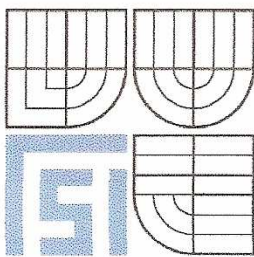


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA TŘMENU SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

STIRRUP MANUFACTURING BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ZDENĚK BRODSKÝ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Zdeněk Brodský

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

### **Výroba třmenu sdruženým nástrojem**

v anglickém jazyce:

### **Stirrup manufacturing by compound tool**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby třmenu, který je určen pro připojení šekli nebo kladky k jinému elementu. Součást je podlouhlého tvaru s kruhovými otvory vyrobená z nerezového plechu tloušťky 1,5 mm. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání. Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje. Návrh sdruženého postupového nástroje pro výrobu zadané součásti. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby. Závěr.

Seznam odborné literatury:

- NOVOTNÝ, Josef. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.
- DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1993. ISBN 80-01-01003-1. s. 349.
- STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. s. 126. ISBN 80-7082-738-6.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

---

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

BRODSKÝ Zdeněk: Výroba třmenu sdruženým nástrojem.

Diplomová práce se zabývá návrhem sdruženého nástroje pro výrobu třmenu. Třmen je vyroben z oceli 17 240 a jeho tloušťka je 1,5 mm. Velikost série je 400 000 kusů. Na základě konstrukčních výpočtů byl navržen nástroj a pro výrobu zvolen lis LEN 40 C. V práci je mimo jiné provedeno ekonomické hodnocení, kde je porovnána současná technologie výroby (stříhání, ohýbání) s nově navrženou technologií využívající sdružený nástroj. Sdružený nástroj je v daném případě vhodný zejména pro značné zkrácení výrobních časů, ale i snížení finančních nákladů výroby. Předkládaná práce je doplněna o výkresovou dokumentaci sdruženého nástroje.

Klíčová slova: sdružený nástroj, stříhání, ohýbání

## **ABSTRACT**

BRODSKÝ Zdeněk: Stirrup manufacturing by compound tool.

The master's thesis deals with drawing compound tool for production of stirrup. Stirrup is made from steel 17 240 and his thickness is 1,5 mm. The number of production is 400 000 pieces. After completion of constructional calculations was determined eccentric press LEN 40 C and was designed tool. The work is completed by drawing documentation of the compound tool. In the work is performed economic evaluation too. Present technology (blanking, bending) is compare here with new technology- compound tool. Compound tool is profitable, because time and money are saving.

Keywords: compound tool, blanking, bending

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BRODSKÝ, Z. *Výroba třmenu sdruženým nástrojem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

Ve Velkém Meziříčí dne: 24.4.2009

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Šmehlíkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1. ÚVOD .....	10
2. LITERÁRNÍ STUDIE .....	11
2.1 Proces stříhání .....	11
2.1.1 Průběh stříhání.....	11
2.1.2 Stav napjatosti při stříhání.....	12
2.1.3 Střížná vůle .....	12
2.1.4 Střížná síla .....	14
2.1.5 Konstrukce nástrojů .....	14
2.1.6 Střížné nástroje .....	16
2.1.7 Funkční části stříhadel .....	17
2.1.8 Závady na střížných nástrojích.....	21
2.1.9 Nástřihový plán .....	22
2.1.10 Technologičnost stříhání .....	23
2.1.11 Materiály funkčních částí.....	24
2.2 Proces ohýbání .....	25
2.2.1 Rozložení napětí při ohýbání.....	25
2.2.2 Výpočet ohýbací síly a práce .....	26
2.2.3 Stanovení délky polotovaru .....	27
2.2.4 Odpružení při ohybu.....	28
2.2.5 Minimální a maximální poloměr ohybu.....	30
2.2.6 Technologičnost ohýbaných součástí .....	31
3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉ VÝROBY .....	33
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI .....	34
4.1 Délka rozvinuté součásti .....	34
4.2 Varianty řešení nástřihového plánu.....	36
4.2.1 Varianta 1 .....	37
4.2.2 Varianta 2.....	38
4.2.3 Porovnání a vyhodnocení variant.....	39
4.3 Vlastnosti daného materiálu .....	39
4.4 Zhodnocení technologičnosti výlisku .....	40
5. KONSTRUKČNÍ VÝPOČTY .....	41
5.1 Výpočty u střížné části nástroje.....	41
5.1.1 Výpočet střížné síly .....	41
5.1.2 Výpočet stírací síly .....	42
5.1.3 Výpočet střížné práce.....	42
5.1.4 Kontrola střížníků na tlak.....	42
5.1.5 Kontrola střížníků na vzpěr.....	43
5.1.6 Výpočet střížné vůle .....	44
5.1.7 Výpočet tloušťky střížnice.....	44
5.2 Výpočty u ohýbací části nástroje.....	44
5.2.1 Stanovení ohýbací síly a práce .....	44
5.2.2 Výpočet $R_{min}$ a $R_{max}$ .....	46

5.2.3	Stanovení velikosti odpružení .....	46
5.2.4	Vůle mezi pohyblivou a pevnou čelistí .....	47
<b>5.3</b>	<b>Poloha stopky</b> .....	<b>47</b>
5.3.1	Grafické určení těžiště .....	47
5.3.2	Určení těžiště výpočtem .....	48
<b>5.4</b>	<b>Tolerance funkčních částí nástroje</b> .....	<b>50</b>
<b>5.5</b>	<b>Popis nástroje</b> .....	<b>50</b>
<b>5.6</b>	<b>Volba stroje</b> .....	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>EKONOMICKÉ HODNOCENÍ</b> .....	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>Náklady na materiál</b> .....	<b>53</b>
6.1.1	Náklady na materiál u současné technologie .....	53
6.1.2	Náklady na materiál u nové technologie .....	54
<b>6.2</b>	<b>Náklady na mzdy</b> .....	<b>56</b>
6.2.1	Náklady na mzdy u současné technologie .....	56
6.2.2	Náklady na mzdy u nové technologie .....	57
<b>6.3</b>	<b>Náklady na nástroj</b> .....	<b>57</b>
6.3.1	Současné nástroje .....	57
6.3.2	Nový nástroj .....	57
<b>6.4</b>	<b>Náklady na energii</b> .....	<b>58</b>
6.4.1	Náklady na energii u současné technologie .....	58
6.4.2	Náklady na energii u nové technologie .....	59
<b>6.5</b>	<b>Porovnání obou variant</b> .....	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	
	<b>PŘÍLOHY</b>	

## **1. ÚVOD**

Ve strojírenské technologii patří mezi nejrozšířenější způsoby zpracování materiálu tváření a třískové obrábění. Třískové obrábění je velmi rozšířené, ale ve srovnání s tvářením je u něj podstatně nižší využití materiálu.

Do plošného tváření patří především stříhání, ohýbání, tažení a tlačení. Všechny tyto metody zpracovávají materiál bez porušení. Výjimku tvoří stříhání, kdy je porušení materiálu naopak vyžadováno. Podstatou těchto metod jsou velké plastické deformace, při nichž dostává polotovar předem určený tvar. Ke změnám tvaru polotovaru dochází působením vnějších sil a přitom se tloušťka polotovaru mění pouze nepatrně. Tyto síly jsou na polotovar přenášeny pomocí pracovních ploch nástrojů. U plošného tváření je polotovarem plech.

Nástroje pro plošné tváření se navrhují tak, aby se dosahovalo maximálního využití materiálu a zároveň se snížil počet dokončovacích operací. Je tedy jasné, že se snižuje podíl odpadu. Další výhodou je snížení výrobních časů na jednu součást a tím i snížení nákladů. Největší nevýhodou těchto nástrojů jsou vysoké náklady na jejich výrobu. Proto se často dělají velké série, aby se snížily náklady na výrobu jedné součásti.

Spousta výrobků na trhu má složitější tvary vyráběné kombinací více technologií. Tyto technologie mohou být prováděny zvlášť na více strojích či nástrojích a nebo mohou být sdružené, tzn. prováděné na jednom stroji či v jednom nástroji a to v několika po sobě jdoucích krocích.

V této práci bude zpracován návrh sdruženého nástroje pro výrobu „třmenu“. Třmen se používá především v lodním a spotřebním průmyslu. V práci bude zpracována technologie stříhání a ohýbání, protože součást se bude vyrábět pomocí těchto dvou metod. Výsledkem by měl být návrh sdruženého nástroje na výrobu této součásti.

## 2. LITERÁRNÍ STUDIE

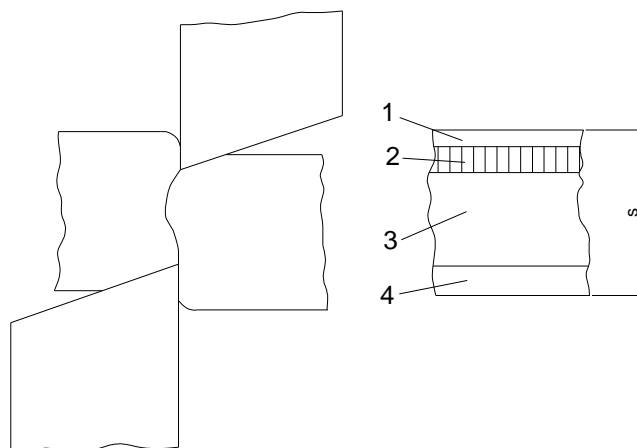
V literární studii jsou probrány základní technologie výroby, které jsou potřebné pro výrobu dané součásti. Jak již je zmíněno v úvodu, studie se bude zabývat technologií stříhání a ohýbání.

### 2.1 PROCES STŘÍHÁNÍ

Technologie stříhání patří mezi nepoužívanější zpracování plechů a lze tak dělit polotovary určené k dalšímu zpracování nebo finální výrobky. Dělení materiálu se uskutečňuje pomocí dvou protilehlých nožů a tato operace je zakončena porušením-lomem. Přesnost a kvalitu oddělené plochy ovlivňuje řada faktorů. Proto když je potřeba dosáhnout kvalitní střížné plochy (bez ostřin), musí se zachovat určité pracovní podmínky: vůle mezi noži, ostří nožů atd.

#### 2.1.1 Průběh stříhání

Při dosednutí střížníku na povrch polotovaru dochází nejprve k elastickému vnikání do povrchu. Tato fáze tvoří přibližně 5÷8% tloušťky děleného materiálu. Protože zde vznikají silové dvojice (v rovinách, kolmých ke střížným plochám), materiál se mezi střížníkem a střížnicí ohýbá⇒ deformuje. Poté dojde ke zvýšení napětí nad mez kluzu a vzniká trvalé přetvoření. Zde je hloubka vniku nože ovlivněna druhem materiálu a pohybuje se mezi 10 až 25%. Na konci této fáze je dosaženo meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$  a začínají se objevovat první trhliny. Poté dojde k vlastnímu oddělení materiálu. Protože po překročení  $\tau_s$  se vzniklé trhliny šíří od míst styku střížných hran s materiálem a po jejich spojení se materiál zcela oddělí. Střížná plocha má tvar písmene „S“. Protože se trhliny šíří od obou břitů, někdy se stane, že se trhliny nepotkají přesně svými čely. Proto může vzniknout tříska a nebo se na povrchu střížné plochy vytvoří zátrh. Třísky se mohou začít hromadit pod místem stříhu a při některých stříhacích operacích mohou způsobovat problémy (když se dostanou mezi pohybující se části nástroje). Střížná plocha se skládá ze 4 pásem.



Obr. 2.1 Kvalita střížné plochy [4]

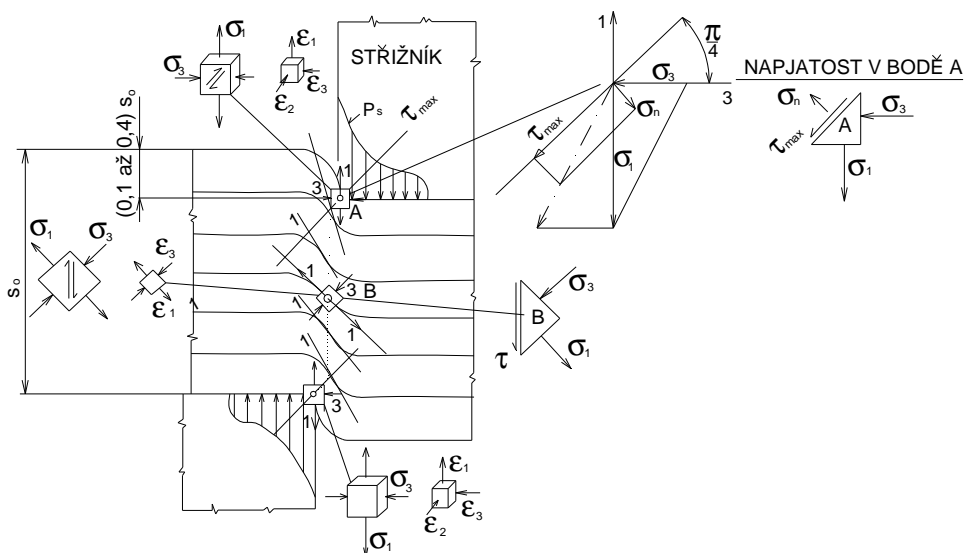
1-zaoblení vstupní hrany, 2- pásmo stříhu, 3- pásmo utržení, 4- pásmo otlaceni od spodního nože

Pásma 1 je tím větší, čím je materiál tvárnější, pásma 2 tvoří 0,1 až 0,4 tloušťky stěny, pásma 3 je především ovlivněno tvárností materiálu a jak je tupý nůž.

V okolí střížné plochy se materiál trvale deformuje. Proto dochází i ke zpevnění a snížení tvárnosti. Následky tohoto zpevnění lze odstranit žíháním nebo třískovým obráběním střížné plochy.

### 2.1.2 Stav napjatosti při stříhání [1]

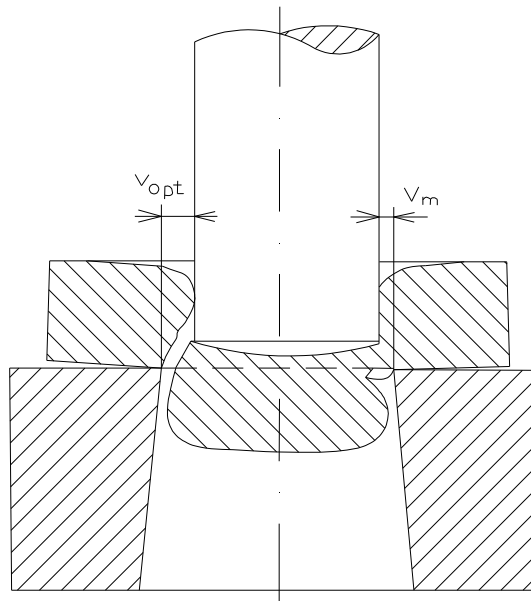
Při stříhání dochází k natahování a zároveň k vytlačování materiálu. Materiál je natahován mezi střížné hrany a vytlačován je vnikajícími břity- viz obr. 2.2. Největší hlavní tahové napětí  $\sigma$  je v bodě A, těsně u střížné hrany. Z praktických zkoušek vyplývá, že hlavní tlakové napětí je přibližně  $\sigma_3 = -\sigma_1/2$ . Jestli stříháme plechy větších tlouštěk, tak lze uvažovat o přibližně rovinném stavu napjatosti. Když se provede vektorový součet  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  v bodě A, tak dojdeme k závěru, že na rovinu maximálního smykového napětí působí normální složka  $\sigma_n$ . Toto napětí je důležité, protože se podílí na jejich rozevírání. Uprostřed střížné plochy v bodě B platí, že se napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  sobě přibližně rovnají, ale mají různá znaménka. Proto je  $\sigma_n = 0$ .



Obr. 2.2 Stav napjatosti [1]

### 2.1.3 Střížná vůle [5,6]

Jestliže chceme ovlivnit kvalitu střížné plochy, velikost střížné síly a s tím související opotřebení nástroje, musíme správně určit vůli mezi střížnými nástroji. Na obrázku 2.3 je zobrazen průběh trhlin při správné velikosti vůle-  $v_{opt}$  a při malé vůli  $v_m$ . U optimální vůle je vidět typický tvar střížné hrany- tvar „S“.



Obr. 2.3 Tvorba střížné plochy [5]

### Výpočet střížné vůle [6]

1. Pro plechy, které mají tloušťku do 3 mm

$$V_{opt} = 2 \cdot z \quad (2.1)$$

$V_{opt}$ - Střížná vůle [mm]  
 $z$ - Střížná mezera [mm]

$$z = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.2)$$

$z$ - Střížná mezera [mm]  
 $s$ - Tloušťka plechu [mm]

$c = 0,005$  Pro materiály s hodnotou střížného odporu  $\tau_s = 360$  MPa

$c = 0,01$  Pro tvrdší materiály

$c = 0,015-0,035$  Pro dosažení hrubé střížné plochy- snížení síly a práce

$\tau_s$ - Střížný odpor materiálu [MPa]

2. Pro plechy, které mají tloušťku nad 3 mm

$$V_{opt} = 2 \cdot z$$

$V_{opt}$ - Střížná vůle [mm]  
 $z$ - Střížná mezera [mm]

$$z = 0,32 \cdot (1,5 \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.3)$$

$z$ - Střížná mezera [mm]  
 $s$ - Tloušťka plechu [mm]

### 2.1.4 Střížná síla [6,7]

Průběh střížné síly je závislý na hloubce vniknutí střížníku do materiálu, na tažnosti materiálu a geometrii nástroje. Na začátku dochází k napěchování kovu pod nástrojem ⇒ vzniká plastické přetvoření. Přestože se střížná plocha zmenšuje, střížná síla se stále plynule zvětšuje. Je to způsobeno lokálním zpevněním. Jakmile se objeví první trhliny, začne střížná síla klesat. Síla klesne na nulu, až dojde k úplnému porušení lomem.

#### Výpočet střížné síly [6]

$$F_{STR} = O \cdot s \cdot \tau_s \cdot n \quad (2.4)$$

$F_{STR}$ - Střížná síla	[N]
O- Délka střížné hrany	[mm]
s- Tloušťka plechu	[mm]
$\tau_s$ - Střížný odpor materiálu	[MPa]
n- Koef. zahrnující opotřebení nástroje $n = 1,2 \div 1,55$	[-]

Tab. 2.1 Příklady hodnot  $\tau_s$  pro vybrané materiály [7]

	$\tau_s$ [MPa]
Ocel	$(0,75 \div 0,9) \cdot R_m$
Mosaz	$(0,65 \div 0,75) \cdot R_m$
Korozivzdorná ocel	$(0,68 \div 0,72) \cdot R_m$

### 2.1.5 Konstrukce nástrojů [6]

Při návrhu konstrukce nástroje se musí dodržet určité zásady. Jednou z nejdůležitějších zásad je ekonomika. Musí se dbát na to, aby se maximálně využil materiál, energie, výkon stroje atd. Další zásadou je bezpečnost práce. Zde se musí provádět ochrana obsluhy, a to je možné několika způsoby: provoz co nejvíce automatizovat, omezení ruční práce na nejmenší možnou míru, používání bezpečně řešených nástrojů. Při konstrukci nástrojů by se měli dodržet i technické zásady. S touto zásadou souvisí především: cena nástroje (ta je ovlivněna množstvím vyrobených kusů, požadavky na přesnost atd.), životnost nástroje (na životnost má vliv skladování, údržba, stav stroje, působící statické a dynamické síly), vyrobiteľnosť nástroje (ta je závislá na druhu materiálu, způsobu tepelného zpracování, na rozměrech a přesnosti) a v neposlední řadě vyměnitelnost dílů (to je důležité především pro nahrazení opotřebovaných nebo poškozených částí). Podle počtu operací se mohou střížné nástroje rozdělit na: jednoduché, postupové, sloučené, sdrúžené a postupové sdrúžené.

