



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH VÝROBY DRŽÁKU OVLÁDÁNÍ VENTILU A MANOMETRU

PRODUCTION DESIGN OF A HOLDER FOR PADDLE VALVE AND PRESSURE GAUGE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Bílek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2023

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jan Bílek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23

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:

### Návrh výroby držáku ovládání ventilu a manometru

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh nástroje pro výrobu těla držáku, který slouží jako nosný prvek pro připevnění aparatury ovládání ventilu a manometru. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součástí, výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje i nezbytnou výkresovou dokumentaci.

#### Cíle bakalářské práce:

- zhodnocení možností výroby,
- vypracování aktuální literární rešerše zvolených výrobních technologií,
- 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.

MARCINIÁK, 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 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem vhodné technologie výroby pro plechový držák na ovládání ventilu a manometru do autobusů. Polotovarem je zvolen svitek plechu o tloušťce 1,5 mm. Jako optimální materiál je vybrána konstrukční ocel S235JR. Výrobní série ustanovena na 150 000 kusů za rok. Po zhodnocení vhodných metod výroby je zvolena technologie postupového stříhání a ohýbání zkombinované ve sdruženém nástroji. V navrženém nástroji bude součást vyrobena ve čtyřech krocích z 11 svitků využitých z 95,85 %. Výroba bude probíhat v excentrickém lisu firmy Mecânica Exacta, modelu CC100 doplněného o odvíjecí zařízení pro svitky plechu.

### **Klíčová slova**

ocel S235JR, plošné tváření, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis is focused on the design of a suitable manufacturing technology for a sheet metal holder for valve and pressure gauge control for buses. A 1.5 mm thick sheet metal roll was chosen as a semi-finished product. S235JR structural steel was selected as the optimum material. The production series was set at 150,000 pieces per year. After evaluating suitable production methods, the technology of sequential shearing and bending combined in a combined tool was chosen. In the proposed tool, the part will be produced in four steps from 11 rolls with 95.85 % utilization. The production will be carried out in a Mecânica Exacta eccentric press, model CC100, supplemented by a coil unwinding device.

### **Keywords**

steel S235JR, sheet metal forming, cutting, bending, combined tool

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BÍLEK, Jan. *Návrh výroby držáku ovládní ventilu a manometru* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148811>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby držáku ovládní ventilu a manometru vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

místo, datum

---

Jan, Bílek

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

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

---

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

|   |    |
|---|----|
| ÚVOD .....  | 9  |
| 1 Rozbor součásti .....                           | 10 |
| 1.1 Varianty řešení výroby .....                  | 11 |
| 2 Technologie stříhání a ohýbání.....             | 14 |
| 2.1 Stříhání .....                                | 14 |
| 2.1.1 Střížná vůle .....                          | 16 |
| 2.1.2 Střížná síla a práce .....                  | 17 |
| 2.1.3 Technologičnost stříhaných součástí .....   | 17 |
| 2.1.4 Střížný nástroj .....                       | 18 |
| 2.2 Ohýbání .....                                 | 20 |
| 2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu .....   | 21 |
| 2.2.2 Odpružení .....                             | 22 |
| 2.2.3 Ohybová síla a práce.....                   | 23 |
| 2.2.4 Technologičnost ohýbaných součástí .....    | 24 |
| 2.2.5 Ohýbací nástroj.....                        | 25 |
| 3 Návrh výroby součásti .....                     | 26 |
| 3.1 Technologičnost .....                         | 26 |
| 3.2 Rozvinutý tvar součásti .....                 | 27 |
| 3.3 Výrobní postup .....                          | 28 |
| 3.3.1 Varianta A.....                             | 28 |
| 3.3.2 Varianta B.....                             | 29 |
| 3.4 Nástřihový plán .....                         | 30 |
| 3.5 Výpočty pro technologii stříhání .....        | 32 |
| 3.6 Výpočty pro technologii ohýbání .....         | 33 |
| 3.7 Stanovení rozměrů střížníků a střížnice ..... | 34 |
| 3.8 Konstrukce nástroje .....                     | 35 |
| 3.9 Kontrolní výpočty.....                        | 37 |
| 3.10 Volba stroje .....                           | 38 |
| ZÁVĚR.....  | 40 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

Seznam výkresů

---

## ÚVOD

V dnešní době stále platí požadavky na vyrobení co největšího počtu produktů za co nejmenší náklady, ale se stálou úrovní kvality a dobrými užitnými vlastnostmi. Jednou z takových vysoce produktivních technologií výroby kovových součástí ve strojírenství je technologie tváření, která se zabývá výrobou součástí za pomoci síly, kterou je materiál tvarován do požadované podoby. [1; 2; 12]

Tváření je stále velmi výhodný způsob výroby, a to zejména pro velkosériovou produkci. Nedochází u něj k odstraňování přebytečného materiálu a tím k jeho porušení s výjimkou stříhání, kde je porušení cílené. Dělí se na tváření za studena, tj. pod teplotou rekrytalizace, nebo za tepla. Další možné rozdělení je buď na objemové, kde při tváření nastává deformace ve třech směrech a mění se tak celý objem i tvar součásti nebo plošné, kdy k deformaci dochází pouze ve dvou směrech. [1; 2; 10]

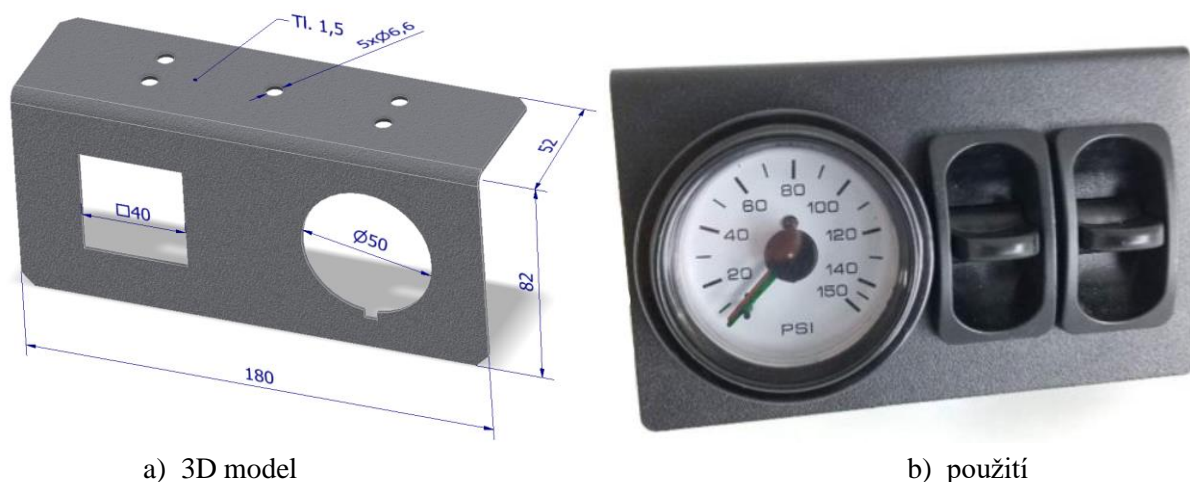
Plošným tvářením lze vyrábět součásti, které mají typicky nízkou hmotnost, ale dostatečnou pevnost i tuhost. Výchozími polotovary pro plošné tváření jsou plechy dodávané v tabulích nebo svitcích, tenkostěnné profily ve formě tyčí nebo trubek. Součásti vyrobené plošným tvářením mohou být určeny k přímému použití, např. upínky, nádobí nebo kryty, a není tedy nutné jejich další zpracování (obr. 1). [1; 2]



Obr. 1 Příklady součástek vyrobených plošným tvářením [3].

## 1 ROZBOR SOUČÁSTI

Vyráběnou součástí je držák ovládání ventilu a manometru (obr. 2). Je osazen manometrem pro měření tlaku vzduchu a dvoucestným pádlovým ventilem pro ovládání přísunu vzduchu. Držák je používán u tzv. vzduchového odpružení, které je využito u osobních automobilů pro zvýšení či snížení podvozku. Principem je odpružení vozidla pomocí vzduchových pytlů, do kterých je dle potřeby připouštěn nebo odčerpán vzduch. Obdobný systém je využíván například u nákladních vozidel nebo i autobusů a trolejbusů, kde je potřeba snížit výšku podvozku pro snadnější nástup a výstup cestujících.



Obr. 2 Vyráběná součást [5].

Součástka je opatřena pěti otvory pro šrouby pro snadné umístění držáku a dvěma otvory pro osazení manometru a ventilu. Základní rozměry jsou 180×82×52 mm. Součást je vyrobena z ocelového plechu tloušťky 1,5 mm. Díl nebude nijak staticky ani dynamicky výrazně namáhán a nebude se nacházet ve škodlivém prostředí. Výrobní dávku tvoří 210 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Na to je tedy nutné brát zřetel při volbě výrobní technologie, jelikož se jedná o velkosériovou výrobu.

Na základě uvedených požadavků je třeba též vybrat vhodný materiál. Vysoce legované materiály, jako např. korozivzdorná ocel byla vyloučena z důvodu použití ve vnitřním prostředí, kde by vlastnosti oceli nebyly plně využity a zbytečně by vzrostla výrobní cena. Součást proto bude vyrobena z běžně dostupné konstrukční oceli 11 375 (S235JR dle EN 10025), která je levná a lehce dostupná. Jedná se o ocel nelegovanou, obvyklých jakostí, vhodnou ke tváření za studena, svařování a pro ocelové konstrukce, odolnou vůči stárnutí. Mechanické a chemické vlastnosti oceli jsou dány dle normy ČSN 41 1375 a jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli dle ČSN 41 1375 [13]

| Prvek              | C    | P     | S     | N     |
|--------------------|------|-------|-------|-------|
| Max. obsah [hm. %] | 0,17 | 0,045 | 0,045 | 0,009 |

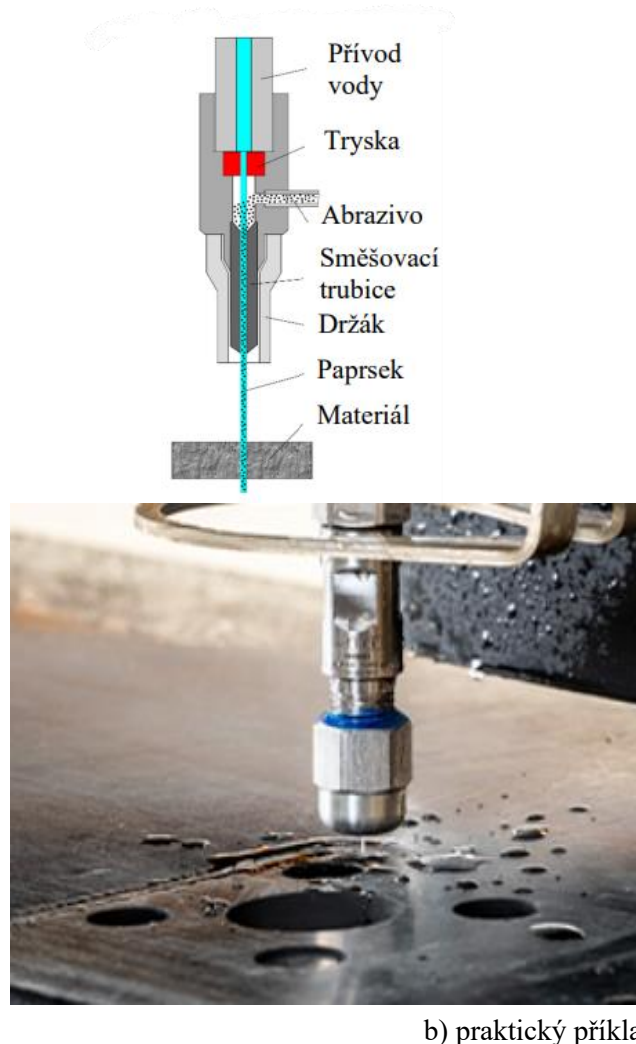
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli dle ČSN 41 1375 [13]

| Mez kluzu $R_e$ [MPa] | Pevnost v tahu $R_m$ [MPa] | Tažnost A [%] |
|-----------------------|----------------------------|---------------|
| 235                   | 510                        | 17            |

