



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA NÁSTĚNNÉHO DRŽÁKU

MANUFACTURING OF THE WALL BRACKET

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ladislav Fridrich

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2022

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Ladislav Fridrich**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

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

## Výroba nástěnného držáku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie plošného tváření. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součástí a závěry se zhodnocením navrhované technologie. V tomto směru se rovněž počítá s možným ověřením návrhu užitím numerické simulace.

### Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součástí,
- návrh nástroje včetně nezbytné výkresové dokumentace,
- provedení technologických a kontrolních výpočtů.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

LOGAN, Daryl. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

MARCINIAK, Zdzislaw, John. DUNCAN a Jack HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vhodným návrhem technologie výroby pro nástěnný držák, který bude sloužit jako polohovací systém reproduktoru. Součást je vyrobena z nelegované konstrukční oceli S 235JR o tloušťce 3 mm. Výrobní série je stanovena na 200 000 kusů za rok. Po zhodnocení možností výroby je zvolena technologie ohýbání a postupového stříhání, které jsou zkombinovány ve sdruženém nástroji. Následně je zvoleno nejvhodnější uspořádání součásti na pás plechu a zvolen svitek plechu, jako polotovár pro výrobu. Dále jsou provedeny technologické výpočty a zhotovena výkresová dokumentace nástroje. Na základě vypočtených hodnot je zvolen výrobní stroj Mecanica Exacta model CC250 od firmy Formetal s.r.o.

### Klíčová slova

ocel S 235JR, nástěnný držák, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj

## ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with a suitable design of production technology for a wall bracket, which will serve as a speaker positioning system. The part is made of non-alloy structural steel S 235JR with a thickness of 3 mm. The production series is set at 200,000 pieces per year. After evaluating the production possibilities, the technology of bending and progressive cutting is chosen, which are combined in a combined tool. Subsequently, the most suitable arrangement of the part on the sheet metal strip is selected and the sheet metal coil is selected as a semi-finished product for production. Furthermore, technological calculations are performed and drawing documentation of the tool is made. Based on the calculated values, the production machine Mecanica Exacta model CC250 from the company Formetal s.r.o.

### Key words

Steel S 235JR, wall bracket, cutting, bending, combined tool

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

FRIDRICH, Ladislav. *Výroba nástěnného držáku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-28].  
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139642>. Bakalářská práce.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.  
Vedoucí práce Jan Řiháček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Výroba nástěnného držáku vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....  
V Brně 19.5.2022

.....  
Ladislav Fridrich

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

---

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	7
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	8
1.1 Varianty výroby zvolené součásti .....	9
2 STŘÍHÁNÍ .....	12
2.1 Střížná vůle.....	13
2.2 Střížná síla a práce.....	13
2.3 Technologičnost stříhaných součástí.....	14
2.4 Nástroje pro stříhání .....	15
2.5 Stroje .....	18
3 OHÝBÁNÍ.....	20
3.1 Odpružení .....	22
3.2 Minimální a maximální poloměr ohybu.....	23
3.3 Ohybová síla a práce .....	23
3.4 Technologičnost ohýbaných součástí.....	24
3.5 Nástroje pro ohýbání .....	25
3.6 Stroje .....	26
4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI .....	27
4.1 Výpočet rozvinuté délky polotovaru .....	28
4.2 Rozložení nástřihového plánu .....	29
4.3 Plán výroby.....	33
4.4 Výpočty pro technologii stříhání.....	34
4.5 Výpočty pro technologii ohýbání.....	39
4.6 Sdružený nástroj.....	40
4.7 Volba stroje .....	41
ZÁVĚR.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	46
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

---

## ÚVOD

V dnešní době lze součásti různých tvarů a typů vyrábět různými způsoby. Kromě technologií obrábění, svařování a slévání je jednou z nejvyužívanějších technologií tváření. Technologie tváření se dělí na technologii objemového tváření, které se zabývá přeměnou celého objemu materiálu a plošné tváření.

Plošné tváření se zaměřuje zejména na tvarování plechů a trubek. Mezi hojně využívané technologie patří stříhání, ohýbání a hluboké tažení. Tyto technologie se hojně využívají ve výrobě tvarově náročných součástí, jelikož jsou velice produktivní v mnoha oblastech výroby. Jediná nevýhoda jsou vysoké pořizovací náklady na nástroje a stroje, proto se tyto způsoby výroby používají ve velkosériové výrobě. [1]

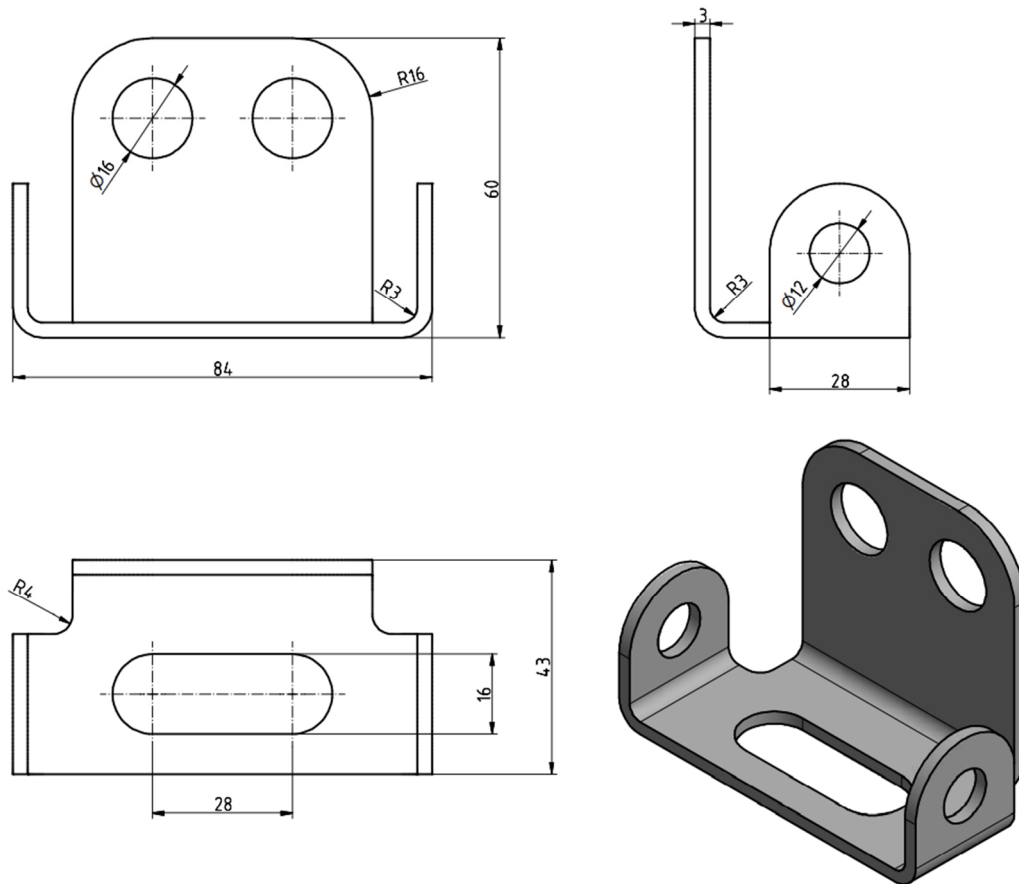
Technologie plošného tváření se řadí mezi nejvyužívanější technologie výroby zejména díky využití stříhání a ohýbání. Stříhání je jednou z nejrozšířenějších operací tváření. Používá se na přípravu polotovarů, vystřihování součástek z plechu pro konečné použití, nebo pro následující operace. Ohýbání se využívá pro tvarování plechů, trubek, nebo drátů a je často využíváno společně s technologií stříhání.



Obr. 1 Součásti vyrobené plošným tvářením [2;3;4].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vyráběnou součástí je nástěnný držák (obr. 2), který bude sloužit jako polohovací systém reproduktoru. Součást má hlavní rozměry  $84 \times 60$  mm a bude vyráběna z plechu o tloušťce 3 mm. Na součást nejsou kladeny zvýšené nároky na rozměrovou a geometrickou přesnost a na strukturu povrchu. Předpokládá se nejlepší jakost povrchu  $Ra = 3,2 \mu\text{m}$  s využitím tolerance dle normy ISO 8765-mK. Sériovost výroby je uvažována na  $200\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$ .



Obr. 2 Nástěnný držák.

Součást bude z titulu své funkce zatěžována především na tah a ohyb, slouží jako podpora, tudíž bude namáhána staticky nikoliv dynamicky a to zatížením odpovídajícím reprobodně o hmotnosti 0,5 kg. Z hlediska působícího namáhání je vhodné, aby měl materiál součásti vyhovující mechanické vlastnosti tomuto typu zatěžování. Pro výrobu součásti byl z výše zmíněných důvodů zvolen materiál plech o tloušťce 3 mm z oceli S 235JR dle EN 10 025-2 (1.0038), který vyhovuje výše zmíněným požadavkům. Materiál je nelegovaná konstrukční jakostní ocel. Může být následně po dodání tvářena za tepla, nebo normalizačně žihána. Materiál byl zvolen kvůli vhodnému použití ve svařovaných, šroubovaných a nýtovaných konstrukcích. Korozní odolnost dílce je nízká, ale vzhledem k tomu, že bude celá součást černěna, bude riziko vzniku koroze minimální. Jeho chemické složení a mechanické vlastnosti jsou popsány v tabulce 1.[5]

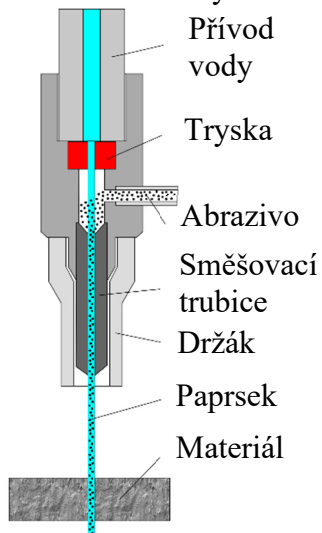
Tab. 1 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli S 235JR [6].

Chemické složení						Mechanické vlastnosti			
C	Mn	S	P	N	Cu	$R_{eH}$	$R_m$	A	KV
max. [hm.%]	max. [hm.%]	max. [hm.%]	max. [hm.%]	max. [hm.%]	max [hm.%]	min. [MPa]	min. [MPa]	min. [%]	min. [J]
0,19	1,5	0,045	0,045	0,014	0,6	235	360	26	27

## 1.1 Varianty výroby zvolené součásti

Na základě rozboru součásti, kvality a nákladů výroby, je zapotřebí zvolit nejvhodnější technologii pro výrobu řešeného dílce. Předpokládá se výroba součásti z plechu, tudíž pro zhotovení finálního tvaru se nabízí využití technologie ohýbání. Ohyb se provádí většinou na ohraňovacím lise, nebo v ohýbacím nástroji. Polotovar pro výrobu dílce ohýbáním je možné zhotovit z plechu nebo svitku plechu. Pro výrobu rozvinutého tvaru součásti je možné využít některou z níže popsaných technologií. [1]

- Vodní paprsek - princip řezání materiálu s využitím vodního paprsku spočívá v dopadu velmi úzkého a vysokotlakého proudu vody na opracováváný materiál. Proud vody může být doplněn přidáním abraziva. Technologie řezání vodním paprskem se používá pro měkké i tvrdé materiály. Pro řezání měkkých materiálů se používá vodní paprsek bez přídavku abraziva, pro dělení tvrdých materiálů jako litiny, oceli, nerezové plechy, ušlechtilé slitiny apod. se používá hydroabrazivní vodní paprsek. Jako abrazivo se nejčastěji používá křemičitý nebo granátový písek. Výhodou je řezání materiálu v tloušťkách od 0,1 mm do 400 mm. Řezné hrany nejsou tepelně ovlivněny, jedná se o studený řez. Nevýhodou je možná povrchová koroze, kvůli které se musí provádět vysoušení a nízká rychlost výroby, kvůli které je vodní paprsek nevhodný. [7]



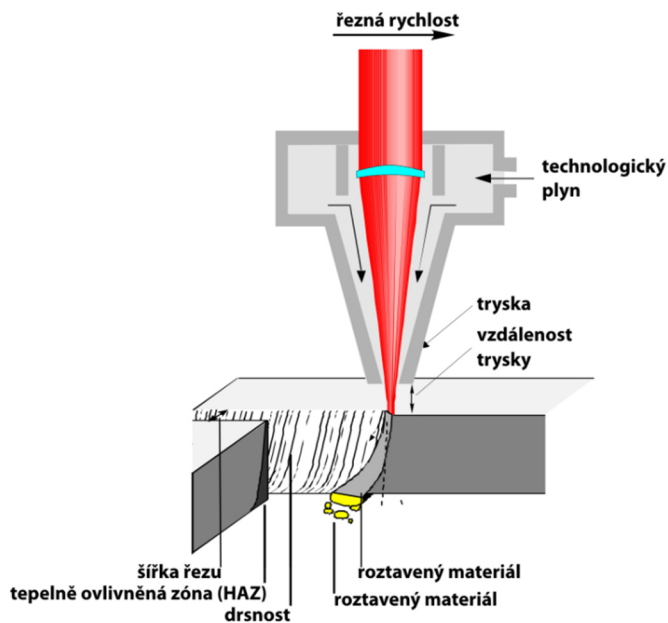
a) princip



b) praktický příklad

Obr. 3 Řezání vodním paprskem [7;8].

- Laserové řezání – princip této technologie spočívá v tavení materiálu bez mechanického působení. Podstata této technologie je založena na přeměně světelné energie na tepelnou. Fokuseovaný laserový svazek fotonů je přiveden ze zdroje do řezací trysky. Interakcí laserového paprsku s řezaným materiálem dochází k zahřátí, tavení a případnému odpařování materiálu. Při řezání se nejprve nataví materiál v místě působení paprsku a dojde k jeho odpaření či vyfouknutí. Výhodami jsou přesnost, vysoká produktivita výroby, dosažení velmi kvalitního řezu a malá ztráta materiálu díky tenké řezné spáře. Nevýhody jsou vysoké finanční náklady, omezení tloušťky řezaného materiálu a možnost vzniku opálení řezné hrany, která by se musela odstranit omíláním nebo frézováním, tudíž laser není optimální řešení. [9]



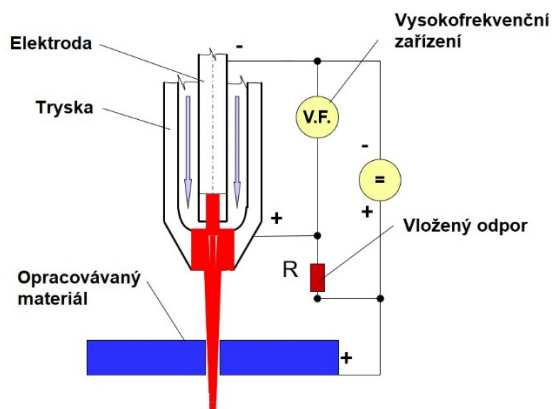
a) princip



b) praktický příklad

Obr. 4 Řezání laserem [9;10].

- Plazmové řezání – je elektrické zařízení, které pomocí elektrického oblouku ionizuje plyn přiváděný do plazmové hlavičky a tato plazma je zde vyfukována, čímž dochází k vyfukování nataveného materiálu při rychlostech 1000 až 2000 m·s<sup>-1</sup>. Plazmový paprsek dosahuje teploty až 30 000°C. Je vhodný pro jakýkoliv elektricky vodivý materiál. Mezi výhody se řadí vysoká řezná rychlost, řezání jakýchkoliv elektricky vodivých materiálů, nízké pořizovací náklady. Kvůli nedostačující kvalitě řezné plochy je tato metoda nevhodná. [11]



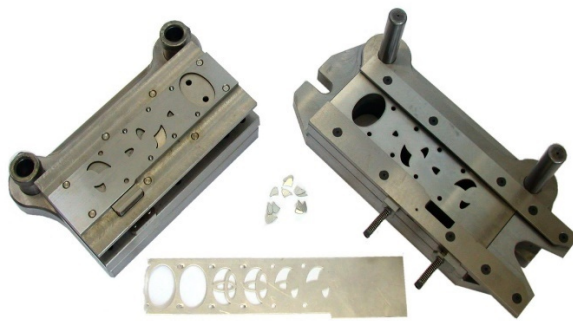
a) princip



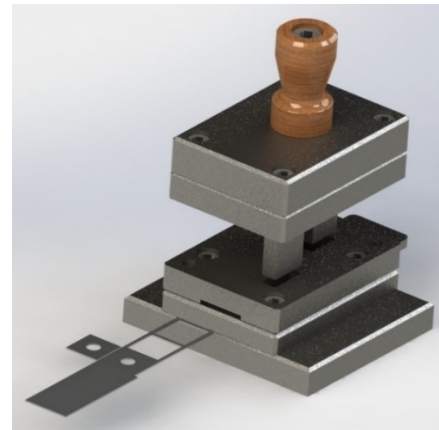
b) praktický příklad

Obr. 5 Plazmové řezání [12;13].

