) - 0,185 = 238,841_{-0,185}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 240 - \frac{0,76}{2} \right) + 0,29 = 239,62_{-0}^{+0,29} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 200

Střížník:

$$RAV = \left( JR + \frac{P}{2} + v \right) + TA \text{ [mm]} \quad (4.6)$$

$$RAV = \left( 200 + \frac{0,76}{2} + 0,964 \right) + 0,185 = 201,344_{-0}^{+0,185} \text{ mm} \quad (4.6)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR + \frac{P}{2} \right) - TE \text{ [mm]} \quad (4.7)$$

$$REV = \left( 200 + \frac{0,76}{2} \right) - 0,29 = 200,38_{-0,29}^{+0} \text{ mm} \quad (4.7)$$

Jmenovitý rozměr: 170

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 170 - \frac{0,76}{2} - 0,964 + 0,185 \right) - 0,185 = 168,841_{-0,185}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 170 - \frac{0,76}{2} \right) + 0,29 = 169,62_{-0}^{+0,29} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 55

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 55 - \frac{0,46}{2} - 0,964 + 0,12 \right) - 0,12 = 53,926_{-0,12}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 55 - \frac{0,46}{2} \right) + 0,19 = 54,77_{-0}^{+0,19} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 50

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 50 - \frac{0,46}{2} - 0,964 + 0,12 \right) - 0,12 = 48,926_{-0,12}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 50 - \frac{0,46}{2} \right) + 0,19 = 49,77_{-0}^{+0,19} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 45

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 45 - \frac{0,46}{2} - 0,964 + 0,12 \right) - 0,12 = 43,926_{-0,12}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 45 - \frac{0,46}{2} \right) + 0,19 = 44,77_{-0}^{+0,19} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 40

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 40 - \frac{0,46}{2} - 0,964 + 0,12 \right) - 0,12 = 38,926_{-0,12}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 40 - \frac{0,46}{2} \right) + 0,19 = 39,77_{-0}^{+0,19} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 28

Střížník:

$$RAD = (JR) \pm TA \text{ [mm]} \quad (4.8)$$

$$RAD = (28) \pm 0,035 = 28_{-0,035}^{+0,035} \text{ mm} \quad (4.8)$$

Střížnice:

$$RED = (JR) \pm TE \text{ [mm]} \quad (4.9)$$

$$RED = (28) \pm 0,054 = 28_{-0,054}^{+0,054} \quad (4.9)$$

Jmenovitý rozměr: 25

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 25 - \frac{0,31}{2} - 0,964 + 0,074 \right) - 0,074 = 23,955_{-0,074}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 25 - \frac{0,31}{2} \right) + 0,12 = 24,845_{-0}^{+0,12} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr: 18

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 18 - \frac{0,31}{2} - 0,964 + 0,074 \right) - 0,074 = 16,955_{-0,074}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 18 - \frac{0,31}{2} \right) + 0,12 = 17,845_{-0}^{+0,12} \text{ mm} \quad (4.5)$$

Jmenovitý rozměr:  $\Phi 16$

Střížník:

$$RAD = \left( JR + \frac{P}{2} \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.10)$$

$$RAD = \left( 16 + \frac{0,06}{2} \right) + 0,015 = 16,03_{-0}^{+0,015} \text{ mm} \quad (4.10)$$

Střížnice:

$$RED = \left( JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.11)$$

$$RED = \left( 16 + \frac{0,06}{2} + 0,964 \right) - 0,022 = 16,994_{-0,022}^{+0} \text{ mm} \quad (4.11)$$

Jmenovitý rozměr: 10

Střížník:

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$RAV = \left( 10 - \frac{0,16}{2} - 0,964 + 0,035 \right) - 0,035 = 8,991_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (4.4)$$

Střížnice:

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$REV = \left( 10 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 9,92_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (4.5)$$

- Kontrola na vzpěr:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{n \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{64}}{1,5 \cdot 1\,040\,256}} = 131 \text{ mm} \quad (2.6)$$

K vybočení střížníku nedojde, protože volná délka mezi kotevní a vodící deskou je 40 mm.

- Kontrola na otláčení:

$$\sigma = \frac{F_s}{S} = \frac{l_s \cdot s \cdot \tau_s}{S} \text{ [MPa]} \quad (2.7)$$

$$\sigma = \frac{F_s}{S} = \frac{50,3 \cdot 3 \cdot 228}{213,8} = 203,3 \text{ MPa} \quad (2.7)$$

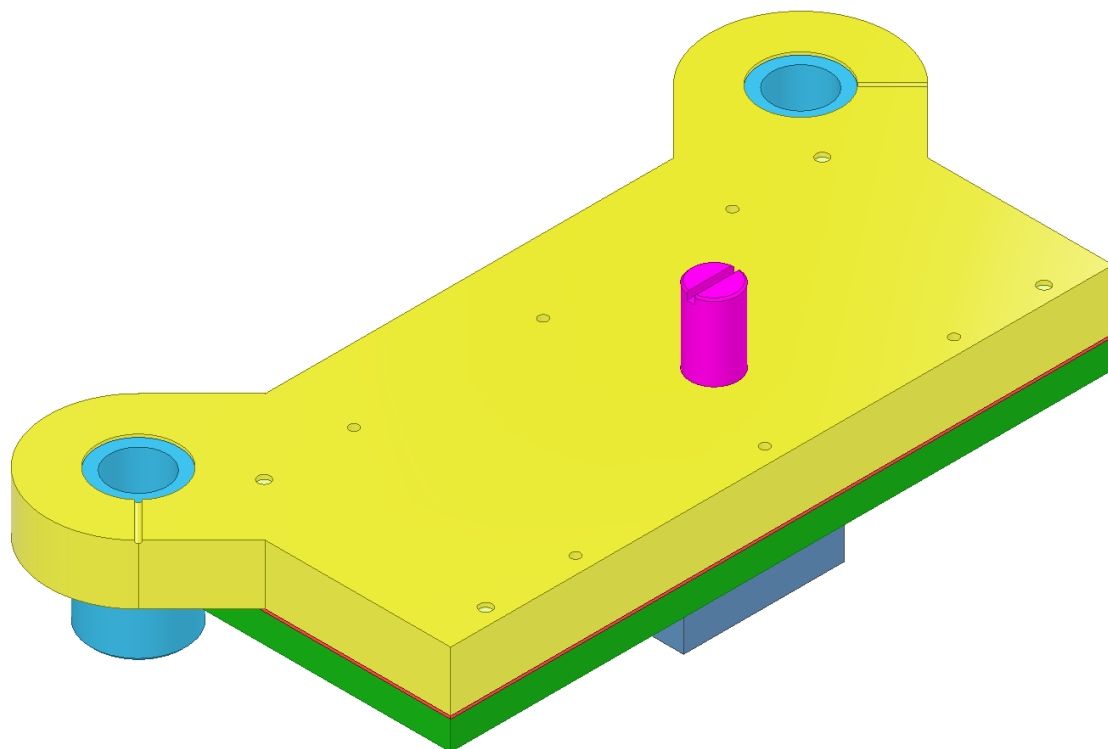
K otláčení nedojde, protože 203,3 MPa je podstatně menší než maximální dovolená hodnota, která je 2 000 MPa.