Jednoduchý střížný nástroj slouží pouze na jednu operaci a poloha pásu se zajišťuje pomocí pevného dorazu. Posuv se uskutečňuje o hodnotu kroku.

Postupový střížný nástroj pracuje v několika krocích a výstřížek zhotovuje postupně. Tento nástroj patří k často používaným.

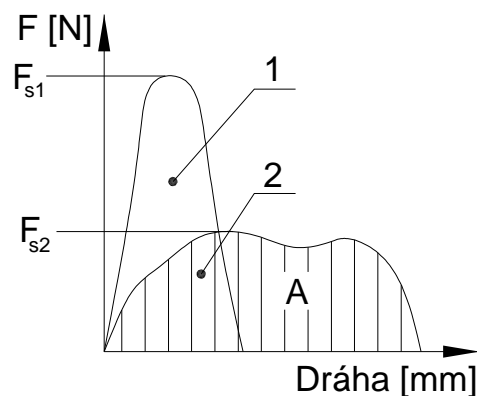
Sloučené střížné nástroje jsou složitější variantou střížných nástrojů. Sloučený nástroj se navrhuje pro několik střížných operací, které probíhají zároveň. Takže při stříhání probíhá děrování a zároveň probíhá vystřížení součásti.

Sdružené střížné nástroje zajišťují nejen stříhání, ale i další technologickou operaci jako např. ohýbání, tvarování, tažení. Konstrukce takového nástroje je dána nástřihovým plánem a ten by měl zajistit: silové vyvážení v ose nástroje, úsporu materiálu a jasnou orientaci v rovině plechu v jednotlivých krocích.

Podle konstrukce nástrojů lze stříhání rozdělit na:

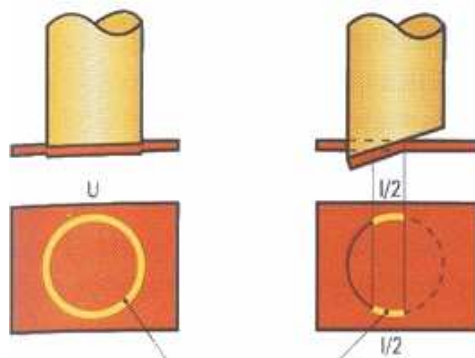
- stříhání rovnoběžnými noži
- stříhání skloněnými noži
- stříhání kotoučovými noži
- stříhání noži na profily a tyče.

Při stříhání rovnoběžnými noži se používá nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice. Mezi nimi je střížná mezera (bez speciálních úprav nelze udělat nástroj bez mezery, protože by mohlo dojít k havárii). Stříhání šikmými noži je výhodné, protože potřebná střížná síla je podstatně menší, než při stříhání rovnoběžnými noži- obr.2.4. Díky tomu se zmenší rázy při stříhání.



Obr. 2.4 Průběh síly a dráhy při stříhání [3]  
1- rovnoběžné nože  
2- skloněné nože

Materiál je stříhán postupně- viz. Obr. 2.5. Potřebná práce na ustřížení je v obou způsobech stříhání stejná.



Obr. 2.5 Porovnání délky stříhu u rovného a šikmého nože [2]

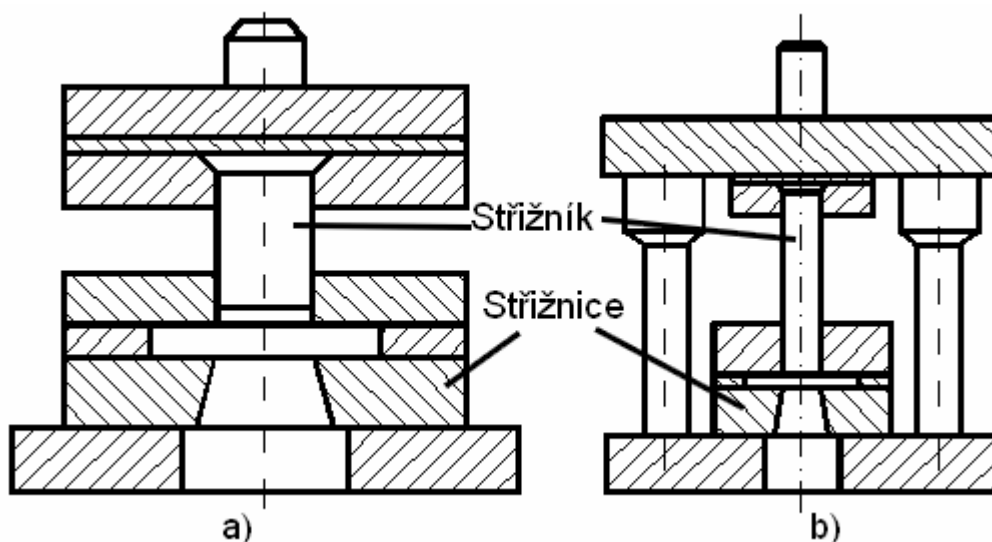
Kotoučové nože se používají pro stříhání dlouhých pásů. Stříhání je plynulé a bez rázů. Mohou se tak stříhat různé křivky, protože zde dochází téměř k bodovému styku nástrojů. Na toto křivkové stříhání je potřeba zvolit co nejmenší průměr nožů – tím se usnadní manipulace se stříhaným materiálem. Maximální tloušťka stříhaného materiálu je asi 10 mm.

Při stříhání profilovými noži platí zásada, že tloušťka stříhaného materiálu by měla být v každém okamžiku téměř stejná. Proto se přizpůsobuje obrys pohyblivého nože této zásadě. Rychlost stříhání je ovlivněna tvarem součásti. Při stříhání trubek musíme minimalizovat deformaci. Proto má pohyblivá část nástroje tvar oblouku, který je zakončen špičkou. Tato špička trubku nejprve propíchne a oblouk trubku rozstříhne.

### **2.1.6 Střížné nástroje [6,8]**

U střížných nástrojů je největší výhodou to, že většina dílů je normalizována. Proto je jejich výměna při poškození rychlá a normalizované díly jsou levnější, než díly vyráběné na zakázku. Na obrázku 2.6 je uveden příklad střížného nástroje bez vedení (2.6a) a s vedením (2.6b). Nástroje bez vedení se používají jen zřídka, protože jsou málo přesné a střížná plocha je nekvalitní. Jejich výhodou je jednoduchost a snadná vyrobitelnost. Nástroje s vedením jsou naopak přesné, ale zároveň i drahé.

Mezi nejdůležitější části střížných nástrojů patří střížník a střížnice, protože tyto části dávají výsledný tvar výliskům. Další důležitou částí je stopka, která zajišťuje upnutí horní části nástroje do lisu. Mezi další části střížných nástrojů patří např. dorazy, hledáčky, vodící lišty, vodící sloupky, vodící deska, opěrná deska atd.



Obr. 2.6 Příklad střížných nástrojů a) bez vedení b) s vedením [6,8]

## 2.1.7 Funkční části stříhadel [6,8]

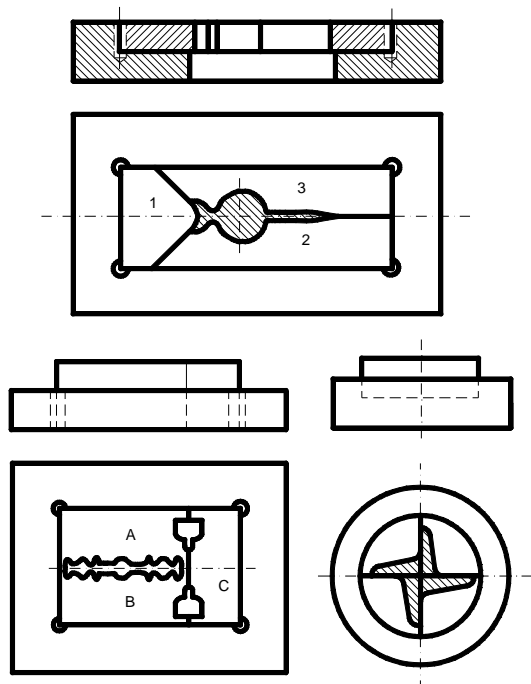
### Střížnice

Střížnice je činná část střížného nástroje a upevňuje se přímo nebo nepřímo na základovou desku. Kromě střížného otvoru se do střížnic umísťují boční ostříhovače, otvory pro dorazy a středící elementy. Střížnice se mohou rozdělit na:

- celistvé střížnice
- skládané střížnice
- vložkované střížnice.

Celistvé střížnice se používají pro stříhání součástí menších rozměrů a jednoduchých tvarů. Měli by se konstruovat tak, aby můstky, které vznikají mezi jednotlivými střížnými obvody, byly odolné proti praskání při tepelném zpracování.

Pro větší výstřížky, nebo tvarově složité součásti se používají skládané střížnice. Obvod střížnice se rozdělí na několik segmentů, které se snadněji vyrábí a jsou přesnější. Při tepelném zpracování nedochází k tak velké deformaci. Tyto střížnice jsou dražší než celistvé střížnice, ale tato nevýhoda se vyváží delší životností a snažší údržbou. Tuto střížnici lze použít v sériové nebo hromadné výrobě. Segmenty střížnice se nejčastěji zalisují do měkké nekalené desky, ale velké střížnice se přišroubovávají k základní desce a pojišťují se kolíky.



Obr. 2.7 Příklady skládaných střížnic [6]

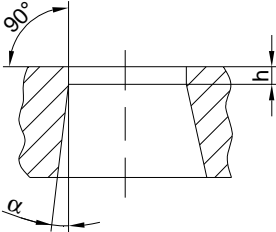
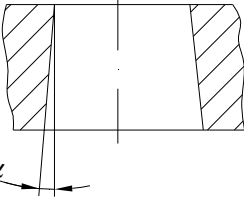
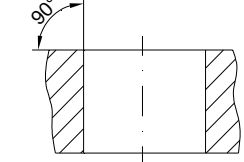
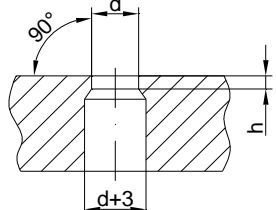
Někdy se používají i měkké střížnice, které mají na střížné ploše návary ze samokalitelných slitin. Tento způsob se používá především u velkorozměrných střížnic. Jejich výhodou je snadná opravitelnost.

Vložkované střížnice vykazují stejné výhody jako skládané střížnice. Vložkování se provádí velice často, obzvláště u menších nástrojů. Vložkují se měkké střížnice kalenými vložkami nebo vložkami ze slinutých karbidů. Vložky se zajišťují pro vypadnutí zalisováním a jestliže mají nekruhový funkční otvor, musíme je zajistit i proti pootočení. Toto zajištění se provádí pomocí kolíku, pera drážky aj. Díky těmto

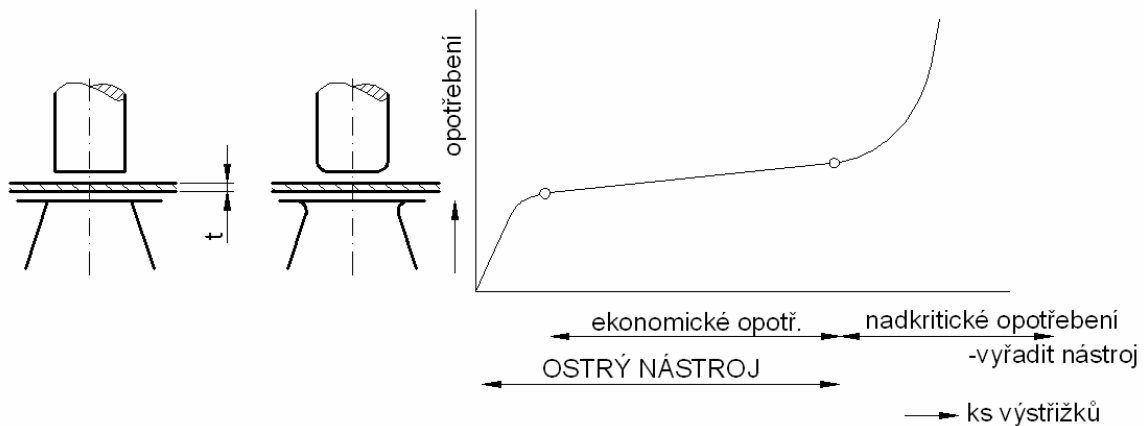
vložkám se podstatně zvýší životnost nástroje. Jestliže se vyrábí velké série, používají se vložky ze slinutých karbidů.

Střížnice může mít různou geometrii funkčních částí. Geometrie ovlivňuje především jakost střížné plochy. V následující tabulce jsou uvedeny 4 základní druhy geometrie střížnice.

Tab. 2.2 Tvar střížnic a rozsah jejich použití [7]

Tvar střížnice		Použití
Kuželová s válcovou fazetkou		<p>Díly s komplikovaným obvodem a vysokými požadavky na přesnost</p> <p>Fazetka</p> <p><math>h = 3 \div 5 \text{ mm}</math>    <math>s = 0,5 \text{ mm}</math>  <math>h = 5 \div 10 \text{ mm}</math>    <math>s = 0,5 \div 5 \text{ mm}</math>  <math>h = 10 \div 15 \text{ mm}</math>    <math>s = 5 \div 10 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 3^\circ \div 5^\circ</math></p>
Kuželová		<p>Malé díly se střední přesností</p> <p>Úkos</p> <p><math>\alpha = 3' \div 5'</math>    <math>s = 0,1 \div 0,5 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 15' \div 20'</math>    <math>s = 0,5 \div 1,0 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 20' \div 30'</math>    <math>s = 1 \div 2 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 20' \div 30'</math>    <math>s = 1 \div 2 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 30' \div 45'</math>    <math>s = 2 \div 4 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 45' \div 1^\circ</math>    <math>s = 4 \div 6 \text{ mm}</math></p>
Válcová nebo prizmatická		Díly vyhazované zpět a rozměrné díly
		Malé díly do $\varnothing d = 5 \text{ mm}$

Břit střížnice musí být ostrý a bez poškození, ale při provozu dochází k opotřebení a zaoblení břitu. Proto dochází k nárůstu střížné síly a kvalita střížné plochy klesá. Jestliže dosáhneme horní meze ekonomického opotřebení, musíme nástroj přebrousit nebo vyměnit.



Obr. 2.8 Křivka opotřebení [6]

Rozhodující faktor pro určení opotřebení nástroje je poloměr zaoblení střížné hrany. Jestliže je zaoblení příliš velké, může střížná síla vzrůst až o několik desítek procent. Proto se při výpočtu střížné síly uvažuje s tímto opotřebením.

### Střížníky

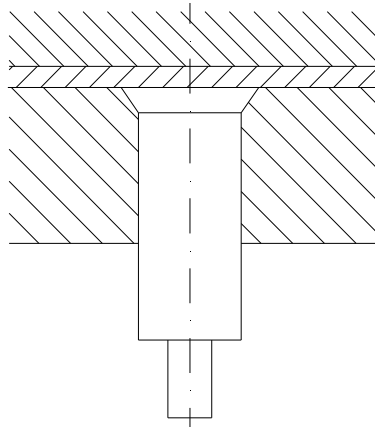
Střížníky jsou protikusem střížnic. Podle technologického použití se dají rozdělit na:

- přestříhování a odstříhovací
- odstříhovače
- vystříhovací a prostříhovací.

Odstříhovací střížníky se užívají pro odstříhávání přebytečného materiálu na obvodu velkých výtažků, nebo při příčném dělení pásu nebo svitku- např. při oddělování výstřížku u tzv. stříhání do řetízku.

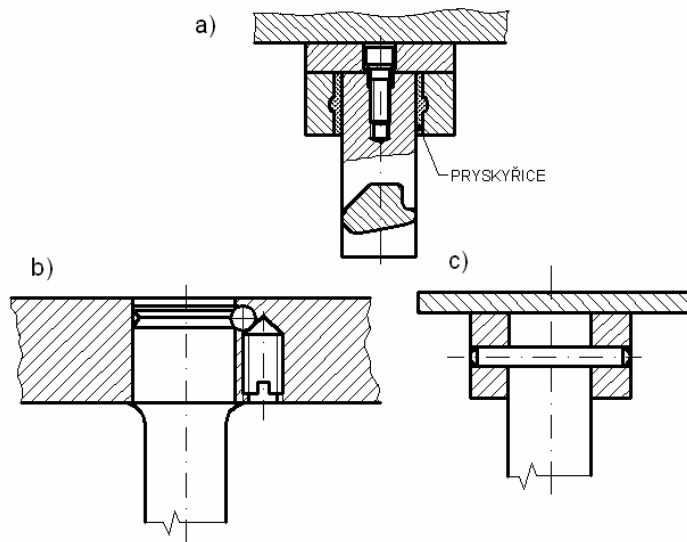
Odstříhovače mají funkci pouze technologickou. Užívají se pro určení velikosti kroku a nebo jsou vhodné pro zajištění požadované šířky výstřížku při velké toleranci šířky stříhaného pásu. Vyrábí se jako jednostranné nebo se používají dva.

Vystříhovací a prostříhovací střížníky slouží k vystříhování obrysů. Tyto střížníky mají nejčastěji čelo (břit) kolmé k ose střížníku. Někdy se však čelo upravuje, aby se snížila potřebná třecí síla. Používá se celá řada provedení, a proto slouží pro velké množství střížných operací. Malé střížníky se celé vyrábí z nástrojové oceli, ale u velkých střížníků se nosná část vyrábí z konstrukční oceli a funkční část je z nástrojové oceli. Střížníky se používají s vedením nebo bez vedení. Výhodou vedení je snížení volné délky střížníku a tím se výrazně snižuje jejich náchylnost ke zlomení (je způsobeno vybočením nástroje z osy). Pro toto vedení se používají vodící desky.



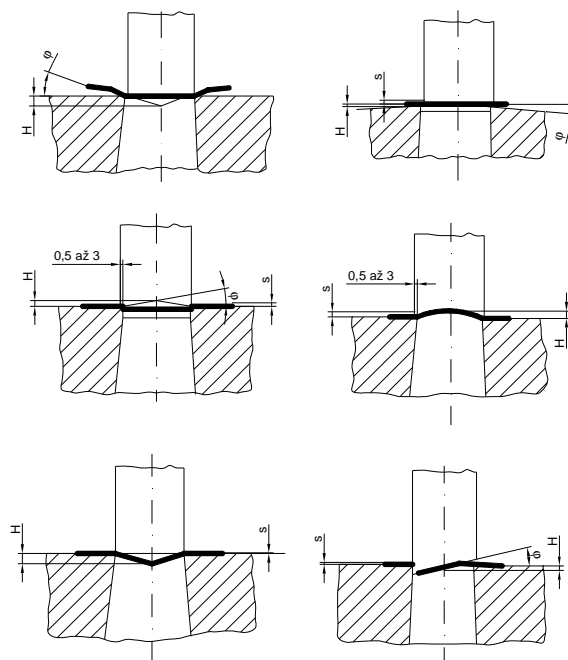
Obr. 2.9 Příklad nevedeného střížníku, který je zesílený osazením [7]

Upínání střížníků je velmi důležité, protože je kladen vysoký požadavek na kolmost upevnění, tuhost střížníku. Dále je nutné eliminovat účinek bočních a stíracích sil. Upínání střížníků do kotevní desky má mnoho variant. Pro správné upnutí střížníku musíme znát některé důležité informace jako například druh polotovaru, tvarová složitost střížníku a způsob výroby střížníku. Jedno z nejjednodušších upnutí je za kuželovou plochu, která se vytvoří roznýtováním horní části střížníku nebo se vytvoří při třískovém obrábění. Další způsoby upnutí jsou např. přišroubováním, pomocí klínu, šroubem a upínkou nebo zalitím pryskyřicí. Zalití pryskyřicí je výhodné použít u tvarově složitých střížníků, protože toto kotvení je jednoduché. Tloušťka zalití se pohybuje mezi 2 až 4 mm.