- Postupové stříhání – princip technologie spočívá v postupném vystřížení dílce do požadovaného tvaru rozloženého do několika kroků. V první řadě jsou pomocí střížníků děrovány otvory a v posledním kroku je součást vystříhnutá. Počet kroků se liší v závislosti na složitosti zadaného výrobku. Lze dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 12 a kvality střížné plochy  $Ra = 3,2 \mu\text{m}$ . Mezi výhody patří produktivita práce a velké využití materiálu. Nevýhody jsou nerovnost, drsnost povrchu a zpevnění střížné plochy. [14]



a) rozložený nástroj



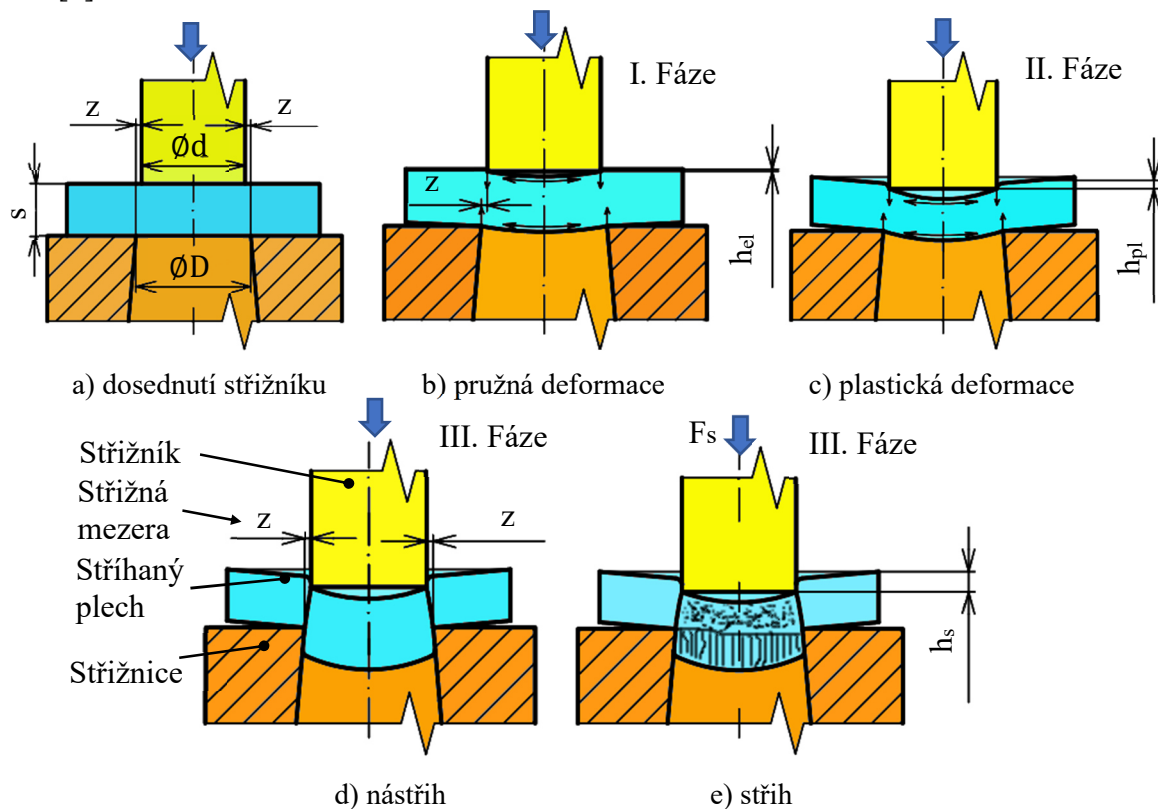
b) princip

Obr. 6 Postupové stříhání [15;16].

Výroba zadaného dílce pomocí vodního paprsku by byla finančně náročná a také by hrozilo riziko koroze součástí. Zhotovením pomocí laseru by navíc hrozila možnost vzniku opálení řezné hrany, jež by se musela odstraňovat omíláním nebo frézováním, což by prodloužilo výrobní čas. Řezání plazmou je sice rychlé, ale kvalita řezaného povrchu by nebyla dostačující. K těmto nevýhodám přibývá i nutnost přesouvat polotovary zhotovené laserem, plazmou, nebo vodním paprskem a tím by se i výrazně prodloužil výrobní čas. Po zhodnocení všech možností výroby se tedy jako nejvýhodnější technologie jeví metoda postupového stříhání, která vyhovuje přesnostmi i jakostí stříhané plochy a požadavkům na vyráběný tvar součástí. Dále se dá snadno zkombinovat s technologií ohýbání v rámci sdruženého nástroje. Proto bude následující literární studie zaměřena na stříhání a ohýbání.

## 2 STŘÍHÁNÍ

Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením v oblasti deformace. Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů, které vytváří střížné smykové napětí. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna mnoha faktory, z nichž k nejdůležitějším patří velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu a způsobu stříhání. Různými konstrukčními úpravami střížného nástroje, a zvláště volby způsobu stříhání je možné ovlivnit průběh stříhání tak, aby se zabránilo nekvalitní střížné ploše a deformace výstřižku. Proces stříhání můžeme rozdělit do tří základních fází. Průběh stříhání začíná při dosednutí střížníku na stříhaný materiál, následuje pružná deformace, která se postupně mění v plastickou deformaci a v konečné fázi nastává vystřížení požadovaného tvaru.[1]



Obr. 7 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [1].

V první fázi (obr. 9) při dosedání střížníku na materiál, tlačí střížník na materiál a vzniká napětí menší než je mez pružnosti a dochází pouze k pružným deformacím. Hloubka vniknutí ( $h_{eI}$ ) závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu. Dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje nežádoucí ohyb. [1;19]

Ve fázi druhé viz obr. 10 je napětí ve směru vnikání střížníku větší než je mez kluzu kovu a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí ( $h_{pI}$ ) 10 až 25 % tloušťky materiálu.[1;19]

Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku je zde 10 až 60 % tloušťky materiálu. Je závislá na druhu materiálu a velikosti střížné vůle. Nejdříve dochází ke vzniku mikroskopických trhlin, které se postupně zvětšují a šíří od střížných hran nástroje až dojde k oddělení výstřižku. Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle. [1;19]

## 2.1 Střížná vůle

Střížná vůle je charakterizována jako rozdíl mezi větším průměrem otvoru ve střížnici a menším průměrem střížníku. Tento rozdíl tvoří střížnou mezeru  $z$  (obr. 7a), která poskytuje rovnoměrnou střížnou vůli kolem celého obvodu střížníku, při nedodržení rovnoměrnosti vůle, dochází k vadám povrchu. Střížná mezera je důležitý technický parametr potřebný pro celý střížný proces. Je nutná, aby nedošlo ke kolizi mezi jednotlivými částmi nástroje. Ovlivňuje kvalitu střížné plochy, spotřebu energie a životnost nástroje. Při stříhání s normální vůlí se trhliny po nástřihu šíří tak, že v okamžiku stříhu se setkají. Pokud je vůle příliš malá nebo velká trhliny se nesetkají a dochází ke vzniku nerovnoměrného povrchu. [17]

Existuje několik možností, jak stanovit střížnou vůli, nejčastěji výpočtem ze vzorce, ale také odečtením vůle z diagramu v normě ČSN 22 6015, volba podle procenta tloušťky polotovaru. Výpočet střížné vůle pro tloušťku plechu  $t \leq 3$  mm lze vypočítat ze vztahu: [19]

$$v = 2 \cdot z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.1)$$

kde: $v$	-	střížná vůle [mm],
$z$	-	střížná mezera [mm],
$s$	-	tloušťka materiálu (plechu) [mm],
$c$	-	součinitel závislý na druhu stříhání (0,005 až 0,025) [-],
$\tau_s$	-	pevnost materiálu ve stříhu [MPa].

## 2.2 Střížná síla a práce

Střížná síla je důležitým technologickým parametrem pro návrh střížných nástrojů a pro volbu tvářecího stroje. Velikost této síly se mění v průběhu zdvihu a závisí na mechanický vlastnostech stříhaného materiálu a je dána součinem střížného odporu, střížné plochy a součinitelem otupení. Při reálných střížných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale namáhání jsou kombinovaná. Z tohoto důvodu se síla uvažuje o 20 až 50 % větší, právě z důvodu přídatných namáhání. Při stříhání houževnatých materiálů dochází v průběhu vnikání střížníku do materiálu ke zpevnování, a tudíž k růstu střížného odporu a střížné síly. Růst nastává po překročení meze kluzu a pokračuje do dosažení meze pevnosti stříhaného materiálu. Křehké materiály se zpravidla poruší při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. Střížná síla se mnohdy snižuje zvláštní úpravou střížných hran, zpravidla jejich zešíkmením pod určitým úhlem. Úprava střížníku se provádí také z technologického hlediska, v případě stříhání dlouhých tvarových stříhů. Velikost střížné síly lze vypočítat dle vzorce (2.3) a střížná práce, kterou je nutné vyvinout, aby došlo ke stříhu je vypočítána ve vzorci (2.4). [11]

$$F_S = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m, \quad (2.2)$$

kde: $F_S$	-	střížná síla [N],
$n$	-	součinitel otupení (1,1 až 1,3) [-],
$S$	-	střížná plocha [mm <sup>2</sup> ],
$l$	-	délka střížné křivky [mm],
$R_m$	-	mez pevnosti polotovaru [MPa].

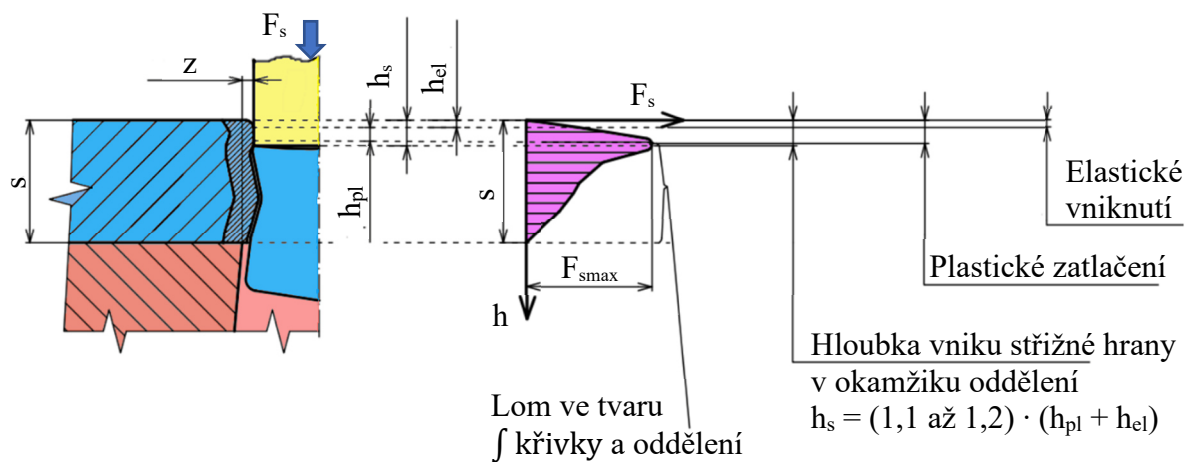
$$A = \frac{k \cdot F_S \cdot s}{1000}, \quad (2.3)$$

kde: $A$	-	střížná práce [J],
$k$	-	součinitel hloubky vtlačení (tabulka) [-].

Tab. 2 Hodnoty součinitele hloubky vtlačení pro ocel s mezí pevnosti 250 až 350 MPa [18].

Ploušťka materiálu [mm]	Součinitel hloubky vtlačení
0 až 1	0,70 až 0,65
1 až 2	0,65 až 0,60
2 až 4	0,60 až 0,50

Pracovní diagram stříhání, stejně jako jednotlivé fáze stříhu a hloubky vniknutí jsou zobrazeny na obr. 9. Na grafu lze vidět typický průběh stříhání, kdy dochází k oddělování materiálu. Je zde zaznačena oblast elastického vniknutí, plastického zatlačení a hloubky vniku střížné hrany v okamžiku oddělení.



Obr. 9 Průběh střížného procesu a střížné síly [1].

### 2.3 Technologičnost stříhaných součástí

Základním předpokladem správného technologického postupu a maximální hospodárnosti výroby je zvolení vhodné technologie výroby a rozměrů polotovaru. Je nutné zvolit polotovar, ze kterého bude minimální množství odpadu. Vystříhovaná součást by měla být účelná, estetická a výrobně jednoduchá s minimální spotřebou materiálu. Technologičnost konstrukce musí brát na zřetel faktory, jako jsou například mechanické vlastnosti materiálu, tloušťka stříhaného materiálu, nebo výrobní možnosti použitých strojů a nástrojů. Základní zásady technologičnosti konstrukce jsou zahrnuty v následujících bodech. [17;18]

- Navrhovat vhodné nástřihové plány. Využití materiálu by mělo být minimálně 70 %.
- Výrobní tolerance střížníků by měla být zpravidla o tři stupně nižší, než je výrobní tolerance výstřížku.
- Vhodně volit rozměrové tolerance IT 12 až IT 14.
- Nepředepisovat rovinnost výstřížků, která se vlivem ohybového momentu těžko dodržuje.
- Nepředepisovat kolmost střížné plochy, které běžným stříháním nelze dosáhnout
- Vhodně volit jakost povrchu střížné plochy. Ustřížená část mívá drsnost  $R_a = (3,2 \text{ až } 6,3) \mu\text{m}$ .

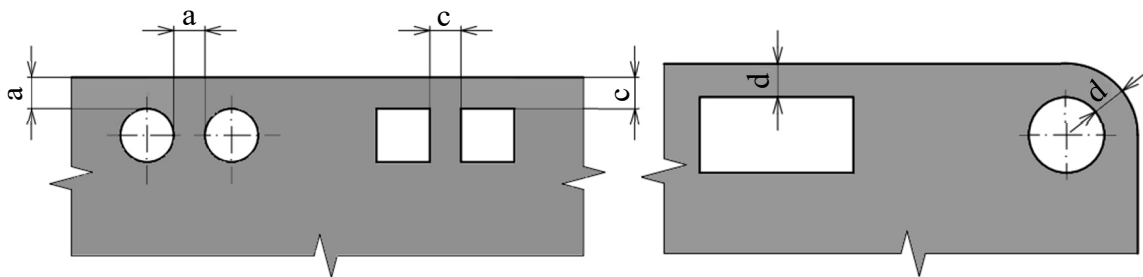
- Dávat přednost kruhovým otvorům před neokrouhovými, případně tvarovými. Plynulé přechody oblouků do přímkové části výstřižků zdražují výrobu a vyžadují uzavřený stříh s bočními podélnými přepážkami.
- Vhodně volit vzdálenosti mezi otvory, nebo otvory a vnějším obrysem, viz obr. 10. Nejmenší velikost otvorů musí splňovat:
  - $d/s = 1$ ,
  - $b/s = 0,8$ .

Vzdálenost mezi otvory musí splňovat:

- $a \geq 0,8 s$ ,
- $c \geq s$ .

Vzdálenost mezi otvory a okraji:

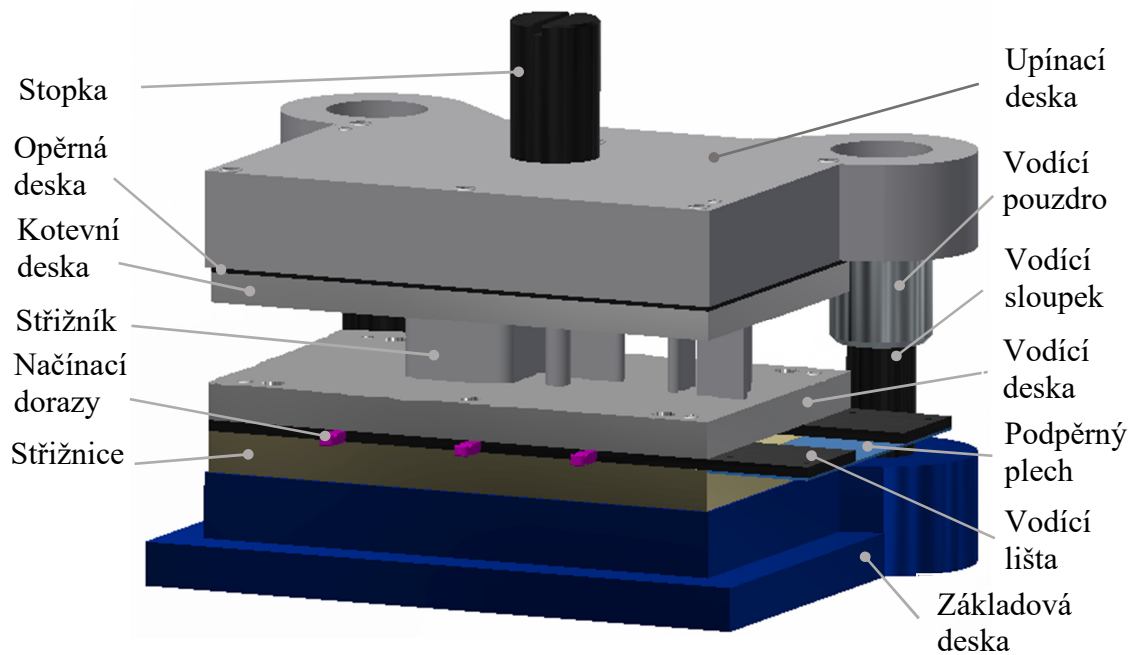
- $d \geq 1,5 s$ .



Obr. 10 Vzdálenost mezi otvory a okraji [18].

## 2.4 Nástroje pro stříhání

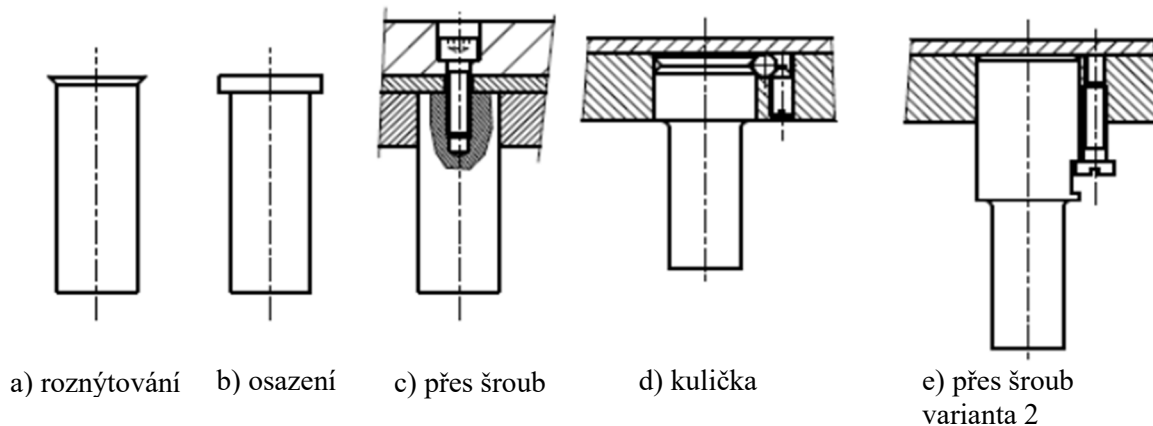
Stříhadla patří pod normu ČSN 22 6001 a řadí se k lisovacím nástrojům za studena. Stříhadlo (obr. 11) se obecně skládá ze střížníku a střížnice, které jsou hlavními částmi nástroje. Pro stříhání triviálních tvarů je možné použít tzv. jednoduché stříhadlo skládající se pouze z jednoho páru střížníku a střížnice. Po každém vystřížení se pás plechu, tedy polotovar, posune o hodnotu tzv. kroku do další operace. Pro složitější tvary se v praxi nejčastěji používá postupové stříhadlo, které vykonává na jeden pracovní zdvih více střížných operací. V prvním kroku se provádí nejčastěji děrování a poté následuje vystřížení obvodu výstřižku. Tyto kroky se provádějí současně za chodu stroje díky posouvání pásu plechu o již zmíněný krok. Pás plechu je posouván ručně nebo automatizovaným systémem pomocí odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení. Při vložení nového pásu plechu mezi střížník a střížnici se využívá tzv. načínacích dorazů pro vymezení jeho poloh v jednotlivých krocích. Při ručním zavádění pásu plechu se dále používá pro vymezení střížného kroku tzv. pevných dorazů. [1;18;19]



Obr. 11 Schéma postupového střížného nástroje.