## 4.7 Konstrukce stříhacího nástroje [4, 5, 8, 9, 10, 11, 12]

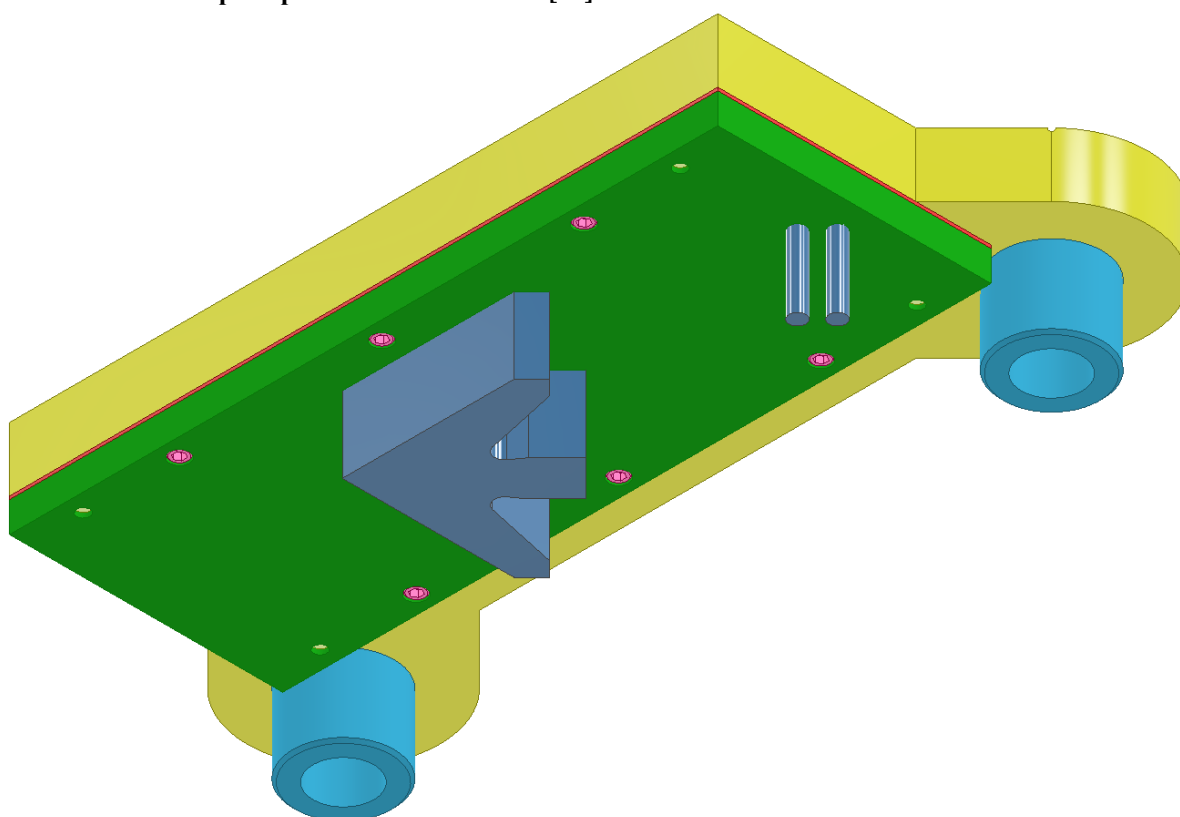
Stříhací nástroj se skládá ze dvou hlavních částí – z horní a dolní části.

Na obrázcích Obr. 25 a Obr. 26 je vyobrazen horní část stříhadla. V této části nástroje je litinová upínací deska (žlutá). V této desce jsou zalisovány dvě vodící pouzdra (světle modrá), u kterých je drážka na vyrovnávání tlaku vzduchu, dále je zde našroubovaná upínací stopka pro upnutí do beranu (tmavá růžová). Stopka je umístěna v těžišti střížných sil. Pod horní částí stojanu je opěrný plech (červená), který slouží jako opora střížníků (tmavě modrá). Střížníky jsou uchyceny pomocí kotevní desky (zelená), která je na straně k opěrnému plechu rozšířená. Toto rozšíření mají i střížníky. Nachází se zde dva kulaté střížníky pro děrování dvou upínacích otvorů a jeden velký hlavní střížník pro vystřížení součásti z plechu. Horní desku, opěrný plech a kotevní desku drží pohromadě 6 šroubů CNS 02 1143 M12x45 (světle růžová) a vystředují

je 4 kolíky ČSN 937 (světle žlutá).