Obr. 2.10 Některé způsoby upnutí a) Zalití pryskyřicí  
b) Zajištění kuličkou c) Upevnění kolíkem [4, 5]

U střížníku je důležitý způsob provedení čela. Provedením různých úprav můžeme zajistit dobré vedení střížníku, snížit potřebnou třecí sílu nebo zamezit přilepení výstřížku na čelo nástroje.



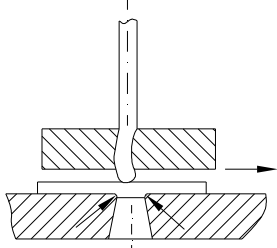
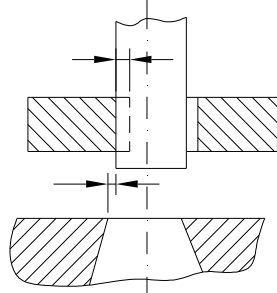
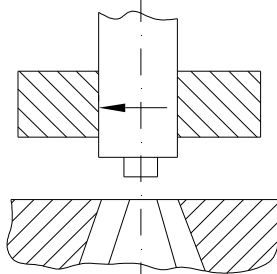
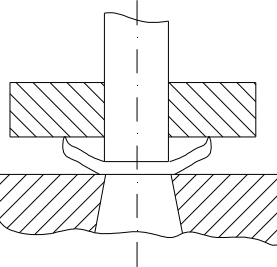
Obr. 2.11 Nejpoužívanější úpravy střížníků [4]

### **2.1.8 Závady na střížných nástrojích [4]**

Závady na střížných nástrojích se nejčastěji vyskytují kvůli nesprávnému způsobu výroby, špatné kvalitě stříhaného materiálu a špatnému seřízení.

Tab. 2.3 Závady střížných nástrojů[4]

Náčrt	Závada	Následek závady
	Nestejná tvrdost střížných hran	Vznik bočních tlaků, jednostranné opotřebení vodítka, jednostranné otupení až vyštípnutí střížnice
	Nestejná střížná vůle, volně lícované vodítko	Vznik bočních tlaků, výstřížek má jednostranné ostří, časté poruchy při podávání, jednostranné otupení střížnice

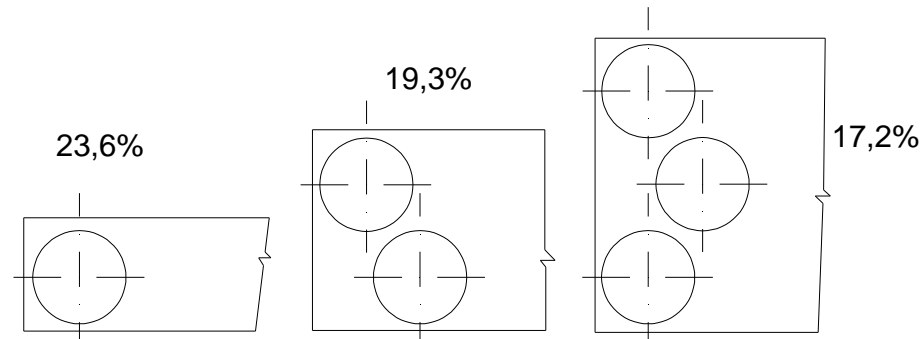
	<p>Deformace při kalení</p>	<p>Vznik bočních tlaků, výstřížek má jednostranné ostří, časté poruchy při podávání, jednostranné otupení střížnice</p>
	<p>Nadměrná vůle ve vodítku a ve střížnici</p>	<p>Nepřesné výstřížky, velké ostří, hromadění v propadovém otvoru, větší spotřeba energie, časté poruchy</p>
	<p>Střížný otvor má nestejný úkos</p>	<p>Střížník je odtlačován, výstřížky se hromadí v propadovém otvoru až do zadření a rozdrčení střížníku</p>
	<p>Velká vůle mezi vodítkem a střížnicí a nadměrné otupení</p>	<p>Materiál se kříví, při nadměrném otupení rychle snížení životnosti nutným velkým obroušením</p>

### **2.1.9 Nástřihový plán [5,7,8]**

Ze základních znalostí stříhání materiálu lze stanovit technologičnost konstrukce výstřížku. Tvar výstřížku a jeho orientace na pásu ovlivňuje hospodárnost využití stříhaného materiálu. Proto je důležité rozmístit výstřížky na plech tak, aby byl odpad co nejmenší. Odpad se dá rozdělit na technologický a konstrukční. Technologický odpad je ovlivněn tvarem a uspořádáním výstřížku na pásu a konstrukční závisí na vnějším a vnitřním tvaru součástí. Nástřihový plán může být kusový (u něj se určuje nejvýhodnější způsob stříhání) nebo skupinový (zde se stříhají různé tvary a součásti jednoho výrobku). Hospodárné využití materiálu by mělo být vyšší než 70%. Nejvyšší úspory materiálu se dosahuje při použití víceřadých nástřihových plánů- obr.2.12. Nevýhodou je, že s vyšším využitím plechu

víceřadým nástřihovým plánem klesá jednotkový čas a stoupá cena a údržba nástrojů.

Zvýšit využití materiálu lze i stříháním bez bočních můstek, kdy se využívá přirozených hran pásů nebo svitků. Další možností jak ušetřit materiál je další využití odpadu. Toho lze ale využít pouze při určitém tvaru odpadu.



Obr. 2.12 Nástřihové plány s různými podíly odpadu [5]

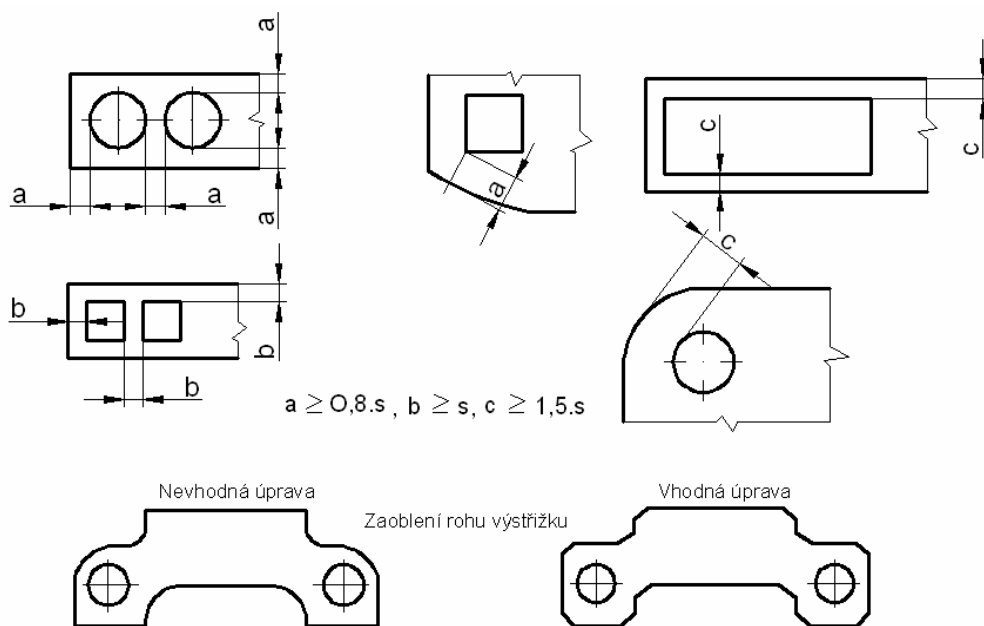
### **2.1.10 Technologičnost stříhání [7,8,10]**

Při návrhu výstřížku se musí brát ohled na vlastnosti materiálu a na určitá specifika technologie stříhání. Je to především:

- s rostoucí tvárností stříhaného materiálu se snižuje drsnost střížné plochy
- rozměry výstřížku se mění především opotřebením a odpružením nástroje
- dochází ke ztenčení materiálu podél střížné plochy
- především u malých výstřížků dochází k průhybu výstřížku

Z těchto podmínek vyplývají určité zásady, které by se měli dodržovat při návrhu výstřížku:

- jestliže není střížná plocha funkční, neměla by se jí předepisovat drsnost ani kolmost. Když drsnost předepíšeme, neměla by být menší než  $Ra = 3,2$  až  $6,3 \mu m$ .
- při stříhání tenkých plechů nepředepisovat rovinnost
- dávat přednost kruhovým otvorům
- u měkkých ocelí je minimální průměr, který lze prostříhnout  $\varnothing 0,6$  až  $0,8$  mm (při použití přidržovače  $\varnothing 0,25$  až  $0,30$  mm), u tvrdých ocelí je to  $\varnothing 1,2$  až  $1,5$  mm (s přidržovačem  $\varnothing 0,25$  až  $0,5$  mm)
- vzdálenost stříhaných otvorů od okraje plechu musí být minimálně  $0,8$  až  $1,5 \cdot s$ , kde  $s$  je tloušťka stříhaného materiálu. Při stříhání měkkých materiálů se tyto hodnoty ještě zvětšují o 15 až 25%
- rohy by měly být raději sražené, protože zaoblení se příliš nedoporučuje. U měkkých plechů (méně než 300 MPa) je minimální úhel rohů  $45^\circ$  a u tvrdých plechů (600 MPa) minimálně  $90^\circ$
- ostrý roh se dá vyrobit na dvě operace
- na výstřížku by se neměli střídát ostré a zaoblené rohy
- výstřížek, který má kruhový tvar, je nevýhodný kvůli velkému odpadu
- není vhodný plynulý přechod zaoblení a poloměrů do přímek



Obr. 2.13 Vhodné parametry a rozměry výstřížků [7, 10]

### Přesnost výstřížku

Ta je závislá především na:

- velikosti střížné vůle
- na druhu stříhaného materiálu
- na přesnosti výroby střížníku a střížnice
- na pružné deformaci při stříhání

Jestliže se stříhají plechy, jejichž tloušťka nepřesahuje 4 mm a rozměry jsou do 200 mm, lze dosáhnout přesnosti IT 12 až IT 14. Když se použijí stříhadla, která mají zvýšenou přesnost, lze dosáhnout přesnosti IT9 až IT11. Při přesném stříhání se dosahuje přesnosti IT6 až IT8.

Tab. 2.4 Dosažitelná přesnost vzdálenosti otvorů od okraje výstřížku [8]

Tloušťka stříhaného materiálu [mm]	Vzdálenost otvorů od okraje výstřížku [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1,0	±0,50 až ±0,25	±0,60 až ±0,30	±0,70 až ±0,35
1,0 až 2,0	±0,50 až ±0,25	±0,60 až ±0,30	±0,70 až ±0,35
2,0 až 4,0	±0,60 až ±0,30	±0,70 až ±0,35	±0,80 až ±0,40
4,0 až 6,0	±0,70 až ±0,35	±0,80 až ±0,40	±1,00 až ±0,60

### **2.1.11 Materiály funkčních částí [4, 5, 6]**

Správná volba materiálu je důležitá především kvůli hospodárnosti a maximální životnosti nástroje. Proto tyto materiály musí mít dostatečnou tvrdost, pevnost, vysokou odolnost proti opotřebení a zároveň dostatečnou houževnatost. Některé používané druhy materiálů jsou uvedeny v tabulce 2.5.

Tab. 2.5 Některé druhy používaných materiálů [5]

19 191	Střížné nástroje pro menší namáhání
19 312	Střížné nástroje pro složitější střížné obvody
19 313	Jako pro 19 312, ale pro větší průřezy
19 314	Jako 19 313, ale pro střední tloušťky plechu a pro vyšší pevnosti
19 436	Střížné nástroje pro složitější střížné obvody
19 437	Jako 19 436, ale pro větší tloušťky činných částí a vyšší namáhání
19 550	Střížné nástroje pracující za studena i za tepla
19 559	Výkonné střížné nástroje pro práci z studena i za tepla, se zvýšenou houževnatostí
19 564	Střížné nástroje pro nejvyšší namáhání, odolné proti tepelným trhlinám, pro práci za tepla
19 574	Nástroje pro stříhání elektroplechů
19 575	Jako 19 574, ale pro větší tloušťky
19 665	Střížné nástroje pro práci za studena i za tepla s odolností proti tepelné únavě
19 732	Střížné nástroje pro práci za studena i za tepla

## **2.2 PROCES OHÝBÁNÍ [11]**

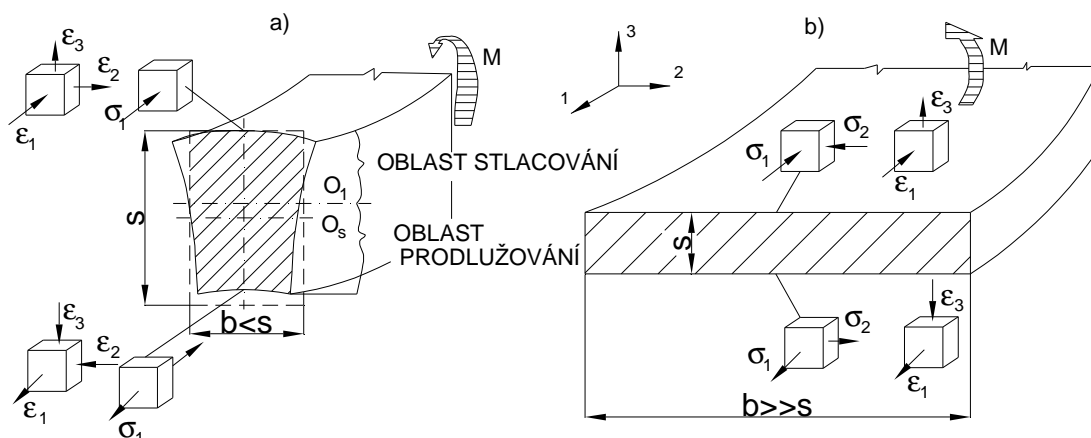
Při ohýbání dochází k trvalé deformaci materiálu a materiál se působením vzniklého napětí rovná nebo ohýbá. Nejčastěji se ohýbají: plechy, dráty, tyče, trubky atd. Při ohýbání běžných materiálů, se ohyb nejčastěji provádí za studena na ohýbacích strojích. Jestliže je materiál příliš tvrdý nebo křehký, ohýbá se za tepla. V ČSN 22 6001 je uveden základní přehled prací a názvosloví při ohýbání.

### **2.2.1 Rozložení napětí při ohýbání [1, 2, 8]**

Ohyb je vyvolán působením momentů vnějších sil. Takže v místě ohybu působí prostorová napjatost a rovinná deformace. To znamená, že v místě ohybu působí radiální napětí (je vždy záporné- tlak), napětí tečné, které mění polaritu napříč tloušťkou materiálu ( na vnějším poloměru je kladné a na vnitřním záporné) a nakonec je to napětí, které působí ve směru ohýbací čelisti a je přímo úměrné dvěma předcházejícím napětím. Ohnuté tvary lze zpětně rozvinout.

Při ohýbání dochází nejprve k pružné deformaci a po překročení meze kluzu v krajních vláknech dochází k plastickému přetvoření. Jestliže bude ohybový moment stále narůstat, bude narůstat i hloubka plastického přetvoření. V krajních vláknech na

vnější straně vzniká jednoosý tah a na vnitřní straně vzniká jednoosý tlak. Za těchto podmínek se jedná o trojosý stav přetvoření. Při ohýbání dochází ke zmenšení šířky pásu na vnější straně a naopak ke zvětšení šířky na vnitřní straně. K tomu dochází především u úzkých pásů, u širokých pásů k příčnému přetvoření nedochází, a proto vzniká rovinný stav přetvoření.



Obr. 2.14 Napjatost a deformace v ohýbaném kovu [2]

## 2.2.2 Výpočet ohýbací síly a práce [6]

### Určení síly pro ohyb ve tvaru V

Nejčastěji se používá vzorec:

$$F_o = \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100 \cdot l} \quad (2.5)$$

$F_o$ - Ohýbací síla	[kN]
$R_m$ - Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$b$ - Šířka ohýbané součásti	[mm]
$l$ - Šířka ohybnice	[mm]
$s$ - Tloušťka plechu	[mm]

### Určení práce, která je potřeba k ohnutí do tvaru V

$$A_o = m \cdot F_o \cdot h \quad (2.6)$$

$A_o$ - Ohýbací práce	[J]
$m$ - Koeficient zaplnění diagramu	[-]
$F_o$ - Ohýbací síla	[N]
$h = \frac{l}{2}$	[mm]

### Určení síly pro ohyb ve tvaru U

$$F_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100} \quad (2.7)$$

$F_o$ - Ohýbací síla	[kN]
$R_m$ - Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$b$ - Šířka ohýbané součásti	[mm]
$s$ - Tloušťka plechu	[mm]

### Určení práce, která je potřeba k ohnutí do tvaru U

$$A_o = m \cdot (F_o + F_p) \cdot h \quad (2.8)$$

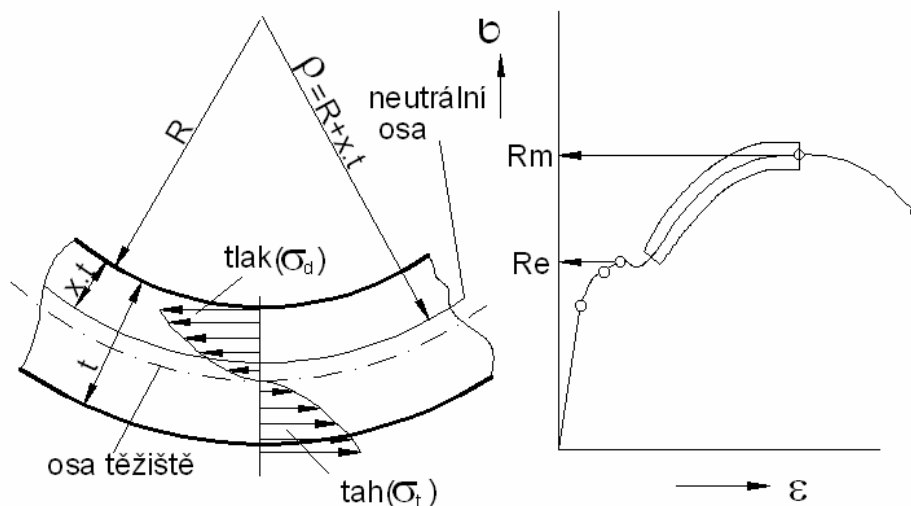
$A_o$ - Ohýbací práce	[J]
$m$ - Opravný koeficient $m= 0,66$	[-]
$F_o$ - Ohýbací síla	[N]
$h = \frac{l}{2}$	[mm]
$F_p$ - Síla přidržovače ( $F_p= 0,25 \cdot F_o$ )	[N]

### **2.2.3 Stanovení délky polotovaru [2, 8]**

V okolí střední části průřezu jsou tahová napětí malá. Jejich hodnoty nedosahují ani meze kluzu. Mezi těmito pásmy nejsou vlákna deformována a spojnice těchto pásem tvoří tzv. neutrální osu. Tato osa se při ohýbání neprodužuje ani nezkracuje. Na začátku procesu ohýbání je tato osa uprostřed průřezu. Ale v průběhu ohýbání se neutrální osa posouvá k vnitřní straně ohybu. Tento posun je závislý na velikosti úhlu  $\alpha$  a na relativním poměru zaoblení ohýbací čelisti  $r/s$ . Délka vlákna na neutrální ose se určí ze vzorce:

$$L = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \alpha \cdot \rho \quad (2.9)$$

$L$ - Délka neutrální osy	[mm]
$\rho$ - Poloměr neutrální vrstvy	[mm]
$\alpha$ - Úhel oblouku	[°]



Obr. 2.15 Poloha neutrální osy [2]

Velikost posunu v závislosti na poměru  $r/s$  je v tabulce 2.6.