V principu se postupový střížný nástroj skládá z horní a spodní části. Stěžejním segmentem horní části nástroje je střížník, který koná stříh. Střížník je upnutý přes kotevní desku do upínací desky. Aby nedocházelo k vymačkávání tvaru do upínací desky při stříhání používá se v některých případech opěrná deska. Celek je upnutý do beranu lisu pomocí stopky, ta je upnuta závitem do kotevní desky. Stopka je většinou umístěna do těžiště výslednice sil při stříhání, aby nedocházelo k nepřesnostem výroby a nadměrnému zatěžování nástroje. Pro výrobu stopky se používá materiál 11 600 a vychází se z norem ČSN 22 6264. Ve spodní části se nachází střížnice, která tvoří druhý stěžejní segment celého postupového stříhacího nástroje. Je upnuta pomocí kolíků a šroubů do základové desky, která je nepohyblivá a zajišťuje pevné spojení se stolem stroje. Pro lepší vedení střížníku je nad střížnicí umístěna vodící deska, která zajišťuje lepší stříh. Základová a upínací deska je spojena pomocí vodících pouzder a sloupků. Tyto pouzdra a sloupky tvoří vedení nástroje a umožňují tím pohyb pomocí beranu lisu a jsou nalisovány do upínací a základové desky. Počet sloupků bývá obvykle dva nebo čtyři, záleží na složitosti konstrukce nástroje. Materiál pro výrobu vodících pouzder i sloupků se používá 12 020. Pouzdra se vyrábějí kluzná nebo valivá. Níže budou podrobněji popsány stěžejní části střížného postupového nástroje. [1;18;19]

- Střížník – je jedním z hlavních částí střížného nástroje. Hrany střížníku zabezpečují vlastní stříh, jejichž pomocí dochází k dělení materiálu. Jak již bylo výše zmíněno střížník je upnut do kotevní desky pomocí několika variant (obr. 16). Upínání lze provádět mnoha způsoby, pomocí rozkýtování upínací části střížníku (obr. 12a), nebo často využívaným osazením střížníku (obr. 12b). Jiné varianty představené na (obr. 12) jsou pomocí šroubu, který vede skrz upínací desku, opěrnou desku přímo do střížníku (obr. 12c). Poslední dva způsoby jsou využívány při časté výměně střížníků a jsou to tedy způsoby pro rychloupnutí pomocí kuličky a šroubu (obr. 12d) a nebo šroubem s upravenou hlavou (obr. 12e). Střížníky se většinou vyrábí z nástrojové oceli 19 436, 19 573 nebo vložky ze slinutých karbidů, které se poté upnou do těla střížníku. [14;18;19]



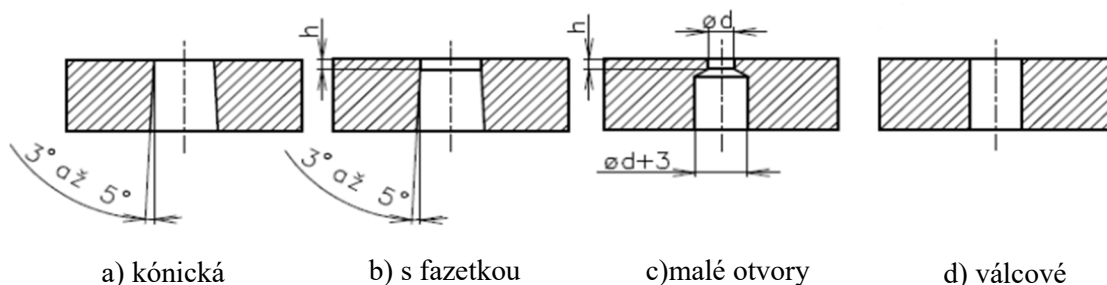
Obr. 12 Typy upnutí střížníku [28].

Vedení střížníku zajišťuje kotevní deska, pomocí které se zvyšuje přesnost a omezuje se vybočení střížníku z osy stříhu. Střížníky jsou namáhány na vzpěr. Z toho důvodu se provádí kontrolní výpočet maximální délky střížníku dle vzorce:[21]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{krit}}}, \quad (2.4)$$

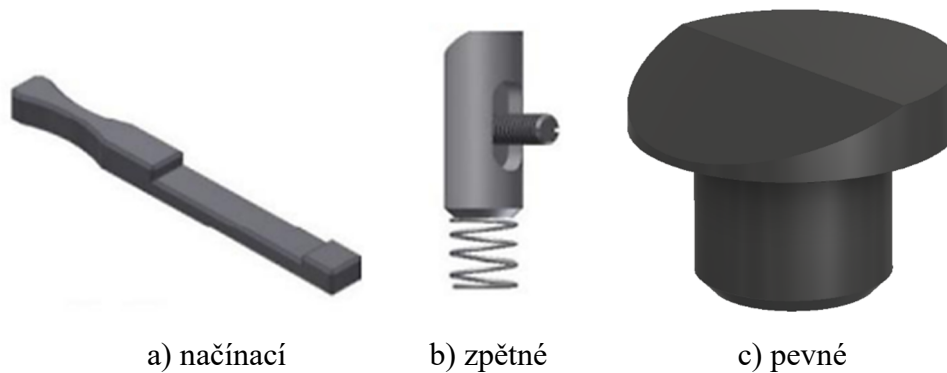
kde:  $l_{krit}$  - kritická délka střížníku [mm],  
 $I$  - kvadratický moment průřezu [mm<sup>4</sup>].

- Střížnice – je druhou hlavní částí střížného nástroje, která je upevněna na základovou desku pomocí kolíků a šroubů. Její rozměry závisí na šířce pásu plechu a počtu kroků. Střížnice je obvykle vyráběna z nástrojové oceli 19 312, 19 436, nebo slinutých karbidů. Je tepelně zpracována kalením a popouštěním na potřebnou tvrdost. Ve střížnici jsou vyrobeny funkční otvory pro vystřížení požadovaných otvorů a tvarů. Tyto otvory jsou broušeny kvůli zvýšení přesnosti a kvality. Tvarové střížnice se dělí na střížnice kónické (obr. 13a), pro malé otvory (obr. 13c), s fazetkou (obr. 13b) a válcové (obr. 13d). Kónická střížnice je vhodná pro vystříhování menších tvarů. Úhel 3° až 5° se využívá kvůli hladkému propadnutí odpadu nebo výstřížku ven ze střížnice. Při velkosériové výrobě se používá střížnice s fazetkou. [14;18]



Obr. 13 Typy tvarových střížnic [28].

- Dalším důležitým komponentem, kromě vodících lišt které slouží pro správné vedení a ustavení pásu plechu, jsou dorazy. Dorazy závisí na počtu prováděných kroků ve stříhaných operacích, podle počtu těchto operací stanovíme počet dorazů. Nejpoužívanějšími dorazy jsou načínací (obr. 14a), zpětné (obr. 14b) a pevné (obr. 14c). Načínací dorazy slouží k dodržení kroku v prvních operacích stříhání, jelikož není možné použít jiné typy dorazů. Zpětné dorazy se používají u větších tloušťkách plechů a pevné dorazy jsou vhodné pro tenké plechy a jsou zalisovány do střížnice.[14;18]



Obr. 14 Dorazy [29].

- Hledáčky – slouží pro zajištění správného pohybu střížníků mezi jednotlivými operacemi a rozměrové přesnosti výstřížků. Nejprve dochází k zahledání materiálu pomocí hledáčku (obr. 15), buď zapadne hledáček do otvoru, který byl zhotoven v předchozí operaci, nebo se vytvoří malé technologické otvory a následně dochází k děrování nebo vystřihování pomocí střížníku. [14;18]

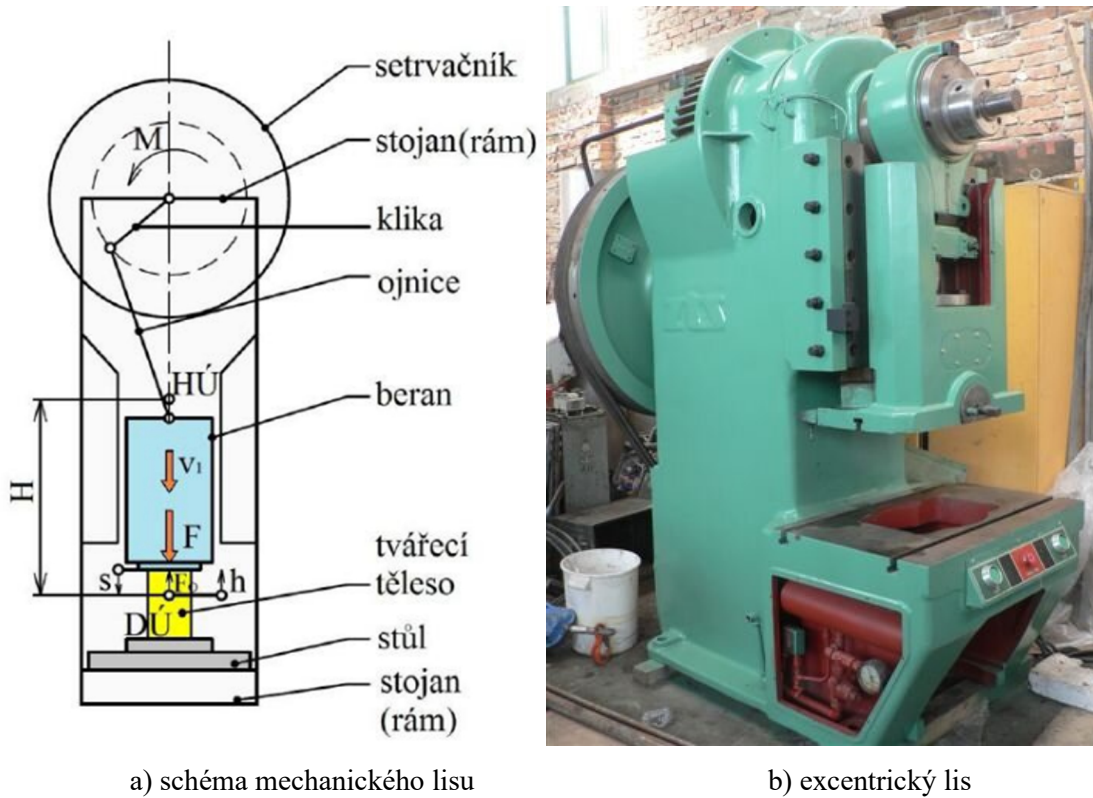


Obr. 15 Hledáčky [30].

## 2.5 Stroje

Pro stříhání se využívají nejvíce mechanické a hydraulické lisy. Pro správné zvolení lisu je nutné znát rozměry tvářecích nástrojů, tvářecí sílu, počet vyráběných kusů a potřebný zdvih a sevření. Do lisu je vložen stříhací nástroj a horní část nástroje je upnuta pomocí stopky do beranu lisu a spodní část je pevně připevněna na pracovní stůl stroje. Beran vykonává mezi dolní a horní úvratí přímočarý vratný pohyb, v horní úvratí nemá žádnou rychlost, ale při klesání do dolní úvratí rychlost nabírá a tímto poskytuje potřebnou tvářecí sílu pro vykonání stříhané operace. Mezi často používané lisy se řadí klikové a výstředníkové. [14;18]

Klikové lisy se řadí mezi mechanické a používají se pro různé střížné operace jako např. ostřihování výkovků, ostřihování výlisků a vystřihování polotovarů a hotových výrobků. Výstředníkové lisy jsou mechanické a používají se pro vystřihování a děrování. Pro zvýšení produktivity práce, jsou často u těchto lisů využívány automatické podávací zařízení. Výstředníkové lisy se vyrábějí pro síly od 20 kN do 4 MN. [14]



a) schéma mechanického lisu

b) excentrický lis

Obr. 16 Stroje pro stříhání [21;26].

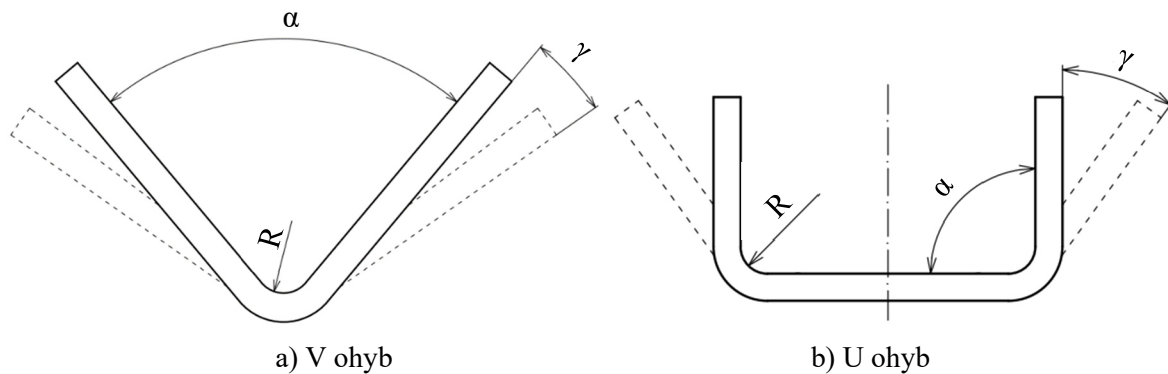
Kromě těchto strojů se pro postupové stříhání se svitky musí volit další strojové vybavení jako odvíjecí, rovnací a podávací zařízení (obr. 17). Tyto zařízení nám zajistí správné vedení svitku plechu do postupového střížného nástroje.



Obr. 17 Rovnací, odvíjecí a podávací zařízení [24].

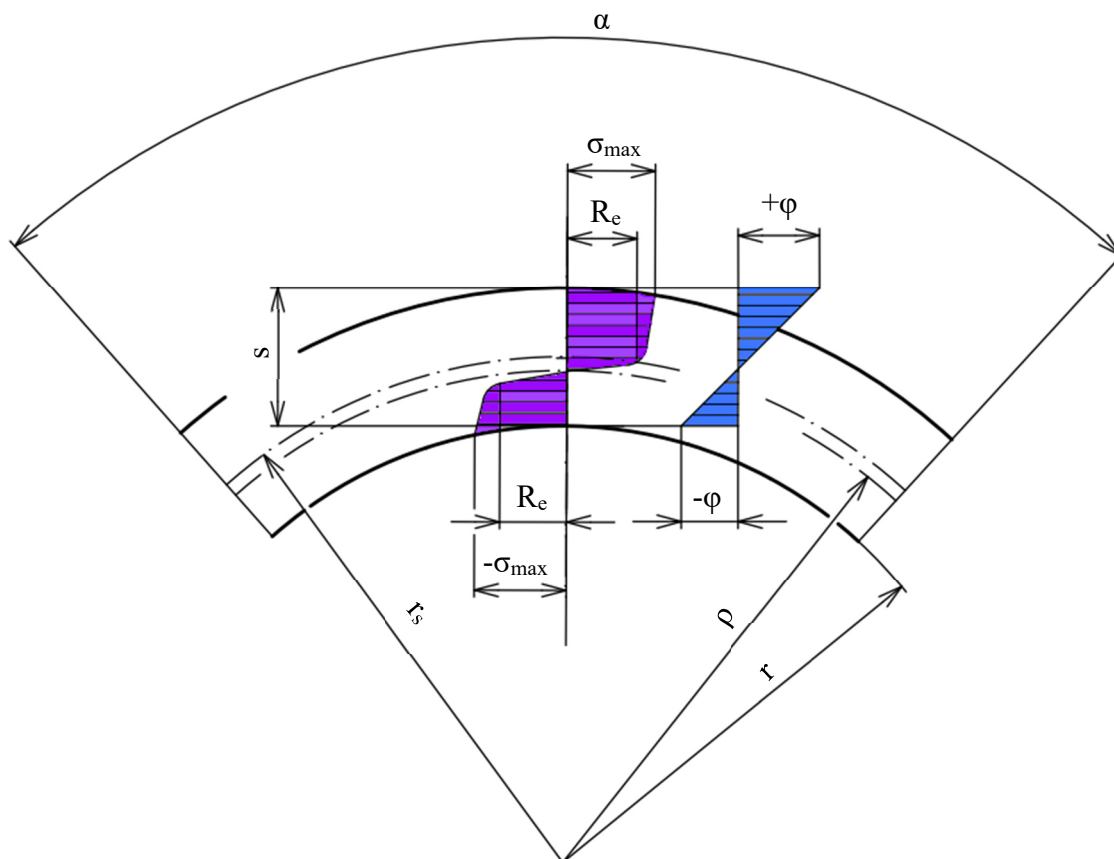
### 3 OHÝBÁNÍ

Ohýbání je trvalé přetváření materiálu, při němž se pod vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů trvale mění křivost součástí z plechu, tyčí a drátů. Pro dosažení trvalého ohybu je nutné, aby ohybové napětí bylo nad mezí kluzu  $R_e$  a nepřekročilo mez pevnosti  $R_m$ . Ohybem se zpravidla zmenšuje poloměr zakřivení až do jeho minimální hodnoty na hranici mezní hodnoty deformace za studena, nebo se zvětšuje poloměr zakřivení a dochází k rovnání. Materiály tvrdé, křehké a průřezy o velkém modulu odporu proti ohybu se ohýbají kovářskými způsoby za tepla. Na rozdíl od objemového tváření, rozhodujícím parametrem procesu ohýbání jsou tahová napětí a jejich kritické hodnoty budou vždy menší, než je pevnost materiálu v tahu. Při ohybu vznikají nehomogenní lokální plastické deformace-přetvoření v místech maximálního ohybového momentu. Mezi základní operace technologie ohýbání jsou zařazeny jednoduché ohýbání, rovnání, zakružování, lemování a kontinuální ohýbání. Jednoduché ohýbání zahrnuje ohýbání do tvaru „U“ a „V“ viz obr. 18, na kterém jsou krom dvou základních tvarů uvedeny základní parametry ohybu, jako úhel ohybu  $\alpha$ , úhel odpružení po ohybu  $\gamma$  a poloměr ohybu  $R$ . [1;19;20]



Obr. 18 Ohýbání do U a V tvarů [20].