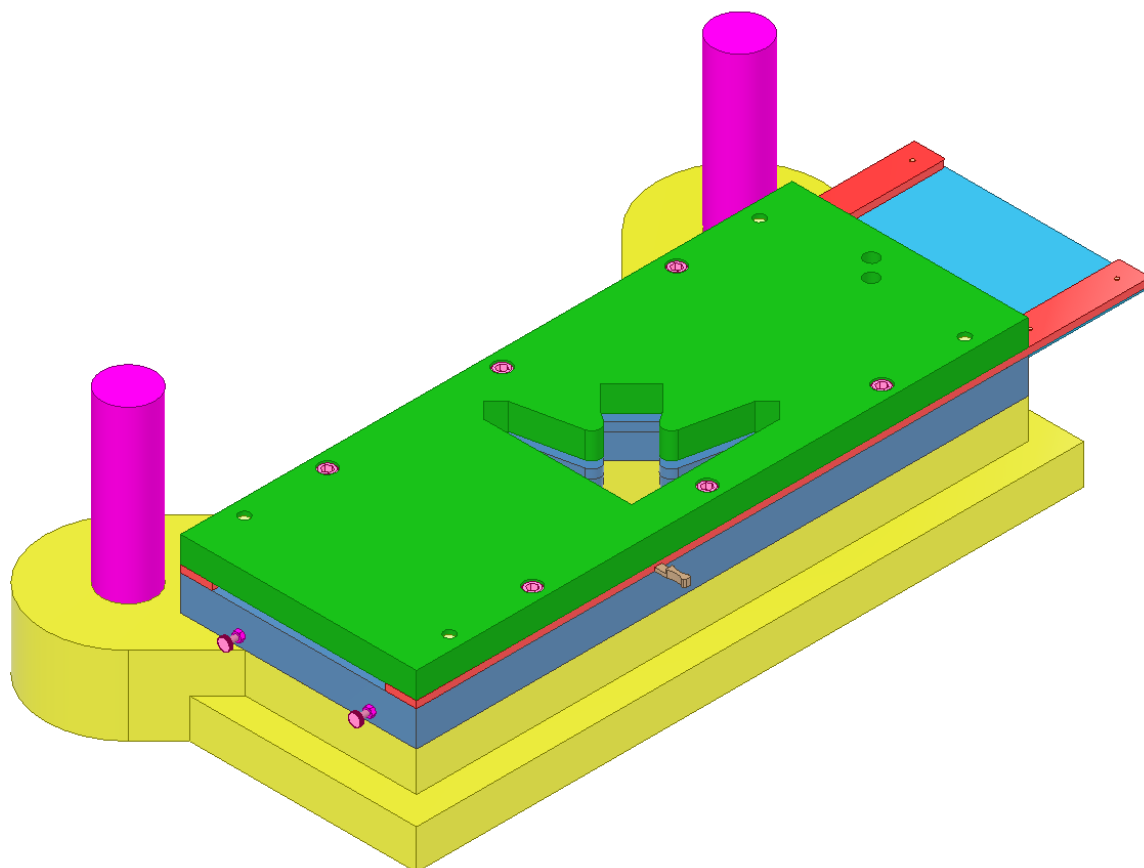


Obr. 25 Horní část postupového stříhadla shora [24]

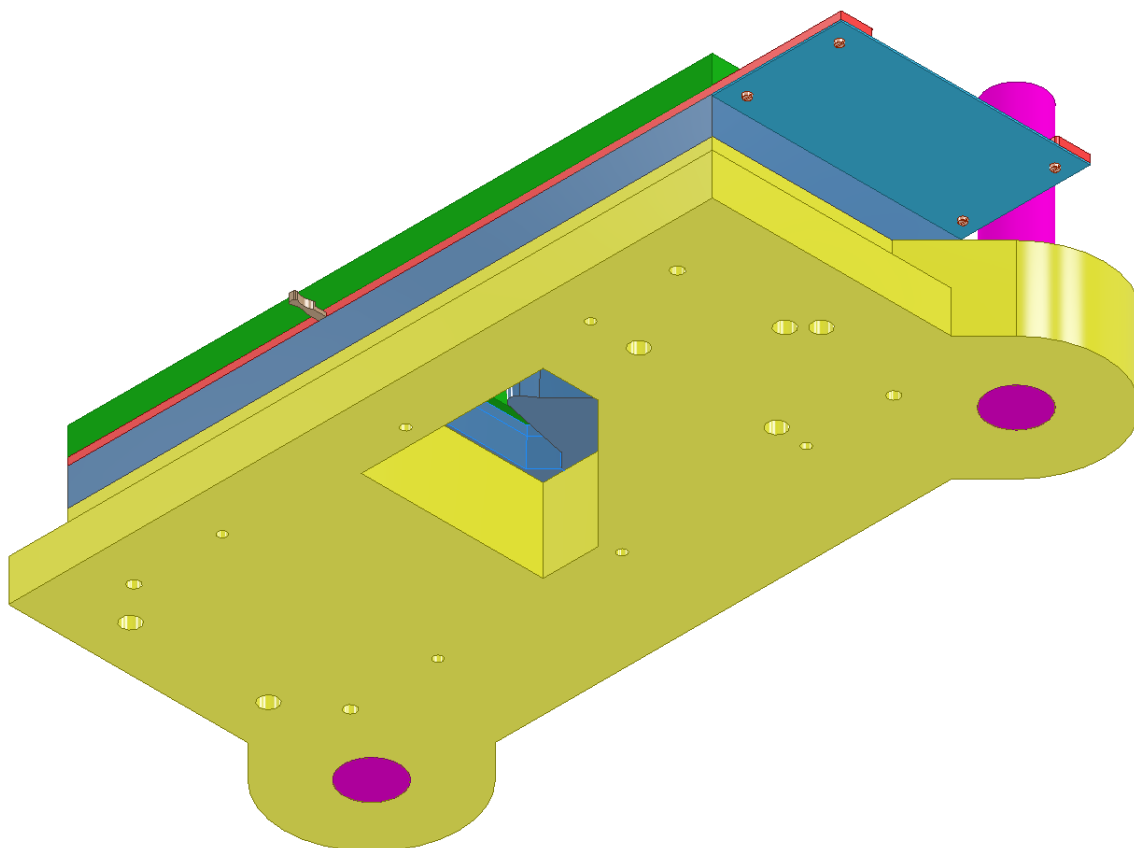


Obr. 26 Horní část postupového stříhadla ze spodu [24]

Na obrázcích Obr. 27 a Obr. 28 je vyobrazena spodní část stříhadla. V dolní části stříhacího nástroje je spodní část stojanu (žlutá), ve které jsou zalisovány vodící sloupky (tmavě růžová), řada děr, rozšíření pro upnutí nástroje ke stolu stroje a otvory pro propad materiálu. Na ní leží dělená střížnice (tmavě modrá). Na dvou stranách střížnice jsou vodící lišty (červená). Ve střížnici a vodící liště jsou umístěny dorazy, které jsou 2 dopředné odpružené, 2 zpětné odpružené a načínací (hnědá). Vodící lišty jsou prodlouženy a k nim přišroubován opěrný plech (světle modrý) pro lepší založení pásu plechu. Na lištách spočívá vodící deska (zelená), která vede střížníky. Spodní část stojanu, střížnice, vodící lišty a vodící deska jsou opět sešroubovány 6 šrouby ČSN 02 1143 M12x90 (světle růžová) a vystředěny 4 kolíky CNS 937 (světle žlutá).