## 1.1 Varianty řešení výroby

Součást lze vyrobit různými technologiemi výroby. Je nutné vybrat správnou technologii pro výrobu součásti, ať už z hlediska ekonomického (např. využití materiálu polotovaru, čas výroby součásti nebo současné ceny energií) nebo kvality výroby, aby byla součást vyrobena dle zadaných parametrů a správně plnila svou funkci. Je očividné, že bude zhotovení finální tvaru vést na některou z metod ohýbání. Proto je vhodné se soustředit především na volbu výroby rozvinutého tvaru v níže uvedeném rozboru:

- Řezání vodním paprskem – moderní, kvalitní, přesná a ekologická metoda obrábění široké palety materiálů. Principem je stlačení vody na co nejvyšší tlak. Takto vytvořený vodní paprsek (obr. 3) má dostatek energie, aby řezal i velmi pevné materiály s vysokou přesností. Při zpracování tvrdých materiálů je potřeba použít abrazivní paprsek, který vznikne přidáním příměsi (např. granát), který postupně obrušuje zpracovaný materiál, a dochází tak k požadovanému řezu. Výhodou je přesný řez bez částečného zakalení, které by zhoršovalo případné obrábění součásti. Pro zadanou součást ovšem není metoda vhodná z důvodu rychlosti řezání pro výrobní dávku  $210\,000\text{ ks}\cdot\text{rok}^{-1}$ . [6]



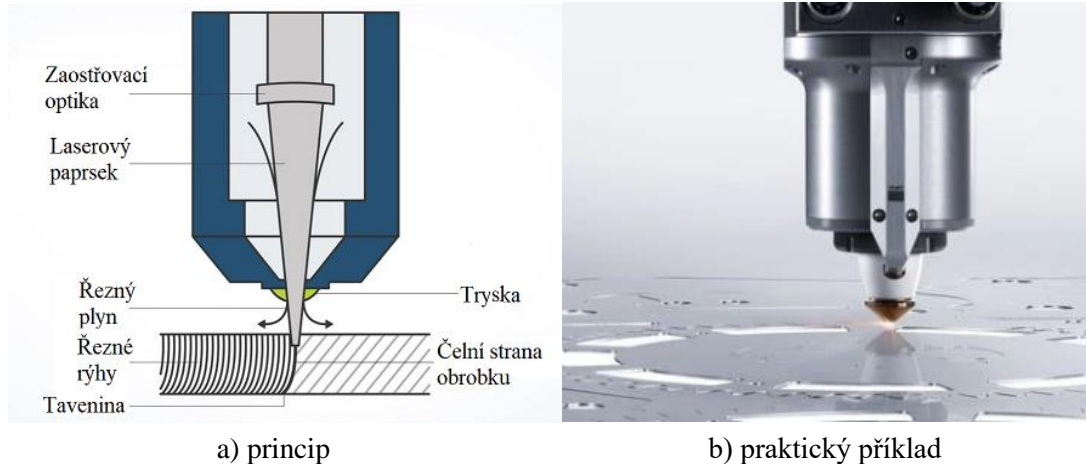
a) princip

b) praktický příklad

Obr. 3 Řezání vodním paprskem [6; 19].

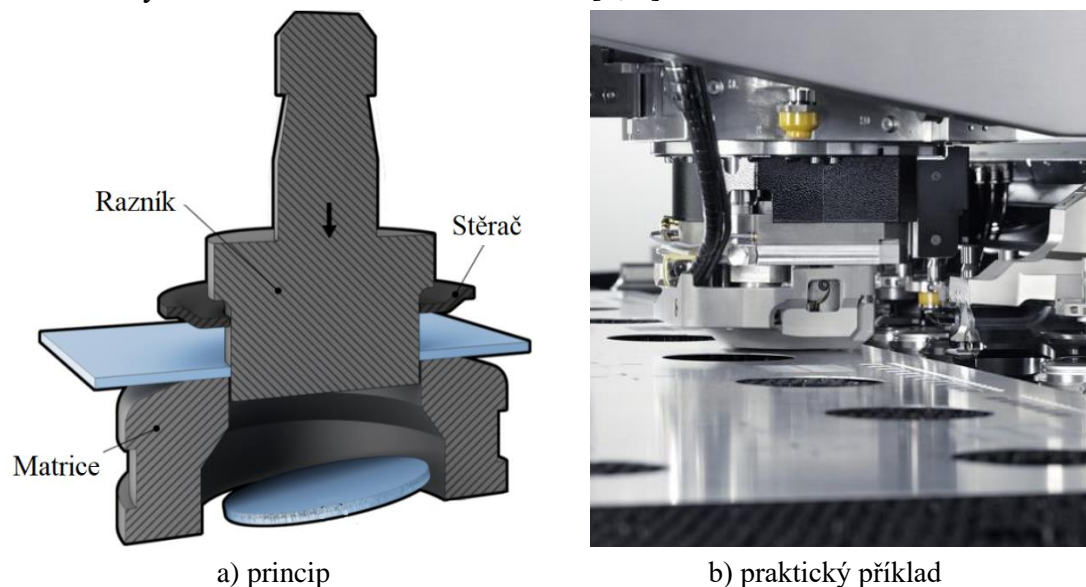
- Řezání laserem – základem je laserový paprsek, který je sružen do svazku (obr. 4). Pokud narazí na řezaný materiál, zahřeje se natolik, že se roztaví. Celý výkon laseru se přitom soustředí na jeden bod o průměru většinou méně než půl milimetru. Pokud se v tomto místě nahromadí více tepla, než může odtéct vedením tepla, pronikne laserový paprsek zcela materiálem – proces řezání začal. Vzniklá tavenina je odfukována

procesním plynem (dusík, kyslík) pomocí trysky, čímž se redukuje ořepky a zaručí hladkost a kvalitu řezu. Výhodou je, že nedochází k opotřebování nástroje, ani k deformacím či poškozením obrobku a tepelně ovlivněná oblast je minimální nebo žádná. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací a provozní náklady a také pomalejší rychlost řezání než za pomoci vodního paprsku. Za těchto okolností je uvedena metoda nevhodná. [7]



Obr. 4 Řezání laserem [7].

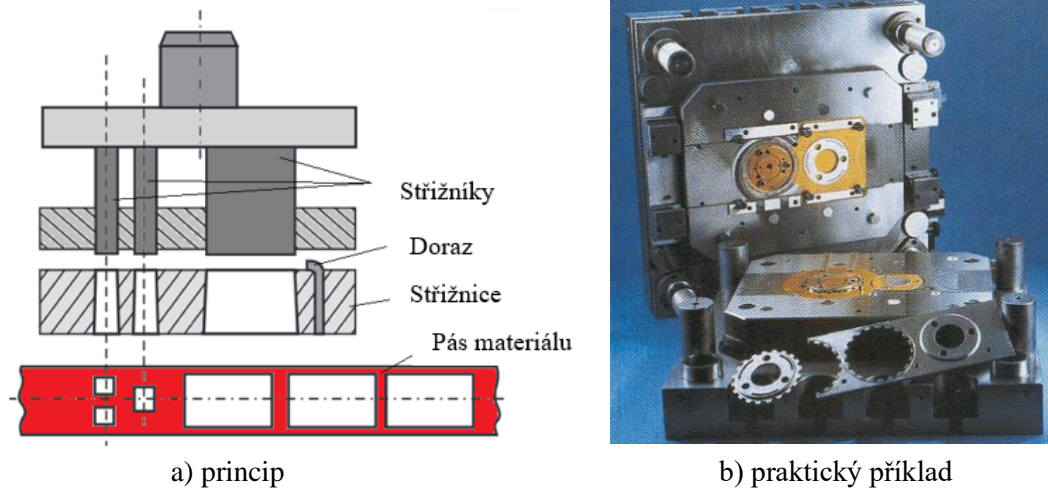
- Vysekávání – realizuje se na CNC vysekávacích lisech (obr. 5). Součást vzniká postupným vystřihováním jednoduchých tvarů za pomoci nástrojů tvořených maticí a razníkem. Technologií vysekávání lze realizovat nejen děrování a vystřihování, ale i další operace jako ohýbání nebo značení. Tloušťka vhodného polotovaru pro vysekávání je 0,4 až 8 mm. Metoda je vhodná jak pro kusovou, tak velkosériovou výrobu. Výhodami technologie jsou nízké náklady na pořízení a následný provoz nebo jednoduchost obsluhy. Nevýhodou technologie je nutnost manipulace s materiálem pro následné ohýbání součásti a časová náročnost. [8; 9]



Obr. 5 Vysekávací CNC stroj [9; 20].

- Postupové stříhání – principem je provedení několika stříhacích operací na jeden zdvih. Na několik kroků je vytvořen obrys součásti za pomoci oddělování materiálu protilehlými břitými noži. Běžně používaným polotovarem je ocelový plech do tloušťky 3 mm, který je postupně posouván do nástroje. Nevýhodami technologie jsou pnutí a zpevnění vznikající během stříhání. Výhodami jsou rychlost výroby, dosažená

přesnost a možnost kombinovat technologii s ohýbáním do tzv. postupového sduženého nástroje (obr. 6). [10]



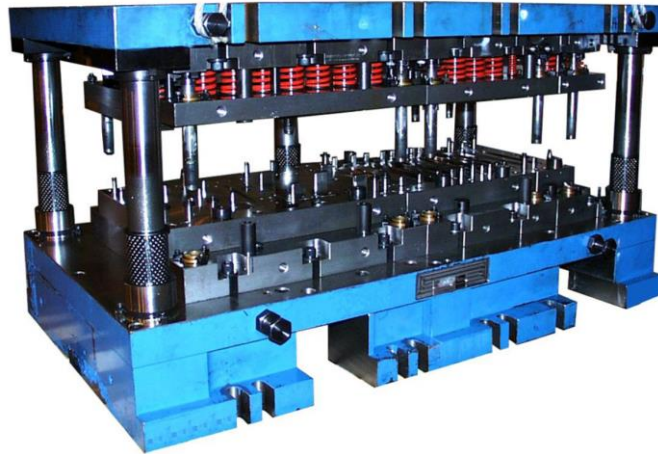
Obr. 6 Nástroj pro postupové stříhání [10; 21].