K ohnutí součásti dochází v ohýbadle vzájemným pohybem nástrojů. Pevná část nástroje se nazývá ohybnice a pohyblivá část ohybník. Na vnitřní straně ohýbaného materiálu vzniká tlakové napětí, které má tendenci materiál v podélném směru stlačovat a v příčném směru roztahovat. Na vnější straně polotovaru vznikají tahová napětí, která mají snahu materiál v podélném směru natahovat a v příčném směru zužovat. Mezi těmito vrstvami se nachází vrstva s nulovým napětím, a to znamená, že se délka této vrstvy nemění v průběhu ohýbání. Vrstva se označuje pojmem „neutrální vrstva“ (obr. 19), nebo též někdy označována jako neutrální plocha a osa, a hraje důležitou roli při výpočtu délky polotovaru a ve výpočtech velikosti přetvoření v místě daného ohybu. Pro určení rozměrů celkové délky polotovaru je potřeba součást rozvinout do podélné roviny s neutrální osou. Posunutí neutrální plochy lze vypočítat podle následujícího vztahu. [18;20]



Obr. 19 Skutečný průběh napětí při ohýbání do tvaru V [18].

$$\rho = R_0 + x \cdot s, \quad (3.1)$$

kde:  $\rho$  - poloměr posunuté neutrální vrstvy [mm],  
 $R_0$  - poloměr zaoblení na vnitřní straně [mm],  
 $x$  - součinitel posunutí neutrální osy [-].

 Tab. 3 Závislost součinitele  $x$  na poměrném rádiusu ohybu  $R_0/s$  [18].

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	$R_0/s$	0,10	0,25	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50
Do 400	$x$	0,25	0,32	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44
Nad 400	$x$	-	-	-	-	-	-	0,35	0,36	0,37

S přispěním posunutí neutrální plochy lze spočítat zkrácenou délku oblouku polotovaru podle vztahu (3.2). Součást je nutno rozdělit do rovných úseků a míst ohybu. Celková délka rozvinutého polotovaru se vypočítá ze součtu úseků přímých a ohnutých. Poté lze určit celkovou rozvinutou délku polotovaru podle vzorce (3.3). [18]

$$L_0 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s), \quad (3.2)$$

kde:  $\alpha$  - úhel ohybu [°],  
 $R$  - poloměr ohybu [mm],  
 $x$  - součinitel posunutí neutrální osy [-].

$$L_C = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n L_0, \quad (3.3)$$

kde:  $L_C$  - rozvinutá délka polotovaru [mm],  
 $L_i$  - délka rovných úseků [mm],  
 $L_0$  - délka ohnutých úseků [mm].

### 3.1 Odpružení

Proces ohýbání za studena doprovází pružné deformace, které jsou vratné a po ukončení ohybu a odtížení součásti způsobují odpružení (obr. 18). V důsledku odpružení výsledný tvar ohnutého dílce nesouhlasí s tvarem ohýbadla. Při konstrukci a výpočtech ohýbacích nástrojů je na odpružení nutno brát zřetel a ohýbadla řešit tak, aby umožňovala ohyby větší o hodnoty odpružení. Odpružení do tvaru V lze stanovit podle vzorce (3.4) a do tvaru U podle vzorce (3.5). [18;20]

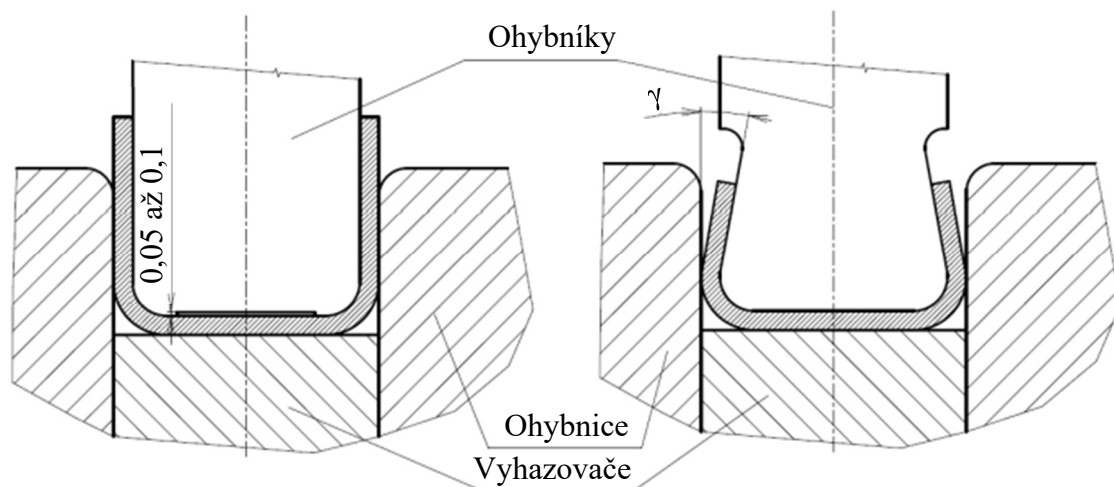
$$tg\beta_V = 0,375 \cdot \frac{L}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (3.4)$$

kde:  $\beta$  - úhel odpružení [°],  
 $L$  - vzdálenost středů poloměru mezi ohybníkem a ohybnicí [mm],  
 $k$  - součinitel odpružení [-],  
 $R_e$  - mez kluzu [MPa],  
 $E$  - Youngův modul pružnosti v tahu [MPa].

$$tg\beta_U = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (3.5)$$

kde:  $l_m$  - vzdálenost ohýbacích hran [mm].

Zabránit výraznému odpružení po ohybu je možné několika způsoby. Například úpravou tvářecího nástroje (obr. 20), nebo podbroušením ohybníku o úhel  $\alpha$  a vytvořením tzv. záporné vůle. Zaoblením dolní části ohýbadla či vyhazovače. Zpevněním materiálu v rozích kalibrační oblasti ohybu. [19]



a) kalibrování bočními stěnami ohybnice

b) kalibrování poloměru ohybu v pevném nástroji

Obr. 20 Odpružení [18].

### 3.2 Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je nejmenší poloměr, který můžeme na součásti ohnout bez porušení materiálu ve vnějších natahovaných vrstvách. Závisí na způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného polotovaru a kvalitě povrchu. Zásadně je třeba ohyb provádět napříč směru vláken v polotovaru. Zpravidla se volí hodnoty o 20 % větší, kvůli ztenčení tloušťky plechu v místě ohybu. Početně se  $R_{min}$  stanoví podle následujícího vzorce. [1;18]

$$R_{min} = c \cdot s, \quad (3.6)$$

kde:  $c$  - součinitel volený dle technologických podkladů [-].

Při největším poloměru ohybu  $R_{max}$ , dochází v krajních vrstvách vlákních materiálu k trvalému ohybu. Je to tedy největší vyrobitelný poloměr ohybu s trvalou deformací. Pouze při elastické deformaci se ohýbaný polotovar opět narovná. K tomu je nutné splnit podmínku danou rovnicí:[1;19]

$$R_{max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e}. \quad (3.7)$$

### 3.3 Ohybová síla a práce

Ohýbání materiálu (obr. 21), považovaného za nosník na dvou podporách vyvolává v lokálním místě ohybu napětí, které v první fázi pružného ohybu je definováno velikostí vzdálenosti  $L$  od podpěrných bodů. Nejprve dochází k dotlačování ohybníku na ohýbaný materiál, přičemž se mění pásmo elastických deformací na pásmo plastických deformací. Ve druhé fázi pružně plastického ohybu se plastické pásmo rozšiřuje k neutrální ose a ohýbací síla roste až na hodnotu potřebnou pro dosednutí součásti na stěny ohybnice. Ohýbací sílu do tvaru U lze vypočítat podle vzorce (3.8),  $V$  podle vzorce (3.9) a práci podle vzorce (3.10). [1;11]

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s}, \quad (3.8)$$

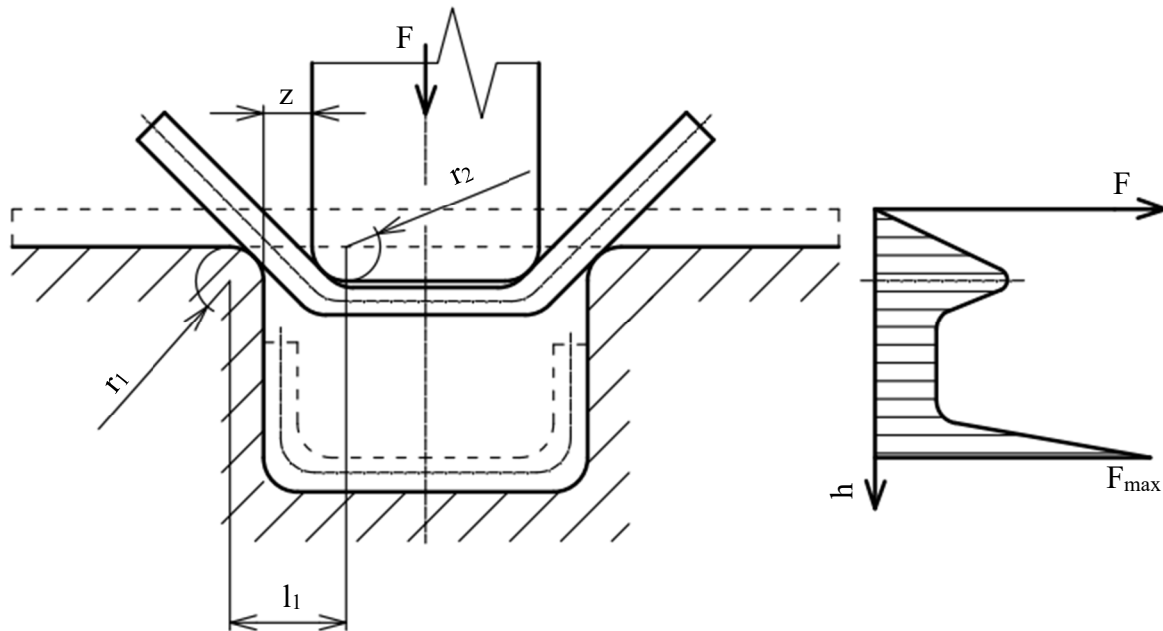
kde:  $F_U$  - ohybová síla [N],  
 $f$  - součinitel tření [-],  
 $b$  - šířka materiálu [mm].

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_o \cdot \frac{h}{1000}, \quad (3.9)$$

kde:  $A_{ou}$  - ohybová práce [J],  
 $h$  - zdvih beranu [mm].

$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.10)$$

kde:  $F_V$  - ohybová síla [mm].

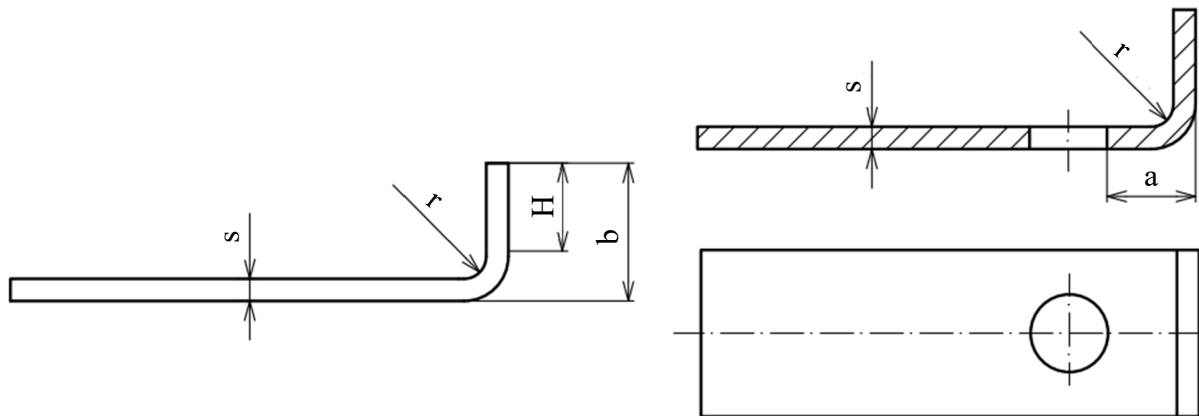


Obr. 21 Ohýbání do tvaru U [20].

### 3.4 Technologičnost ohýbaných součástí

Technologičnost součástí závisí ve velké míře na plastických vlastnostech materiálu. Proto je důležité zhodnotit technologičnost z hlediska tvaru a rozměrů, ale i z hlediska navrhovaného materiálu. Při hodnocení technologičnosti ohýbaných dílců je důležité brát zřetel i na určité nedokonalosti způsobené technologií ohýbání, jako například nepřesný úhel ohybu, deformace průřezu v místě ohybu apod. Při navrhování ohýbaných součástí je potřeba brát do úvahy zásady technologičnosti, které budou uvedeny níže.[1;11;18;20]

- Kvůli ztenčení tloušťky plechu je důležité počítat se ztenčením stěny v místě ohybu o 20 %.
- Poloměr ohybu musí být alespoň takový, aby se v krajních vláknech překročila hodnota meze kluzu, jinak by nedošlo k plastické deformaci. Zároveň poloměr nesmí být příliš malý, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu tažnosti.
- Délka ramene ohýbaného materiálu „b“ musí splňovat podmínku:
  - Jestliže poloměr ohybu  $r_o < 1$  mm, tak  $b \leq 3 \cdot s + r_o$  ale minimálně  $b = 2$  mm
  - Jestliže  $r_o > 1$  mm, tak poté  $b \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s$ , kde  $s$  je tloušťka plechu.
- Otvory musí být v dostatečné vzdálenosti od hrany ohybu, aby nedošlo k jejich deformaci.
- Poloměr ohybu volit co nejmenší, aby úhel odpružení byl co nejmenší.
- Hrana ohybu by měla být kolmá na směr válcování, jinak může dojít k prasknutí na vnější straně ohybu.
- Výstřižky z plechu je třeba zakládat do ohýbacího nástroje, aby nedošlo k porušení materiálu a aby ostřiny vzniklé při stříhání byly na vnitřní straně ohybu a při ohýbací operaci byly stlačovány a ne roztahovány.



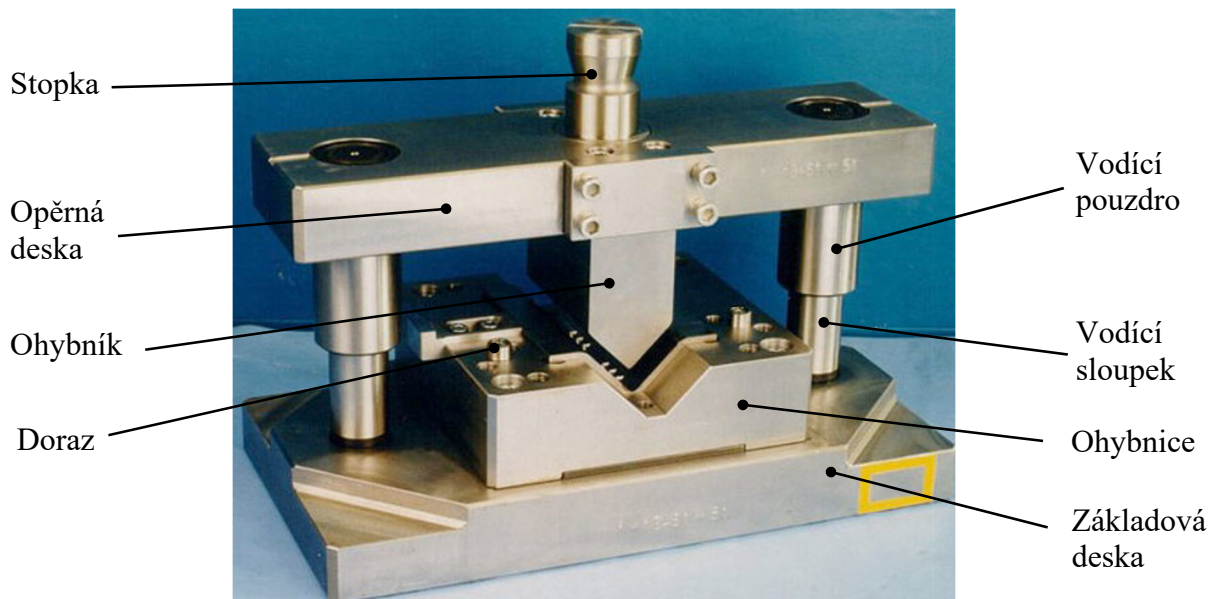
a) minimální délka ramena výlisku

b) minimální vzdálenost otvoru od kraje

Obr. 22 Technologické předpoklady pro ohýbání [18].

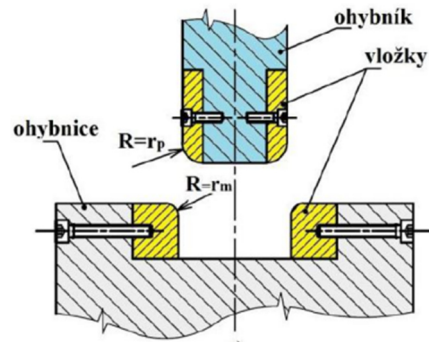
### 3.5 Nástroje pro ohýbání

Mezi hlavní části ohýbacího nástroje (obr. 23) jsou ohybník a ohybnice. Ohýbadlo je převážně konstruováno do tvaru „U“ nebo „V“, toto záleží na požadovaném tvaru ohybu. Kvůli zvýšení životnosti nástroje jsou ohýbací hrany ohybníku a ohybnice zušlechťeny a leštěny. Při navrhování ohýbacího nástroje je důležité vhodně zvolit konstrukci, aby bylo počítáno i se zpětným odpružením materiálu. [1;11;18;20]



Obr. 22 Ohýbací nástroj [20].