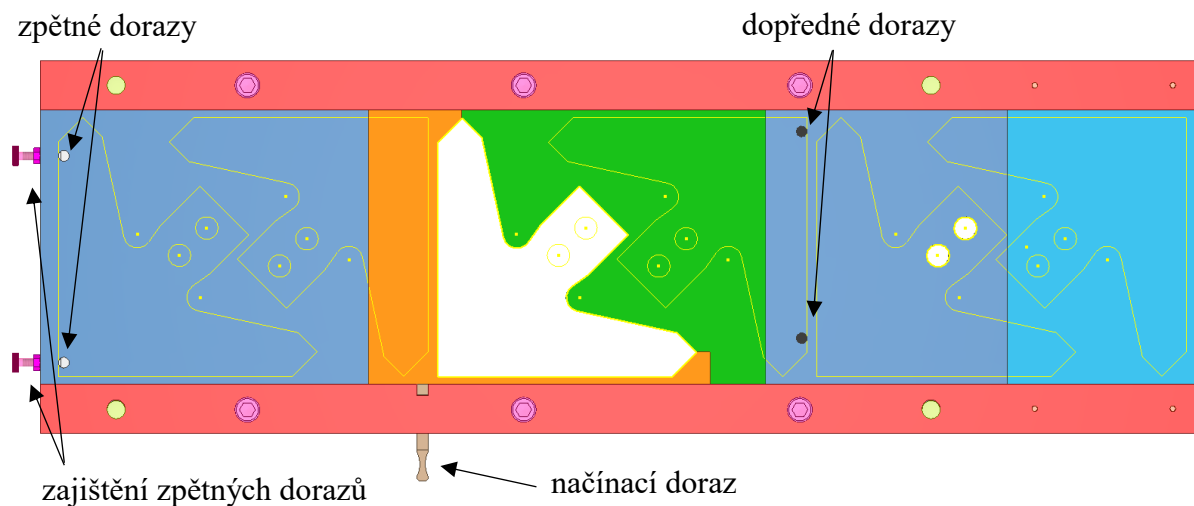


**Obr. 27** Spodní část postupového stříhadla shora [24]



**Obr. 28 Spodní část postupového stříhadla ze spodu [24]**

Na Obr. 29 Střížnice Obr. 29 je vidět rozdělená střížnice, která se skládá ze tří částí – tmavě modrá a do ní vložená oranžová a zelená část. Při výrobě bude do nástroje vložen pás plechu, který se zastaví o dva dopředné odpružené dorazy (černé) a dojde k prvnímu stříhu dvou děr. Následně budou překonány dopředné dorazy – bude použit načínací doraz (hnědý) a proveden další stříh, při kterém vypadne polotovar pro ohýbání. Následně budou používány 2 zpětné dorazy (bílé). Tyto dorazy budou používány po zbytek výroby z tohoto pásu. Po vyjetí plechu z nástroje budou vyřazeny z provozu oba zpětné dorazy, pomocí šroubu poblíž (růžové). Následně bude do nástroje opět zasunut tentýž plech ale otočený. Ten se zastaví o dva dopředné dorazy (černé). Po vystřížení bude plech posunut a zajištěn opět dopřednými dorazy o otvor z předchozího stříhání. Takto se bude pokračovat po zbytek výroby z tohoto pásu.



**Obr. 29 Střížnice [24]**

## 4.8 Ohýbací nástroj

Podobně jako u stříhacího nástroje je potřeba spočítat ohýbací sílu a ohýbací práci.

- Výpočet ohýbací síly pro kontrolu, že bude zvolený lis bude dostačující:

$$F_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{b \cdot s^2 \cdot \sigma_k}{l_v} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{64 \cdot 3^2 \cdot 235}{175} = 893 \text{ N} \quad (3.17)$$

- Výpočet ohýbací práce:

$$A_o = \frac{1}{2} F_{oc} \cdot h = \frac{1}{2} (F_o + 0,3 \cdot F_o + q \cdot S_k) \cdot h = \quad (3.19,18)$$

$$= \frac{1}{2} (839 + 0,3 \cdot 893 + 30 \cdot 7200) \cdot 0,0315 = 3\,420 \text{ J} \quad (3.19,18)$$

- Výpočet odpružení je nutný k zjištění geometrie ohybníku a ohybnice:

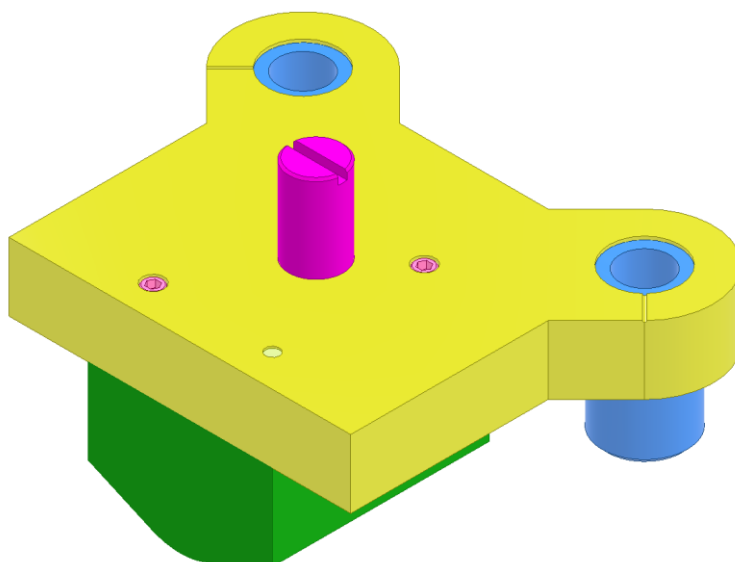
$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{l_v \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} = 0,375 \frac{175 \cdot 235}{0,5 \cdot 3 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \quad (3.14)$$