Z jednotlivých metod vyplývá, že řezání vodní tryskou a řezání laserem nejsou vhodné pro součást z důvodu pomalé rychlosti řezání vzhledem k dané výrobní sérii  $210\,000\text{ ks}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Výhodou by byly kvalitnější řezné plochy, ale v porovnání s rychlostí výroby za pomoci ostatních technologií je tato výhoda zanedbatelná. Technologie vysekávání a postupového stříhání dosahují stejné přesnosti výroby a kvality střížné plochy, jelikož fungují na stejném principu. Technologie postupového stříhání je vhodná jen pro velkosériovou výrobu, zatímco technologie vysekávání se hodí i pro kusovou výrobu.

Jako nejvýhodnější se tedy jeví metoda postupového stříhání kombinovaná s technologií ohýbání za pomoci postupového sduženého nástroje, která minimalizuje manipulaci s materiálem a výroba tak může probíhat za pomoci jediného nástroje a stroje. Na vybrané technologie bude zaměřena i rešeršní část práce.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Existují různé typy sdužených nástrojů (obr. 7) podle operací, které jsou spojovány. Jedná se o nástroje s kombinovanými operacemi pro stříhání, děrování, ohýbání nebo tažení zabudovaných do jednoho společného nástroje. Lze tak na jeden zdvih provést kombinaci několika tvářecích operací na jediném stroji, čímž se zvyšuje produktivita práce. Použití postupových nástrojů se uplatní u součástí s vysokou sériovostí (automobily, elektrotechnika apod.), protože je zajištěna minimální manipulace s vyráběnou součástí.



Obr. 7 Postupový sdužený nástroj [15].

### 2.1 Stříhání

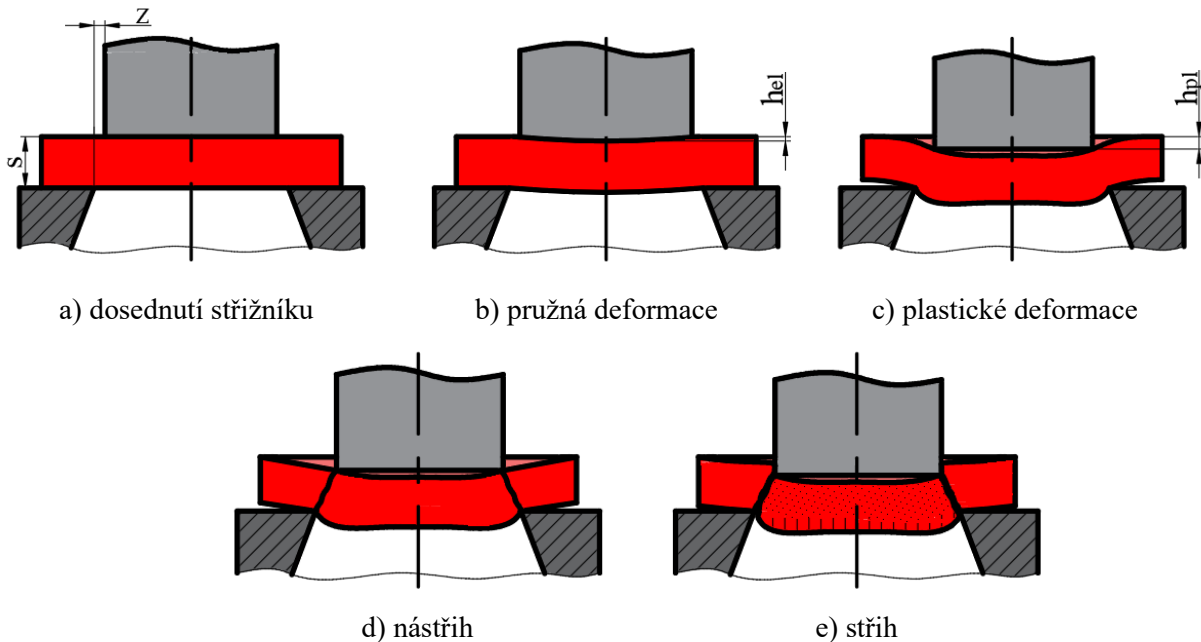
Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením-lomem v ohnisku deformace. Představuje tak, jak již bylo řečeno v úvodu, jedinou tvářecí operaci, jejímž cílem je vyvolat porušení materiálu. Podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Přesnost a kvalita takto stříhané plochy je ovlivněna mnoha faktory, z nichž k nejdůležitějším patří velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání, kvalita střížného nástroje, respektive použitého lisu. Při operaci se materiál odděluje postupně, nebo současně podél křivky stříhu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vytváří střížné-smykové napětí [1; 2; 10].

Technologie se používá na přípravu polotovarů, např. stříhání tabulí nebo svitků plechů, na vystříhování součástek z plechu pro konečné použití a nebo pro výrobky na další technologie, ať už na dokončovací, či pomocné operace. Kromě klasického stříhání existují i další operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Patří sem např. děrování, vystříhování, ostříhování atd [1; 2].

Průběh stříhání (obr. 8) lze rozdělit do tří níže rozebraných fází [1; 2; 10]:

- I. Fáze – po dosednutí střížníku dochází k vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Vznikají zde pružné deformace, kdy se materiál stlačuje a v důsledku dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice. Takto vzniklý ohyb je nežádoucím v průběhu procesu stříhání. Hloubka vniku střížníků do materiálu  $h_{el}$  (obr. 8b) se pohybuje v hodnotách 5 až 8 % tloušťky materiálu  $s$ .
- II. Fáze – střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice, vzniklé napětí ve směru vnikání je větší než mez kluzu kovu a dochází k plastické deformaci. Podle druhu materiálu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí (obr. 8c)  $h_{pl} = (10 \text{ až } 25 \%) \cdot s$ .

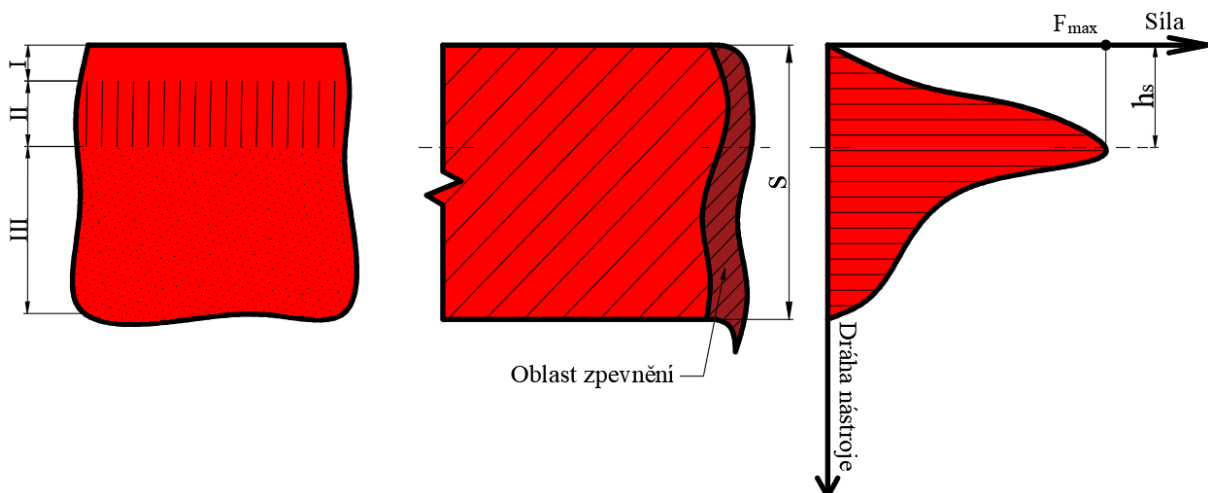
- III. Fáze – napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$  (obr. 8d). Začínají vznikat trhlinky, ty se rychle rozšiřují vlivem působícího tahového napětí až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu (obr. 13e). Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a na velikosti střížné mezery  $z$ .



Obr. 8 Fáze stříhání [11].

Výstřížek se oddělí dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je vytlačen otvorem ve střížnici. Okraje stříhových ploch proto nejsou zcela rovinné a střížná plocha má určitou drsnost, která není v ploše rovnoměrně rozdělená. Místa, kde došlo k prvnímu výskytu trhlin, jsou drsnější než ostatní střížné plochy. Oddělení však nenastane přesně v žádané rovině a to proto, že materiál je elastický, tvárný a napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše, díky čemuž vznikají na střížné ploše tři oblasti (obr. 9) [2; 10]:

- I. Oblast – pásmo pružné deformace vznikající vnikáním střížníku do materiálu,
- II. Oblast – hladká a lesklá část označována jako pásmo stříhu,
- III. Oblast – pásmo lomu, kde proběhne samovolné oddělení stříhané části materiálu.



Obr. 9 Vzhled střížné plochy a průběh střížné síly [2].

Výsledná plocha tedy po provedení operace není dokonalá, ale má tvar „S“ křivky vzniklé lomem. Na obr. 9 je také ukázán charakteristický průběh sřížné síly  $F_s$  a jejího maxima  $F_{max}$  v závislosti na hloubce vniknutí sřížníku  $h_s$  do materiálu. Na sřížné ploše, v důsledku plastické deformace materiálu, dochází k lokálnímu zpevnění, což se projevuje zvýšenou pevností a sníženou plasticitou. Zpevněná oblast zasahuje do hloubky 20 až 30 % tloušťky materiálu a lze ji odstranit buď tepelným zpracováním, např. žíháním, nebo třískovým obrobením plochy. [1; 2; 12]