Tab. 2.6 Velikosti posunu neutrální osy [5]

$r/s$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	6	10
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48

Obecně platí, že čím je ostřejší ohyb, tím více se neutrální vrstva posouvá k vnitřní straně ohybu. Určení délky neutrální osy je důležité pro určení výchozí délky polotovaru. U tenkých plechů tento posuv není tak výrazný, a proto se zanedbává, ale u ohýbání tlustých plechů se s tímto posuvem musí počítat. Jestliže tento posun do výpočtu zahrneme, pak vypadá vzorec pro určení poloměru ohybu neutrální osy takto:

$$\rho = R + x \cdot s \quad (2.10)$$

$\rho$ - Poloměr neutrální osy	[mm]
$x$ - Součinitel posunutí neutrální osy	[-]
$R$ - Vnitřní poloměr ohybu	[mm]
$s$ - Tloušťka materiálu	[mm]

### 2.2.4 Odpružení při ohybu [6, 7]

Při ohýbání za studena dochází k odpružení. Je to způsobeno pružnými deformacemi, které doprovází ohýbání a po odtížení způsobují odpružení. Velikost odpružení závisí především na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu, na úhlu  $\alpha$ , na konstrukci ohýbadla a na poměru  $r/s$ . Je tedy jasné, že výsledný tvar součásti po ohnutí neodpovídá tvaru ohýbadla. Odpružení se pohybuje v rozmezí  $3^\circ$  až  $15^\circ$ .

Tab. 2.7 Úhel odpružení pro některé materiály [8]

Materiál	Poměr r/s	
	0,8 až 2	nad 2
Ocel $R_m= 320$ MPa	1°	3°
Ocel $R_m= 320$ až 400 MPa	3°	5°
Ocel $R_m= 400$ MPa	5°	7°
Měkká mosaz	1°	3°
Tvrdá mosaz	3°	5°
Hliník	1°	3°

Odpružení lze přibližně určit ze vztahů. Tyto vztahy jsou různé podle tvaru ohybu- tvar ohybu U nebo V.

Pro tvar U:

$$\operatorname{tg}\beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.11)$$

Pro tvar V:

$$\operatorname{tg}\beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.12)$$

$\beta$ - Úhel odpružení

$l_m$ - Rameno ohybu- Obr. 2.16

$l$ - Vzdálenost ohýbacích hran- Obr. 2.16

$k$ - Součinitel pro výpočet úhlu pružení

$s$ - Tloušťka plechu

$R_e$ - Mez kluzu

$E$ - Modul pružnosti v tahu

[°]

[mm]

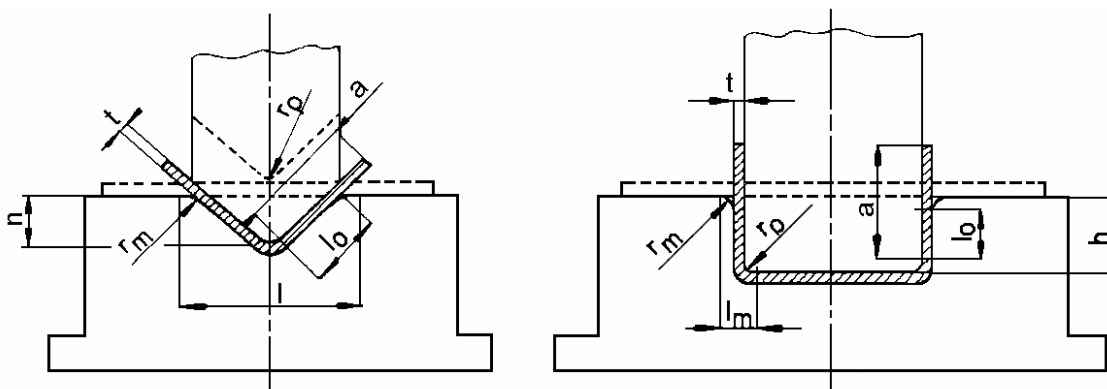
[mm]

[-]

[mm]

[MPa]

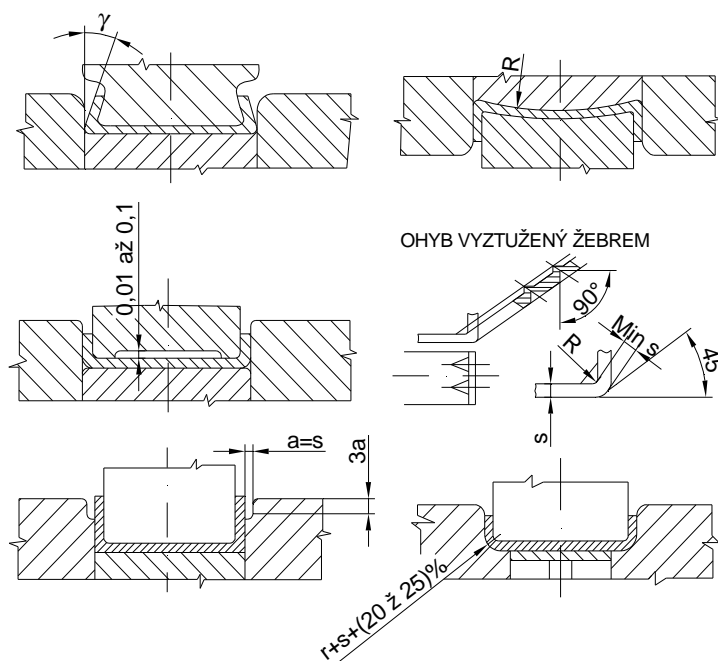
[MPa]



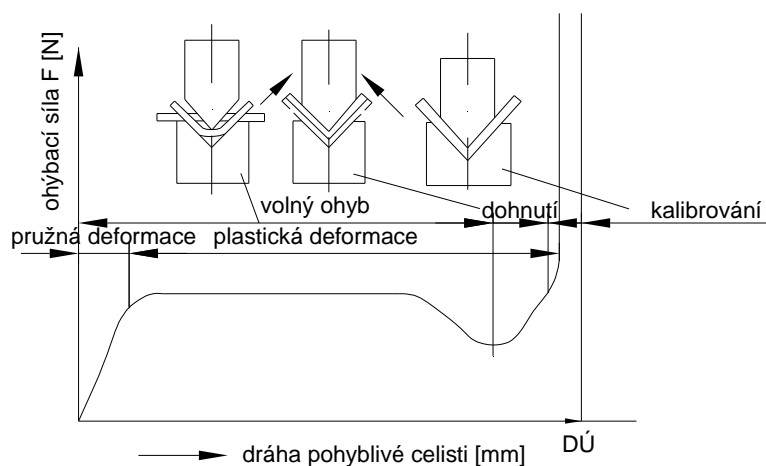
Obr. 2.16 Ohyby tvaru V a U [6]

Minimalizovat velikost odpružení lze několika způsoby. Asi nejčastěji se používá změna úhlu ohybu a velikost odpružení, zpevnění materiálu v místě ohybu, kalibrování boční čelistí, vyztužení žebry, zaoblení hran ohybníku a přidržovače a nebo se používá tzv. kalibrace. Kalibrace se provádí tak, že na konci lisovacího cyklu

zvětšíme sílu a tím dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu a tím se snižuje hodnota odpružení (nebo vymizí úplně). Některé způsoby jsou uvedeny na obr. 2.17 a na obr. 2.18 je průběh kalibrace.



Obr. 2.17 Některé způsoby minimalizace odpružení [7]



Obr. 2.18 Průběh ohýbací síly včetně kalibrace [11]

### 2.2.5 Minimální maximální poloměr ohybu [3, 7]

Minimální poloměr ohybu je takový poloměr, při kterém ještě nedojde k porušení materiálu. Aby nedošlo k porušení materiálu, nesmí tahové napětí na vnější straně dosáhnout meze pevnosti v tahu  $R_m$ . Poloměr závisí na orientaci ohybu vzhledem ke směru válcování. Jestliže je osa ohybu rovnoběžná se směrem vláken materiálu, je minimální poloměr ohybu přibližně 2x větší než při ohybu kolmo na vlákna. Minimální poloměr se určí ze vzorce:

$$R_{\min} = \frac{s \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} \quad (2.13)$$

$R_{\min}$ - Minimální poloměr ohybu	[mm]
s- Tloušťka plechu	[mm]
A- Tažnost materiálu	[-]

Při určování maximálního poloměru se vychází z toho, že v krajních vrstvách materiálu musí docházet k plastické deformaci. Při určování tohoto poloměru se vychází ze vzorce:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.14)$$

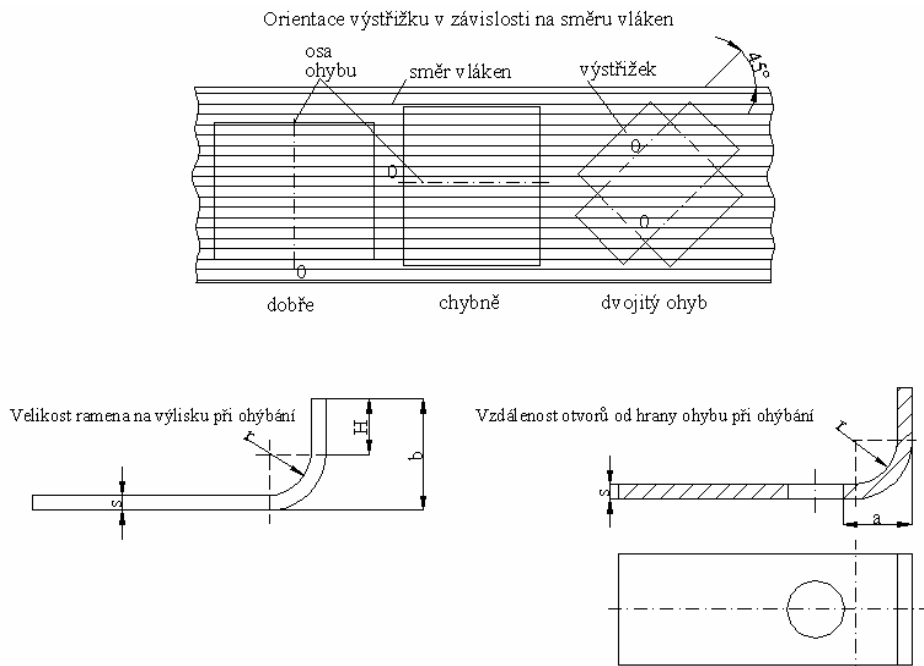
$R_{\max}$ - Maximální poloměr ohybu	[mm]
s- Tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
E- Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$R_e$ - Mez kluzu materiálu	[MPa]

## **2.2.6 Technologičnost ohýbaných součástí [8]**

Technologičnost ohýbaných součástí závisí především na vlastnostech ohýbaného materiálu. Protože se pro přípravu polotovaru na ohýbání používá nejčastěji stříhání, měla by se při návrhu nástřihového plánu dodržovat zásada, že hrana ohybu bude kolmá na směr vláken  $\Rightarrow$  kolmá na směr válcování. Jestliže se tuto zásadu nepodaří dodržet, tak odklon hrany by neměl přesáhnout 45°. Při konstrukci součástí by se měly dodržovat některé zásady:

- Neměly by se zmenšovat tolerance ohýbaných součástí pod běžně dosažitelnou hranici, aby se zbytečně nekomplikovala a neprodražovala výroba součástí.
- Měl by se brát ohled na ztenčení tloušťky plechu v místě ohybu.
- Jestliže se vytváří ostrý ohyb, je potřeba v místě předpokládaného ostrého ohybu vytvořit dostatečný objem kovu a poté by měla následovat kalibrace úhlu.
- Při přípravě polotovaru stříháním je důležité, aby se ostřiny orientovaly na vnitřní stranu ohybu, nebo se musí mechanicky odstranit. Kdyby byla ostřina na vnější straně, mohlo by docházet k praskání materiálu v místě ohybu.
- Když je v plechu otvor (nebo jiný konstrukční prvek), měla by se dodržet určitá vzdálenost hrany otvoru od hrany ohybu, aby nedošlo k jeho deformaci. Tato vzdálenost by měla být  $a \geq r + 2 \cdot s$  viz. Obr. 2.19. Jestliže tuto podmínku nelze dodržet a je požadováno, aby otvory nebyly deformované, měly by se otvory zhotovit až po ohnutí.
- Minimální délka ohýbané součásti by měla být dvojnásobkem tloušťky plechu  $\Rightarrow H \geq 2 \cdot s$ . Jestliže se požaduje délka ramena menší, musí se ohyb

provést na plechu, který podmínku  $H \geq 2.s$  splňuje a poté se musí přebytečný materiál odstříhnout.



Obr. 2.19 Některé technologické zásady [2, 7]

- Okraje polotovaru by měly být v místě ohybu kolmé na hranu ohybu. Když se tato podmínka nedodrží, dojde v místě ohybu k nežádoucí deformaci okraje výlisku.
- Poloměr ohybu by se měl volit co nejmenší, aby se zmenšilo odpružení. Nejmenší poloměr je u materiálů s nižší tvařitelností omezen vznikem trhlin na vnější straně ohybu a u tvárných materiálů je omezen přípustným ztenčením v místě ohybu.

Přesnost ohýbaných součástek závisí především na:

- Přesnosti a druhu ohýbadla, které je použito
- S jakou přesností je vloženo ohýbadlo ve stroji
- Rozměrech a tvaru ohýbaného dílu
- Druhu stroje
- Rovnoměrnosti tloušťky plechu

Nejčastější nedokonalosti, které se u ohýbání vyskytují jsou:

- 1- Vznik trhliny na vnější straně ohybu. Je to důsledek nízké plasticity materiálu, špatná orientace ohybů v závislosti na orientaci směru vláken, malý poloměr ohybu.
- 2- Nepřesnost úhlu ohybu. Tento nedostatek závisí především na velikosti odpružení při ohybu.
- 3- Při špatném ustavení polotovaru v nástroji dochází k nepřesnému umístění hrany ohybu.

### **3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉ VÝROBY**

Zadaná součást se v současnosti vyrábí z tabule plechu o rozměrech 1,5x1500x3000. Plech se musí nejprve nastříhat na pásy o požadované šířce. Po nadělení plechu se pásy dopraví k lisu, kde se nastříhají jednotlivé součásti v rozvinutém stavu. Vystřížení součásti se provádí pomocí postupového střížného nástroje. Jednotlivé pásy se do stroje vkládají ručně. Po nastříhání požadovaného počtu kusů se na lisu musí vyměnit nástroje. Postupový střížný nástroj se vymění za ohýbací nástroj. Po výměně se jednotlivé součásti vkládají do nástroje a dochází k vlastnímu ohybu. Jednotlivé součásti se opět ustavují vyjímají z nástroje ručně.

Při tomto postupu výroby dochází ke zvyšování nákladů na jednotlivé součásti, a proto je vhodnější použít sdružený nástroj. Největší nevýhody stávající metody jsou uvedeny v následujících bodech.

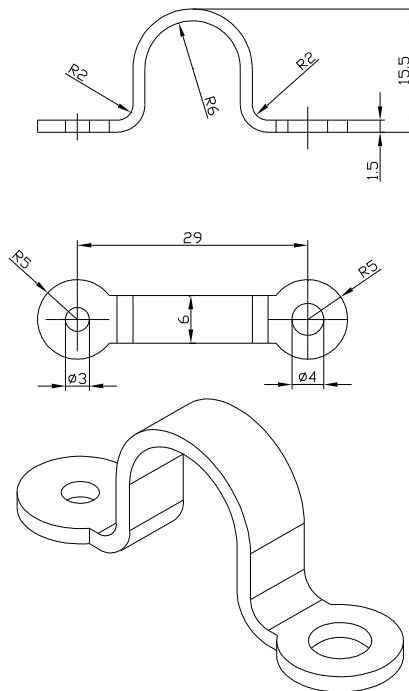
- větší množství odpadu z tabule plechu
- menší využití materiálu
- vyšší náklady na manipulaci s materiálem
- vyšší požadavky na obsluhu
- delší výrobní časy (ruční obsluha stroje, výměna nástrojů, dělení materiálu)

## 4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI

Tvar a rozměry součásti jsou uvedeny na obrázku 4.1.

Materiál: 17 240 (AISI 304)

Velikost série: 400 000 ks

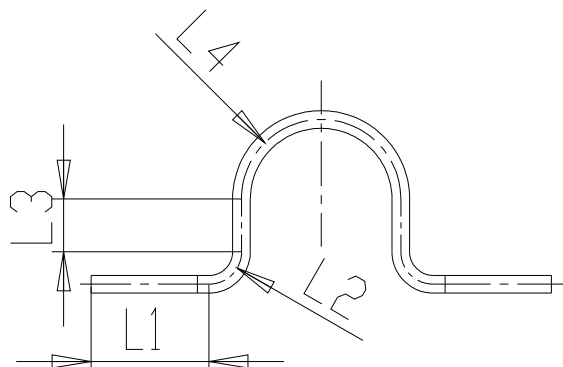


Obr. 4.1 Zadaná součást

Při určování vhodné technologie výroby dané součásti, se nejčastěji vychází z co možná největší úspory materiálu a z minimalizace výrobních časů. Přitom se musí dodržet požadovaná kvalita a přesnost výrobku.

### 4.1 DÉLKA ROZVINUTÉ SOUČÁSTI

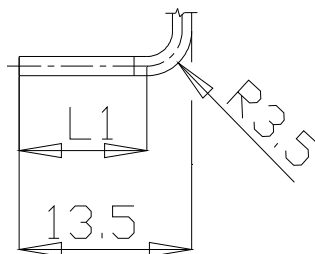
Vzhledem k tomu, že při výrobě součásti dochází k ohýbání, musí se nejprve určit výchozí délka součásti, která je důležitá pro návrh nástřihového plánu. Protože při výpočtu této délky se může předpokládat osově symetrická součást, stačí vypočítat délky jen na jedné straně součásti.