$$\beta = 1,57^\circ$$

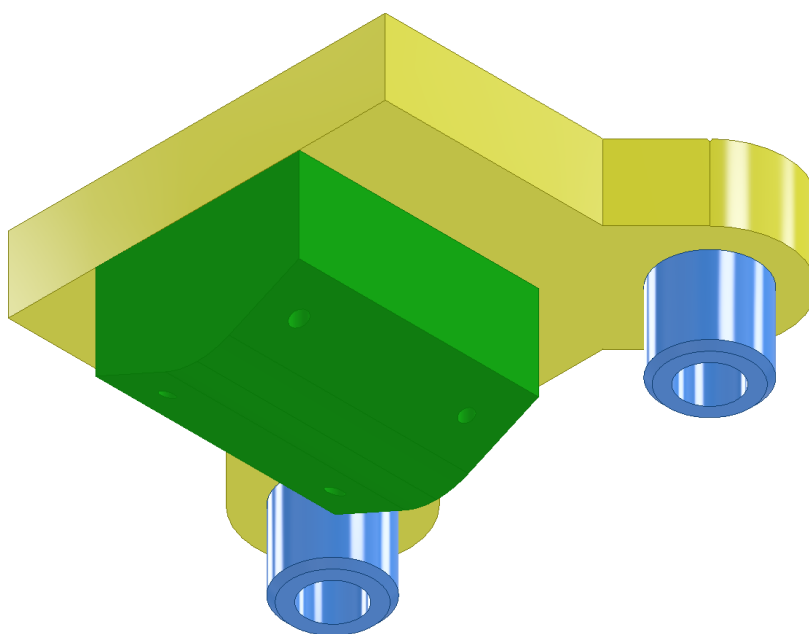
## 4.9 Konstrukce ohýbacího nástroje [4, 5, 10, 11]

Je obdobná jako konstrukce stříhacího nástroje a opět se dá rozdělit na dvě části. Následující text se zabývá hlavními rozdíly.

Na obrázcích Obr. 30 a Obr. 31 je vyobrazena horní část ohýbadla. Na této straně je horní část stojanu (žlutá). Pod ní se nachází ohybník (zelená). Tyto části jsou smontovány pomocí 2 šroubů ČSN 02 1143 M12x80 (růžová) a jsou centrovány pomocí 2 kolíků CNS 937 (světle žlutá). Z důvodů velkého ohybníku jsou otvory pro šrouby a kolíky přímo v něm tzn. není zde kotevní deska.

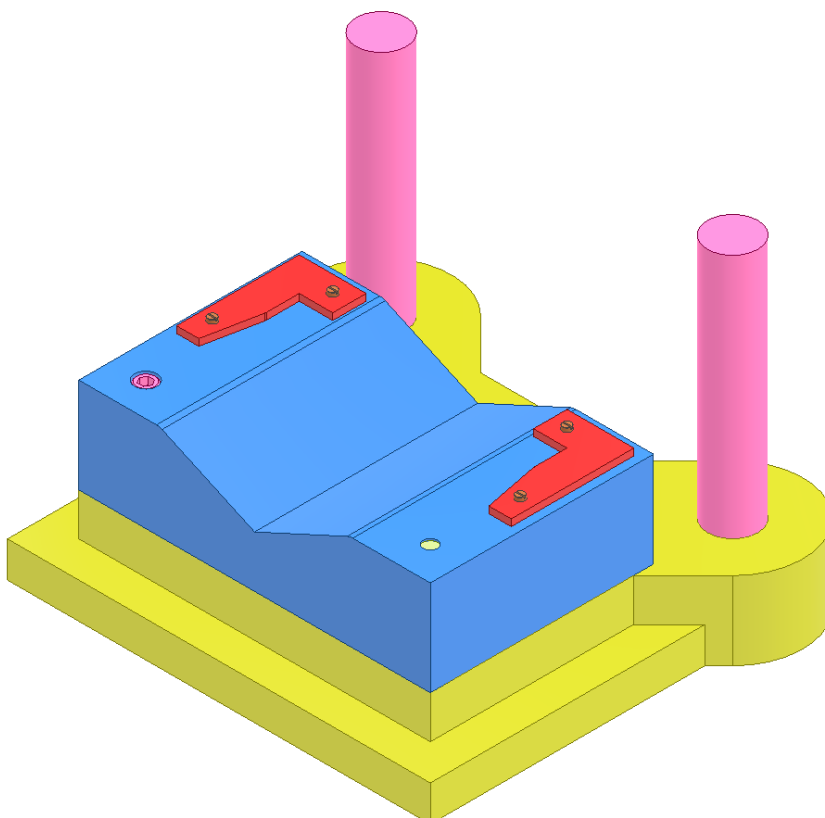


Obr. 30 Horní část ohýbadla shora [24]



**Obr. 31 Horní část ohýbadla ze spod [24]**

Na obrázku Obr. 32 je vyobrazena dolní část ohýbadla. V této části je umístěn stojan (žlutá). Zde se ale nenachází otvory pro propad materiálu (nemá co propadávat). Na ní je umístěna ohybnice (modrá), která je smontována pomocí 2 šroubů ČSN 02 1143 M12x100 (růžová) a je centrována pomocí 2 kolíků CNS 937 (světle žlutá). Na ní jsou položeny dvě lišty pro zacentrování polotovaru radličky (červená). Vzhledem k tomu, že tato součást nevyžaduje velkou přesnost, je každá lišta připevněna pouze dvěma šrouby (hnědá) tzn. nejsou použity centrovací kolíky.