### 2.1.1 Sřížná vůle

Na výslednou kvalitu sřížné plochy má zásadní vliv velikost sřížné vůle  $v$ . Respektive sřížné mezery  $z$ , kdy platí, že velikost vůle je rovna dvojnásobku velikosti mezery. Pokud je velikost mezery optimální a konstantní po celém obvodu křivky sříhu (obr. 10b), pak se trhliny v okamžiku sříhu setkají a kvalita vzniklé plochy je lepší. Pokud by byla malá (obr. 10a) nebo velká (obr. 10c), tak se trhliny nesetkají a při odtržení vznikne na sřížné ploše tzv. „otřep“ (obr. 9). Velikost vůle záleží na mnoha činitelích, především na druhu materiálu a jeho tloušťce. V praxi se obecně volí 5 ÷ 10 % tloušťky sřížaného materiálu. Přesnější vztah pro optimální velikost pro plechy o tloušťce  $s \leq 3$  mm lze určit výpočtem dle ČSN 22 6015 [14]:

$$v = 2 \cdot z = c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

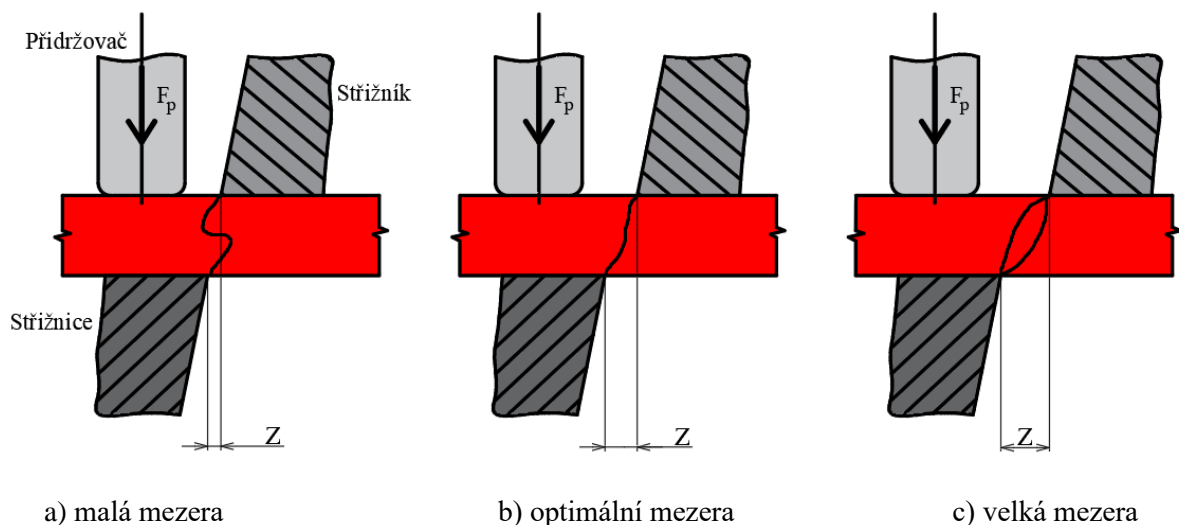
kde:  $z$  – sřížná mezera [mm],

$c_s$  – koeficient (0,005 ÷ 0,035) [-]; nižší hodnoty se volí pro lepší sřížnou plochu, vyšší hodnoty pro snížení sřížné síly,

$s$  – tloušťka materiálu [mm],

$\tau_s$  – sřížný odpor materiálu [MPa].

Sřížný odpor materiálu  $\tau_s$  je odpor, který je kladen materiálem proti přetvoření. Závisí přednostně na mechanických vlastnostech sřížaného materiálu, tvaru sřížné plochy a konstrukci nástroje. Literatura [2] uvádí pro sřížný odpor rozmezí  $\tau_s = (0,55 \div 0,9) \cdot R_m$  podle druhu materiálu a tloušťky sřížaného plechu. V praxi se běžně udává a většina literárních podkladů tvrdí, že velikost sřížného odporu odpovídá 80 % meze pevnosti daného materiálu  $R_m$ . Pro praktickou část práce bude tedy použit vztah  $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ .



Obr. 10 Velikost sřížné mezery [18].

### 2.1.2 Střížná síla a práce

Pro oddělení výstřížku od základního materiálu je nutné na něj působit takovou silou, která způsobí dostatečně velké napětí v materiálu pro vznik trhlin a odstřížení součásti. Z průběhu síly (obr. 9) v závislosti na hloubce vniku nástroje do materiálu lze vidět, že těsně před porušením soudržnosti dosahuje střížná síla  $F_s$  svého maxima, kdy se hrana nástroje dostane do vzdálenosti  $h_s$ . Maximální velikost střížné síly závisí na střížném odporu materiálu a stanoví se rovnicí [14]:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m [N], \quad (2.2)$$

kde:  $S$  – plocha stříhu [mm<sup>2</sup>],

$l$  – délka stříhu (obvod stříhaných částí) [mm],

$n$  – koeficient zahrnující opotřebení nástroje (1,2 ÷ 1,55) [-].

Pro stanovení potřebných parametrů lisovacího stroje je nutné znát tvářecí sílu  $A_s$ . Velikost střížné práce odpovídá ploše pod křivkou průběhu síly (obr. 9). Její výpočet je tedy dán vztahem [14]:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot s}{1000} [J], \quad (2.3)$$

kde:  $\lambda$  – Součinitel plnosti (tab. 3) [-].

Tab. 3 Součinitel plnosti  $\lambda$  [14]

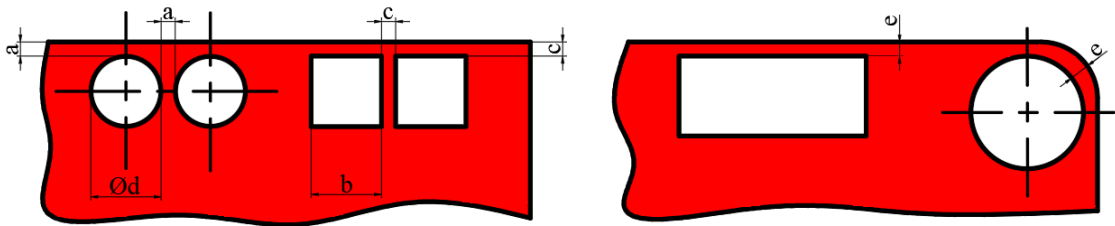
| Materiál                            | Tloušťka materiálu $s$ [mm] |             |             |             |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                     | do 1                        | 1 až 2      | 2 až 4      | nad 4       |
| Ocel měkká<br>250 ÷ 350 MPa         | 0,70 ÷ 0,65                 | 0,65 ÷ 0,60 | 0,60 ÷ 0,50 | 0,45 ÷ 0,35 |
| Ocel středně tvrdá<br>350 ÷ 500 MPa | 0,60 ÷ 0,55                 | 0,55 ÷ 0,50 | 0,50 ÷ 0,42 | 0,40 ÷ 0,30 |
| Ocel tvrdá<br>500 ÷ 700 MPa         | 0,45 ÷ 0,42                 | 0,42 ÷ 0,38 | 0,38 ÷ 0,33 | 0,30 ÷ 0,20 |
| Hliník, měď<br>(žíhané)             | 0,75 ÷ 0,70                 | 0,70 ÷ 0,65 | 0,65 ÷ 0,55 | 0,50 ÷ 0,40 |

### 2.1.3 Technologičnost stříhaných součástí

Prvním bodem návrhu výroby jakéhokoliv dílce je posouzení jeho vyrobitelnosti zvolenou technologií, tj. posouzení technologičnosti. Z hlediska konstrukce výstřížků je třeba zmínit, že výstřížek by měl být účelný, vzhledný, výrobně jednoduchý s minimálním odpadem při zpracování základního polotovaru. Při návrhu konstrukce je proto nutné brát ohled na faktory vstupující do procesu stříhání [16; 17; 18]:

- dosažitelná drsnost výstřížků:  $R_a = 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ ,
- dosažitelná přesnost výstřížků:
  - běžná přesnost: IT12 až IT14,
  - stříhání se zvýšenou přesností IT9 až IT11,
- výrobní tolerance střížníku zpravidla o tři stupně nižší, než výrobní tolerance výstřížku,

- nepředepisovat rovinnost výstřížků, která se vlivem ohybového momentu těžko dodržuje,
- nejmenší velikost otvorů (obr. 11):
  - kruhový otvor:  $\varnothing d/s \geq 1$ ,
  - hranatý otvor:  $b/s \geq 0,8$ ,
- upřednostňovat otvory kruhového tvaru,
- vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od okraje výstřížků (pro  $R_m = \text{cca } 500 \text{ MPa}$ ), viz obr. 11:
  - vzdálenost kruhových otvorů:  $a \geq 0,8 \cdot s$ ,
  - vzdálenost hranatých otvorů:  $c \geq s$ ,
  - vzdálenost mezi otvory a okraji:  $e \geq 1,5 \cdot s$ .



Obr. 11 Technologická vzdálenost stříhaných obrysů [18].

Při stříhání je velmi důležité výstřížky rozmístit na pás plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřížků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán a cílem je dosáhnout co nejvyššího využití použitého materiálu a případného splnění dalších požadavků, jako je např. vhodný směr vláken, který má vliv na následnou operaci ohýbání. Odpad může být technologický nebo konstrukční a je neodmyslitelnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, a proto by se měl klást velký důraz na rozmístění výstřížků. Hlavním důvodem je především fakt, že cena materiálu tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Hospodárnost charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze určit pomocí vztahu [16; 17]:

$$\eta = \frac{S_V \cdot n_V}{S_P} \cdot 100 [\%], \quad (2.4)$$

kde:  $S_V$  – celková plocha výstřížků [ $\text{mm}^2$ ],

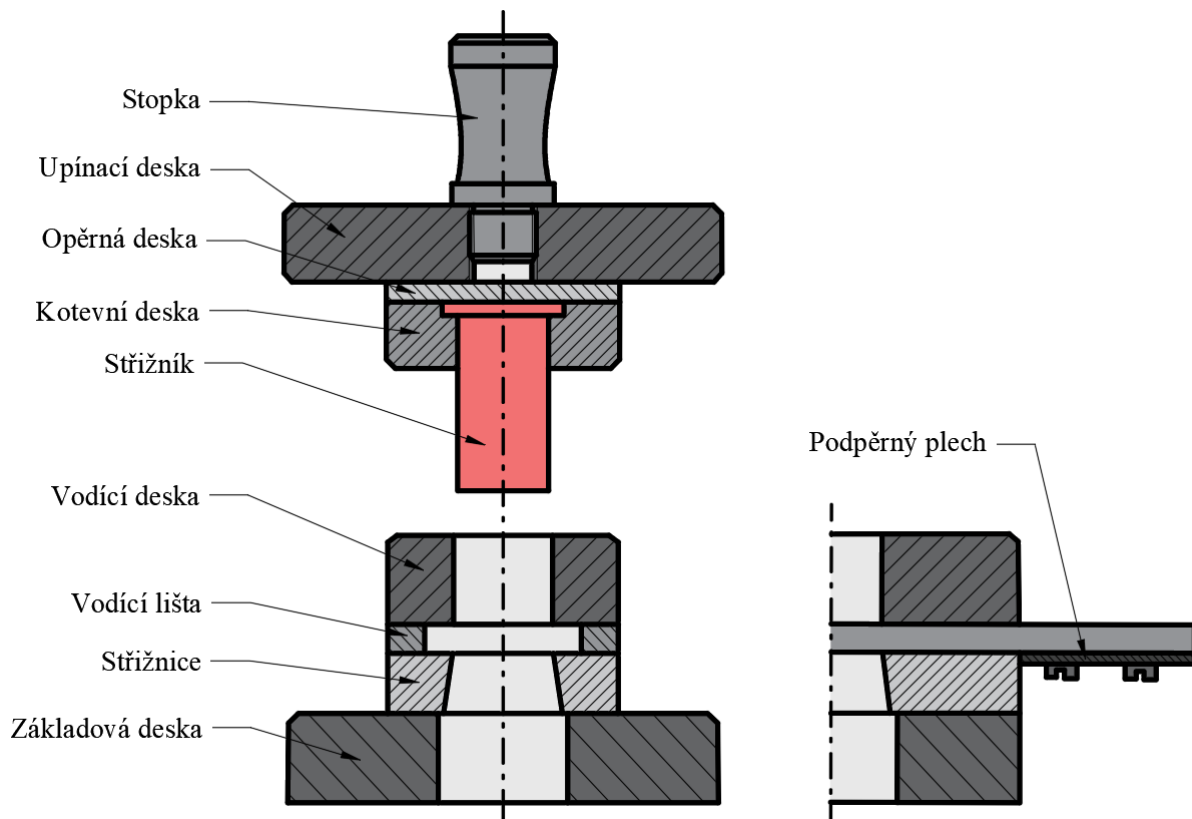
$n_V$  – počet výstřížků [ks],

$S_P$  – plocha pásu plechu [ $\text{mm}^2$ ].