Obr. 4.2 Určení výchozí délky

### Určení délky L1

Při určování délky L1 budeme vycházet z obrázku 4.3



Obr. 4.3 Vzdálenost L1

$$L1 = 13,5 - R_{3,5} = 13,5 - 3,5 = \underline{10 \text{ mm}}$$

### Určení délky L2

U délky L2 se vychází ze vzorce 2.10 a z tabulky 2.6. Nejprve určíme hodnotu součinitele x.

$$\frac{R_o}{t} = \frac{2}{1,5} = 1,33 \Rightarrow x = 0,42$$

poloměr neutrální osy

$$\rho = R + x \cdot t = 2 + 0,42 \cdot 1,5 = 2,63 \text{ mm}$$

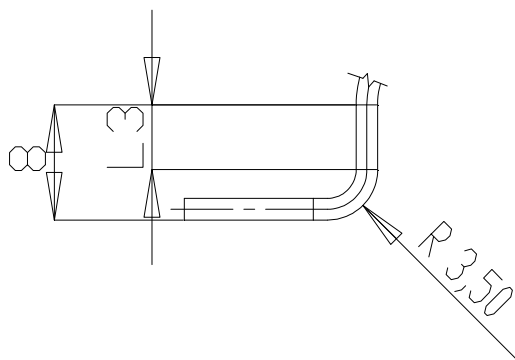
délka oblouku L2

Délka oblouku je určena pomocí vzorce 2.9.

$$L2 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 2,63 = \underline{4,13 \text{ mm}}$$

### Určení délky L3

U této délky se postupuje obdobně jako u výpočtu délky L1.



Obr. 4.4 Vzdálenost L3

$$L3 = 8 - R_{3,5} = 8 - 3,5 = \underline{4,5 \text{ mm}}$$

### Určení délky L4

U délky L4 se opět vychází ze vzorce 2.10 a z tabulky 2.6.

$$\frac{R_o}{t} = \frac{6}{1,5} = 4 \Rightarrow x = 0,47$$

poloměr neutrální osy

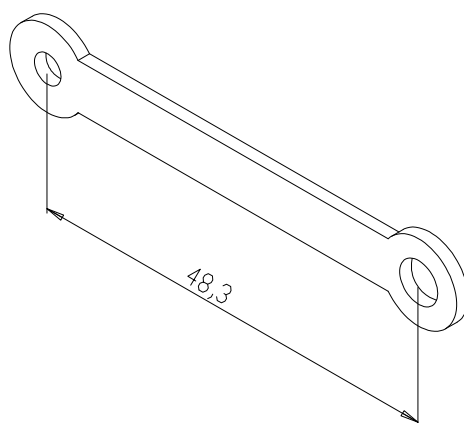
$$\rho = R + x \cdot t = 6 + 0,47 \cdot 1,5 = 6,71 \text{ mm}$$

délka oblouku L4

$$L4 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 180}{180} \cdot 6,71 = \underline{\underline{21,06 \text{ mm}}}$$

### Určení celkové délky L

$$L = 2 \cdot L1 + 2 \cdot L2 + 2 \cdot L3 + L4 = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 4,13 + 2 \cdot 4,5 + 21,06 = \underline{\underline{58,3 \text{ mm}}}$$



Obr. 4.5 Rozvinutá součást

## **4.2 VARIANTY ŘEŠENÍ NÁSTŘIHOVÉHO PLÁNU**

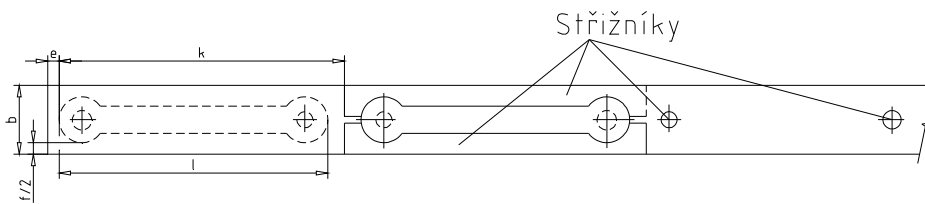
Při řešení problému nástřihového plánu se musí vycházet z toho, jestli se jako základní materiál použije tabule plechu nebo svitek plechu. Protože je požadovaný počet kusů 400 000, je použití tabulí plechu nevhodné.

Při výpočtech se bude vycházet z délkového rozměru tabule plechu. Až se zvolí vhodný nástřihový plán, tak se využití materiálu přepočítá na svitek plechu o požadované délce. Tento přepočet bude proveden v kapitole 6.1.2, protože v této kapitole jsou vypočítány základní rozměry svitku.

Při návrhu nástřihového plánu lze použít několik různých variant řešení. Vzhledem k tomu, že tato práce zpracovává návrh sruženého nástroje, jsou zde uvedeny pouze dvě varianty. Tyto varianty jsou nejvíce vhodné pro daný typ výroby.

### 4.2.1 Varianta 1

V této variantě je výstřížek umístěn podélně. Rozměry polotovaru jsou určeny pomocí obrázku 2.13.



Obr. 4.6 Podélné umístění výstřížku

#### Délka polotovaru

$$L = 3000 \text{ mm}$$

#### Velikost e

$$e = a \quad a \geq 0,8 \cdot s \Rightarrow e = 0,8 \cdot 1,5 = \underline{1,2 \text{ mm}}$$

#### Velikost f

$$f = 2 \cdot a = 2 \cdot 1,2 = \underline{2,4 \text{ mm}}$$

#### Šířka b

$$b = 2 \cdot R5 + f = 10 + 2,4 = \underline{12,4 \text{ mm}}$$

#### Velikost k

$$k = l + e = 58,3 + 1,2 = \underline{59,5 \text{ mm}}$$

#### Počet výstřížků z délky polotovaru [8]

$$n_V = \frac{L}{k} \tag{4.1}$$

$n_V$  - Počet výstřížků

L - Délka polotovaru

k - Velikost kroku

[-]

[mm]

[mm]

$$n_V = \frac{L}{k} = \frac{3000}{59,5} = 50,4 \Rightarrow 50 \text{ výstřížků}$$

#### Využití materiálu [8]

$$\eta = \frac{n_V \cdot S_V}{S_P} \cdot 100 \tag{4.2}$$

$\eta$ - Využití materiálu	[%]
$n_V$ - Počet výstřížků	[-]
$S_V$ - Plocha výstřížku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_P$ - Plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]

$$\eta = \frac{n \cdot S_V}{S_P} \cdot 100 = \frac{50 \cdot 391,5}{37200} \cdot 100 = \underline{\underline{52,6 \%}}$$

$$S_P = b \cdot L = 12,4 \cdot 3000 = 37\,200 \text{ mm}^2$$

$S_V$ - Plocha výstřížku byla určena pomocí programu SolidWorks

#### **4.2.2 Varianta 2**

Ve variantě 2 je výstřížek umístěn napříč svitkem. Opět se vychází z obrázku 2.13. Postup při výpočtu je totožný jako v kapitole 4.2.1.

##### Velikost e

$$e = a \quad a \geq 0,8 \cdot s \Rightarrow e = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ mm} - \text{vzhledem ke tvaru střížníku volím } \underline{\underline{1,7 \text{ mm}}}$$

##### Velikost f

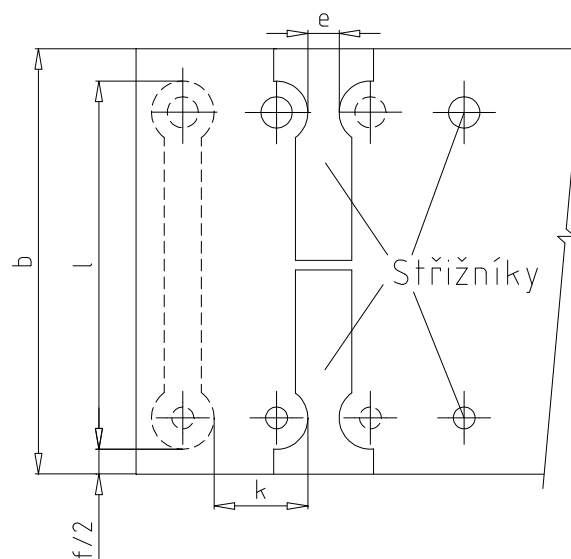
$$f = 2 \cdot a = 2 \cdot 1,7 = \underline{\underline{3,4 \text{ mm}}}$$

##### Šířka b

$$b = l + f = 58,3 + 3,4 = \underline{\underline{61,7 \text{ mm}}}$$

##### Velikost k

$$k = 2 \cdot R_5 + e = 10 + 1,7 = \underline{\underline{11,7 \text{ mm}}}$$



Obr. 4.7 Umístění výstřížku napříč

### Počet výstřížků z délky polotovaru

Použit vzorec 4.1.

$$n_V = \frac{L}{k} = \frac{3000}{11,7} = 256,4 \Rightarrow 256 \text{ výstřížků}$$

### Využití materiálu

Použit vzorec 4.2.

$$\eta = \frac{n_V \cdot S_V}{S_P} \cdot 100 = \frac{256 \cdot 391,5}{185100} \cdot 100 = \underline{\underline{54,1\%}}$$

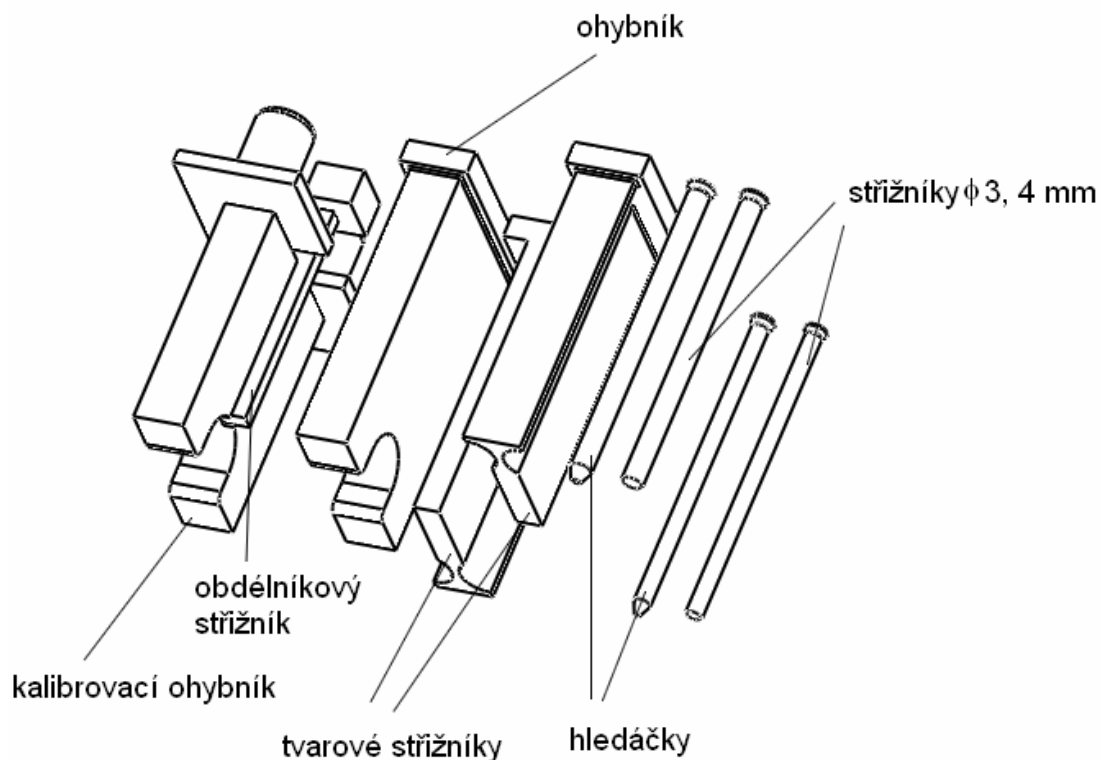
$$S_P = b \cdot L = 61,7 \cdot 3000 = 185\,100 \text{ mm}^2$$

### 4.2.3 Porovnání a vyhodnocení variant

Po provedení všech výpočtů bylo zjištěno, že Varianta 2 je z hlediska využití materiálu výhodnější než varianta 1. Při použití Varianty 1 je využití materiálu 52,6% a při použití Varianty 2 je využití 54,1%. Při porovnání obou Variant je rozdíl 1,5 %.

Varianta 2 je dále vhodnější kvůli lepšímu rozmístění součástí na polotovaru, protože toto rozmístění má velký vliv na celkový návrh sdruženého nástroje.

Na obrázku 4.8 je zobrazen tvar a výsledné rozmístění jednotlivých střížníků a ohybníků v nástroji. Jejich pevnostní výpočet je proveden v kapitole 5.



Obr. 4.8 Poloha střížníků a ohybníků

### **4.3 VLASTNOSTI DANÉHO MATERIÁLU [12, 13]**

Materiál této součásti, jak je již zmíněno výše, je 17 240. Dle nové evropské normy se tento materiál značí X5CrNi 18-10. Podle tohoto značení je patrné, že se jedná o chrom- niklovou ocel. Ocel je austenitická a nemagnetická. Tato součást se bude používat především v lodním a spotřebním průmyslu.

Vzhledem k použití v lodním průmyslu se tento materiál jeví jako vhodný, protože má dobrou odolnost proti korozi. Při jejím tváření může docházet ke zpevnění. Toto zpevnění je způsobeno přetvořením austenitu na deformační martenzit  $\Rightarrow$  snížení tažnosti, zvýšení pevnosti.

Nevýhodou tohoto materiálu je náchylnost k mezikrystalové korozi v tepelně ovlivněné oblasti. Protože tato součást nebude svařovaná, tak tato nevýhoda ničemu nevadí.

V následující tabulkách jsou uvedeny některé mechanické vlastnosti a chemické složení tohoto materiálu.

Tab. 4.1 Chemické složení [13]

C[%]	Fe[%]	Ti[%]	Cr[%]	Ni[%]
0,05	72,55-73,0	0,25-0,70	17,5	9,2

Tab. 4.2 Některé mechanické vlastnosti [12]

Rm [MPa]	Re [MPa]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	A [%]	Žíhací teplota [°C]
520-720	200	min. 210	>45	1000-1100

### **4.4 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝLISKU**

Při hodnocení technologičnosti výlisku se vychází z kapitoly 2.1.10 a 2.2.6. V těchto kapitolách jsou popsány hlavní technologické zásady, které by se při výrobě měli dodržet. U výlisku nejsou žádné vyšší požadavky na přesnost.

- U výstřižku nejsou žádné požadavky na přesnost a na kvalitu stříhaného povrchu.
- Minimální průměr, který lze prostříhnout, je 1,5 mm. Výlisek má nejmenší průměr  $d = 3$  mm.
- Nejmenší vzdálenost vystřiženého otvoru od okraje je 2,25 mm. Ve výrobku je vzdálenost 3 mm.
- Výrobek nemá žádné ostré hrany.
- Měla by být dodržena vzdálenost hrany otvoru od hrany ohybu  $a \geq 5$  mm. Na výlisku je tato vzdálenost 3 mm. Protože nejsou žádné požadavky na přesný tvar otvorů, nedodržení této podmínky ničemu nevadí.
- Minimální délka ohýbané součásti je  $H \geq 3$  mm. Na výrobku je tato vzdálenost 11 mm.
- Okraje výlisku jsou kolmé na hranu ohybu, takže nevzniknou žádné nežádoucí deformace okraje výlisku.

## 5. KONSTRUKČNÍ VÝPOČTY

Jedná se především o výpočty funkčních částí nástroje. Musí se určit velikost střížné síly, správně umístit stopka nástroje, navrhnout funkční rozměry a provést kontrolní výpočty nejdůležitějších částí nástroje.

### 5.1 VÝPOČTY U STŘIŽNÉ ČÁSTI NÁSTROJE

Protože se jedná o sdružený nástroj, budou výpočty provedeny nejprve u střížné části. V této části dochází k vystřížení obrysu součásti a dvou funkčních otvorů. Proto se budou kontrolovat především tyto části.

#### 5.1.1 Výpočet střížné síly

Protože jsou střížníky relativně malé, tak se mohou použít kolmé střížníky. K výpočtu bude použit vzorec 2.4 a tabulka 2.1.

##### Střížník Ø 3mm

$$F_{STR3} = O \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 9,425 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 620 \cdot 1,3 = \underline{7828,3 \text{ N}}$$

Obvod byl určen ze známého vztahu  $O = \pi \cdot d$

##### Střížník Ø 4mm

$$F_{STR4} = O \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 12,57 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 620 \cdot 1,3 = \underline{10\ 635 \text{ N}}$$

##### Obdélníkový střížník

Tento střížník stříhá můstek, kterým jsou součásti spojeny.

$$F_{STRO} = O \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 18,4 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 620 \cdot 1,3 = \underline{15\ 572 \text{ N}}$$

##### Tvarový střížník

$$F_{STRT} = O \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 86,13 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 620 \cdot 1,3 = \underline{72\ 892 \text{ N}}$$

Obvod byl určen pomocí programu SolidWorks

##### Celková střížná síla

Ve zvoleném nástřihovém plánu je jeden střížník o průměru 4mm, jeden střížník průměru 3 mm, jeden obdélníkový střížník a 2 tvarové střížníky. Tyto počty střížníků se musí zahrnout do celkové střížné síly.

$$F_{STRC} = F_{STR3} + F_{STR4} + F_{STRO} + 2 \cdot F_{STRT} = 7828,3 + 10635 + 15572 + 2 \cdot 72892 = 179820 \text{ N} = \underline{\underline{179,82 \text{ kN}}}$$

### **5.1.2 Výpočet stírací síly [11]**

Při vystřihování se může stát, že děrovaný materiál ulpí na střížníku. Je to způsobeno především pružnou deformací. Velikost stírací síly závisí především na druhu mazání, velikosti střížné vůle a na druhu materiálu. Na nástroji nejsou žádné stírače umístěny, protože se předpokládá samovolné oddělování odpadu od střížníků. Pro případ, že by k samovolnému oddělování odpadu nedocházelo, je zde stírací síla vypočítána.

Stírací síla se určí podle následujícího vzorce:

$$F_u = k_{eu} \cdot F_{STRC} \quad (5.1)$$

$k_{eu}$ - Koeficient- viz. Tab. 5.1

[-]

$F_{STRC}$ - Celková střížná síla

[N]

$$F_u = k_{eu} \cdot F_{STRC} = 0,115 \cdot 179820 = \underline{20\,680\text{ N}}$$

Tab. 5.1 Hodnoty koeficientů [11]

Materiál	Koeficient	
	$k_{eu}$	$k_{ev}$
Ocel	0,10 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04

### **5.1.3 Výpočet střížné práce [10]**

Střížná práce závisí především na velikosti střížné síly.

$$W_s = F_{STRC} \cdot K_1 \cdot s \quad (5.2)$$

$W_s$ - Střížná práce

[J]

$F_{STRC}$ - Celková střížná síla

[N]

$K_1$ - Koeficient

[-]

$s$ - Tloušťka materiálu

[mm]

Koeficient  $K_1$  závisí na druhu a tloušťce materiálu. Volí se z tabulky viz. Příloha 1. Protože se jedná o materiál středně tvrdý, bude  $K_1 = 0,35$  až  $0,5$ .

$$W_s = F_{STRC} \cdot K_1 \cdot s = 179820 \cdot 0,42 \cdot 1,5 = 113\,287\text{ J} = \underline{113,3\text{ kJ}}$$

### **5.1.4 Kontrola střížníků na tlak [6]**

Při tomto výpočtu se kontroluje velikost namáhání na dosedací ploše střížníku v kotevní desce. Mezní hodnota tlaku je 180 MPa. Jestliže je tato hodnota překročena, musí se použít kalená opěrná vložka. Vychází se ze vzorce:

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{STR}}{S} \quad (5.3)$$

$\sigma_{DOV}$ - Dovolené napětí	[MPa]
$F_{STR}$ - Střížná síla	[N]
S- Plocha průřezu střížníku	[mm <sup>2</sup> ]

### Střížník Ø 3mm

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{STR3}}{S} = \frac{4 \cdot 7828,3}{\pi \cdot 3^2} = 1107,5 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Opěrná deska je potřeba}$$

### Střížník Ø 4mm

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{STR4}}{S} = \frac{4 \cdot 10635}{\pi \cdot 4^2} = 846,3 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Opěrná deska je potřeba}$$

### Obdélníkový střížník

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{STRO}}{S} = \frac{15572}{5,7 \cdot 3,5} = 780,6 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Opěrná deska je potřeba}$$

### Tvarový střížník

$$\sigma_{DOV} = \frac{F_{STRT}}{S} = \frac{72892}{158,1} = 461,1 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Opěrná deska je potřeba}$$

Plocha S určena pomocí programu SolidWorks.