**Obr. 32 Spodní část ohýbadla shora [24]**

Při výrobě na ohýbacím nástroji bude založen polotovar pomocí dvou zakládacích lišt (červená) do nástroje otvory napřed. Po sevření a následném otevření nástroje bude, již hotová součást odebrána a založen další polotovar.

Při výrobě bude po dosažení 40 000 sundán z lisu stříhací nástroj a bude nainstalován ohýbací nástroj. Do něj budou zakládány polotovary ze stříhacího nástroje, které budou zafixovány pomocí lišt.

#### 4.10 Materiály nástrojů [3]

V následující tabulce Tab. 6 jsou uvedeny materiály, ze kterých jsou nástroje vyrobeny.

**Tab. 6 Materiály použité na nástroji**

Část nástroje	Materiál
Vodící stojánky – desky, sloupky, pouzdra	422456
Stopky	11600
Střížníky	19436
Střížnice	19436
Dorazy	19191
Vodící, kotevní a upínací desky	11500
Vodící lišty, opěrný plech	11600
Ohybník, ohybnice	19191
Pružiny	12060

### 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V tomto hodnocení bude odhadní cena na výrobu obou nástrojů. Dále se bude zabývat cenou materiálu a jeho vratnou cenou, mzdou dělníka a zbylých nákladů zahrnutých v režii. Vzhledem k sérii 40 000 ks byla zvolena výroba ze svitku plechu. Zbylí pás plechu bude uskladněn pro budoucí použití.

- Odhadovaná cena obou nástrojů je cca: 600 000 Kč
- počet výstřížku z jednoho svitku:

$$n_{ks} = \frac{l_{sv}}{l_{kr}} = \frac{2\,000\,000}{274,51} = 7\,285,7 \Rightarrow 7\,285 \text{ ks} \quad (4.12)$$

kde:  $n_{ks}$  – počet výstřížku z pásu  
 $l_{sv}$  – délka pásu plechu (svitku)  
 $l_{kr}$  – délka kroku

Vzhledem k faktu, že se jedná o stříhání s otáčením pásu, tak na jeden krok vychází dva výstřížky. Z toho důvodu je výsledný počet na svitek dvojnásobný.

$$n_{kso} = n_{ks} \cdot 2 = 7\,285 \cdot 2 = 14\,570 \text{ ks} \quad (4.13)$$

kde:  $n_{kso}$  – počet výstřížku z pásu s otáčením

- počet svitku pro výrobu série 40 000 ks:

$$n_{sse} = \frac{n_{kse}}{n_{kso}} = \frac{40\,000}{14\,570} = 2,75 \Rightarrow 3 \text{ ks} \quad (4.14)$$

kde:  $n_{sse}$  – počet potřebných svitků  
 $n_{kse}$  – velikost série

Pro výrobu 40 000 kusu radličky bude zapotřebí 3 kusů svitku plechu 3x198,38x2 000 000.

- mzda dělníka:

$$M_d = ((t_{stř} + t_{ohb}) \cdot 40\,000 + 2 \cdot t_{ins}) \cdot m_{saz} = \quad (4.15)$$

$$= \left( \frac{2 + 6}{3600} \cdot 40\,000 + 2 \cdot 4 \right) \cdot 100 = 9690 \text{ Kč}$$

kde:  $t_{stř}$  – čas jednoho stříhu [s].....2 s  
 $t_{ohb}$  – čas jednoho ohybu [s].....6 s  
 $t_{ins}$  – čas instalace jednoho nástroje [h].....4 h  
 $m_{saz}$  – sazba dělníka na hodinu [Kč/h].....100 Kč/h

- cena režii:

$$M_{rež} = \frac{700}{100} \cdot M_d = \frac{700}{100} \cdot 9690 = 67\,830 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

- cena odpadu:

$$M_{odp} = m_{svi} \cdot \left( \frac{100 - v_{mat}}{100} \right) \cdot m_{od} = 9\,350 \cdot \left( \frac{100 - 64,7}{100} \right) \cdot 3 = 9\,900 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

kde:  $m_{svi}$  – hmotnost svitku [kg]  
 $m_{od}$  – cena kg odpadu [Kč]  
 $v_{mat}$  – využití materiálu [%]

- cena výroby 40 000 ks:

$$M_{cel} = M_{svi} + M_d + M_{rež} - M_{odp} = \quad (4.18)$$

$$= 262\,000 + 9\,690 + 67\,830 - 9\,900 = 327\,620 \text{ Kč}$$

kde:  $M_{svi}$  – cena svitku [Kč]

- cena za 1 ks:

$$M_{ks} = \frac{M_{cel}}{40\,000} = \frac{327\,620}{40\,000} = 8,25 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

## 6 Závěry

Tato práce byla zaměřena na výrobu jednoduché radličky, pro neurčený zemědělský nástroj. Z důvodů schopnosti otěru a cenové výhodnosti byl zvolen materiál S235JR (11 375) o tloušťce 3 mm.

Vzhledem k sériovosti 40 000 ks za rok byla původně zvolena varianta postupového sdruženého nástroje tzn. stříhání a ohyb v jednom nástroji. Ukázalo se, že by nástroj byl nadměrně veliký a byl by problém s jeho manipulací, proto od tohoto řešení bylo upuštěno. Nakonec byla zvolená varianta výroby ve dvou nástrojích – střížný a ohýbací nástroj. Součást bude vyráběna ze svitku plechu tloušťky 3 mm. Vzhledem k faktu, že bude součást vyráběna ve střížném nástroji, přišlo v úvahu více nástřihových plánů než ve variantě sdruženého nástroje. Tyto nové střížné plány se ukázaly jako výhodnější až o cca 25 % na využití plechu. Konstrukce nástroje vychází z výpočtů střížných a ohýbacích sil, kdy na základě větší síly byl zvolen výstředníkový lis Šmeral S160. Dále byla vypracována výkresová dokumentace obou nástrojů. Pro výrobu byly zvoleny objednané svitky plechů potřebných rozměru 3x198,38 mm a délce 2 000 m.

Závěrem práce bylo technicko-ekonomické zhodnocení, kde byla spočtena cena materiálu. Vzhledem k sérii 30 000 ks za rok nebyla zvažována výroba z tabulí plechu, kvůli vzniku velkého množství odpadu a z toho plynoucí špatné ekonomičnosti.