#### 2.1.4 Střížný nástroj

Střížný nástroj se skládá z pohyblivé části – střížníku a z části pevné – střížnice. Nástroje se rozdělují v závislosti na složitosti výstřížků, velikosti série a jejich funkce na [18; 21]:

- jednoduché (obr. 12): na jeden zdvih provádí jednu střížnou operaci na jednom výstřížku,
- vícenásobné: na jeden zdvih zhotovují větší počet stejných výstřížků,
- postupové: provádí několik operací na více zdvihů, mezi nimiž je budoucí výstřížek posouván na různá pracovní místa nástroje,
- sloučené: na jeden zdvih vyrobí dvě nebo více rozdílných součástí,
- sdružené: slučují více operací, např. stříhání a ohýbání nebo tažení.

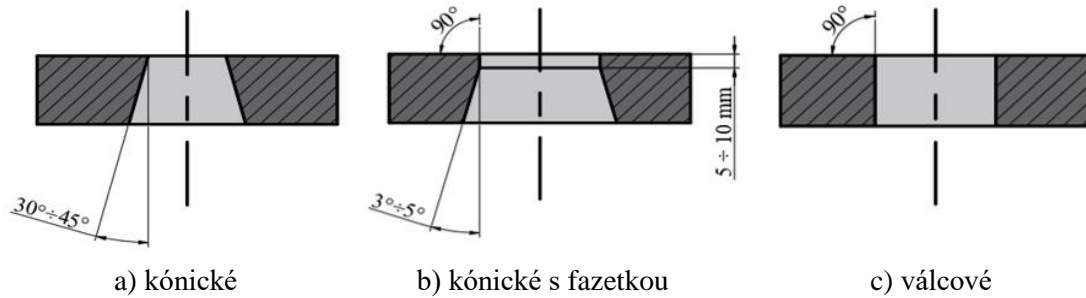


Obr. 12 Jednoduchý střížný nástroj [18].

V našem případě bude použit nástroj sdužený, určený k postupnému vystřihování jednotlivých otvorů s kombinací ohybu. Všechny typy střížných nástrojů se skládají z komponent, jejichž funkce jsou podobné nebo identické. Horní část nástroje je složena ze stopky, která slouží k uchycení nástroje do beranu lisu. Stopka je upnuta pomocí závitů do upínací desky. K desce je pomocí šroubů, kolíků a kotevní desce upnut také střížník, který je pomocí opěrné desky z kalené oceli chráněn, aby se zamezilo vmačkávání tvaru do upínací desky. Ve spodní části nástroje se nachází střížnice, která může být opatřena vodící deskou pro vyšší pracovní přesnost a navádění střížníků. Základová deska zajišťuje pomocí upínek pevné spojení se stolem stroje. Obě poloviny nástroje jsou spojeny pomocí vodících pouzder a sloupků, které zajistí přesné vedení nástroje a jeho pohyb v pracovním prostoru lisu. [18; 21]

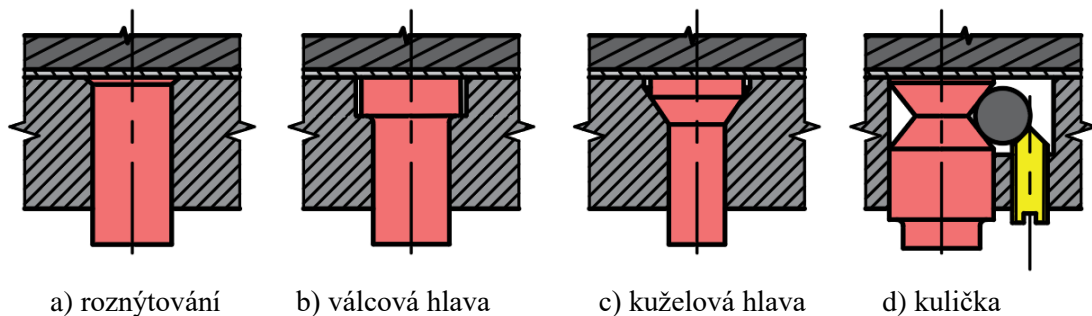
Stěžejními součástmi, které se aktivně podílejí na stříhu jsou:

- Střížnice – činná část střížného nástroje, upevněná na základové desce. Podle technologie výroby se dělí na celistvé, a to kalené nebo nekalené, v případě stříhání složitějších výlisků na skládané. Celistvé střížnice jsou vhodné pro jednoduché a menší tvary výstřižků. Skládané jsou využívány pro tvarově složitější výrobky, kdy se sice zvyšují náklady na výrobu, ale je zjednodušena a zlevněna jejich údržba. Při střížném procesu dochází k velkému opotřebení pracovních částí nástrojů a je nutné je přebrousit. Pokud je velikost poloměru zaoblení střížnice menší než hodnota  $0,1 \cdot s$  musí dojít k výměně nástroje. Tento problém řeší vložkové střížnice, kde je na desku z levné konstrukční oceli umístěna kalená vložka z nástrojové oceli (např. ocel 19 436), případně ze slinutého karbidu, kterou lze snadno vyměnit. Střížné otvory mají různé provedení pro jednodušší odchod odpadu z nástroje. Pro stříhání malých součástí se střední přesností se využívá hrana kónická (obr. 13a), pro přesné, tvarově složité součásti kónická s fazetkou (obr. 13b) a pro střížnice s vyhazovačem a pro přesné stříhání s nátlakovou hranou hrana válcová (obr. 13c). [2; 19; 21]



Obr. 13 Konstrukční provedení střižnic [21].

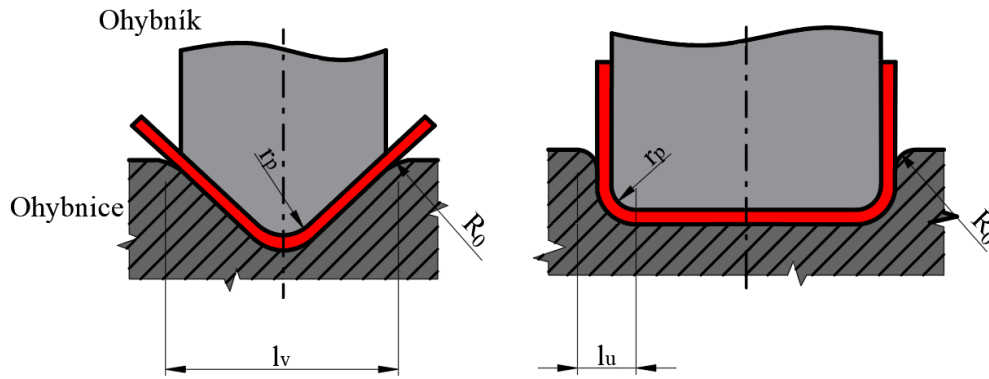
- Střižník – protikus střižnice, sloužící k odstříhování, přistříhování nebo vystříhování požadovaných tvarů ze stříhaného materiálu. Při jejich výrobě jsou kladeny vysoké požadavky na pevnost, tuhost a především přesnost rozměrů. Obvykle jsou vyráběny z nástrojových ocelí 19 312, 19 436 nebo ze slinutých karbidů. Upínání k horní polovině nástroje lze provést pomocí více způsobů. Standardně se používá upevnění pomocí rozkýtování (obr. 14a) nebo pomocí válcové (obr. 14b), či kuželové hlavy (obr. 14c). Další možné řešení uchycení střižníku je pomocí rychloupínání. Provádí se za pomoci šroubu, který brání vypadnutí a rotaci nebo pomoci šroubu a kuličky (obr. 14d), kde šroub zatlačí kuličku do technologického zúžení ve střižníku a zafixuje tak střižník v požadované poloze [2; 19; 21; 22].



Obr. 14 Uchycení střižníků [21].

## 2.2 Ohýbání

Ohýbání je technologická operace, kde se vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů trvale mění křivost součástí z plechů, tyčí a drátů, tj. deformuje se tvar součástí. Jedná se o plošné tváření, jelikož nedochází k výrazné změně průřezu. Rozhodujícím parametrem operace jsou tahová napětí a jejich kritické hodnoty budou vždy menší, než je pevnost materiálu v tahu. Mezi základní operace ohýbání jsou zařazeny jednoduché ohýbání, zakružování, rovnání, lemování a kontinuální ohýbání. Jednoduché ohýbání zahrnuje ohýbání do „V“ a „U“ tvarů (obr. 15). U převážné většiny materiálů se používá ohýbání za studena. Pokud je ale materiál křehký nebo tvrdý, přistupuje se k ohýbání za tepla [1; 2; 21].

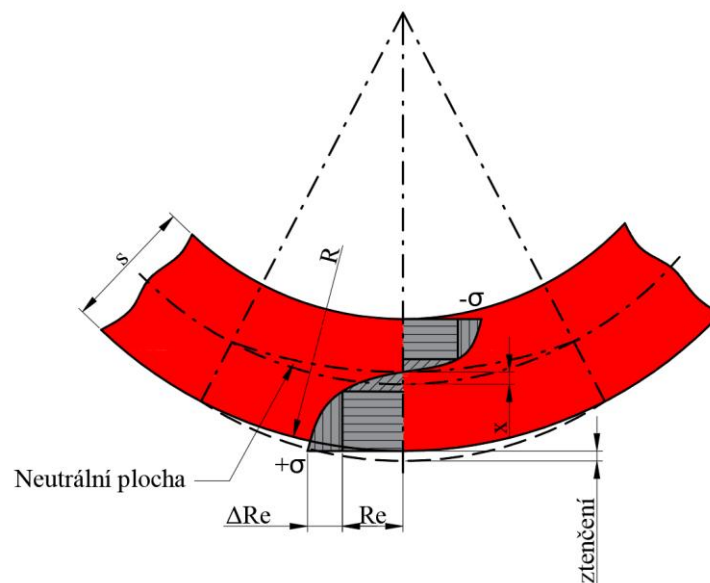


Obr. 15 Ohyb do V a U tvarů [21].

Při ohýbání tyčí a pásů za studena dochází v důsledku plastické deformace ke zpevnění kovu, a proto i tečné napětí vzrůstá. Největší deformace, a tedy i zpevnění vzniká v krajních vláknech na povrchu. Ohýbáním dochází k tahovým napětím na vnější straně a k tlakovým na vnitřní straně ohýbané součásti (obr. 16). Mezi natahovanou a stlačovanou oblastí leží neutrální osa, v níž jsou tahová i tlaková napětí nulová. Tato osa, někdy též označována jako neutrální vrstva nebo plocha, se na začátku ohýbání nachází ve středu, mezi natahovanou a stlačovanou oblastí, a postupně se posunuje směrem dovnitř mimo těžiště. Posunutí osy je důležitým faktorem ve zjištění velikosti odpružení součásti po provedení operace. Lze jej zjistit odvozením z následující tabulky jako poměr poloměru ohybu ku tloušťce ohýbaného materiálu [1; 2; 21]:

Tab. 4 Posunutí neutrální osy [21]

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



Obr. 16 Schéma ohýbání [1].