## **5.1.5 Kontrola střížníků na vzpěr [6]**

Při kontrole se bude vycházet ze vzorce 5.4. Zde se vypočte kritická délka střížníku. Jedná se o maximální délku střížníku, při které nedojde ke vzpěru. Kontrolovat se bude pouze střížník s nejmenším průřezem. Tím se určí maximální délka střížníku a ostatní střížníky se nemusí dále kontrolovat. Střížník bude veden pomocí vodící desky. Tomu tedy odpovídá i vzorec.

Další možností, jak určit kritickou délku střížníku, je pomocí diagramu. Tento diagram je uveden v příloze 2.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} \quad (5.4)$$

$l_{krit}$ - Kritická délka	[mm]
E- modul pružnosti v tahu	[MPa]
I- Moment setrvačnosti v průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
n- Koeficient bezpečnosti 1,5÷2	[-]
d- Průměr střížníku	[mm]
s- Tloušťka materiálu	[mm]
$\tau_s$ - Střížný odpor materiálu	[MPa]

$$I_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,976}{1,75 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 434}} = \underline{98,2 \text{ mm}}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3^4}{64} = 3,976 \text{ mm}^4$$

### **5.1.6 Výpočet střížné vůle**

Při určování střížné vůle se vychází ze vztahu 2.2, který je uveden v kapitole 2.1.3.

$$v_{opt} = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,1 = \underline{0,2 \text{ mm}}$$

$$z = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot 0,01 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{434} = 0,1 \text{ mm}$$

### **5.1.7 Výpočet tloušťky střížnice [6]**

Když se počítá tloušťka střížnice, předpokládá se, že je střížnice rovinná deska, která je namáhána ohybem a tlak je rovnoměrně rozložen po střížném obvodu. Největší dovolené namáhání u střížnic  $\sigma_o$  by nemělo překročit 300 MPa. Tloušťka střížnice se vypočte z následujícího vzorce.

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_{STRC}}{\sigma_o}} \quad (5.5)$$

H- tloušťka střížnice

[mm]

$\sigma_o$ - dovolené namáhání v ohybu

[MPa]

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_{STRC}}{\sigma_o}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 179820}{300}} = 38,71 \cong \underline{40 \text{ mm}}$$

## **5.2 VÝPOČTY U OHÝBACÍ ČÁSTI NÁSTROJE**

Po vystřížení všech potřebných otvorů a tvarů bude následovat ohyb. Ohybník i ohybnice budou mít tvar výsledné součásti.

### **5.2.1 Stanovení ohýbací síly a práce [15]**

Při výpočtu ohýbací síly se vychází ze vzorce 2.5 a 2.7 z kapitoly 2.2.2. Podle tvaru součásti se předpokládá, že se jedná o ohyb do tvaru U a o dva ohyby ve tvaru V.

Po ohnutí bude docházet k odstřížení hotového výlisku. Aby se zajistila správná poloha výlisku, tak je v nástroji umístěn ještě jeden ohybník, který je odpružen talířovými pružinami. Tyto pružiny se musí zahrnout do výpočtu síly. Tento ohybník zároveň eliminuje odpružení.

### Tvar U

$$F_{OU} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100} = \frac{1}{2} \cdot \frac{620 \cdot 6 \cdot 1,5^2}{100} = \underline{41,85 \text{ kN}}$$

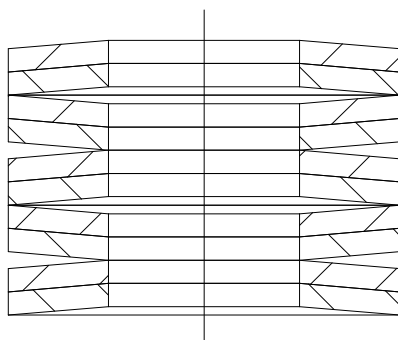
### Tvar V

$$F_{OV} = 2 \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100 \cdot l} = 2 \cdot \frac{620 \cdot 6 \cdot 1,5^2}{100 \cdot 10} = \underline{16,74 \text{ kN}}$$

$$F_{OH} = F_{OU} + F_{OV} = 41,85 + 16,74 = 58,6 \text{ kN}$$

### Síla vyvozená pružinami

Talířové pružiny, které zajišťují stlačení kalibrovacího ohybníku, se stlačí o 2,7 mm. Pružiny jsou v tzv. kombinovaném uložení. Toto uložení umožňuje přenést větší zatížení - viz. Obr. 5.1. Tento ohybník eliminuje odpružení. Je proto nutné, aby napětí vyvolané kalibrovacím ohybníkem bylo větší, než je mez kluzu materiálu součásti. Tato mez je 200 MPa.



Obr. 5.1 Talířové pružiny [15]

V nástroji jsou tyto sady dvě. Takže výsledná síla od těchto pružin je:

$$F_{pr} = 2 \cdot n \cdot F \tag{5.6}$$

n- Počet pružin

[-]

F- Síla při stlačení 2,7 mm

[N]

$$F_{PR} = 2 \cdot n \cdot F = 2 \cdot 10 \cdot 3895 = \underline{77,9 \text{ kN}}$$

$$\sigma = \frac{F_{PR}}{S_{PR}} \tag{5.7}$$

$F_{PR}$ - Síla vyvozená pružinami

[N]

$S_{PR}$ - Plocha výstřižku, na kterou ohybník působí

[mm<sup>2</sup>]

$$\sigma = \frac{F_{PR}}{S_{PR}} = \frac{77900}{317,8} = \underline{245,1 \text{ MPa} \geq 200 \text{ MPa}}$$

Plocha  $S_{PR}$  byla určena pomocí programu SolidWorks.

### Ohýbací síla

$$F_O = F_{OU} + F_{OV} + F_{PR} = 41,85 + 16,74 + 77,9 = \underline{136,49 \text{ kN}}$$

Ohýbací práce se určí ze vztahu 2.8 z kapitoly 2.2.2. V nástroji není použit přidržovač, protože ustavení součásti do správné polohy zajišťuje kalibrovací ohybník.

$$A_O = m \cdot (F_O + F_P) \cdot h = 0,66 \cdot 136490 \cdot 14 = 1261168 \text{ J} = \underline{1261,2 \text{ kJ}}$$

### 5.2.2 Výpočet $R_{min}$ a $R_{max}$

Při stanovení  $R_{min}$  a  $R_{max}$  se bude vycházet z kapitoly 2.2.5 ze vzorců 2.13 a 2.14.

$$R_{min} = \frac{s \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} = \frac{1,5 \cdot (1 - 0,45)}{2 \cdot 0,45} = \underline{0,92 \text{ mm}}$$

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{200} - 1 \right) = \underline{786 \text{ mm}}$$

### 5.2.3 Stanovení velikosti odpružení

Při výpočtu se vychází ze vzorce 2.11 a 2.12 z kapitoly 2.2.4. Výpočet bude tedy proveden pro ohyb do tvaru U a do tvaru V. Součást se ohýbá celkem 3x. Dva ohyby jsou na R2 a jsou stejné. Jeden ohyb je na R6. Součinitel k je určen pomocí tabulky viz. Příloha 3.

#### Ohyb 1- tvar V

$$\text{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{10}{0,57 \cdot 1,5} \cdot \frac{200}{2,1 \cdot 10^5} = 0,0042 \Rightarrow \beta = 0,24 = \underline{0^\circ 14'}$$

#### Ohyb 2- tvar U

$$\text{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{15,3}{0,52 \cdot 1,5} \cdot \frac{200}{2,1 \cdot 10^5} = 0,014 \Rightarrow \beta = 0,80 = \underline{0^\circ 48'}$$

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s = 7,5 + 6 + 1,2 \cdot 1,5 = 15,3 \text{ mm}$$

### 5.2.4 Vůle mezi pohyblivou a pevnou čelistí [6]

$$v = (s \div s_{max}) + c \cdot s \tag{5.8}$$

v- Vůle mezi nástroji [mm]

s- Tloušťka plechu

[mm]

$s_{max}$ - Největší tloušťka plechu

[mm]

c- Součinitel

[-]

Součinitel c byl zjištěn z tabulky z přílohy 4.

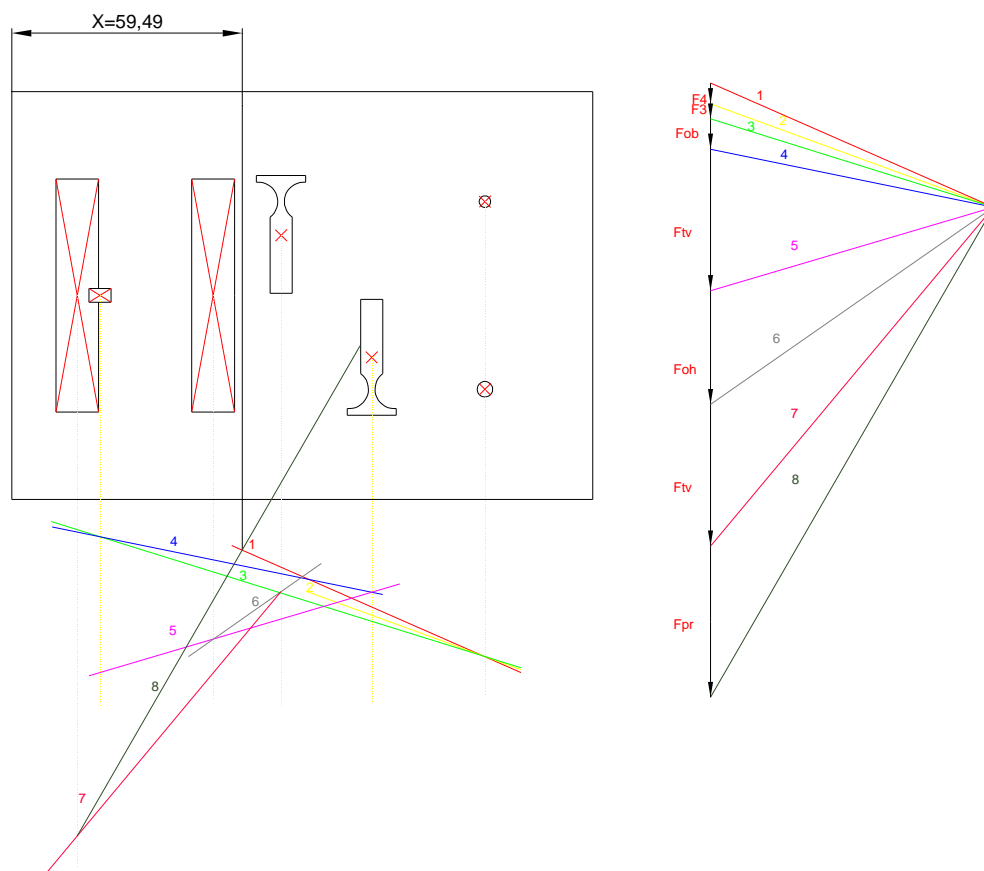
$$v = (s \div s_{max}) + c \cdot s = 1,5 + 0,1 \cdot 1,5 = \underline{1,65 \text{ mm}}$$

### **5.3 POLOHA STOPKY [4, 6]**

Jestliže má lisovací nástroj správně fungovat, musí se stopka nástroje umístit do těžiště střížných a ohybových sil. Kdyby se stopka umístila mimo tuto výslednici, byl by beran lisu zatížen klopným momentem. Tento klopný moment způsobuje menší přesnost výrobků a snižuje životnost nástroje.

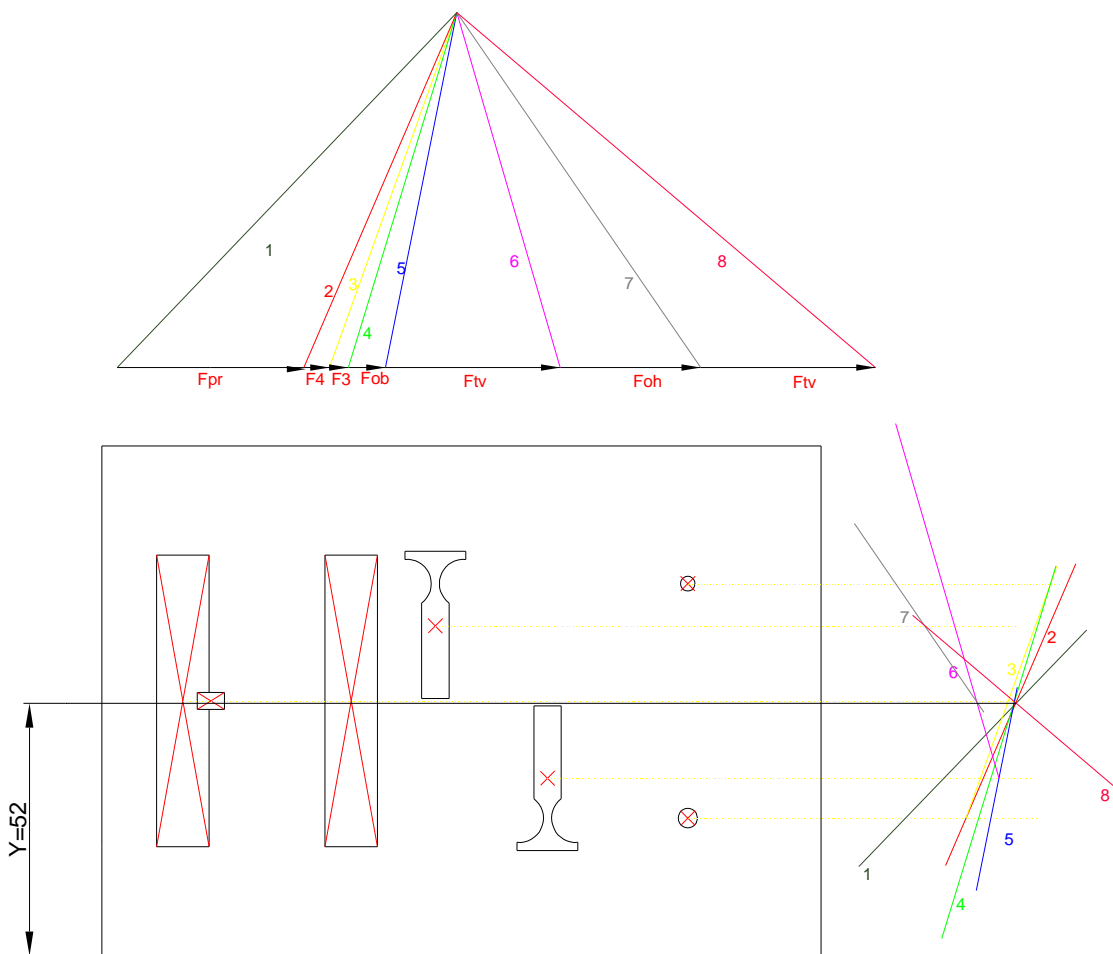
Polohu těžiště lze určit graficky nebo početně. Při určování polohy se vychází z toho, že jsou mechanické vlastnosti pro daný výstřížek stejné. Proto je velikost střížné síly přímo úměrná obvodu děrovaného otvoru. Těžiště bylo určováno z rozměrů střížnice. Na nástroji se poloha těžiště přepočítá na rozměry upínací desky.

#### **5.3.1 Grafické určení těžiště**



Obr. 5.2 Poloha těžiště v ose x

X= 59,49 mm



Obr. 5.3 Poloha těžiště v ose y

Y= 52 mm

### 5.3.2 Určení těžiště výpočtem

Při určování těžiště výpočtem se vychází z podmínky pro rovnovážný stav. To znamená, že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule. Z této podmínky byly odvozeny následující vzorce.

$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + F_4 \cdot d + F_5 \cdot e + F_6 \cdot f}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6} \quad (5.9)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1 + F_4' \cdot d_1 + F_5' \cdot e_1 + F_6' \cdot f_1}{F_1' + F_2' + F_3' + F_4' + F_5' + F_6'} \quad (5.10)$$

X- Vzdálenost výslednice sil od osy y [mm]  
 Y- Vzdálenost výslednice sil od osy x [mm]  
 a,b,c,a<sub>1</sub>,b<sub>1</sub>,c<sub>1</sub>- Vzdálenosti jednotlivých sil od osy [mm]

### Pro osu X

$$F_1 = F_{PR} \quad F_2 = F_{STRO} \quad F_3 = F_{OH} \quad F_4 = F_{STRT} \quad F_5 = F_{STRT} \quad F_6 = F_{STR3} \quad F_7 = F_{STR4}$$

$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + F_4 \cdot d + F_5 \cdot e + F_6 \cdot f + F_7 \cdot f}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7} =$$

$$= \frac{77900 \cdot 16,9 + 15572 \cdot 22,75 + 58600 \cdot 52 + 72892 \cdot 69,55 +}{77900 + 58600 +}$$

$$+ \frac{72892 \cdot 92,95 + 7828,3 \cdot 122,25 + 10625 \cdot 122,25}{15572 + 2 \cdot 72892 + 10625 + 7828,3} = \underline{59,49 \text{ mm}}$$

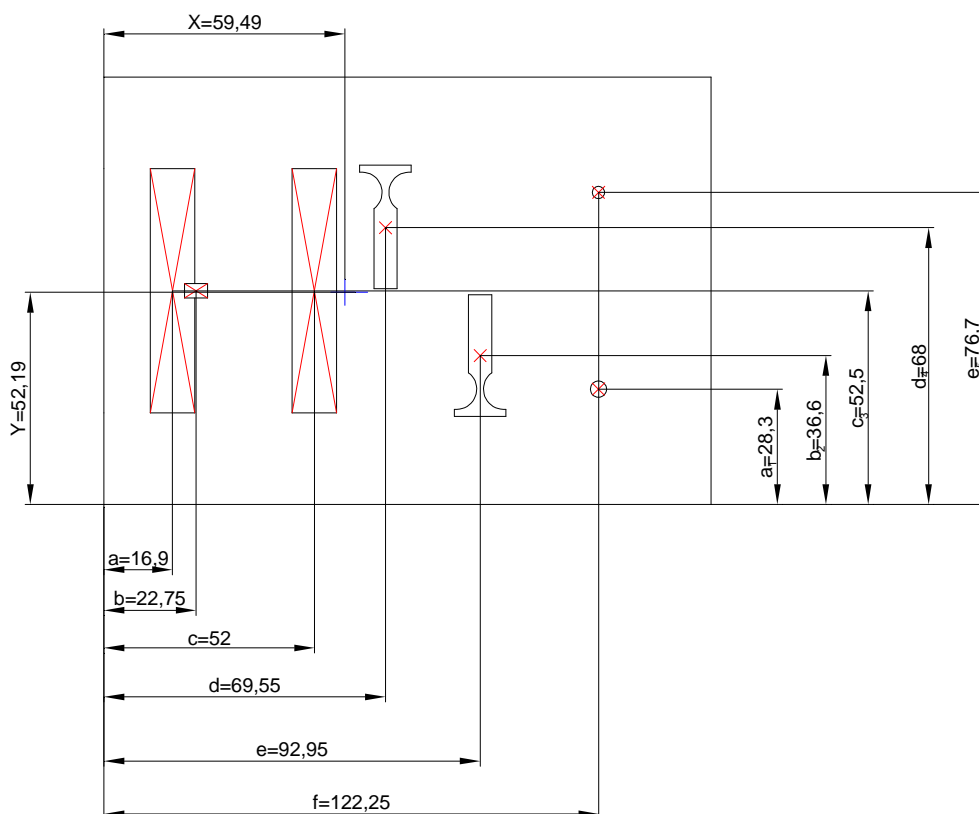
### Pro osu Y

$$F_1' = F_{STR4} \quad F_2' = F_{STRT} \quad F_3' = F_{OH} \quad F_4' = F_{STRO} \quad F_5' = F_{PR} \quad F_6' = F_{STRT} \quad F_7' = F_{STR3}$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1 + F_4' \cdot d_1 + F_5' \cdot e_1 + F_6' \cdot f_1}{F_1' + F_2' + F_3' + F_4' + F_5' + F_6'} =$$

$$= \frac{10635 \cdot 28,3 + 72892 \cdot 36,6 + 58600 \cdot 52,5 + 15572 \cdot 52,5 + 38950 \cdot 52,5 + 72892 \cdot 68 + 7828,3 \cdot 76,7}{10635 + 2 \cdot 72892 + 58600 + 38950 + 15572 + 7828,3} =$$

$$= \underline{52,19 \text{ mm}}$$



Obr. 5.4 Poloha těžiště určená výpočtem

Při grafickém určení polohy stopky jsou souřadnice těžiště  $T = [65,48;52,00]$  a při určení těžiště výpočtem je  $T = [65,48;52,19]$ . Při porovnání obou výsledků bylo zjištěno, že rozdíly hodnot jsou zanedbatelné.

$$\Delta x = |65,48 - 65,48| = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta y = |52,13 - 52,15| = 0,19 \text{ mm}$$

## **5.4 TOLERANCE FUNKČNÍCH ČÁSTÍ NÁSTROJE**

Při určování výrobních tolerancí nástroje se vychází z tolerancí součástí. Protože u součástky nejsou kladeny žádné zvýšené požadavky na přesnost vnějších a vnitřních tvarů, tak nástroj nemusí být vysoce přesný. Při stříhání dochází k odstříhování odpadu. Proto mají hlavní rozměry střížníky a rozměry střížnice se určují z rozměrů střížníku. Součástka bude vyrobena ve všeobecné toleranci podle ISO 2768-mK.