## Seznam zdrojů

1. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. AMBROŽ, Oldřich, Milan HORÁČEK a Zdeněk MACHÁČEK. *Technologie slévání, tváření a spojování: laboratorní cvičení*. Brno: VUT Brno, 1989. ISBN 80-214-0043-9.
4. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
5. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
6. Přehled vlastností oceli S235JR. *Bolzano* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10025/MOP\\_přehled\\_vlastnosti\\_S235JR.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_přehled_vlastnosti_S235JR.pdf)
7. Ploché výrobky válcované za tepla. *ArcelorMittal Ostrava a.s.* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://ostrava.arcelormittal.com/>
8. ČSN 22 6060. *Dorazy*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1974.
9. ČSN 22 6273. *Střížené skříně*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1965.
10. ČSN 22 6215. *Vodící lité stojánky*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1974.
11. ČSN 22 6264. *Stopky*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1974.
12. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřtle*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
13. 415-06-205. *Směrnice pro stanovení šířky odpadu*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření.
14. Jakosti ocelí. *Www.feromat.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
15. Přehled vlastností oceli S235JR. *Bolzano* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10025/MOP\\_přehled\\_vlastnosti\\_S235JR.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_přehled_vlastnosti_S235JR.pdf)
16. Desetikoruna. *Wikipedie* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Koruna\\_česká#/media/File:Mince\\_10Kč\\_vzor\\_2003\\_rubová\\_strana.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Koruna_česká#/media/File:Mince_10Kč_vzor_2003_rubová_strana.jpg)
17. Odlévání. *DDIOEM* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://ddioem.com/products/casting/>
18. Obrábění. *Living – Eko* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://living-eko.cz/domains/living-eko.cz/?page\\_id=109](http://living-eko.cz/domains/living-eko.cz/?page_id=109)

19. Skelet automobilu - Subaru Forest. *Podkapotou.sk* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://podkapotou.zoznam.sk>
20. ŠROUB ŠESTIHRANNÁ HLAVA DIN 933/DIN 931 PALCOVÝ ZÁVIT UNC. *Briol.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/sroub-sestihranna-hlava-din-933-din-931-palcovy-zavit-unc>
21. Kancelářské sponky. *Rajapack.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.rajapack.cz/kancelarske-potreby/psaci-potreby/kancelarske-sponky\\_skuR28.html](https://www.rajapack.cz/kancelarske-potreby/psaci-potreby/kancelarske-sponky_skuR28.html)
22. Náhradní klíč FAB 4191. *Locks.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.locks.cz/nahradni-klic-fab-4191.htm>
23. Sazeč brambor. *NOPOZM* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://nopozm.cz/sazec-brambor>
24. Autodesk, Inc. Autodesk Inventor Professional 2018. Květen 2019.[přístup 1. 5. 2019]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview/>  
[Požadavky na systém: 64-bit Intel nebo AMD, 2 GHz nebo vyšší, operační systém Microsoft Windows 7, 8, 10 64-bit, volné místo na disku 40 GB, operační paměť 8 GB]
25. Spencer Kimball, Peter Mattis a vývojový tým GIMP. GIMP. Květen 2019.[přístup 1. 5. 2019]. Dostupné z: <https://www.gimp.org>
26. Výstředníkové lisy. Šmeral [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.smeral.cz/vystrednikove\\_lisy.html](http://www.smeral.cz/vystrednikove_lisy.html)
27. Šmeral S160. Katalog tvářecích a obráběcích strojů [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/ss160\\_1.html](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/ss160_1.html)
28. *Citace PRO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.citace.com/citace-pro>

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
$A_o$	[J]	ohybová práce
$A_s$	[J]	střížná práce
$b$	[mm]	šířka materiálu
$b_1$	[mm]	šířka materiálu po ohnutí
$c$	[-]	koeficient
$d$	[mm]	předepsaný rozměr výstřížku
$d_k$	[mm]	rozměr střížníku
$D_s$	[mm]	rozměr střížnice
$E$	[MPa]	Youngův modul pružnosti
$F_{lisu}$	[kN]	síla lisu
$F_o$	[N]	ohýbací síla
$F_{oc}$	[N]	celková ohýbací síla
$F_s$	[N]	střížná síla
$F_{smax}$	[N]	maximální velikost střížné síly
$F_t$	[N]	síla k setření výstřížku ze střížníku
$F_v$	[N]	síla k vytlačení výstřížku ze střížnice
$h$	[m]	dráha ohybníku při ohýbání
$I$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu střížníku
$JR$	[mm]	jmenovitý rozměr
$k$	[-]	součinitel
$l_1$	[mm]	vzdálenost vnějších hran ohybu
$l_{kr}$	[mm]	délka kroku
$l_{krit}$	[mm]	minimální délka volného střížníku
$l_o$	[mm]	vzdálenost konců neutrální vrstvy v průřezu
$l_s$	[mm]	délka střížné hrany
$l_{sv}$	[mm]	délka pásu plechu (svitku)
$l_v$	[mm]	vzdálenost podpor mezi kterými je ohyb uskutečněn
$m$	[-]	koeficient závislosti na poměrné vůli $v/s$
$M_d$	[Kč]	mzda dělníka
$M_o$	[Nm]	moment vnějších ohybových sil
$m_{od}$	[Kč]	cena kg odpadu
$M_{odp}$	[Kč]	cena odpadu
$M_{oel}$	[Nm]	pružný ohybový moment
$M_{opl}$	[Nm]	plastický ohybový moment
$M_{rež}$	[Kč]	režie podniku
$m_{saz}$	[Kč/h]	sazba dělníka na hodinu
$M_{svi}$	[Kč]	cena svitku
$m_{svi}$	[kg]	hmotnost svitku
$n$	[-]	koeficient
$n_{ks}$	[ks]	počet výstřížku z pásu
$n_{ks0}$	[ks]	počet výstřížku z pásu s otáčením