### 2.2.1 Minimální a maximální poloměr ohybu

Velikost minimálního poloměru ohybu  $R_{\min}$ , tj. nejmenšího poloměru, kterého lze dosáhnout bez porušení, závisí nejen na plastických vlastnostech, ale také na kvalitě povrchu a na anizotropii materiálu. Výrazný vliv má také způsob ohýbání a geometrie výsledného ohybu,

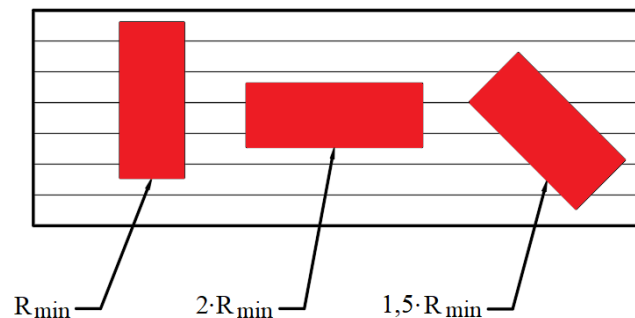
jako je jeho úhel a tloušťka polotovaru. Nejmenší poloměr ohybu musí odpovídat tvárnosti materiálu, aby nedošlo ke vzniku trhlin. Hodnotu lze určit pomocí vztahu [1; 2; 21]:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde:  $c$  – součinitel pro měkkou ocel  $c = (0,5 \div 0,6)$  [-],

$\varepsilon_{tmax}$  – poměrná deformace [-].

Pro vznik trhlin v místě ohybu jsou nebezpečné otřepy vzniklé stříháním. Proto je nutné dbát, aby otřepy byly co nejmenší a pokud možno na vnitřní straně poloměru ohybu. Směr ohybu je kolmý na vlákna plechu, aby nebylo nutno upravovat minimální poloměr. Možné směry jsou uvedeny na následujícím obrázku [2]:



Obr. 17 Vliv směru ohybu na  $R_{min}$ .

Při ohýbání součástí na velké poloměry je nutné kontrolovat maximální poloměr ohybu  $R_{max}$ , při kterém ještě dojde v krajních vláknech materiálu k plastické deformaci, tj. dosáhne se zde napětí o velikosti meze kluzu. Pokud by byl polotovar ohnut na větší poloměr, než je maximální, nedošlo by k plastické, ale pouze k elastické deformaci, a po odtížení by se polotovar narovnal. Jeho velikost je [2]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E_T}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.6)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa],

$R_e$  – mez kluzu [MPa].

### 2.2.2 Odpružení

Je nutné provést výpočet pro velikost odpružení po provedení operace, neboť napětím vytvořeným ohnutím součásti při ohýbání za studena vždy dojde ke zpětnému odpružení. Toto odpružení je nutné zahrnout při následném navrhování tvaru tvářecího nástroje, aby bylo vykompenzováno. Na jeho velikost má vliv součinitel posunutí neutrální osy  $k$  a poměr  $R/s$ . Odpružení závisí na konkrétním tvaru ohybu a jeho velikost pro tvar V lze získat ze vztahu [1; 2; 21]:

$$\beta_V = \arctan \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) [^\circ], \quad (2.7)$$

kde:  $l_v$  – rameno ohybu [mm],

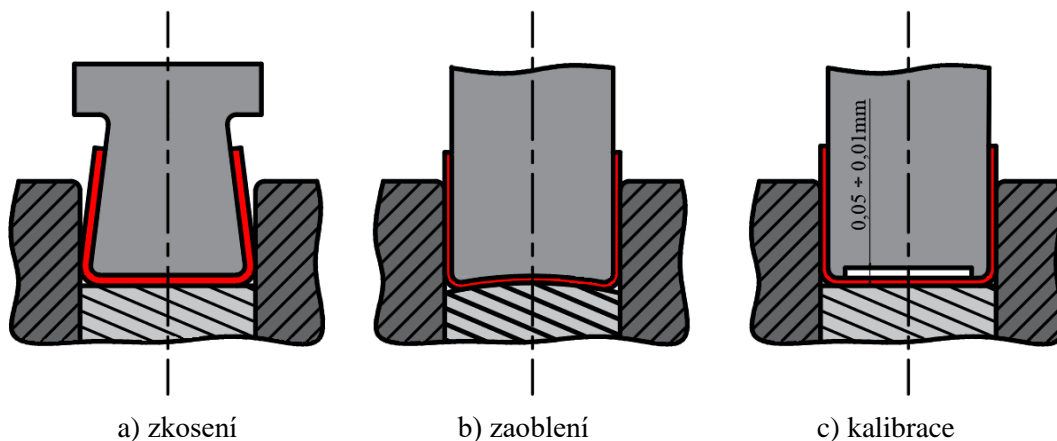
$k$  – součinitel odpružení [-]; určen dle tab. 4 jako:  $k = 1 - x$ .

Odpružení pro ohyb tvaru U:

$$\beta_U = \arctan\left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E_T}\right) [^\circ], \quad (2.8)$$

kde:  $l_u$  – vzdálenost mezi opěrami [mm].

V případě odpružení ohybu do tvaru U je několik možností, jak jeho velikost zmírnit. První možností je úprava tvářecího nástroje, a to zkosení ohybníku o určitý úhel (obr. 18a) tak, že se součást ohne navíc o předpokládaný úhel odpružení. Druhou možností je zaoblení přídržovače a spodní části ohybníku (obr. 18b) tak, aby po odtížení vodorovná část součásti odpružila a eliminovala tak odpružení svislých stěn. Poslední možností je za pomoci zpevnění materiálu v rozích kalibrační oblasti ohybu (obr. 18c) [2; 21].



Obr. 18 Zmenšení úhlu odpružení pomocí konstrukčních úprav [21].

### 2.2.3 Ohybová síla a práce

Stejně jako u odpružení platí pro jednotlivé ohyby tvaru V a U odlišné vzorce pro zjištění velikosti síly a práce potřebné k uskutečnění ohybu. K výpočtu velikosti ohybové síly existuje více vztahů podle různých literárních zdrojů. Následující přístup počítá s materiálem jako nosníkem, který leží na dvou podpěrách, zahrnuje velikost odpružení (obr. 19) a v jeho středu je zatěžován ohybovací silou [2; 21; 23]:

- Síla pro ohyb do tvaru V [2]:

$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_0} \cdot \tan \frac{\beta'}{2} [N], \quad (2.9)$$

kde:  $b$  – šířka plechu [mm],

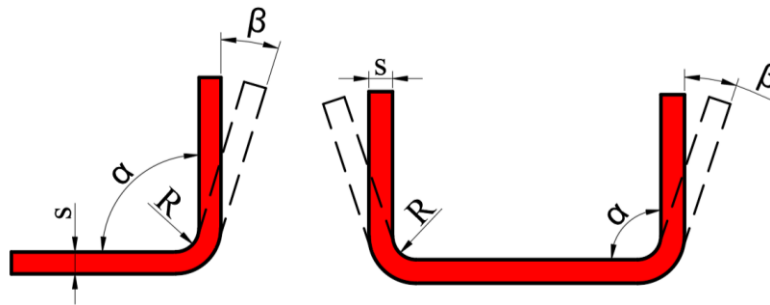
$R_0$  – zaoblení hrany ohybnice [mm],

$\beta'$  – úhel se zohledněním odpružení [°];  $\beta' = \alpha + \beta$

- Síla pro ohyb do tvaru U [2]:

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_0 + s} [N], \quad (2.10)$$

kde:  $f$  – součinitel tření [mm],



Obr. 19 Odpružení materiálu [2].

Pro součást bude využit vzorec pro výpočet ohybové síly do tvaru U [23].

Vztah pro velikost práce pro ohyb typu U dle ČSN 22 7340 [23]:

$$A_U = m \cdot \frac{F_U \cdot h}{3000} [J], \quad (2.11)$$

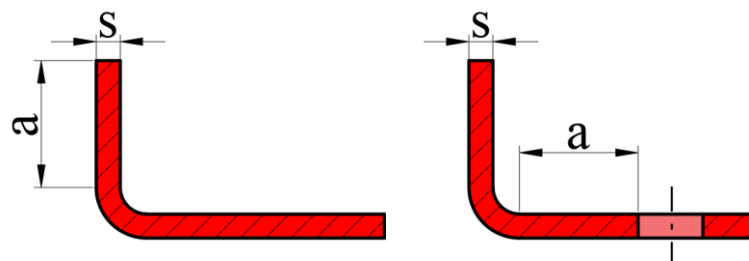
kde:  $m$  – součinitel respektující průběh síly [-];

$h$  – pracovní zdvih [mm].

#### 2.2.4 Technologičnost ohýbaných součástí

Tak jako pro stříhání i pro vytvoření kvalitního výlisku existují zásady technologičnosti, kterými je nutné se při návrhu konstrukce řídit. Vinou špatného technologického postupu nebo návrhu může docházet k poškození či nežádoucí deformaci ohýbaného výlisku. Z tohoto důvodu existuje řada technologických zásad, které musí být pro výrobu kvalitního a přesného dílce dodrženy. Patří sem např. [1; 23]:

- osu ohybu volit kolmo na směr vláken vzniklých válcováním (obr. 17), v opačném případě nutnost zvětšit minimální poloměr ohybu,
- místo volného ohybu ohýbat s kalibrací,
- z hlediska odpružení volit poloměr ohybu co nejmenší, avšak vzhledem k tloušťce a tvárnosti ohýbaného materiálu co největší,
- minimální délka ohýbaného ramene musí být alespoň  $a \geq 2 \cdot s$  (obr. 20a). Pokud je požadováno rameno kratší, musí se ohnout podle této podmínky a následně odstříhnout,
- dodržet minimální vzdálenost otvoru od ohybu  $a \geq 2 \cdot s$  (obr. 20b), aby při provedení ohybu nedošlo k deformaci otvoru.



a) minimální délka ramene

b) vzdálenost otvoru od ohybu

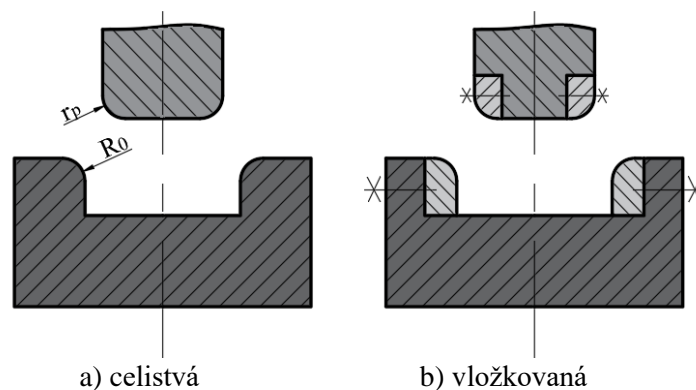
Obr. 20 Technologičnost ohýbané součásti [23].