Poloha ohýbané součásti je zajištěna dorazy, které zaručí přesné ustavení a ohnutí. Dorazy se umísťují na nepohyblivou část nástroje, tedy ohybnici a měly by mít minimální výšku alespoň 1,5 mm Pro vyjmutí výlisku slouží vyhazovač. Vyhazovač se pomocí síly ohybníku stlačí na pružině a při zpětném chodu ohybníku se pružina vrátí do původní polohy a tím dostane součást z ohybnice pryč. Pro úsporu materiálu ve velkosériové výrobě je možné využít vložky (obr. 24) na funkční části ohybníku a ohybnice. [1;11;18;20]



Obr. 24 Ohybňík a ohybnice s vložkami [31].

Jedním z nejdůležitějších částí ohýbadla je ohybňík, je to pohyblivá horní část nástroje. Je vyráběn z nástrojové oceli 19 191, 19 312, 19 436, 19 437, nebo ze slinutých karbidů. Šířka ohybňíku musí být minimálně stejná jako je šířka ohýbané součásti a poloměr zaoblení musí být zachován stejný jako je poloměr ohýbané součásti. Při ohýbání dochází k odpružení. Odpružení lze minimalizovat použitím kalibračního úhlu na ohybňíku, podbroušením pohyblivé části o úhel nebo postupným ohýbáním v upravené ohybnici atd. [18;19]

Ohybnice je další důležitá část ohýbadla, nachází se v dolní části nástroje a je zpravidla náročnější na konstrukci než ohybňík. Materiál pro ohybnici se používá stejný jako u ohybňíku. Rozměry ohybnice jsou stanoveny podle rozměrů ohýbané součásti. Poloměr zaoblení hran ohybnice je volen dvou až šestinásobek tloušťky polotovaru.[1;11]

Optimální vůle mezi ohybňíkem a ohybnicí musí být dodržena. Její velikost závisí na tloušťce ohýbaného materiálu, na druhu materiálu a na délce ohýbaného okraje. Tato vůle bývá u oceli 1,05 až 1,15 násobkem tloušťky materiálu. [1;11]

### 3.6 Stroje

U ohýbání se využívají obdobné stroje jako u stříhání. Zvolení vhodného stroje na ohýbání závisí na tvaru a rozměru daného výlisku a na počtu kusů výroby. Dalším důležitým faktorem je ohybová síla, podle které musíme vybrat vhodný stroj pro ohýbání dané součásti. Mezi příklady ohýbacích strojů patří ohýbání na univerzálních lisech (obr. 25a), na ohraňovacích lisech (obr. 25b), na ohýbačkách (obr. 25c) atd. [18]

U ohýbání na lisech jde hlavně o ohýbání na univerzálních lisech, jako jsou výstředníkové lisy, klikové lisy, případně hydraulické lisy apod. Ohraňovací lisy se používají při ohýbání dlouhých profilů a větších výlisků, přičemž se používají klasické, nebo programem řízené ohraňovací lisy. Dále se používají ruční ohýbačky na kusovou a malosériovou výrobu. [19]



a) výstředníkový lis



b) ohraňovací lis

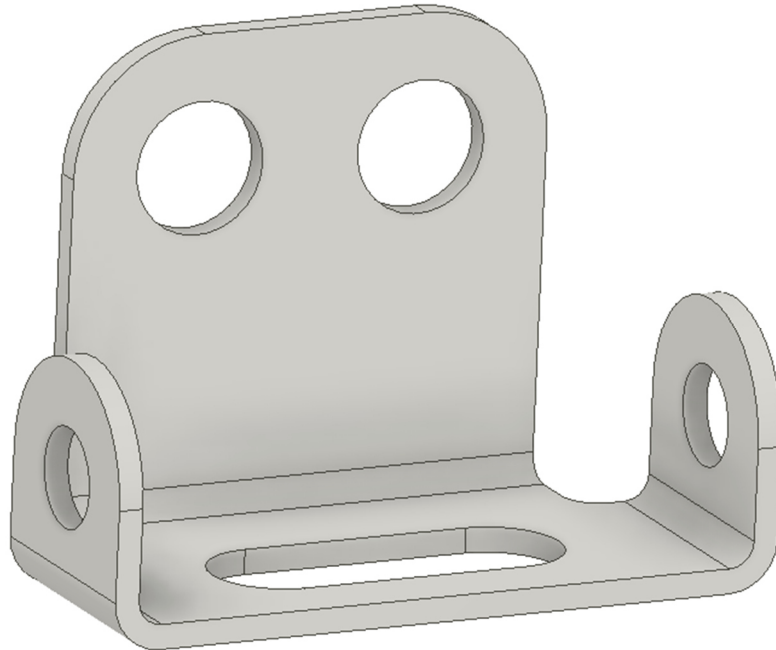


c) ruční ohýbačka

Obr. 25 Mechanické lisy [25;26;27].

## 4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Jak již bylo zmíněno výše v kapitole variant výroby řešená součást (nástěnný držák), která je vyobrazena na obr. 26, bude vyráběna metodou sruženého nástroje. Zhotovení dílce pomocí tohoto nástroje se provádí na postupovém stříhacím nástroji, který se skládá ze stříhacího nástroje a ohýbacího nástroje. Materiál součásti byl zvolen S 235JR dle EN 10 025-2 (1.0038) a je popsán v kapitole rozboru součásti. Jako polotovar bude volen svitek plechu, vzhledem k uvažované výrobě 200 000 ks · rok<sup>-1</sup>. Z hlediska výroby součásti technologií stříhání a ohýbání je nutné posoudit technologičnost konstrukce daného dílce.



Obr. 26 Nástěnný držák.

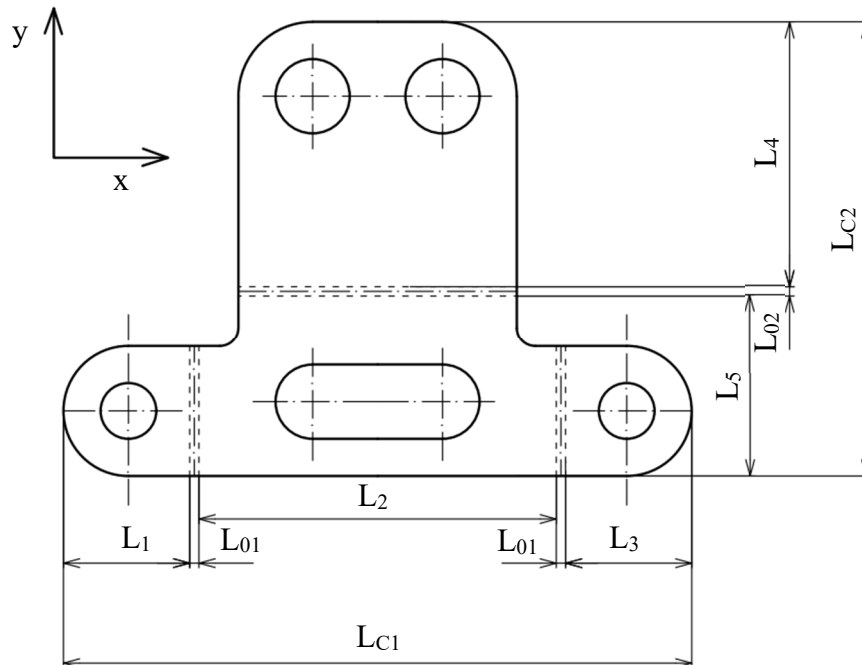
Jedním z nejdůležitějších faktorů posouzení technologičnosti stříhání je kontrola minimální velikosti vzdálenosti otvorů a vzdálenost děr od okraje. Pro vzdálenost dvou otvorů Ø16 mm mezi sebou musí platit  $a \geq 0,8 \cdot s$ . Tuto podmínku splňují (12 ≥ 2,4) mm. Nejmenší vzdálenost otvorů od okraje, která se na součásti vyskytuje je 8 mm, tudíž součást splňuje podmínku  $d \geq 1,5 \cdot s \rightarrow 8 \text{ mm} \geq 4,5 \text{ mm}$ . Dále technologie stříhání dovoluje zhotovení rozměrů pouze IT 9 a vyšší, což daný dílec vzhledem k použití střední třídy tolerování splňuje. Minimální velikost otvoru by měla splňovat podmínku  $d/s \geq 1$ . Nejmenší otvor je Ø12 mm, tudíž platí poměr  $12/3 \geq 1$  a podmínka je splněna. Nástřihový plán bude spolu s využitím materiálu navrhován níže v kapitole 4.2. U ohybu je nutné stanovit minimální poloměr ohybu, který je stanoven ze vzorce 3.6. Součinitel  $c$  je pro ocel 0,5, ale kvůli možnému ohybu ve směru vláken bude počítáno se součinitelem  $c = 1$ .

$$R_{min} = c \cdot s = 1 \cdot 3 = 3 \text{ mm}$$

Nejmenší poloměry ohybu R3 tuto podmínku splňují. Pro minimální délku ramena platí  $b \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s$ . Po odečtení z výkresu součásti vycházejí hodnoty (31 ≥ 9) mm. Z bezpečnostního hlediska byla hodnota z intervalu (2,5 až 3) · s volena vyšší (3 · s). Poslední podmínkou je vzdálenost otvorů od místa ohybu kde platí  $a > r_o + 2 \cdot s$ . Zde byla kontrolována vzdálenost  $a$  (11 mm) mezi otvorem Ø12 mm a spodní stěnou součásti. Po dosazení je zřejmé, že součást tuto podmínku splňuje (11 > 3 + 2 · 3) mm. Po zhodnocení podmínek technologičnosti konstrukce je součást vyrobitelná.

#### 4.1 Výpočet rozvinuté délky polotovaru

Pro zjištění rozvinuté délky polotovaru viz obr. 27 je nutné provést jeho výpočet podle vzorce 3.2 a 3.3. Je nutné rozlišit jednotlivé délky součásti na místa ohybu a rovné úseky. Tento výpočet se provádí mimo jiné kvůli zvolení vhodného nástřihového plánu součásti. Níže bude vypočtena rozvinutá délka polotovaru.



Obr. 27 Schéma rozvinuté délky součásti.

Níže budou vypočteny celkové délky rozvinuté části polotovaru. V prvním výpočtu bude spočítána celková délka ve vodorovné ose a bude použit součinitel  $x$  podle tabulky 2. Pro poměr  $R_0/s = 1$  byl z tabulky odečten koeficient  $x = 0,41$  a stanovena délka rozvinutého tvaru v dané ose. Ve svislé ose  $y$  bude počítáno se stejným součinitelem  $x = 0,41$ , kvůli stejnému poměru  $R_0/s$  dle stejné tabulky a znovu vypočtena délka v dané ose.

- Výpočet rozvinuté délky v ose  $x$  podle vzorce (3.2):

$$L_{01} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,41 \cdot 3) = 6,6445 \text{ mm} = 6,7 \text{ mm},$$

$$L_{C1} = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + 2 \cdot L_{01} = 25 + 72 + 25 + 2 \cdot 6,7,$$

$$L_{C1} = 135,4 \text{ mm}.$$

- Výpočet rozvinuté délky v ose  $y$  podle vzorce (3.3):

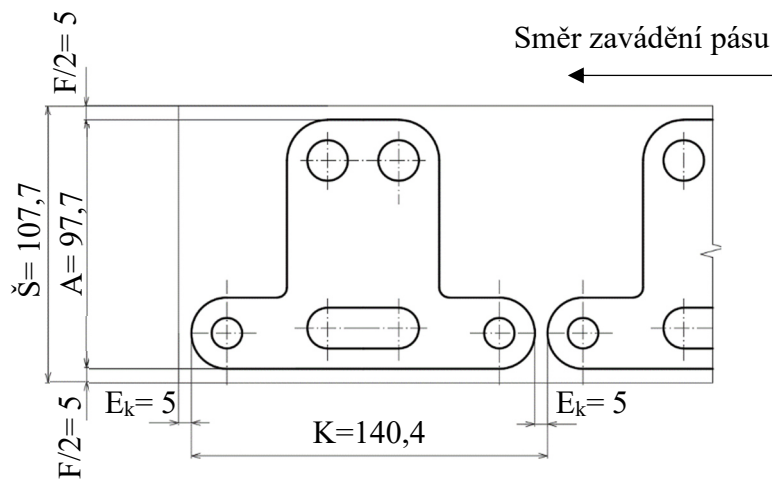
$$L_{02} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,41 \cdot 3) = 6,6445 \text{ mm} = 6,7 \text{ mm},$$

$$L_{C2} = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n L_0 = L_4 + L_5 + L_{02} = 54 + 37 + 6,7 = 97,7 \text{ mm}.$$

## 4.2 Rozložení nástřihového plánu

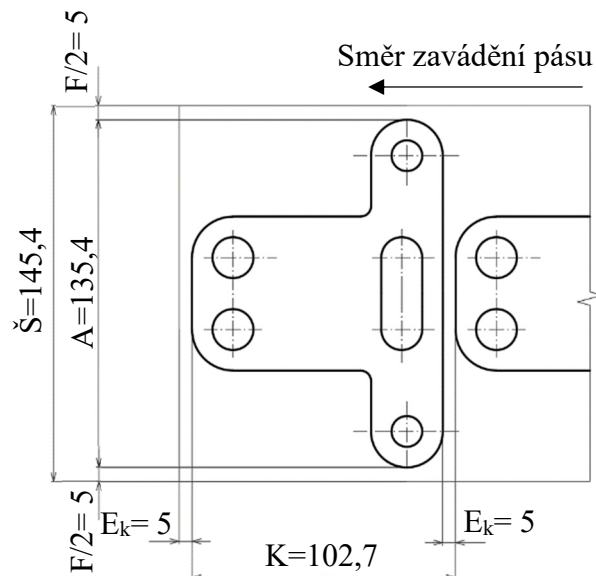
Z hlediska využití, úspor nákladů na materiál a způsobu výroby je důležité stanovit vhodné uspořádání součásti na pásu plechu. Šířka součásti byla vypočtena jako 135,4 mm a délka byla určena 97,7 mm. Bude uvažováno o třech variantách rozložení výstřížku, které budou rozebrány níže. Jedná se o varianty A, B a C, viz obr. 28 až 30. Velikost můstku  $E_k$  a postranního odpadu  $F$  bude určena z nomogramů, podle šířky a délky součásti, viz příloha 1. Následně bude vypočtena délka kroku  $K$  a šířka pásu  $\check{S}$ . Po zjištění těchto parametrů bude vypočítáno využití materiálu pro jednotlivé varianty, kvůli zvolení nejvhodnější varianty výroby.

- Varianta A – nejjednodušší se jeví rozložení součásti podélně na pás plechu, čímž vznikne nejúžší možný pás, který je možno použít. U této varianty vychází krok  $K = 140,4$  mm a šířka pásu  $\check{S} = 107,7$  mm.



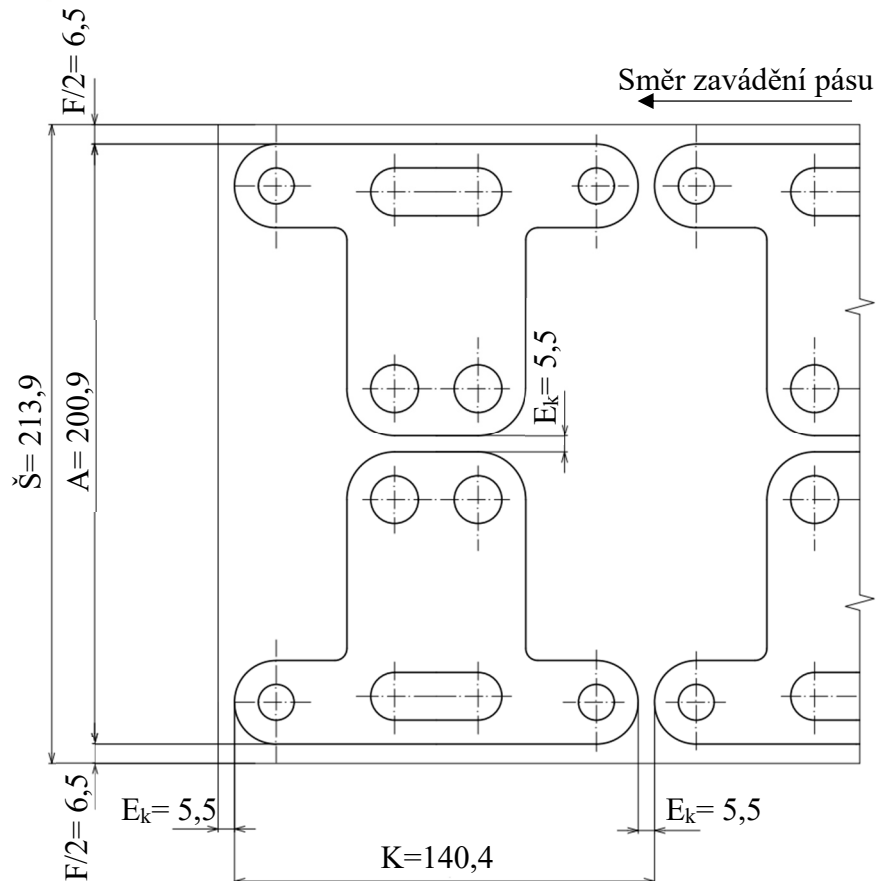
Obr. 28 Varianta A.

- Varianta B – jednou z výhod tohoto rozložení nástřihového plánu je snadná výroba součásti v určitém počtu operací a snadné zhotovení a odstřížení můstku, který je potřebný pro bezproblémový sled operací stříhání a ohýbání. Krok tohoto nástřihového plánu vychází  $K = 102,7$  a šířka pásu plechu  $\check{S} = 145,4$  mm.



Obr. 29 Varianta B.