Funkční rozměry na střížnici nejsou zakótovány, protože se budou vyrábět podle rozměrů střížníků.

U tolerancí polohy a rozměrů otvorů pro kolíky a šrouby by se mělo vycházet z vodící desky, ke které je střížnice připevněna, aby byly otvory vůči sobě ve správné poloze. Protože když se tato podmínka nedodrží, mohou nastat komplikace při montáži.

## **5.5 POPIS NÁSTROJE**

V této kapitole bude uveden stručný popis konstrukce sdruženého nástroje, který byl navržen pro výrobu třmenu.

Ve sdruženém nástroji probíhá stříhání a ohýbání. Proto se skládá ze střížníků a ohybníků. Tyto nástroje jsou upevněny v kotevní desce pomocí osazení. Nástroje jsou opřeny o kalenou opěrnou desku a tato deska je i s kotevní deskou přišroubována k upínací desce. K upínací desce je dále přišroubována stopka. Střížníky i ohybníky jsou vedeny pomocí vodící desky.

Ohybníky jsou opatřeny vyhadzovači. Ty zajišťují, aby součástky po ohnutí nezůstaly zaklíněné v ohybnících. Druhý ohybník je spojen s obdélníkovým střížníkem, který stříhá můstek spojující součástky. Tento ohybník zajišťuje správnou polohu součásti před stříháním můstku a zároveň eliminuje odpružení na součástce. Tento ohybník se stlačuje o 2,7 mm a toto stlačení je zajištěno talířovými pružinami.

Střížnice i ohybnice jsou provedeny jako jeden kus. Protože je součást relativně malá, tak je střížnice prodloužená o kroky naprázdno, aby nedošlo k jejímu prasknutí. Střížnice je spojená pomocí šroubů a kolíků s vodící deskou a těmito šrouby je zároveň přidělaná ke spodní upínací desce.

Posun plechu v nástroji je zajištěn krokovým podavačem a v nástroji je proto pouze načínací doraz. Tento doraz je určen pouze pro první krok u každého svitku. Po provedení tohoto kroku se doraz vysune z pracovní polohy. Dále je přesná poloha plechu zajištěna dvěma hledáčky, které se zasunou do otvorů vystřížených v prvním kroku. Plech je veden pomocí vodících lišt. Ve vodící desce je otvor na přišroubování výškového dorazu. Tento doraz bude zajišťovat bezpečnou přepravu nástroje.

Při pracovním zdvihu nástroje vzniká nebezpečný prostor mezi kotevní deskou a vodící deskou. Proto je tento prostor chráněn plechovými kryty. Tyto kryty jsou přišroubovány k vodící desce.

Aby nedošlo k pootočení horní části nástroje o 180°, tak jsou tři vodící sloupky stejného průměru a jeden sloupek má průměr větší. Tyto sloupky jsou zalisovány ve spodní upínací desce a spodní část nástroje se upíná ke stolu lisu pomocí základové desky. Protikusem k vodícím sloupkům jsou vodící pouzdra, která jsou zalisována v upínací desce.

Posun součásti z nástroje je zajištěn posunem plechu a součást sjede po skluzu do připravené bedny.

## **5.6 VOLBA STROJE [9]**

Při výrobě této součásti bude použit výstředníkový lis firmy TOMA INDUSTRIES. Při určení vhodného lisu se vychází ze součtu všech sil potřebných k výrobě součásti. Proto musí být zvolen lis, který má větší jmenovitou sílu, než je tento součet.

Střížná síla:	$F_{STRC} = 179\,820\text{ N}$
Stírací síla:	$F_U = 20\,680\text{ N}$
Ohýbací síla	$F_O = 136\,490\text{ N}$
<b>Celková síla:</b>	<b><math>F_c = 336\,990\text{ N}</math></b>

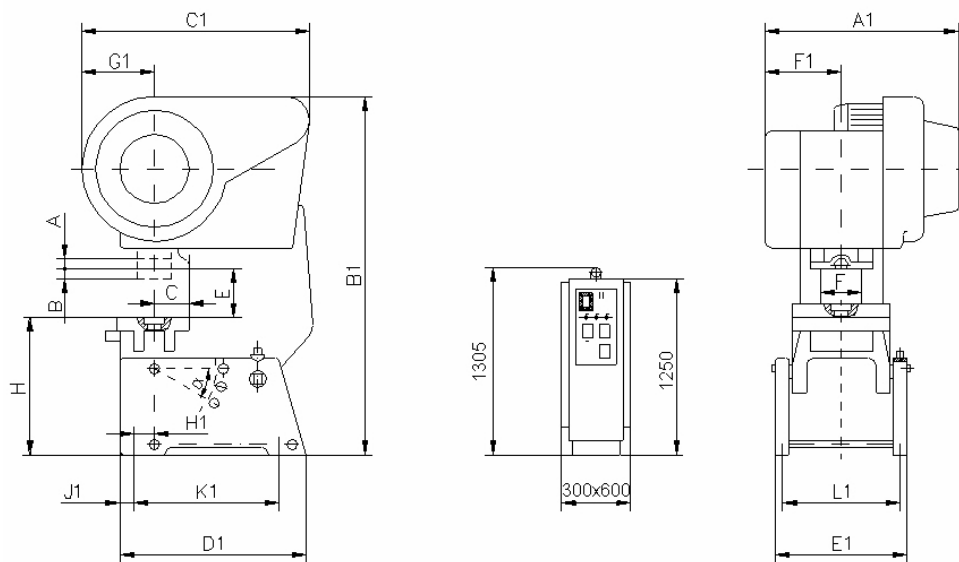
Vzhledem k velikosti této síly se jeví jako vhodný lis typu **LEN 40 C**, protože jeho jmenovitá síla je 400 kN.

### **Technické parametry lisu**

Jmenovitá síla lisu		400	[kN]
Počet zdvihů- trvalý chod P/R		70/140	[1/min]
Využitelný počet jednotlivých zdvihů P/R		35/-	[1/min]
Elektromotor- výkon		3,5/7	[kW]
- otáčky		710/1450	[1/min]
Elektrické napětí- síťové		380/50	[V/Hz]
- ovládací		24/50	[V/Hz]
- osvětlení		24/50	[V/Hz]
Stavitelnost zdvihu	A	8-95	[mm]
Stavitelnost beranu	B	60	[mm]
Vyložení	C	265	[mm]
Sevření	E	295	[mm]
Plocha stolu		530x660	[mm]
Plocha beranu		250x400	[mm]
Tloušťka stolové desky		75	[mm]
Rozměry lisu	A <sub>1</sub>	1250	[mm]
	B <sub>1</sub>	2370	[mm]
	C <sub>1</sub>	1585	[mm]
	D <sub>1</sub>	1220	[mm]
	E <sub>1</sub>	830	[mm]
	F <sub>1</sub>	450	[mm]
	G <sub>1</sub>	505	[mm]

	H	800	[mm]
	H <sub>1</sub>	120	[mm]
	J <sub>1</sub>	130	[mm]
	K <sub>1</sub>	900	[mm]
	L <sub>1</sub>	738	[mm]
Sklopení stojanu	α	0, 15°, 30°	
Hmotnost lisu		4500	[kg]

Všechny technické parametry jsou převzaty přímo ze stránek výrobce.



Obr. 5.5 Rozměry lisu LEN 40 C [9]

## 6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

V ekonomickém hodnocení budou porovnány náklady na výrobu dané součásti při použití současné technologie (viz. Kapitola 3) a při použití nové technologie. To znamená, že se do výpočtu zahrnou náklady na výrobu nástroje, energie, náklady na mzdu a samozřejmě cena materiálu. Předpokládá se, že navržený lis LEN 40 C je součástí technologického parku dané firmy.

### 6.1 NÁKLADY NA MATERIÁL

V této kapitole budou porovnány náklady na materiál stávající výroby a náklady při výrobě sdruženým nástrojem. Jak již bylo zmíněno, velikost série je 400 000 ks.

#### 6.1.1 Náklady na materiál u současné technologie

Součást se stříhá z pásů, které jsou nastříhány z tabule plechu. Cena za 1 kg plechu u materiálu 17 240 je:

$$C_{T1} = 98,9 \text{ Kč/kg}$$

#### Výpočet hmotnosti plechu

$$m_1 = S_{pl} \cdot t \cdot \rho \cdot Q \quad (6.1)$$

$S_{pl}$ - Plocha plechu na 1 výstřížek (61,7·11,7)	[mm <sup>2</sup> ]
$t$ - Tloušťka plechu	[mm]
$\rho$ - Hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$Q$ - Velikost série	[-]
$m_1$ - Hmotnost materiálu	[kg]

$$m_1 = S_{pl} \cdot t \cdot \rho \cdot Q = 721,89 \cdot 1,5 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} \cdot 400000 = \underline{3400,1 \text{ kg}}$$

#### Výpočet ceny plechu

$$C_{p1} = C_{T1} \cdot m_1 \quad (6.2)$$

$$C_{p1} \text{- Cena materiálu} \quad [\text{Kč}]$$

$$C_{p1} = C_{T1} \cdot m_1 = 98,9 \cdot 3400,1 = \underline{336\,270 \text{ Kč}}$$

#### Výpočet množství odpadu

Zde se musí nejprve přepočítat využití materiálu, protože v kapitole 4.2.2 je využití materiálu počítáno s plochou výlisku bez vystřížených otvorů. Proto zde bude plocha výlisku menší o plochu otvorů.

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{256 \cdot 371,8}{185100} \cdot 100 = \underline{\underline{51,4 \%}}$$

$$S_p = b \cdot L = 61,7 \cdot 3000 = 185\,100 \text{ mm}^2$$

Je tedy jasné, že velikost odpadu je 48,6%.

$$m_{od1} = 0,486 \cdot m_1 \quad (6.3)$$

$m_{od1}$  - Hmotnost odpadu [kg]

$$m_{od1} = 0,486 \cdot m_1 = 0,486 \cdot 3400,1 = \underline{1652,5 \text{ kg}}$$

### Cena odpadu

Předpokládaná cena za 1 kg odpadu je 2 Kč.

$$C_{od1} = 2 \cdot m_{od1} \quad (6.4)$$

$C_{od1}$  - Cena odpadu [Kč]

$$C_{od1} = 2 \cdot m_{od1} = 2 \cdot 1652,5 = \underline{3305 \text{ Kč}}$$

### Výsledné náklady na materiál

$$C_{m1} = C_{p1} - C_{od1} = 336270 - 3305 = \underline{332965 \text{ Kč}} \quad (6.5)$$

$C_{m1}$  - Výsledné náklady na materiál [Kč]

## **6.1.2 Náklady na materiál u nové technologie**

Jak již bylo zmíněno, bude použit jako základní materiál svitek plechu. Jeho rozměry se musí přizpůsobit počtu kusů a velikosti součásti, která je zvětšená o přídavky. Svitek bude umístěn na jednostranném odvíjáku typu QOPJ 250/1400 od firmy TOMA INDUSTRIES. Jeho parametry jsou uvedeny v Příloze 5. Na tento odvíják se může umístit svitek s maximálním vnějším průměrem 1250 mm a maximální hmotnost svitku je 1400 kg. Z těchto základních parametrů se musí vycházet, při výpočtu rozměrů svitku.

Svitek bude dále podáván a rovnán pomocí rovnačky QPRM 300/6. Její parametry jsou v příloze 6.

### Výpočet vnějšího průměru svitku

Zde se bude vycházet z maximální nosnosti odvíjáku. Tedy z  $m = 1400 \text{ kg}$ . Hodnota  $D_{VNI}$  je určena z přílohy 5.

$$\begin{aligned} \frac{D_{VNE}^2 - D_{VNI}^2}{4} \cdot \pi \cdot b &= \frac{m}{\rho} \Rightarrow D_{VNE} = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot b} + D_{VNI}^2} = \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot 1400}{7850 \cdot 10^{-9} \cdot \pi \cdot 61,7} + 400^2} = \underline{1960 \text{ mm}} \end{aligned}$$

### Výpočet maximální hmotnosti svitku

Při tomto výpočtu se vychází z maximálního vnějšího průměru svitku, který lze umístit na odvíják.

$$m = \frac{D_{VNE}^2 - D_{VNI}^2}{4} \cdot \pi \cdot b \cdot \rho = \frac{1250^2 - 400^2}{4} \cdot \pi \cdot 61,7 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = \underline{533,5 \text{ kg}}$$

Je jasné, že se vychází z maximálního průměru svitku, kdy  $m = 533,5 \text{ kg}$ . Protože při výpočtu z maximální hmotnosti je  $D_{VNE} = 1960 \text{ mm}$  a tato hodnota výrazně překračuje dovolený průměr.

### Výpočet plochy svitku

$$S_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{VNE}^2 - D_{VNI}^2}{4} = \pi \cdot \frac{1250^2 - 400^2}{4} = \underline{1101521 \text{ mm}^2}$$

### Potřebná délka svitku

$$L_p = k \cdot 400\,000 = 11,7 \cdot 400\,000 = 4\,680\,000 \text{ mm} = \underline{4\,680 \text{ m}}$$

### Délka svitku

$$L_v = \frac{S_{sv}}{s} = \frac{1101521}{1,5} = 734348 \text{ mm} = \underline{735 \text{ m}}$$

### Potřebný počet svitků

$$p = \frac{L_p}{L_v} = \frac{4680}{735} = \underline{6,37 \text{ svitku}}$$

Z výpočtů je jasné, že je potřeba 6 svitků v délce 735 m a jeden svitek v délce 272 m.

### Využití materiálu

Zde je proveden přepočítání využití materiálu pomocí vzorce 4.2 z kapitoly 4.2.1.

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{400000 \cdot 371,8}{734348 \cdot 6,37 \cdot 61,7} \cdot 100 = 51,5 \%$$

### Výpočet ceny materiálu

Cena za 1kg materiálu ve svitku je:

$$C_{T2} = 101,5 \text{ Kč}$$

$$C_{p2} = C_{T2} \cdot m_2 \tag{6.6}$$

$C_{p2}$ - Cena materiálu [Kč]

$$C_{p2} = C_{T2} \cdot m_2 = 101,5 \cdot 3400 = \underline{345\,100\text{ Kč}}$$

#### Výpočet množství odpadu

$$m_{od2} = 0,485 \cdot m_2 \quad (6.7)$$

$m_{od2}$ - Hmotnost odpadu [kg]

$$m_{od2} = 0,485 \cdot m_2 = 0,485 \cdot 3400 = \underline{1649\text{ kg}}$$

#### Cena odpadu

Předpokládaná cena za 1 kg odpadu je 2 Kč.

$$C_{od2} = 2 \cdot m_{od2} \quad (6.8)$$

$C_{od2}$ - Cena odpadu [Kč]

$$C_{od2} = 2 \cdot m_{od2} = 2 \cdot 1649 = \underline{3298\text{ Kč}}$$

#### Výsledné náklady na materiál

$$C_{m2} = C_{p2} - C_{od2} = 345100 - 3298 = \underline{341\,802\text{ Kč}} \quad (6.9)$$

$C_{m2}$ - Výsledné náklady na materiál [Kč]

### **6.2 Náklady na mzdy**

Při výpočtu nákladů na mzdy se musí vycházet ze základních údajů.

- Životnost nástroje

$$T_N = 2 \text{ roky}$$

- Dílenské režie

- výrobní režie VR=442 %
- jednicové mzdy JM= 100 %
- správní režie SR= 115 %
- ostatní přímé náklady OPN= 24%

- Zpracovatelské režie

$$\begin{aligned} ZR &= VR + JM + SR + OPN \\ ZR &= 442 + 100 + 115 + 24 = 681\% \end{aligned} \quad (6.10)$$

- pracovní třídy na výrobu nástrojů

$$TKK\ 6 = 118\text{ Kč}$$

$$TKK\ 7 = 130\text{ Kč}$$

## **6.2.1 Náklady na mzdy u současné technologie**

### Jednicové mzdy

$$JM = N_h \cdot T_{KK} \quad (6.11)$$

N<sub>h</sub>- Počet normohodin [h]  
T<sub>KK</sub>- Pracovní třída [Kč/h]

- Stříhání pásů plechu

$$JM_1 = N_h \cdot T_{KK} \cdot 7 = 16 \cdot 130 = \underline{2080 \text{ Kč}}$$

- Postupové stříhadlo

$$JM_2 = N_h \cdot T_{KK} \cdot 6 = 300 \cdot 118 = \underline{35\,400 \text{ Kč}}$$

- Ohýbadlo

$$JM_3 = N_h \cdot T_{KK} \cdot 6 = 1000 \cdot 118 = \underline{118\,000 \text{ Kč}}$$

- Celkové náklady

$$JM = JM_1 + JM_2 + JM_3 = 2080 + 35400 + 118000 = \underline{155\,480 \text{ Kč}}$$

## **6.2.2 Náklady na mzdy u nové technologie**

### Jednicové mzdy

- Sdružený nástroj

$$JM = N_h \cdot T_{KK} \cdot 7 = 210 \cdot 130 = \underline{27\,300 \text{ Kč}}$$

## **6.3 Náklady na nástroj**

Cena nástroje u současné technologie byla určena odhadem. U nové technologie byla vypočítána.