### 2.2.5 Ohýbací nástroj

Z hlediska tvaru ohýbané součásti a rozdělení napětí a deformace v plasticky deformované oblasti se činné části nástroje rozdělují na nástroje pro ohyb do U a V, bez ohledu na to, probíhá-li ohyb na ohraňovacím lisu nebo na samostatném nástroji. Oba typy nástrojů ale fungují na identickém principu jako nástroj střížný.

Proces probíhá mezi dvěma hlavními činnými částmi nástroje, jimiž jsou ohybník a ohybnice:

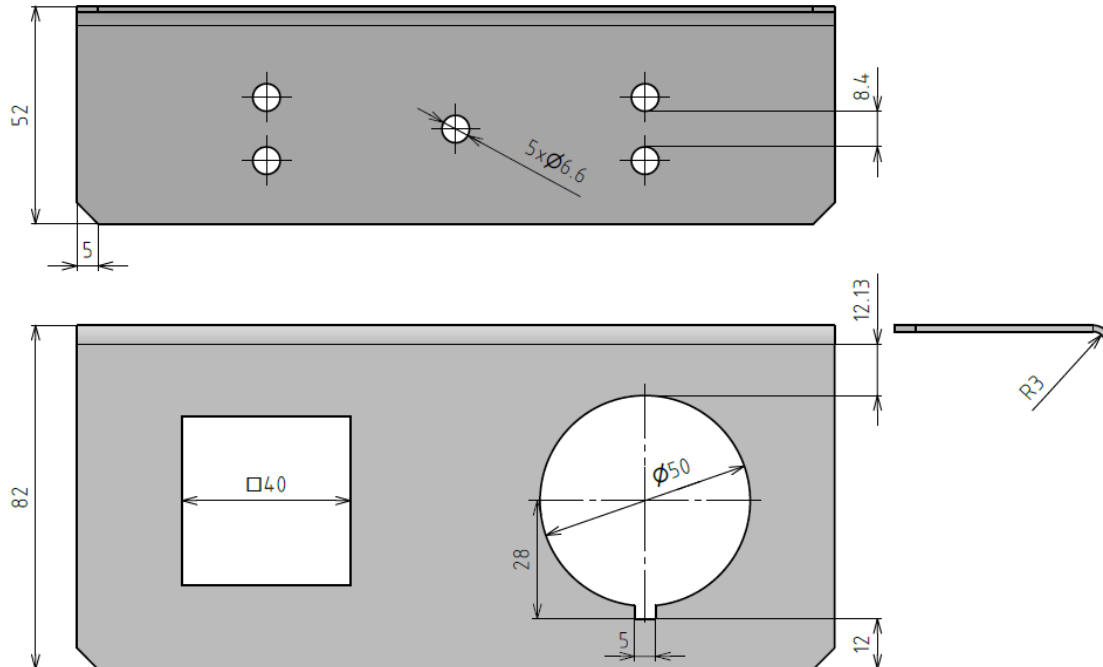
- Ohybník – poloměr zaoblení ohybníku  $r_p$  je totožný s poloměrem ohýbané součásti, a je potřeba brát v úvahu jeho minimální hodnotu dle vztahu (2.5). Šířka ohybníku má být alespoň taková, jaká je šířka ohýbané součásti. Z hlediska konstrukce jej lze rozdělit na celistvé (obr. 21a), které jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu a vložkované (obr. 21b), u nichž jsou funkční části nástroje vyrobeny z nástrojové oceli nebo ze slinitých karbidů. Ty jsou poté s tělem spojeny nejčastěji pomocí šroubů. Využívány jsou u rozměrnějších ohybů, kvůli vysokému namáhání nástroje, kde zvyšují životnost pouhou výměnou vložek, případně kvůli šetření nákladů na výrobu.
- Ohybnice – pevná část nástroje, kde tvar otvoru odpovídá danému druhu ohybu, a to do V nebo U. Obdobně jako ohybník může být konstrukčně provedena jako celistvá nebo skládaná a může být navíc opatřena vyhazovačem a přidržovačem. Důležitou roli má poloměr zaoblení hrany ohybnice  $R_0$ , který má vliv jak na velikost ohýbací síly, tak na jakost povrchu ohýbané součásti. Ohýbací síla v závislosti na snižující se hodnotě poloměru zaoblení hran roste. Velikost poloměru je volena na základě tloušťky ohýbaného materiálu. Je-li tloušťka větší než 3 mm, provádí se takzvané sražení hran pod úhlem  $45^\circ$  spolu se zaoblením, a je-li tloušťka polotovaru menší než 3 mm je určena pomocí vztahu  $R_0 = (2 \div 6) \cdot s$ .



Obr. 21 Konstrukce ohýbadel [21].

### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Jak bylo výše zmíněno, vyráběnou součástí je držák ovládání ventilu a manometru (obr. 22) v sérii 210 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Bude vyráběn z běžně dostupné konstrukční oceli S235JR dle EN 10025 o tloušťce 1,5 mm. Jako nejvhodnější výrobní technologie byly zvoleny postupové stříhání a ohýbání, zkombinované ve sdruženém nástroji.



Obr. 22 3D model součásti.

#### 3.1 Technologičnost

Z hlediska technologičnosti je důležité ověřit konstrukci součásti, aby splňovala technologické zásady potřebné pro výrobu kvalitního a přesného dílce, ať už z hlediska stříhání, tak i ohýbání. Z hlediska stříhání součást nesmí obsahovat tolerance IT9 a nižší, kterých by nebylo možné postupovým stříháním dosáhnout, což je splněno. Jelikož nejsou předepsané rovinnosti povrchů ani jejich drsnost, je tak splněn další faktor pro použití zvolených výrobních technologií.

Další z důležitých podmínek technologičnosti součásti je kontrola velikosti otvorů a jejich vzdálenosti od okrajů výstřižku (obr. 11 v kap. 2.1.3):

- nejmenší kruhový otvor (obr. 22) musí splňovat následující podmínku:

$$\frac{d}{s} \geq 1 \Rightarrow \frac{6,6}{1,5} \geq 1,5 \Rightarrow \text{splněno,}$$

- nejmenší hranatý otvor (obr. 22) musí splňovat následující podmínku:

$$\frac{b}{s} \geq 0,8 \Rightarrow \frac{5}{1,5} \geq 0,8 \Rightarrow \text{splněno,}$$

- vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od okraje výstřižků musí splňovat následující podmínku:

$$a \geq 0,8 \cdot s \Rightarrow 8,4 \geq 0,8 \cdot 1,5 \Rightarrow 8,4 \geq 1,2 \Rightarrow \text{splněno,}$$

$$e \geq 1,5 \cdot s \Rightarrow 12 \geq 1,5 \cdot 1,5 \Rightarrow 12 \geq 2,25 \Rightarrow \text{splněno.}$$

Vyráběná součást splňuje všechny podmínky technologičnosti součásti pro proces stříhání. Obdobně musí být zkontrolovány i podmínky pro technologii ohýbání. První bude ověřen minimální poloměr ohybu, aby nedošlo ke vzniku trhlin. Je vhodné vést osu ohybu kolmo na

směr vláken vzniklých válcováním, jelikož tak součást získá lepší mechanické vlastnosti a lze určit velikost minimálního poloměru ohybu za pomoci vztahu (2.5 v kap. 2.2.1):

$$R_{min} = c \cdot s = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ mm},$$

kde:  $c$  – součinitel volen v rozmezí  $(0,5 \div 0,6)$ ; zvoleno 0,6 z důvodu větší jistoty zamezení vzniku trhlin.

Pro případ provedení ohybu rovnoběžně se směrem vláken je nutné minimální poloměr dvojnásobně zvětšit na velikost  $2 \cdot R_{min} = 1,8 \text{ mm}$ . Ověřit je možné dle (2.6) i maximální poloměr ohybu:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E_T}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{235} - 1 \right) = 669,46 \text{ mm},$$

kde:  $E_T$  – modul pružnosti v tahu;  $E_T = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,

$R_e$  – mez kluzu;  $R_e = 235 \text{ MPa}$  (tab. 2).

Z výpočtů je zřejmé, že i v případě provedení ohybu rovnoběžně se směrem vláken je možné ohyb provést bez nebezpečí vzniku trhlin.

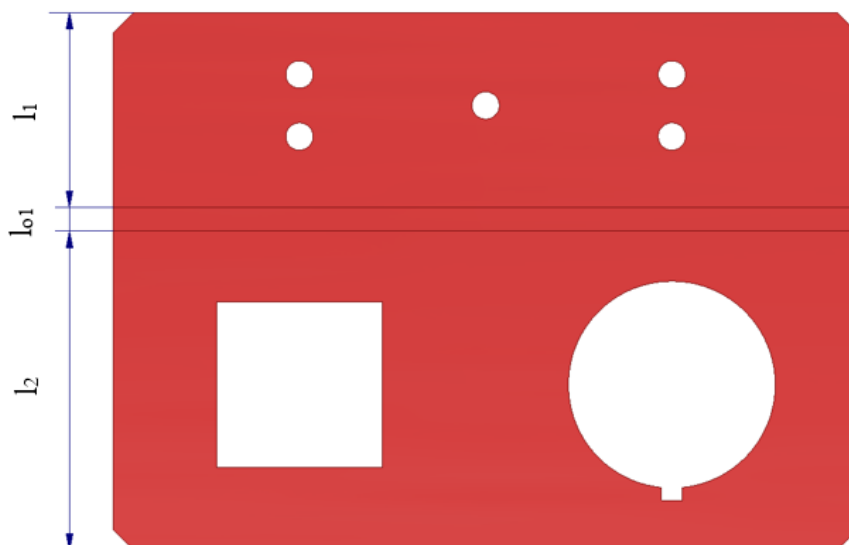
Další podmínkou je bezpečná vzdálenost otvorů od ohybu, aby se při provedení operace zamezilo jejich deformaci. Kontrola je provedena pro největší otvor, jelikož jeho hrana je v nejmenší vzdálenosti od ohybu viz obr. 22. Velikost této vzdálenosti lze určit dle následujícího vztahu:

$$a \geq 2 \cdot s \Rightarrow 12,13 \geq 2 \cdot 1,5 \Rightarrow 12,13 \geq 3 \Rightarrow \text{splněno.}$$

Součást tedy splňuje veškeré technologické podmínky nutné k výrobě kvalitního a přesného dílce a je tedy vyrobitelná.

### 3.2 Rozvinutý tvar součásti

K návrhu nástřihového plánu je z hlediska zjištění šířky pásu plechu, velikosti okrajů a můstku potřeba znát maximální rozměry dílce v rozvinutém tvaru (obr. 23). Nejprve je třeba zjistit délky rovných úseků  $l_1$ ,  $l_2$  a velikost rozvinuté délky  $l_{o1}$  s ohledem na posunutí neutrální plochy.



Obr. 23 Rozvinutý tvar součásti.