- Varianta C – mezi nástřihové plány lze také zařadit dvouřadé uspořádání na pás plechu. V tomto uspořádání by se vyráběly dvě součásti zároveň a docházelo by ke zkrácení výrobního času, ale na druhou stranu by konstrukce nástroje byla složitější oproti předchozím dvěma variantám. Rozměr šířky pásu plechu je zde  $\check{S} = 213,9$  mm a krok  $K = 140,4$  mm.



Obr. 30 Varianta C.

Pro zhodnocení třech variant uspořádání na pásu plechu, je klíčový propočít ekonomického využití materiálu. Proto budou jednotlivé varianty podrobeny analýze využitelnosti materiálu pro zvolení té nejlepší varianty. Bude proveden výpočet ekonomického využití materiálu pro tabule pásu plechu a poté svitku plechu. Nejprve bude vypočítáno využití materiálu pro podélné a příčné dělení jednotlivých rozměrů tabulí pásu plechu. Následně bude vypočteno využití materiálu pro svitek plechu. Plocha rozvinutého tvaru součásti, která je nutná pro správné stanovení ekonomického využití materiálu byla stanovena v programu Autodesk Inventor Professional 2022 a má plochu  $S_0 = 7\,595,2$  mm<sup>2</sup>. Výsledky všech variant jsou vloženy do tabulky 4. Níže bude vypočteno ekonomické využití materiálu pro variantu B.

- Výpočet podélného dělení tabule o rozměrech  $1000 \times 2000$  mm:

- počet pásů plechu z jedné tabule  $n_p$ :

$$n_p = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu}} \quad [ks], \quad (4.3)$$

$$n_p = \frac{1000}{145,4} = 6,88 \text{ ks} \rightarrow \text{voleno nejblížejší nižší číslo: } 6 \text{ ks},$$

- počet kusů výstřížků na pásu plechu  $n_{ks}$ :

$$n_{ks} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} \text{ [ks]}, \quad (4.4)$$

$$n_{ks} = \frac{2000}{102,7} = 19,47 \text{ ks} \rightarrow \text{voleno nejbližší nižší číslo: 19 kusů,}$$

- počet výstřížků z jedné tabule plechu  $n_c$ :

$$n_c = n_p \cdot n_{ks} \text{ [ks]}, \quad (4.5)$$

$$n_c = 6 \cdot 19 = 114 \text{ ks,}$$

- počet tabulí plechu pro výrobu 200 000 ks · rok<sup>-1</sup>  $n_t$ :

$$n_t = \frac{\text{výrobní série}}{\text{počet výstřížků}} \text{ [ks]}, \quad (4.6)$$

$$n_t = \frac{200\,000}{114} = 1\,754,39 \rightarrow \text{voleno 1755 ks,}$$

- využití materiálu  $V_z$ :

$$V_z = \frac{S_o \cdot n_p \cdot n_{ks}}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (4.7)$$

$$V_z = \frac{7\,595,2 \cdot 6 \cdot 19}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 43,28 \text{ \%}.$$

- Výpočet příčného dělení tabule o rozměrech 1000 × 2000 mm:

- počet pásů plechu z jedné tabule:

$$n_p = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu}} \text{ [ks]},$$

$$n_p = \frac{2000}{145,4} = 13,7 \text{ ks} \rightarrow \text{voleno nejbližší nižší číslo: 13 kusů,}$$

- počet kusů výstřížků na pásu plechu:

$$n_{ks} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} \text{ [ks]},$$

$$n_{ks} = \frac{1000}{102,7} = 9,74 \text{ ks} \rightarrow \text{voleno nejbližší nižší číslo: 9 kusů,}$$

- počet výstřížků z jedné tabule plechu:

$$n_c = n_p \cdot n_{ks} \text{ [ks]},$$

$$n_c = 13 \cdot 9 = 117 \text{ ks,}$$

- počet tabulí plechu pro výrobu 200 000 ks · rok<sup>-1</sup>:

$$n_t = \frac{\text{výrobní série}}{\text{počet výstřížků}} \text{ [ks]},$$

$$n_t = \frac{200\,000}{117} = 1\,709,4 \rightarrow \text{voleno 1710 ks,}$$

- využití materiálu:

$$V_z = \frac{S_o \cdot n_p \cdot n_{ks}}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 \text{ [%]},$$

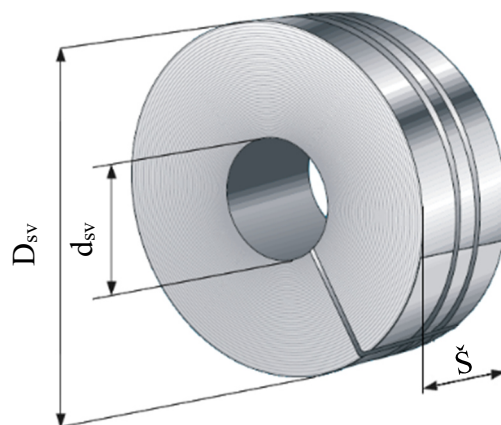
$$V_z = \frac{7\,595,2 \cdot 13 \cdot 9}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 44,43 \text{ \%}.$$

Tab. 4 Využití materiálu jednotlivých variant.

Varianty	Rozměry tabule [mm]	Dělení tabule	Počet pásů [ks]	Počet výstřížků [ks]	Počet výstřížků z tabule [ks]	Počet tabulí [ks]	Využití materiálu [%]
A	1000 × 2000	Podélné	9	14	126	1587	47,85
		Příčné	18	7	126	1587	47,85
	1500 × 3000	Podélné	13	21	273	680	46,08
		Příčné	27	10	270	715	47,26
B	1000 × 2000	Podélné	6	19	114	1755	43,28
		Příčné	13	9	117	1710	44,43
	1500 × 3000	Podélné	10	29	290	690	48,95
		Příčné	20	14	280	715	47,26
C	1000 × 2000	Podélné	9	14	126	1588	47,85
		Příčné	18	7	126	1588	47,85
	1500 × 3000	Podélné	14	21	294	680	49,62
		Příčné	28	10	280	715	47,26

Nejlepší využití materiálu vychází u varianty B a C. U varianty B bylo vypočítáno ekonomické využití materiálu o hodnotě  $V_z = 48,95$  % na tabuli plechu o rozměrech 1500 × 3000 mm pomocí podélného dělení. U varianty C bylo vypočteno ekonomické využití materiálu  $V_z = 49,62$  % na stejné tabuli plechu jako u varianty B. Z těchto výsledků je zřejmé, že ekonomické využití materiálu na tabulích plechu vychází pod 50 % což není dostačující.

Kvůli využití tabule pásu plechu pod 50 % bude vypočítáno využití materiálu ze svitku plechu (obr. 31) vzorově pro variantu B, pro svitek o šířce  $\check{S} = 145,4$  mm. Pro vypočítání délky svitku bude vycházeno z následujících vzorců:[18]



Obr. 31 Rozměry svitku plechu [22].

- výpočet potřebné délky svitku plechu  $L_{sv}$ :

$$L_{sv} = \frac{\pi}{4 \cdot s} \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2) \quad [mm] \quad (4.8)$$

$$L_{sv} = \frac{\pi}{4 \cdot 3} \cdot (1500^2 - 610^2) = 491\,633,1 \text{ mm},$$

- počet výstřížků z jednoho svitku  $n_s$ :

$$n_s = \frac{L_{sv}}{K} \quad [ks], \quad (4.9)$$

$$n_s = \frac{491\,633,1}{102,7} = 4\,787,1 = 4\,787 \text{ ks},$$

- potřebný počet svitků pro výrobu  $200\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$   $p_{sv}$ :

$$p_{sv} = \frac{200\,000}{n_s} \quad [ks], \quad (4.10)$$

$$p_{sv} = \frac{200\,000}{4\,787} = 41,78 = 42 \text{ ks},$$

- využití materiálu pro jeden svitek  $V_{sv}$ :

$$V_{sv} = \frac{n_s \cdot S_o}{\check{S} \cdot L_{sv}} \cdot 100 \quad [\%], \quad (4.11)$$

$$V_{sv} = \frac{4\,787 \cdot 7595,2}{145,4 \cdot 491\,633,1} \cdot 100 = 50,86 \text{ \%}.$$

Tab. 5 Hodnoty využití materiálu pro svitek.

Varianta	Vnější – vnitřní průměr svitku [mm]	Využití materiálu [%]
A	1500 – 610	50,22
	2000 – 610	50,22
B	1500 – 610	50,86
	2000 – 610	50,86
C	1500 – 610	50,58
	2000 – 610	50,58

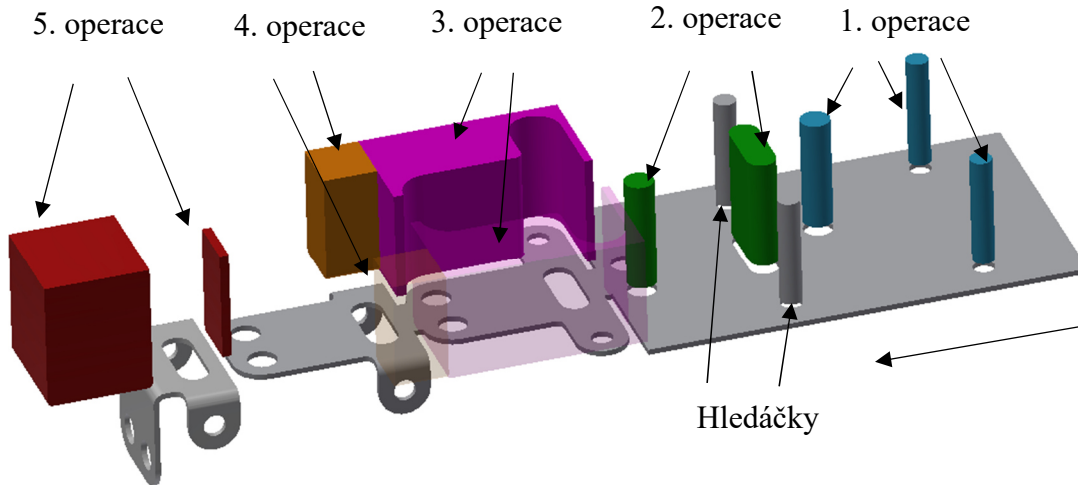
Obecně je z výsledků jasné, že svitky dosahují vyššího využití materiálu o 1,2 %. Při vypočítání ekonomického využití materiálu svitku bylo zjištěno využití materiálu nad 50 % (tabulka 5) u všech tří variant. U varianty B vyšlo toto využití nejvyšší a to 50,86 %. Při uvažování stříhu a následného ohybu u varianty B bude při posuvu materiálu docházet k jednodušší realizaci ohybu ve sduženém nástroji. Dále kvůli nejvyššímu využití materiálu a z hlediska technologičnosti bude výroba uvažována podle uspořádání nástřihového plánu typu B.

### 4.3 Plán výroby

Po stanovení varianty rozložení výstřížku na plech následuje rozvržení plánu výroby pro zvolenou variantu B. Pro výrobu byly zvažovány 2 podobné postupy výroby, plán výroby – varianta 1 (obr. 32) a plán výroby – varianta 2 (obr. 33). Výroba součásti se bude skládat z pěti operací.

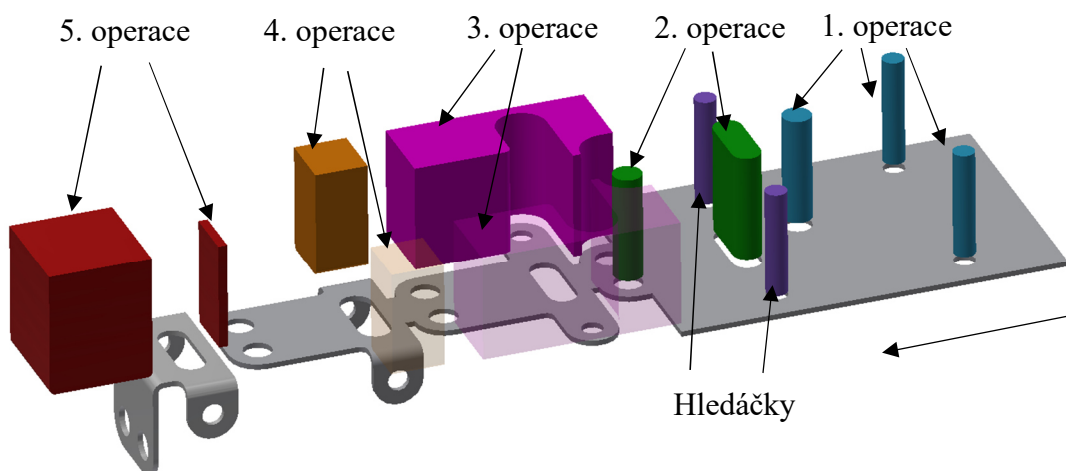
- Plán výroby (varianta 1) – plech se posune na načínací dorazy a v součásti budou děrovány otvory  $2 \times \text{Ø}12 \text{ mm}$  a jednou  $\text{Ø}16 \text{ mm}$ . Následně bude pás plechu posunut o hodnotu kroku  $K$ , zastaví se na druhém načínacím dorazu, pomocí hledáček zahledá polohu a bude děrována drážka a otvor o  $\text{Ø}16 \text{ mm}$ . Ve třetí operaci se pás plechu znovu

posune k dalšímu načínacímu dorazu a bude vystřižen obrys součásti, ale bude zde ponechán můstek pro následující operaci, kdy bude docházet k ohnutí bočních stěn součásti pod úhlem  $90^\circ$  pomocí ohybníků. V poslední operaci výroby dojde k odstřížení můstku a ohnutí čelní stěny součásti pod úhlem  $90^\circ$ .



Obr. 32 Plán výroby – varianta 1.

- Plán výroby (varianta 2) – obdobně byl uvažován plán výroby 2, který se liší pouze ve druhé a třetí operaci. V těchto operacích by došlo k vystřížení tvaru součásti a díky tomu vznikne mezi střížníkem a ohybníkem mezera, zároveň ve variantě 1 jsou ve třetí operaci velice úzké části střížníku, které by byly velice obtížné na výrobu a byly by příliš zatěžovány a hrozilo by poškození střížníku. Proto bude tento plán výroby vybrán jako výchozí pro výrobu dané součásti.



Obr. 33 Plán výroby – varianta 2.

#### 4.4 Výpočty pro technologii stříhání

Zásadním výpočtem pro návrh výroby a volbu stroje je určení střížné síly. Stříh bude pro zvolenou variantu probíhat v prvních třech operacích a pro tyto operace je nutné vypočítat střížnou sílu zvlášť pro jednotlivé střížníky a poté tyto síly sečíst dohromady pro získání celkové střížné síly potřebné pro správné určení výrobního stroje. Tuto sílu lze vypočítat podle vzorce (2.2). Mez pevnosti stříhaného materiálu bude uvažována jako  $R_m = 360$  MPa. Do vztahu rovněž vstupuje součinitel otupení jako  $n = 1,3$ . Obvod všech stříhaných částí

zejména obvod tvarového střížníku byly vypočteny v programu Autodesk Inventor Professional 2022 a jejich hodnoty lze vidět v tabulce 6.

Tab. 6 Obvody stříhaných částí.

Typy střížníků	Ø12	Ø16	drážka	obrys	můstek
l [mm]	37,7	50,3	106,7	422,4	66

- Potřebná střížná síla pro vystřížení Ø12 mm:

$$F_{S1} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 37,7 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 360 = 42\,344,6 \text{ N.}$$

- Potřebná střížná síla pro vystřížení Ø16 mm:

$$F_{S2} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 50,3 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 360 = 56\,497 \text{ N.}$$

- Potřebná střížná síla pro vystřížení drážky o rozměrech 28 × 16 mm:

$$F_{S3} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 106,7 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 360 = 119\,845,4 \text{ N.}$$

- Potřebná střížná síla pro vystřížení obrysu:

$$F_{S4} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 422,4 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 360 = 474\,439,7 \text{ N.}$$

- Potřebná střížná síla pro vystřížení můstku o rozměrech 28 × 5 mm:

$$F_{S5} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 66 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 360 = 74\,131,2 \text{ N.}$$

- Celková střížná síla:

$$F_{SC} = 2 \cdot F_{S1} + 2 \cdot F_{S2} + F_{S3} + 2 \cdot F_{S4} + F_{S5},$$

$$F_{SC} = 2 \cdot 42\,344,6 + 2 \cdot 56\,497 + 119\,845,4 + 2 \cdot 474\,439,7 + 74\,131,2,$$

$$F_{SC} = 1\,340\,539,2 \text{ N} = 1\,340,5 \text{ kN.}$$

- Střížná práce bude vypočtena podle vzorce (2.3). Součinitel hloubky vtlačení **k** byl zvolen 0,55 podle tabulky 2:

$$A_S = \frac{k \cdot F_{SC} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 1\,340\,500 \cdot 3}{1000} = 2\,211,8 \text{ J.}$$

- Výpočet střížné vůle podle vzorce (2.1). Velikost součinitele závislého na druhu stříhání **c** byl volen 0,025 vzhledem k nepožadovaným nárokům na vysokou přesnost výroby:

$$v = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,025 \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 360} = 0,41 \text{ mm.}$$

- Výpočet kritické délky střížníku se provádí pro nejmenší plochu střížníku tedy kruhový střížník o Ø12 mm podle vzorce (2.4):

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{S1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 12^4}{64}}{1,3 \cdot 42\,344,6}} = 391,5 \text{ mm.}$$

Kritická délka střížníku byla vypočtena 391,5 mm a použitý střížník nesmí tuto hodnotu překročit, jinak by hrozila deformace tohoto střížníku.

- Kontrola střížníku na otláčení se bude provádět pro tentýž střížník jako v předchozím výpočtu tedy  $\varnothing 12$  mm: [21]

$$\sigma = \frac{F_{S1}}{S} \quad [MPa], \quad (4.12)$$

$$\sigma = \frac{44\,344,6}{\frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 392,1 \text{ MPa},$$

$$1600 \text{ MPa} \geq 392,1 \text{ MPa},$$

dovolené napětí v tahu bylo stanoveno 1600 MPa a při porovnání s vypočítanou hodnotou od střížníku  $\varnothing 12$  mm je zřejmé že toto napětí je menší než dovolené, tudíž vyhovuje.