### **6.3.1 Současné nástroje**

Vzhledem k tomu, že nebylo možné získat podklady pro ekonomickou rozvahu výroby stávajících nástrojů, byla cena nástroje dle orientačního průzkumu stanovena na následující hodnotu.

$$N_1 = \underline{180\,000 \text{ Kč}}$$

### **6.3.2 Nový nástroj**

Do ceny nástroje budou zahrnuty zpracovatelské náklady, zisk podniku a náklady na materiál nástroje.

### Zpracovatelské náklady

$$ZN = ZR \cdot JM \quad (6.12)$$

ZN- Zpracovatelské náklady [Kč]

$$ZN = ZR \cdot JM = 6,81 \cdot 27300 = \underline{185\,913 \text{ Kč}}$$

### Zisk podniku

Zisk podniku je 15% ze zpracovatelských nákladů.  
 $Z = 0,15 \cdot ZN$  (6.13)

Z- Zisk [Kč]

$$Z = 0,15 \cdot ZN = 0,15 \cdot 185913 = \underline{27\,887 \text{ Kč}}$$

### Náklady na materiál nástroje

Tab. 6.1 Náklady na materiál nástroje

Druh materiálu	Cena za 1kg [Kč]	Hmotnost materiálu [kg]	Náklady[Kč]
Tř. 11	16,8	34	571,2
Tř. 12	24,93	1,2	30
Tř. 19	197,6	5,3	968,24
Normalizované souč.			1047,3
<b>Celkové náklady</b>			<b><math>\Sigma=2617</math></b>

### Náklady na nástroj

$$N_2 = NZ + N + \text{Celkové náklady} \quad (6.14)$$

$N_2$ - Náklady na nástroj [Kč]

$$N_2 = NZ + N + \text{Celkové náklady} = 185913 + 27887 + 2617 = \underline{216\,417 \text{ Kč}}$$

Nový nástroj je dražší především kvůli složitější a náročnější výrobě jednotlivých částí nástroje.

### 6.4 Náklady na energii

Náklady byly určeny z velikosti příkonů jednotlivých strojů a z ceny jedné kWh. Předpokládaná cena jedné kWh je 3 Kč.

#### 6.4.1 Náklady na energii u současné technologie

Tab. 6.2 Náklady na energii u současné výroby

Použitý stroj	Příkon [kW]	Počet Nh [h]	vzorec	Náklady [Kč]
Tabulové nůžky	7	16	7·16·3	336
LEN 40 C	3,5	1300	3,5·1300·3	13650
<b>Celkové náklady</b>				<b>Σ=13 986</b>

#### 6.4.2 Náklady na energii u nové technologie

Tab. 6.3 Náklady na energii u nové výroby

Použitý stroj	Příkon [kW]	Počet Nh [h]	vzorec	Náklady [Kč]
LEN 40 C	3,5	210	3,5·210·3	2205
Odviják QOPJ 250/1400	0,55	210	0,55·210·3	347
Podávací rovnačka QPRM 300/6	3,3	210	3,3·210·3	2079
<b>Celkové náklady</b>				<b>Σ=4631</b>

#### 6.5 Porovnání obou variant

Tab. 6.4 Porovnání obou variant

Náklady [Kč]	Současná technologie	Nová technologie
Náklady na materiál	332 965	341 802
Náklady na mzdy	155 480	27 300
Náklady na nástroje	180 000	216 417
Náklady na energii	13 986	4631
Celkové náklady	682 431	590 150
<b>Náklady na 1 kus</b>	<b>1,71</b>	<b>1,48</b>

Za tabulky 6.4 vyplývá, že náklady na 1 součást klesly o 0,23 Kč. Při velikosti série 400 000 ks je tento rozdíl 92 000 Kč. Hlavní příčinou tohoto poklesu je především snížení nákladů na mzdy. S tím zároveň souvisí i zkrácení výrobních časů. Při zavedení nové výroby bude výrobní čas zkrácen o 1106 hodin.

Další výhodou nové technologie je úspora elektrické energie, kdy rozdíl ve spotřebě činí 9355 Kč. Tento rozdíl je způsoben výrazným zkrácením výrobních časů.

Nový nástroj je o 36 018 Kč dražší. To je způsobeno především náročnější výrobou sdruženého nástroje, protože tento nástroj je podstatně složitější než klasická postupová stříhadla a ohýbadla.

Na základě těchto údajů lze konstatovat, že použití sdruženého nástroje je ekonomicky výhodné především kvůli zkrácení výrobních časů a snížení výrobních nákladů na jednu součást.

## **7. ZÁVĚR**

Zadáním diplomové práce bylo navržení sdruženého nástroje pro výrobu třmenu. Třmen je z materiálu 17 240 (X5CrNi 18-10). V práci je provedena literární studie zaměřená na proces ohýbání a stříhání. V této kapitole je provedena stručná charakteristika těchto dvou metod. Poté se práce zabývá zhodnocením současné výroby. Tato výroba spočívala v použití klasických postupových nástrojů.

Dále byl proveden návrh technologie nové výroby. V této kapitole je nejprve proveden výpočet rozvinuté délky součásti a poté jsou zpracovány dva nástřihové plány a z nich zvolen ten vhodnější. Při výběru nástřihového plánu se vycházelo z využití materiálu a z rozmístění součásti na pásu plechu, protože toto rozmístění výrazně ovlivňuje složitost nástroje. Z těchto důvodů byla zvolena Varianta 2. Poté je provedeno hodnocení technologičnosti výstřížku. Zde se kontroluje, zda jsou dodrženy hlavní technologické zásady při stříhání a ohýbání vyráběné součástky.

Následují konstrukční výpočty zaměřené především na výpočet tvářecích sil a kontrolní výpočty vybraných částí nástroje. Podle velikosti jednotlivých střížných a ohybových sil bylo určeno těžiště nástroje. V tomto těžišti bude umístěna stopka nástroje. Celková tvářecí síla je 336 900 N. Do této síly byla zahrnuta i síla od pružin. Tyto pružiny zajišťují stlačení kalibrovacího ohybníku v posledním kroku. Toto stlačení umožňuje odstřížení hotového výrobku a kalibrovací ohybník současně eliminuje odpružení.

Podle velikosti celkové tvářecí síly byl určen stroj. Jedná se o výstředníkový lis LEN 40 C od firmy TOMA INDUSTRIES.

V poslední kapitole je provedeno ekonomické hodnocení. Zde se porovnávají náklady na současnou výrobu s náklady na novou výrobu. Toto porovnání je pouze orientační, protože nebylo možné získat podklady k cenám současných nástrojů. Při velikosti série 400 000 ks je rozdíl v nákladech na jednu součást 0,23 Kč a levnější je součást vyráběná novou technologií. Je tedy patrné, že novou technologií se ušetří 92 000 Kč. Tato úspora je způsobena především výrazným snížením nákladů na mzdy a zkrácením výrobního času. Jestliže by se série ještě zvýšila, tak by byl rozdíl v nákladech podstatně větší.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno : CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II : tváření kovů, tváření plastů* [online]. 1998/2005 [cit. 2009-01-15]. Český. Dostupný z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/uvod.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm)>.
- [3] DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. Brno : CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [4] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Jindřich Klůna, Jiří Košek. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s.
- [5] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. Praha : ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [6] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno : VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [7] BŘEZINA, Richard, PETRUŽELKA, Jiří. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 2002. 116 s. ISBN 80-248-0068-3.
- [8] BÍLIK, Jozef, ULÍK, Anton, KAPUSTOVÁ, Mária. *Technológia tvárnenia : Návody do cvičenia*. Bratislava : STU, 2004. 171 s. ISBN 80-227-2099-2.
- [9] TOMA INDUSTRIES. *TOMA INDUSTRIES spol. s.r.o.* [online]. 2006 [cit. 2009-03-09]. Dostupný z WWW: <[http://www.toma.sk/vyrprog\\_produkty\\_vyslisy\\_len.htm](http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_len.htm)>.
- [10] KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka : 8. svazek*. Vávra Pavel. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [11] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Klůna Jindřich. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s., 10 příloh vkládaných pod páskou.
- [12] INOX, spol. s.r.o.. *INOX, spol. s.r.o. : NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. 2007 [cit. 2009-02-23]. Dostupný z WWW: <<http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>>.
- [13] *MATERIAL PROPERTY DATA* [online]. 1996-2009 [cit. 2009-02-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1c1e70565dbf465b8ec6bf0bbc4d63e9>>.
- [14] Feron, a.s.. *Feron, a.s.* [online]. 2009 [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/sluzby/ssc.php>>.
- [15] LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky : Upravené a doplněné vydání*. Blanka Plašilová. Praha : Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [16] ČSN 22 6348 *Lisovací nástroje : Střížníky s kruhovým průřezem a kuželovou hlavou*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1973. 3 s.

[17] ČSN 22 6275 *Lisovací nástroje : Přírubové kluzné vedení*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1969. 5 s.

[18] ČSN 22 6264 *Lisovací nástroje : Stopky*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1974. 11 s.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost materiálu	[-]
$A_o$	ohýbací práce	[J]
b	šířka ohýbané součásti	[mm]
$C_{m1}, C_{m2}$	výsledné náklady na materiál	[Kč]
$C_{od1}, C_{od2}$	cena odpadu	[Kč]
$C_{p1}, C_{p2}$	cena materiálu	[Kč]
$C_{T1}, C_{T2}$	cena za 1 kg materiálu	[Kč/kg]
c	koeficient u střížné vůle	[-]
$D_{VNE}$	vnější průměr svitku	[mm]
$D_{VNI}$	vnitřní průměr svitku	[mm]
d	průměr otvoru	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F_o$	ohýbací síla	[N]
$F_p$	síla přidržovače	[N]
$F_u$	stírací síla	[N]
$F_{PR}$	síla vyvolaná pružinami	[N]
$F_{STR}$	střížná síla	[N]
H	tloušťka střížnice	[mm]
h	výška fazetky	[mm]
I	moment setrvačnosti v průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
JM	jednicové mzdy	[%]
$K_1$	koeficient pro určení střížné práce	[-]
k	součinitel pro výpočet úhlu pružení	[-]
$k_{eu}$	koeficient pro výpočet stírací síly	[-]
L	délka neutrální osy	[mm]
$L_p$	potřebná délka svitku	[mm]
l	šířka ohybnice	[mm]
$l_{krit}$	kritická délka střížníku	[mm]
$l_m$	rameno ohybu	[mm]
m	koeficient zaplnění diagramu	[-]
$m_1, m_2$	hmotnost materiálu	[kg]
$m_{od1}, m_{od2}$	hmotnost odpadu	[kg]
Nh	normohodiny	[h]
n	koeficient opotřebení nástroje	[-]
$n_v$	počet výstřížků	[-]
O	délka střížné hrany	[mm]
OPN	ostatní přímé náklady	[%]
Q	velikost série	[-]
R	vnitřní poloměr ohybu	[mm]
Ra	drsnost	[μm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_{P0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
S	plocha průřezu střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]

$S_{pl}$	plocha plechu na 1 výstřižek	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha výstřižku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{sv}$	plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{PR}$	plocha výstřižku, na kterou působí ohybník	[mm <sup>2</sup> ]
SR	správné režie	[%]
s	tloušťka plechu	[mm]
$s_{max}$	největší tloušťka plechu	[mm]
$T_N$	životnost nástroje	[-]
VR	výrobní režie	[%]
v	vůle mezi nástroji	[mm]
$v_m$	malá střížná vůle	[mm]
$v_{opt}$	optimální střížná vůle	[mm]
$W_s$	střížná práce	[J]
X	vzdálenost výslednice sil od osy y	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
Y	vzdálenost výslednice sil od osy x	[mm]
Z	zisk	[Kč]
ZN	zpracovatelské náklady	[Kč]
ZR	zpracovatelské režie	[%]
z	střížná mezera	[mm]
$\alpha$	úhel oblouku	[°]
$\beta$	úhel odpružení	[°]
$\eta$	využití materiálu	[%]
$\rho$	poloměr neutrální osy	[mm]
$\sigma_{DOV}$	dovolené napětí	[MPa]
$\sigma_n$	normálové napětí	[MPa]
$\sigma_o$	dovolené namáhání v ohybu	[MPa]
$\sigma_1$	hlavní tahové napětí	[MPa]
$\sigma_3$	hlavní tlakové napětí	[MPa]
$\tau_s$	střížný odpor materiálu	[MPa]

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1- Určení součinitele  $K_1$

PŘÍLOHA 2- Určení kritické délky střižníku

PŘÍLOHA 3- Určení součinitele  $k$  pro výpočet úhlu pružení

PŘÍLOHA 4- Určení součinitele  $c$

PŘÍLOHA 5- Parametry odvíjáku QOPJ 250/1400

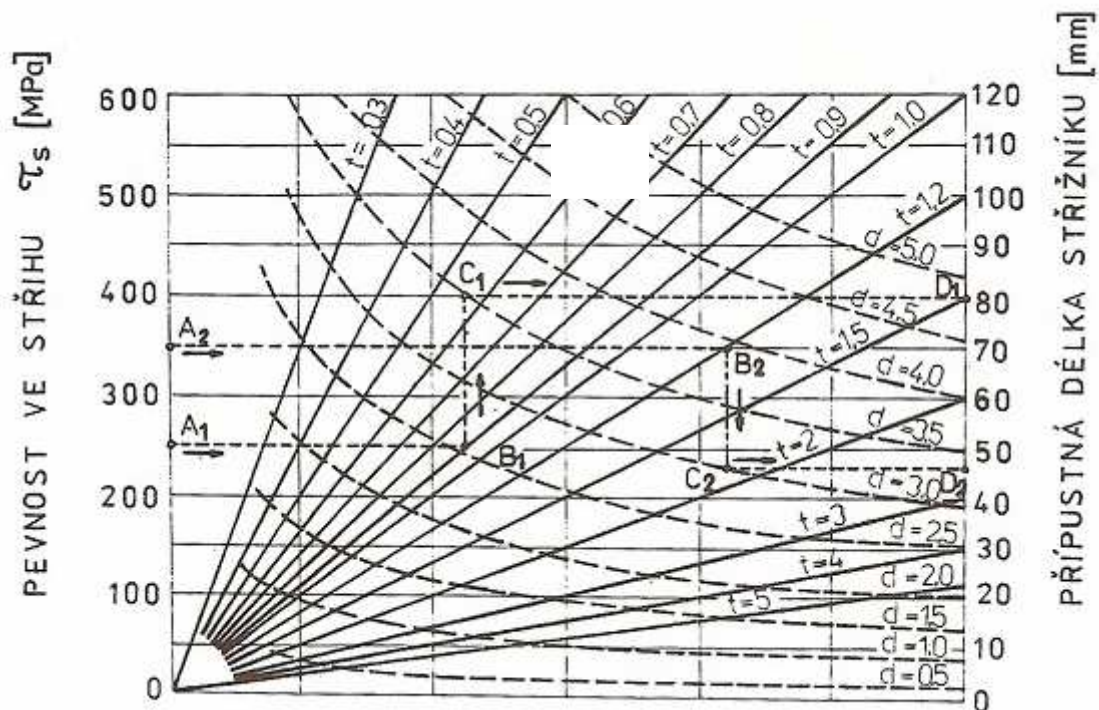
PŘÍLOHA 6- Parametry podávací rovnačky QPRM 300/6

Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA 1- Určení součinitele  $K_1$  [10]

Druh materiálu		Součinitel $K_1$	
		$s \leq 4$ mm	$s > 4$ mm
Ocel	měkká	0,45 až 0,60	0,35 až 0,45
	střednětvrdá	0,35 až 0,50	0,20 až 0,35
	tvrdá	0,20 až 0,35	0,10 až 0,20
Mosaz	měkká	0,50 až 0,60	0,50
	tvrdá	0,20 až 0,30	0,20
Hliník	měkký	0,45 až 0,65	0,45
	tvrdý	0,30 až 0,50	0,30
Dural	měkký	0,35 až 0,50	0,35
	tvrdý	0,25 až 0,45	0,25

## PŘÍLOHA 2- Určení kritické délky střížníku [6]



**PŘÍLOHA 3- Určení součinitele  $k$  pro výpočet úhlu pružení [10]**

Poměr $R/s$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4
Součinitel $k$	0,68	0,65		0,58	0,54	0,53	0,52
Poměr $R/s$	5	6	8	10	15	20	—
Součinitel $k$	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5	0,5	—

## PŘÍLOHA 4- Určení součinitele c [6]

délka ramene a	Tloušťka materiálu t											
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4			4 až 7		
	$l_0$	$r_m$	c	$l_0$	$r_m$	c	$l_0$	$r_m$	c	$l_0$	$r_m$	c
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	45	15	0,2	55	20	0,15	65	25	0,15

## PŘÍLOHA 5- Parametry odvíjáku QOPJ 250/1400 [9]



<b>Technické údaje:</b>		<b>QOPJ 160/650</b>	<b>QOPJ 250/1400</b>	
Max. šířka zvitku	mm	160	250	
Max. hmotnost zvitku	kg	650	1400	
Max. vonkajší priemer zvitku	mm	1250	1250	
Max. vnútorný priemer zvitku	mm	600	600	
Min. vnútorný priemer zvitku	mm	400	400	
Výkon elektrického motora	kW	0,55	0,55	
Spotreba vzduchu na zvitok	m <sup>3</sup>	0.008*	0.008*	
Hmotnosť stroja	kg	330	560	
Min. rýchlosť odvíjania pri min. zvitku 400 mm	m/min	13	13	
Min. rýchlosť odvíjania pri max. zvitku 600 mm	m/min	20	20	
Max. rýchlosť odvíjania na max. vonk. priemere zvitku 1250 mm	m/min	41	41	
Sieťové napätie		3x380/220 V, 50 Hz		
Rozmery stroja	A	mm	1580	1680
	B	mm	1580	1590
	C	mm	775	890
	D	mm	max. 160	max. 250
	E	mm	725	845
	F	mm	660	775
	H	mm	920	1000

\* Pri použití zvláštneho príslušenstva min. šírka zvitku 80 mm.

## PŘÍLOHA 6- Parametry podávací rovnačky QPRM 300/6 [9]



<b>Technické údaje:</b>		<b>QPRM 300 / 6</b>
Max. šířka pásu	mm	300
Hrúbka pásu	mm	0,6 - 6
Max. spracovávaný prierez	mm <sup>2</sup>	900
Priemer rovnacích valcov	mm	60
Max. rýchlosť podávania	m/min	45
Presnosť podania	mm	+/- 0,1
Prestavenie rovnacej výšky – ručne	mm	250
odmeriavanie presnosti podania snímačom na páse plechu, otváranie vstupných zavádzacích valcov ručne pomocou páky, podopreté spodné aj vrchné rovnacie valce.		
Elektromotor : Výkon	kW	3,2
Prikon	kW	3,3
Napätie		3 x 400 V , 50 Hz
<b>Parametre zadávané cez technologickú klávesnicu:</b>		
Dĺžka podania	mm	1 – 9999,9
Rýchlosť podania v aut. režime		1 – 99 %
Rýchlosť podávania v ruč. režime		1 – 50 %
Požadovaný počet podaní		1 – 10000 ks
Počet kusov v dávke		1 – 10000 ks
Uhol začiatku podania		0- 359°
Voľba režimu spúšťania zdvihu lisu		- jednotlivý zdvih - trvalý chod