$n_{kse}$	[ks]	velikost série
$n_{sse}$	[ks]	počet potřebných svitků
$P$	[-]	přípustná míra opotřebení
$p_k$	[mm]	přídavek na zhotovení střížníku
$p_s$	[mm]	přídavek na zhotovení střížnice
$P_u$	[mm]	úchylka vystřihovaného tvaru
$q$	[MPa]	kalibrační tlak
$RAD$	[mm]	rozměr střížníku při děrování
$RAV$	[mm]	rozměr střížníku při vystřihování
$RED$	[mm]	rozměr střížnice při děrování
$REV$	[mm]	rozměr střížnice při vystřihování
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{min}$	[mm]	minimální rádius ohybu
$R_o$	[mm]	poloměr zaoblení
$s$	[mm]	tloušťka materiálu
$s_1$	[mm]	tloušťka materiálu po ohnutí
$S_k$	[mm <sup>2</sup> ]	kalibrovaná plocha průmětu
$S_s$	[mm <sup>2</sup> ]	stříhaná plocha
$S_{st}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha střížníku
$TA$	[mm]	výrobní tolerance střížníku
$TE$	[mm]	výrobní tolerance střížnice
$t_{ins}$	[h]	čas instalace jednoho nástroje
$t_{ohb}$	[s]	čas jednoho ohybu
$t_{stř}$	[s]	čas jednoho stříhu
$v$	[mm]	střížná vůle
$v_{mat}$	[%]	využití materiálu
$x$	[-]	koeficient pro výpočet střížné práce
$z$	[mm]	ztenčení plechu
$z_r$	[-]	$s_1/s$ je koeficient rozšíření
$z_z$	[-]	$s_1/s$ je koeficient ztenčení
$\beta$	[°]	úhel odpružení
$\gamma$	[°]	délka ohybu úhel
$\varepsilon$	[mm]	prodloužení vnějších vláken
$\varepsilon_{max}$	[mm]	mezní prodloužení
$\lambda$	[-]	koeficient plnosti diagramu
$\rho$	[mm]	poloměr neutrální vrstvy
$\rho_n$	[mm]	poloměr neutrální vrstvy napětí
$\sigma$	[MPa]	tlak působící na opěrnou desku
$\sigma_1$	[MPa]	normálové napětí
$\sigma_2$	[MPa]	normálové napětí
$\sigma_k$	[MPa]	kritický přetvárný odpor
$\sigma_p$	[MPa]	výsledné povrchové napětí
$\tau_s$	[MPa]	pevnost materiálu ve stříhu

## Seznam obrázků

Obr. 1 Mince .....	9
Obr. 3 Šroub .....	9
Obr. 2 skelet automobilu .....	9
Obr. 4 Vyráběná radlička .....	10
Obr. 5 Sazeč brambor.....	10
Obr. 6 Frézování.....	11
Obr. 7 Odlévání .....	11
Obr. 8 Střížný proces.....	12
Obr. 9 Střížná plocha.....	12
Obr. 10 Úpravy střížníků.....	13
Obr. 11 Průběh střížné síly.....	13
Obr. 12 Střížná vůle u vystřihování a děrování.....	15
Obr. 13 Průběh ohýbání v nástroji .....	17
Obr. 14 Průběh ohýbací síly .....	18
Obr. 15 Schéma ohýbání .....	19
Obr. 16 Varianta výroby ve sdruženém nástroji .....	23
Obr. 17 Nástřihový plán pro Variantu 1 .....	24
Obr. 18 Nástřihový plán pro Variantu 2.....	24
Obr. 19 Nástřihový plán pro Variantu 3.....	25
Obr. 20 Nástřihový plán pro Variantu 4.....	25
Obr. 21 Nástřihový plán pro Variantu 5.....	25
Obr. 22 Šmeral S160 .....	26
Obr. 23 Horní část postupového stříhadla shora .....	32
Obr. 24 Horní část postupového stříhadla ze spodu.....	32
Obr. 25 Spodní část postupového stříhadla shora .....	33
Obr. 26 Spodní část postupového stříhadla ze spodu.....	34
Obr. 27 Střížnice .....	34
Obr. 28 Horní část ohýbadla shora.....	35
Obr. 29 Horní část ohýbadla ze spod .....	36
Obr. 30 Spodní část ohýbadla shora.....	36

## Seznam tabulek

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a složení oceli ČSN 11 375 .....	10
Tab. 2 Velikost střížné vůle .....	15
Tab. 3 Využití materiálu v uvažovaných variantách.....	26
Tab. 4 Hlavní technické údaje lisu Šmeral S160 .....	26
Tab. 5 Tabulka rozměrů součásti .....	27
Tab. 6 Materiály použité na nástroji .....	37

## **Seznam příloh**

Příloha 1      Přehled vlastností oceli S235JR

## **Seznam výkresů**

BP-01-JH	Radlička
BP-02-JH	Radlička – rozvin
BP-03-JH	Stříhadlo
BP-04-JH	Sestava střížnice
BP-05-JH	Střížník
BP-06-JH	Ohybadlo
BP-07-JH	Ohybnice
BP-08-JH	Ohybník

## Příloha 1

Přehled vlastností oceli S235JR							1.0038		
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N	
	≤16	>16≤40	>40 <sup>1)</sup>	max.	max.	max.	max.	max.	
Složení hotového výrobku	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012	
	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	235	225	215	215	215	195	185	175	
	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥ 3 ≤ 100		> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250			
	360-510		350-500			340-490			
	Minimální tažnost v % ( L <sub>0</sub> = 5.65√S <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>5)</sup> :								
	> 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	26		25		24		22		21
	Minimální nárazová práce KV ( J ) při 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : <sup>2), 3)</sup>								
≤150				>150≤250					
27 <sup>4)</sup>				27 <sup>4)</sup>					
Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
	0,35		0,35		0,38		0,40		
<b>Technologické vlastnosti</b>									
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011 ).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodávané výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žihání.								
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C ( S235JRC ). To se týká i tažení za studena.								
<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. <sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout <sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV se vypočte z rozboru tavby podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + ( Cr+Mo+V ) : 5 + ( Ni+Cu ) : 15 CEV je volitelný požadavek. <sup>4)</sup> průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální průměrná hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odebírají ze zkušební vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. <sup>5)</sup> pro podélný směr zkoušení.									