- Výpočet funkčních rozměrů střížníku a střížnice – rozměry se stanoví podle normy ČSN 22 6015 a podle níže uvedených vzorců a jejich hodnoty budou zobrazeny v tabulkách 10 a 11. Tolerance jednotlivých střížníků a střížnic jsou vypočteny na základě nepředepsaných mezních úchylek jednotlivých délkových rozměrů, byla zvolena střední třída přesnosti ČSN ISO 2768-m a její hodnoty jsou v tabulce 7. Vypočtené hodnoty úchylek a rozměrů střížníků a střížnic budou vzhledem k vyrobitelnosti a možné kontrole upraveny pouze na setiny. [21]

Tab. 7 Hodnoty nepředepsaných tolerancí pro ČSN ISO 2768-m [21].

Třída přesnosti		Mezní úchylky pro jednotlivé rozměry [mm]				
Značení	Název	0,5 až 3	3 až 6	6 až 30	30 až 120	120 až 240
m	střední	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

- Děrování  $\varnothing 12$  mm (střížník):

$$RAD = \left( JR + \frac{P}{2} \right) - TA, \quad (4.13)$$

$$RAD = \left( 12 + \frac{0,17}{2} \right) - 0,040 = 12,085_{-0,040} \text{ mm},$$

kde:  $RAD$  - rozměr střížníku při děrování [mm],

$JR$  - jmenovitý rozměr [mm],

$P$  - přípustná míra opotřebení [mm],

$TA$  - výrobní tolerance střížníku [mm].

- Děrování  $\varnothing 12$  mm (střížnice):

$$RED = \left( JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE, \quad (4.14)$$

$$RED = \left( 12 + \frac{0,17}{2} + 0,41 \right) + 0,063 = 12,495^{+0,063} \text{ mm},$$

kde:  $RED$  - rozměr střížnice při děrování [mm],

$TE$  - výrobní tolerance střížnice [mm].

Tab.10 Rozměry střížnic a střížníků při děrování.

Děrovaný rozměr [mm]	Výrobní rozměr střížníku [mm]	Výrobní rozměr střížnice [mm]
Ø12	Ø12,085 <sub>-0,040</sub>	Ø12,495 <sup>+0,063</sup>
Ø16	Ø16,085 <sub>-0,040</sub>	Ø16,495 <sup>+0,063</sup>
16	16,085 <sub>-0,040</sub>	16,495 <sup>+0,063</sup>
28	28,085 <sub>-0,040</sub>	28,085 <sub>-0,040</sub>

- Vystřihování rozměru 110 mm (střížník):

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA, \quad (4.15)$$

$$RAV = \left( 110 - \frac{0,25}{2} - 0,41 + 0,062 \right) - 0,062 = 109,527_{-0,062} \text{ mm},$$

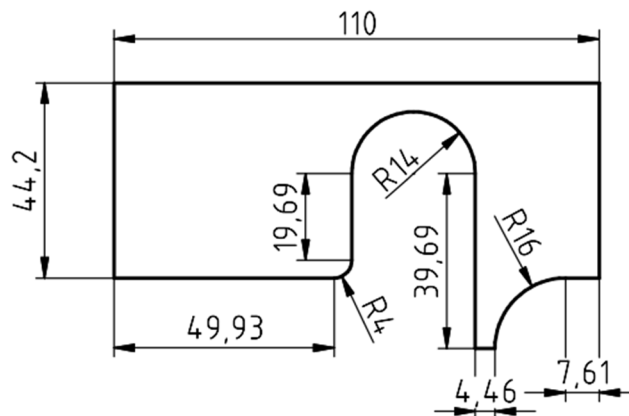
kde:  $RAV$  - rozměr střížníku při vystřihování [mm].

- Vystřihování rozměru 110 mm (střížnice):

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE, \quad (4.16)$$

$$REV = \left( 110 + \frac{0,25}{2} \right) + 0,100 = 110,125^{+0,100} \text{ mm},$$

kde:  $REV$  - rozměr střížnice při vystřihování [mm].



Obr. 34 Vystřihovaný materiál.

Tab.11 Rozměry tvarových střížnic a střížníků při vystřihování.

Vystřihovaný rozměr [mm]	Výrobní rozměr střížníku [mm]	Výrobní rozměr střížnice [mm]
110	109,527 <sub>-0,062</sub>	110,125 <sup>+0,100</sup>
44,2	43,727 <sub>-0,062</sub>	44,325 <sup>+0,100</sup>
49,93	49,457 <sub>-0,062</sub>	50,055 <sup>+100</sup>
R4	3,565 <sub>-0,025</sub>	4,05 <sup>+0,036</sup>
19,69	19,69 ± 0,040	19,69 ± 0,063
R14	14,085 <sub>-0,040</sub>	14,495 <sup>+0,063</sup>
39,69	39,69 ± 0,062	39,69 ± 0,100
4,46	4,015 <sub>-0,025</sub>	4,4 <sup>+0,036</sup>
R16	15,545 <sub>-0,040</sub>	15,915 <sup>+0,063</sup>
7,61	7,145 <sub>-0,040</sub>	7,515 <sup>+0,063</sup>

- Výpočet těžiště střížné síly – je důležitý pro správné určení polohy stopky nástroje. Poloha těžiště jednotlivých střížných sil (obr. 35) byla určena v programu Autodesk Inventor Professional 2022. Níže bude vypočteno těžiště stopky nástroje pro osu x a y.
- Výpočet těžiště střížné síly ve směru osy x ( $X_{Tc}$ ):

$$X_{Tc} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{Ti} \cdot F_{Si}}{\sum_{i=1}^n F_{Si}} \quad [mm], \quad (4.17)$$

$$X_{Tc} = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4}{F_{Sc}},$$

$$X_{Tc} = \frac{141\,186,2 \cdot 468,53 + 176\,342,4 \cdot 364,24 + 474\,439,7 \cdot 279,9}{1\,340\,500} +$$

$$\frac{74\,131,2 \cdot 98,43}{1\,340\,500} = 201,77 \text{ mm} = 201,8 \text{ mm},$$

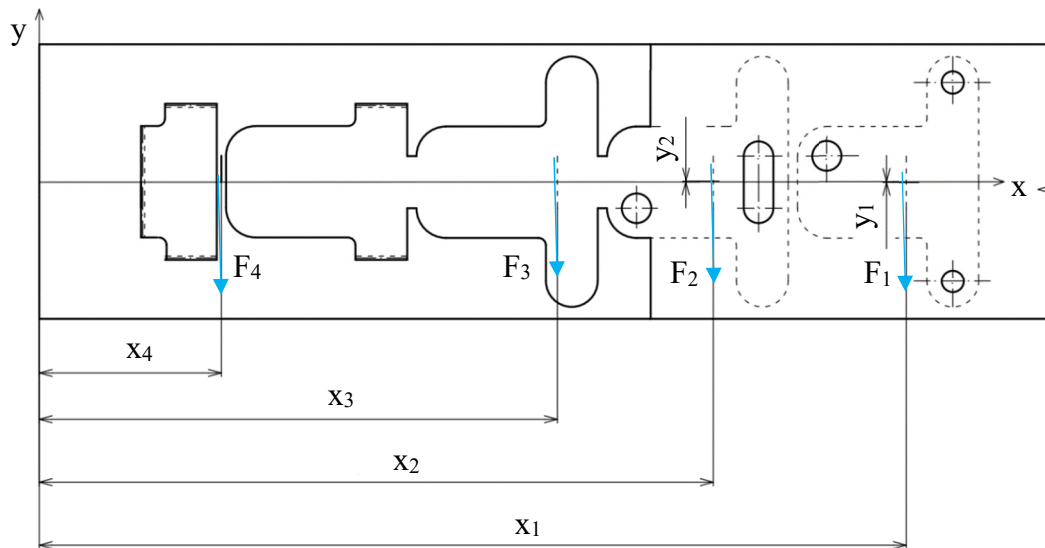
$$X_{Tc} = 201,8 \text{ mm}.$$

- Výpočet těžiště střížné síly ve směru osy y ( $Y_{Tc}$ ):

$$Y_{Tc} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{Ti} \cdot F_{Si}}{\sum_{i=1}^n F_{Si}} \quad [mm], \quad (4.18)$$

$$Y_{Tc} = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2}{F_{sc}} = \frac{141\,186,2 \cdot (-0,39) + 176\,342,4 \cdot 0,41}{1\,340\,500},$$

$$Y_{Tc} = 0,013 \text{ mm.}$$



Obr. 35 Těžiště střížných sil.

Z výše uvedených výsledků byly vypočteny souřadnice těžiště stopky sdrúženého nástroje o hodnotách  $X_{Tc} = 201,8 \text{ mm}$  a  $Y_{Tc} = 0,013 \text{ mm}$ . Vypočtené hodnoty budou sloužit pro správné upnutí stopky do upínací desky a beranu lisu. Poloha stopky v upínací desce je důležitá z hlediska přesnosti výroby a životnosti nástrojů.

#### 4.5 Výpočty pro technologii ohýbání

Podobně jako u stříhání je výpočet ohybové síly důležitý pro zvolení správného stroje pro výrobu součásti. Ohyb bude probíhat ve čtvrté a páté operaci výroby. Výpočet síly pro ohýbání probíhá podobně jako u stříhání. Nejprve se vypočte potřebná ohýbací síla pro U a V ohyb součásti. Poté dojde ke sečtení těchto sil a tím se získá potřebná ohýbací síla.

- Výpočet ohýbací síly pro ohnutí bočních stěn součásti do tvaru U podle vzorce (3.8):

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{135,4 \cdot 3^2 \cdot 235}{3 + 3} = 97\,843,43 \text{ N.}$$

- Výpočet přidržovací síly  $F_p$ . Hodnota zvětšení síly kvůli bezpečnosti bude použita 0,3:

$$F_p = 0,3 \cdot F_U \quad [\text{N}], \quad (4.16)$$

$$F_p = 0,3 \cdot 97\,843,43 = 29\,353 \text{ N.}$$

- Výpočet ohýbací síly pro ohnutí čelní stěny do tvaru V podle vzorce (3.10):

$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{97,7 \cdot 3^2 \cdot 235}{2 \cdot 3} \cdot \text{tg} \frac{90}{2} = 34\,439,25 \text{ N.}$$

- Výpočet celkové ohýbací síly

$$F_{Ou} = F_U + F_V + F_p = 97\,843,43 + 34\,439,25 + 29\,353 = 161\,635,68 \text{ N}$$

$$F_{Ou} = 161,64 \text{ kN.}$$

- Výpočet ohýbací práce podle vzorce (3.9):

$$A_{ou} = \frac{2}{3} \cdot F_{ou} \cdot \frac{h}{1000} = \frac{2}{3} \cdot 161\,640 \cdot \frac{40}{1000} = 4\,310,4 J$$

- Výpočet odpružení na bočních stěnách součásti podle vzorce (3.5):

$$\beta_1 = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{6}{0,51 \cdot 3} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right)$$

$$\beta_2 = 0,096^\circ = 0^\circ 5' 45,6''$$

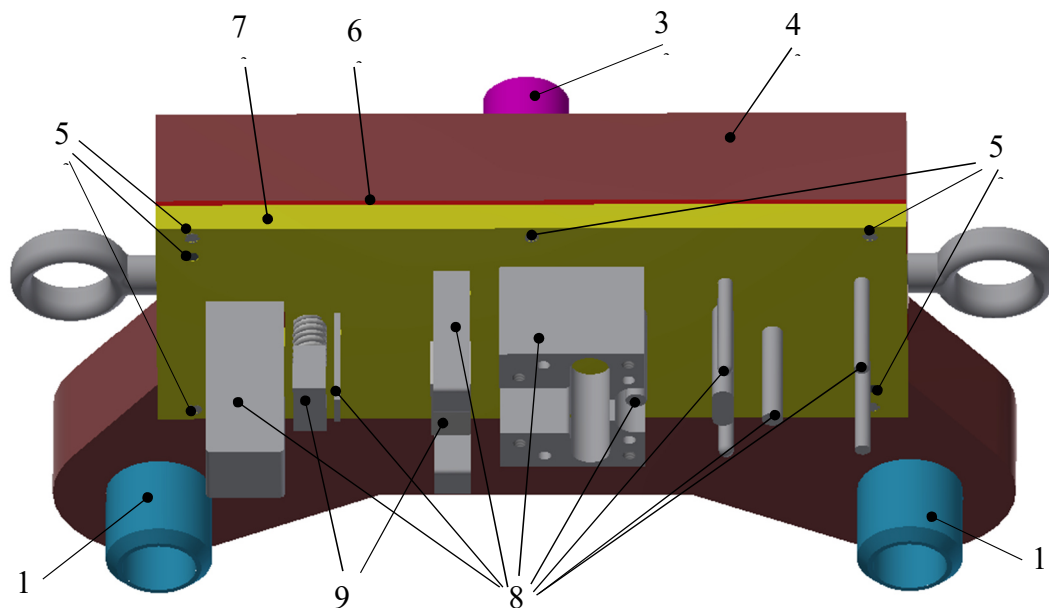
- Výpočet odpružení na čelní stěně součásti podle vzorce (3.4):

$$\beta_2 = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{L}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{6}{0,51 \cdot 3} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right)$$

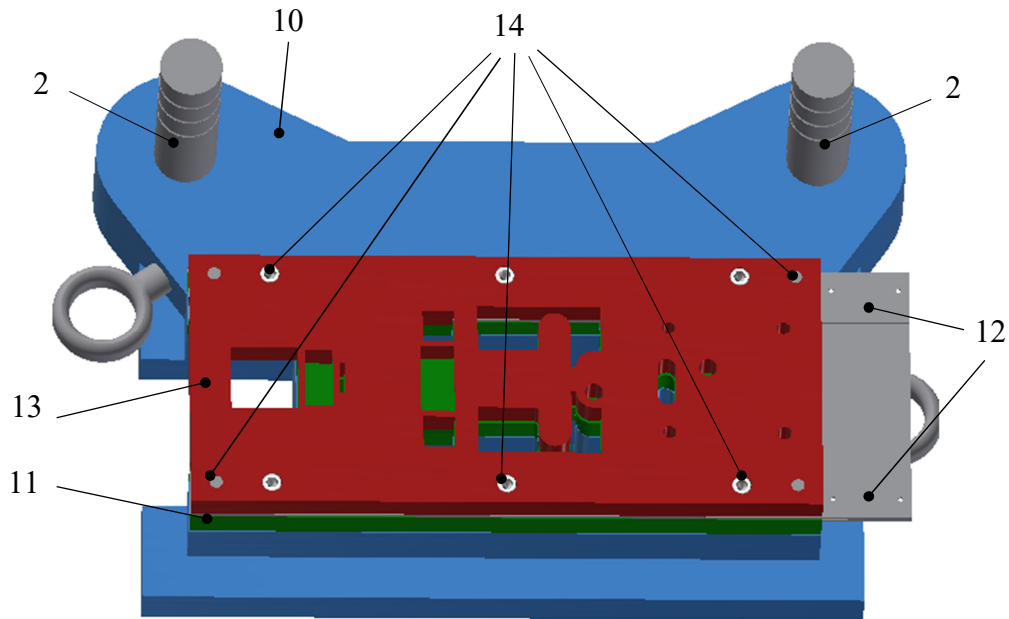
$$\beta_2 = 0,096^\circ = 0^\circ 5' 45,6''$$

#### 4.6 Sdružený nástroj

Na obrázku 36 a 37 lze vidět sdružený nástroj který se skládá z horní a spodní části. Obě části nástroje jsou spojeny pomocí sloupků a vodících pouzder. Horní (pohyblivá) část nástroje je upnuta v beranu lisu pomocí stopky (3), která je upnuta v místě těžiště výsledné střížné síly do horní upínací desky vodícího stojánu (4). Tato deska je dále pomocí šroubů a kolíků (5) spojena s opěrnou (6) a kotevní deskou (7). Kotevní deska slouží pro ukotvení střížníků, ohybníků a hledáček (8). Tyto tvářecí nástroje zde jsou připevněny pomocí osazení a tvarový střížník pomocí šroubů a kolíků. Dále je zde přidržovač (9) pro zajištění plechu při ohýbacích operacích. Pevná spodní část sdruženého nástroje je upevněna na stůl lisu pomocí základové desky vodícího stojánu (10), která mimo jiné zajišťuje odvádění odpadového materiálu vzniklého stříháním. Na základové desce se nachází střížná skříň (11), vodící lišty (12) a vodící deska (13). Celá spodní část sdruženého nástroje je zajištěna šesti šrouby a dvěma kolíky (14). Vodící lišty zajišťují správné vedení svitku plechu během pěti výrobních operací, zatímco vodící deska zajišťuje správné vedení střížníků a ohybníků.



Obr.36 Horní část sdruženého nástroje.



Obr. 37 Spodní část sduženého nástroje.

#### 4.7 Volba stroje

Pro správné zvolení stroje pro výrobu součásti se vychází z velikosti střížné a ohýbací síly. Tvářecí sílu je nutné kvůli bezpečnosti zvětšit o 30 až 50%. Jedny z nejvhodnějších strojů pro stříhání a ohýbání jsou excentrické lisy neboli výstředníkové.

- Výpočet bezpečnostní střížné síly:

$$F_{bezp1} = 1,5 \cdot F_{SC} \quad [N], \quad (4.16)$$

$$F_{bezp1} = 1,5 \cdot 1\,340\,500 = 2\,010\,750 \text{ N}.$$

- Výpočet bezpečnostní ohýbací síly:

$$F_{bezp2} = 1,5 \cdot F_{Ou} \quad [N], \quad (4.17)$$

$$F_{bezp2} = 1,5 \cdot 161\,640 = 242\,460 \text{ N}.$$

- Celková bezpečnostní tvářecí síla:

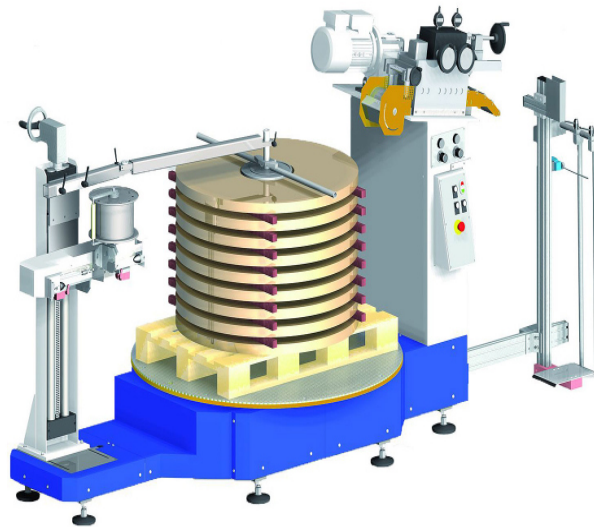
$$F_{bezp} = F_{bezp1} + F_{bezp2} \quad [N], \quad (4.18)$$

$$F_{bezp} = 2\,010\,750 + 242\,460 = 2\,253\,210 \text{ N} = 2\,253,2 \text{ kN}.$$

Vzhledem k bezpečnostní síle která vyšla  $F_{bezp} = 2\,253,2 \text{ kN}$  byl zvolen excentrický lis Mecanica Exacta model CC250 (obr. 38) od firmy Formetal s.r.o viz příloha 2, o jmenovité tvářecí síle 2500 kN a zdvihu 25 až 200 mm. Tento lis je vhodný zejména pro práci v linkách se svitky a pro použití odvíjecího a rovnacího zařízení a podavač pro podávání svitků plechu. Mezi další výhody tohoto stroje patří odhlučnění stroje, automatické nebo poloautomatické nastavení zdvihu, hydraulický systém proti přetížení a další viz příloha 3. U stroje bude použito odvíjecí, rovnací zařízení a podavač. [23]



a) excentrický lis CC250



b) rovnací a odvíjecí zařízení

Obr. 38 Zvolené výrobní zařízení. [23;24]

---

## ZÁVĚR

Vyráběná součást je nástěnný držák, který bude sloužit jako část polohovacího systému reproduktoru. Pro výrobu součásti byl zvolen materiál ocel S 235JR, kvůli svojí nízké pořizovací ceně a dostačujícím mechanickým vlastnostem. Dílec bude vyráběn z polotovaru o tloušťce 3 mm a plánovaná výrobní série bude činit 200 000 ks · rok<sup>-1</sup>.

V prvním kroku výroby kromě zvolení vhodného materiálu byl v práci proveden rozbor pro zvolení nejvhodnějšího způsobu výroby. Pro výrobu ohnutých částí dílce byla uvažována technologie ohýbání v nástroji a následně bylo nutné zvolit vhodnou výrobu rozvinutého tvaru. Optimální se z hlediska požadavků jeví technologie postupového stříhání, která vyhovuje přesnostmi i jakostí stříhané plochy a požadavkům na vyráběný tvar součásti. Navíc se dá bez komplikací zkombinovat s technologií ohýbání ve sdruženém nástroji.

Po provedení teoretické rešerše zaměřené na technologie stříhání a ohýbání bylo přikročeno k návrhu výroby dané součásti. V tomto kroku byla nejdříve posouzena technologičnost, která vyhovovala všem požadavkům. Následně byla vypočtena rozvinutá délka součásti a navrhnuty varianty rozložení nástřihového plánu. Využití materiálu bylo počítáno pro tabule plechu i pro svitek. Nejlepší využití materiálu 50,86 % bylo vypočteno u varianty B pro svitek plechu o rozměrech Ø1500 mm vnějšího a Ø610 mm vnitřního průměru svitku a šířce Š = 145,4 mm. Po zvolení vhodného nástřihového plánu následoval návrh sledu jednotlivých operací výroby. Zde byly popsány jednotlivé operace výroby a následovaly výpočty pro technologii stříhání. Celková střížná síla byla stanovena na hodnotu  $F_{SC} = 1340,5$  kN a ohýbací síla na  $F_{Ou} = 161,64$  kN. Po vypočtení tvářecích sil byl zvolen excentrický lis Mecanica Exacta model CC250 od firmy Formetal s.r.o., který bude doplněn o odvíjecí podávací a rovnací zařízení. Podle vypočtených parametrů, požadavků na stříhání a ohýbání byl v řešení práce proveden návrh konstrukce sdruženého nástroje společně s výkresovou dokumentací.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  2. Product for industrial technology. In: *Interprise solution* [online]. Polsko: Interprise solution, 2019 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://interprise-solution.pl/en/project/product-for-industrial-technology-cut-out-of-sheet-metal-and-bent/>
  3. Laser Job work. In: *Laser Job work* [online]. Indie: Laser Job work, 2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.laserjobwork.in/gi-laser-cutting.html>
  4. Plate bending. In: *Plate bending* [online]. Germany: Tailor steel, 2016 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.247tailorsteel.com/en/plate-bending>
  5. Normy. *Poltech* [online]. Ostrov u Macochy: Poltech cz, 2017 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <http://www.poltech.cz/poltech/10-Normy-CSN-DIN-ISO/16-Vlastnosti-nezelezných-kovu>
  6. Ocelářův průvodce 2. *Babca* [online]. Česká republika: Praha, 2020 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [http://babca.cz/content/useruploads/ocelaruv\\_pruvodce\\_2b.pdf](http://babca.cz/content/useruploads/ocelaruv_pruvodce_2b.pdf)
  7. Řezání vodním paprskem. *Wikipedie* [online]. Wikipedie, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD\\_vodn%C3%ADm\\_paprskem](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)
  8. Řezání vodním paprskem. *Liko welding* [online]. Slavkov u Brna: Liko S, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.liko-welding.cz/cs/rezani-vodni-paprsek>
  9. Laserové řezání. *Seriál na téma lasery* [online]. Praha: Pavel Kořán, 2013 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
  10. Dělení kovů. In: *Svářecí kukla* [online]. Praha: pro industry, 2015 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/blog/deleni-ci-rezani-kovu/>
  11. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
  12. Plazmové řezání. *Honkys export* [online]. Praha: Honkys export, 2014 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.honkys-export.cz/nekolik-slov-k-plazmovemu-rezani-neboli-paleni-plazmou-a-15-ag-5/>
  13. Plazmové elektrody. In: *Metaweld* [online]. Most: Meta weld, 2013 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.metaweld.cz/svareci-technika-1/svarovaci-horaky/nahradni-dily-k-plazmovym-horakum/plazmove-elektrody/>
  14. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. ISBN L 13-B 3-IV-41/22674.
  15. Estampo de corte. In: *Grabcad community* [online]. Španělsko: GrabCAD, 2014 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/estampo-de-corte-1>
  16. Progressive stamping. In: *Wikipedie* [online]. England: Encyklopedie: Wikipedie, 2005 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Progressive\\_stamping#/media/File:ProgressiveDieToyota-strip-scrap.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Progressive_stamping#/media/File:ProgressiveDieToyota-strip-scrap.jpg)
-

17. Technologičnost stříhání. *Akademie tváření: Stříhání* [online]. Praha: Haltuf, 2014 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
18. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
19. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
20. Ohýbání. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. Liberec: Fakulta strojní, 2012 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
21. Syllabus. In: *Odbor technologie tváření ÚST FSI VUT Brno* [online]. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2002 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2\\_rocnikovy\\_projekt\\_I\\_2019\\_forejt.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf)
22. Svitek plechu. *Tedox* [online]. Praha: Tedox, 2020 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.tedox.cz/c-haky>
23. Excentrický lis. *Formetal* [online]. Měšice: ForMetal, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/vystrednikove-lisy-model-cc/>
24. Rovnací a odvíjecí zařízení. *Kontura tools* [online]. Zlín: KonturaTools, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.konturtools.cz/produkt/rovnacky-plechu-odvijedla-soprem>
25. Ohýbačka plechu. *Expondo* [online]. Germany: HR Germany, 2019 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://www.expondo.cz/msw-ohybacka-plechu-1-020-mm-0-az-1350-manualni-nozni-pedal-10061168?gclid=Cj0KCQjwxtSSBhDYARIsAEn0thSiUX5eIt\\_Bemc7Zax06pT214wl-Y-xTdig1OS0ItsqN\\_T4CIDN\\_jkaAmDDEALw\\_wcB](https://www.expondo.cz/msw-ohybacka-plechu-1-020-mm-0-az-1350-manualni-nozni-pedal-10061168?gclid=Cj0KCQjwxtSSBhDYARIsAEn0thSiUX5eIt_Bemc7Zax06pT214wl-Y-xTdig1OS0ItsqN_T4CIDN_jkaAmDDEALw_wcB)
26. Excentrický lis. *Elpotech* [online]. Slovensko: elpotech, 2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.elpotech.sk/p/31/excentricky-lis-le160c>
27. Ohraňovací lis. *Formetal* [online]. Měšice: ForMetal, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/cnc-ohranovaci-lis-ad-r/>
28. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
29. Výroba kostky - Bakalářská práce. In: *Výroba kostky* [online]. Brno: VUT, 2014 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293602.pdf>
30. Hledáčky. In: *Dayton progress* [online]. Benátky nad Jizerou: Dayton progress, 2016 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.daytonprogress.de/cs/>
31. Bakalářská práce - ohybník a ohybnice s vložkami. In: *Závěrečná práce* [online]. Brno: VUT, 2012 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=53098](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53098)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
$A_{ou}$	celková ohybová práce	[J]
$A_s$	střížná práce	[J]
b	šířka materiálu	[mm]
c	koeficient jakosti povrchu	[-]
$D_{sv}$	vnější průměr svitku	[mm]
$d_{sv}$	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
$E_k$	délka přepážky	[mm]
F	vzdálenost od okraje	[mm]
$F_p$	síla přidržovače	[N]
$F_{bezp}$	střížná síla potřebná pro zvolení lisu	[N]
$F_{Ou}$	celková ohýbací síla	[N]
$F_V$	ohýbací síla pro V ohyb	[N]
$F_U$	ohýbací síla pro U ohyb	[N]
$F_{SC}$	celková střížná síla	[N]
$F_{Si}$	střížná síla jednotlivých střížníků	[N]
f	součinitel tření	[-]
h	zdvih beranu lisu	[mm]
$h_{el}$	hloubka elastického vniknutí střížníku	[mm]
$h_{pl}$	hloubka elastického vniknutí střížníku	[mm]
I	kvadratický moment	[mm <sup>4</sup> ]
JR	jmenovitý rozměr	[mm]
k	součinitel hloubky vtláčení	[-]
K	délka kroku	[mm]
L	vzdálenost středů poloměru mezi ohybníkem a ohybnicí	[mm]
$L_{sv}$	délka svitku plechu	[mm]
$L_C$	rozvinutá délka polotovaru	[mm]
$L_i$	délka rovných úseků	[mm]
$L_{0i}$	délka oblouků	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
$l_m$	vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
$l_{krit}$	kritická délka střížníku	[mm]
n	koeficient opotřebení nástroje	[-]
$n_p$	počet pásů z tabule plechu	[ks]
$n_{ks}$	počet kusů výstřížku na pásu plechu	[ks]
$n_c$	počet výstřížků plechu z tabule plechu	[ks]
$n_t$	počet tabulí plechu	[ks]
$n_s$	počet svitků	[ks]
P	přípustná míra opotřebení	[-]
R	poloměr ohybu	[mm]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$R_{max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
RAD	rozměr střížníku při děrování	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
RAV	rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
RED	rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
s	tloušťka plechu	[mm]
S	plocha stříhu	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>o</sub>	plocha rozvinutého tvaru součásti	[mm <sup>2</sup> ]
Š	šířka kroku	[mm]
TA	výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střížnice	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
V <sub>z</sub>	využití plechu	[%]
x	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
X <sub>Tc</sub>	souřadnice těžiště výslednice sil v ose x	[mm]
x <sub>i</sub>	souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose x	[mm]
Y <sub>Tc</sub>	souřadnice těžiště výslednice sil v ose y	[mm]
y <sub>i</sub>	souřadnice těžiště jednotlivých sil v ose y	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel odpružení po ohybu	[°]
τ <sub>s</sub>	střížný odpor	[MPa]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
σ	tahové napětí střížníku	[MPa]

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Nomogramy pro určení velikosti okraje můstku nástřihového plánu

Příloha 2 Technické parametry lisu CC250

### **Seznam výkresů**

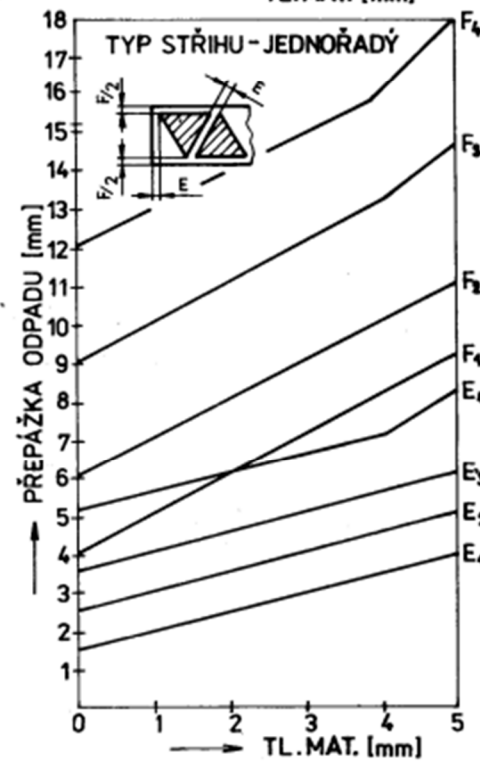
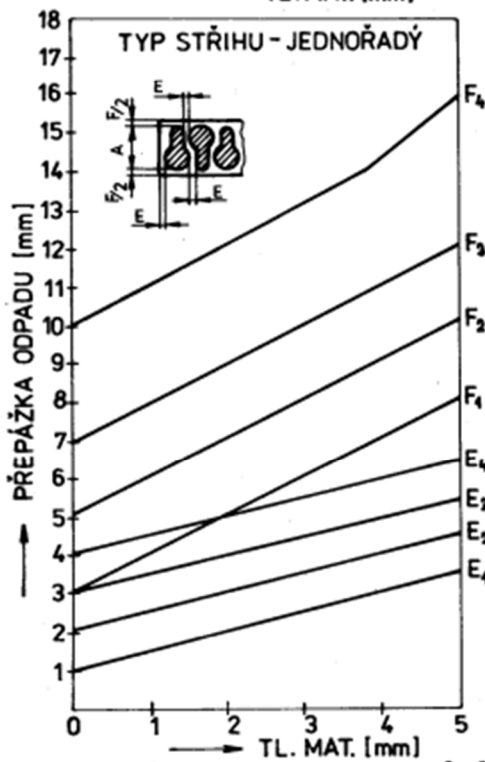
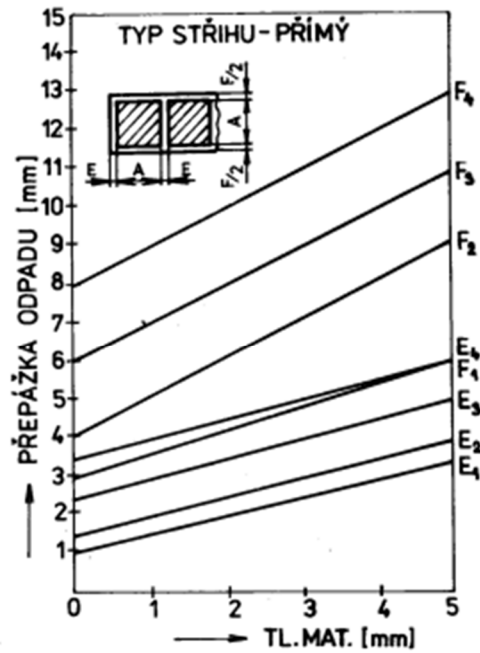
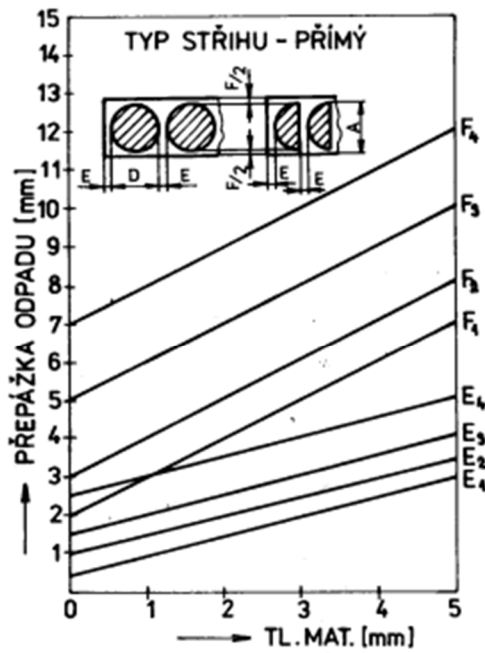
Sestava sdruženého nástroje; BP-208554-01

Nástěnný držák; BP-208554-02

Střížnice; BP-208554-03

Tvarový střížník; BP-208554-04

Příloha 1  
Nomogramy



PRO DÉLKU HRANY  $\Delta$  NEBO PRŮMĚR  $D$  :  $E_4F_4 = \text{DO } 15\text{mm}$      $E_3F_3 = 50 + 100\text{mm}$   
 $E_2F_2 = 15 + 50\text{mm}$      $E_1F_1 = \text{PŘES } 100\text{mm}$

Příloha 2  
Technické parametry lisu CC250

<b>Model</b>	<b>CC250</b>
Kapacita [kN]	2500
<b>Nominální výška [mm]</b>	<b>11.2</b>
<b>Energie v kontinuálním chodu [kJ]</b>	<b>28</b>
<b>Energie pro jednotlivý zdvih[kJ]</b>	<b>56</b>
Nominální rychlost [cyklů/min]	35
Variabilní rychlost [cyklů/min]	25 – 50
Nastavení zdvihu [mm]	25 – 200
Rozměry stolu [šířka x hloubka] [mm]	1500×990
Rozměry beranu [šířka x hloubka] [mm]	950×820
Uzavřená výška [min. vzdál. beran – stůl] [mm]	530
Průchod mezi bočnicemi [mm]	810
Pracovní výška [mm]	1000
Přestavení beranu [mm]	125
Počet vedení	6
Výkon motoru [kW]	30
Napětí [V / Hz]	400 / 50
Rozměry (šířka x hloubka x výška), [m]	2,7 x 2,9 x 4,65
<b>Hmotnost [kg]</b>	<b>31000</b>