Celkovou délku rozvinuté součásti  $L_C$  lze získat dle ČSN 22 7340 pomocí vztahu [23]:

$$L_C = \sum l_i + \sum l_{oj} \text{ [mm]}, \quad (3.1)$$

kde:  $l_i$  – délka rovných úseků [mm],

$l_{oj}$  – délka zaoblených úseků [mm].

Rovné úseky se dopočítají z rozměrů výkresu součásti odečtením poloměrů ohybu. Délky rovných úseku jsou tedy  $l_1 = 49$  mm,  $l_2 = 79$  mm.

Pokud je při ohybu poměr  $R/s < 12$ , je nutné pro zjištění délky zaobleného úseku zahrnout také do výpočtu posunutí neutrální plochy. U součástky činí poměr  $R/s = 3/1,5 = 2 < 12$  a je tedy nutné použít následující vztah [23]:

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot 180 - \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,45 \cdot 1,5) = 5,77 \text{ mm}, \quad (3.2)$$

kde:  $x = 0,45$  pro relativní poloměr ohybu  $R/s = 2$ , zjištěno z tab. 4.

Je-li známa délka ohnutých i rovných úseků, lze již dopočítat celkovou výchozí délku polotovaru právě jako součet těchto dílčích délek úseků dle vzorce (3.1):

$$L_C = l_1 + l_2 + l_{o1} = 49 + 79 + 5,77 = 133,77 \text{ mm}.$$

Pomocí programu Autodesk Inventor, v modulu pro vyhodnocení rozvinuté délky plechových dílců, byla hodnota délky polotovaru změřena na 133,75 mm, což se mírně neshoduje s hodnotou vypočtenou. Tento rozdíl 0,02 milimetru je způsoben zaokrouhlováním při teoretickém výpočtu. Pro jistotu vyrobitelnosti bude zvolena hodnota vyšší čili 133,77 mm a z hlediska přesnosti výroby zvolené technologie bude hodnota zaokrouhlena na  $L_C = 133,8$  mm.

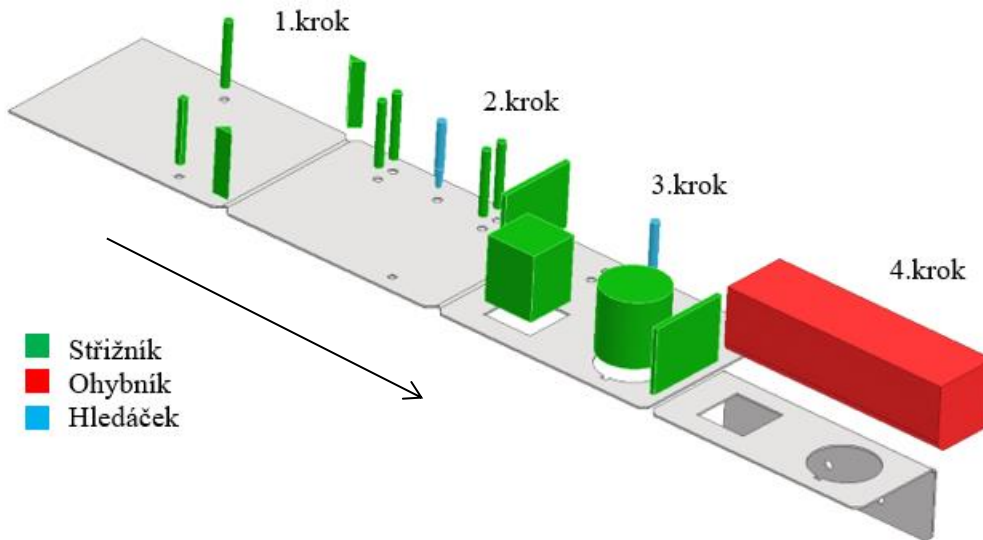
### 3.3 Výrobní postup

Pro vybrané varianty nástřihových plánů je potřeba navrhnout vhodný postup výroby ve sdruženém postupovém nástroji. Varianty se liší pouze orientací vyráběné součásti vůči směru zavádění pásu do nástroje. U obou variant dochází nejprve k vystřížení otvorů a děr s následným ohybem součásti. Po ohnutí následuje odstřihnutí součásti od pásu plechu. Níže budou srovnány následující varianty pro jednořadé uspořádání:

#### 3.3.1 Varianta A

Výrobní postup vycházející z podélného uspořádání výstřížku na pás plechu (obr. 24). Postup bude tedy v jednotlivých krocích vypadat následovně:

- 1. krok – vystřížení kruhového otvoru  $\varnothing 6,6$  mm, čtvercového otvoru o straně 5 mm a vystřížení zkosení mezi 1. a 2. krokem,
- 2. krok – zahledání otvoru  $\varnothing 6,6$  mm hledáčkem, vystřížení 4 kruhových otvorů  $\varnothing 6,6$  mm a vytvoření můstku pomocí obdélníkového střížníku,
- 3. krok – zahledání otvoru  $\varnothing 6,6$  mm hledáčkem, vystřížení čtvercového otvoru o straně 40 mm a kruhového otvoru  $\varnothing 50$  mm,
- 4. krok – ohnutí součásti a následné odstřížení od pásu plechu.

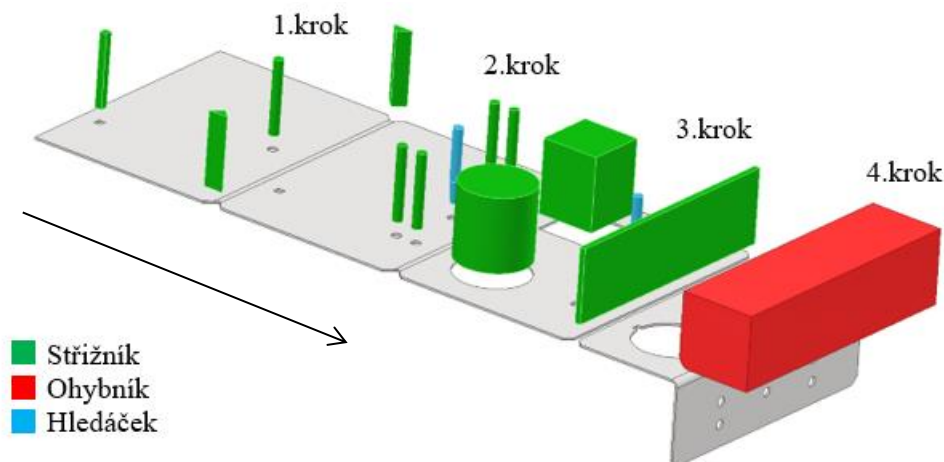


Obr. 24 Výrobní postup – varianta A.

### 3.3.2 Varianta B

Výrobní postup vycházející z příčného uspořádání výstřížku na pás plechu (obr. 25). Postup bude tedy v jednotlivých krocích vypadat následovně:

- 1. krok – vystřížení kruhového otvoru  $\text{Ø}6,6$  mm, čtvercového otvoru o straně 5 mm a vystřížení zkosení mezi 1. a 2. krokem,
- 2. krok – zahledání otvoru  $\text{Ø}6,6$  mm hledáčkem a vystřížení 4 kruhových otvorů  $\text{Ø}6,6$  mm,
- 3. krok – zahledání otvoru  $\text{Ø}6,6$  mm hledáčkem, vystřížení čtvercového otvoru o straně 40 mm a kruhového otvoru  $\text{Ø}50$  mm,
- 4. krok – ohnutí součásti a následné odstřížení od pásu plechu.



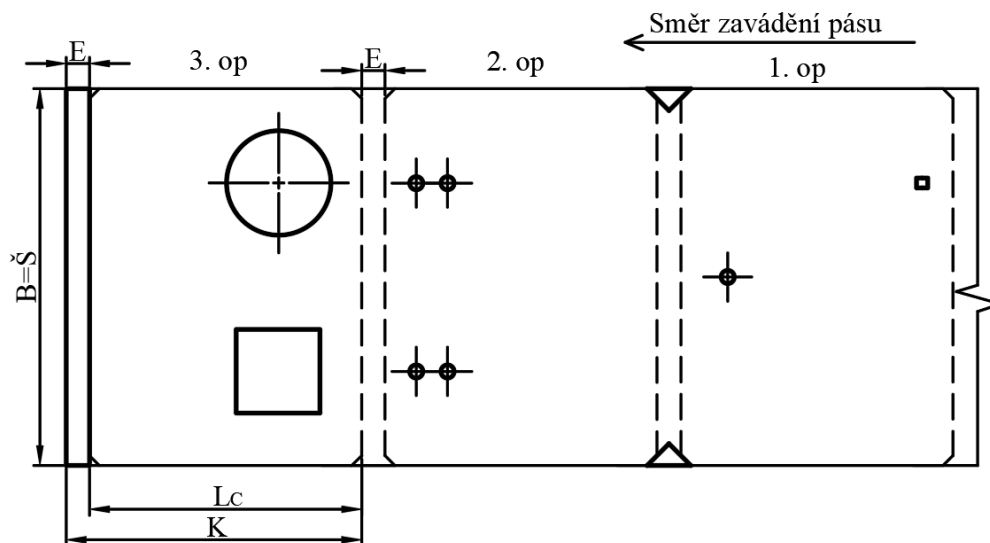
Obr. 25 Výrobní postup – varianta B.

V postupu výroby u obou řešení dochází mezi jednotlivými kroky k operacím, které souvisí především s vytvořením obrysu součásti. Rozdílem mezi variantou A (obr. 24) a variantou B (obr. 25) je především vytvoření ohybu součásti, kdy při první variantě dochází k ohybu kolmo na směr vláken, čímž existuje větší riziko vzniku defektu typu trhliny na vnější straně ohybu. Dalším rozdílem je odstřížení součásti od pásu plechu, kdy při druhé variantě je součást odstřížena během jediné operace. Jako výhodnější možnost výroby se tedy jeví varianta B, která je zvolena a bude s ní dále uvažováno.

### 3.4 Nástřihový plán

Pro vystřížení jednotlivých dílů lze volit ze dvou základních druhů polotovarů, a to tabulí plechu nebo sviteků. Pro součást byl zvolen polotovar svitek, jelikož dodavatel ROSSO STEEL [24] nabízí dodání požadované konstrukční oceli v přesných rozměrech, čímž se značně zvýší využití materiálu. Zároveň je díky tomu zajištěna lepší kontinuita procesu. K šířce součásti se zpravidla připočítává velikost postranního odpadu z obou stran, ale vzhledem k tomu, že okraje součásti netvoří funkční část, bude uvažováno s variantou bez postranních okrajů, což značně zvýší využití materiálu.

Pro součást byl vybrán výrobní postup varianty B (příčné rozložení součásti na pás plechu), které znázorňuje obr. 25. Šířka součásti je tedy rovna šířce svitku plechu. Dále je potřeba určit velikost můstku neboli mezeru mezi jednotlivými výstřížky. K tomu slouží diagram, viz příloha 1, ve kterém se na základě tloušťky materiálu a největší délky výstřížku odečte hodnota můstku.



Obr. 26 Příčné uspořádání výstřížků.

Jednotlivé hodnoty pro určení využití svitku plechu pro příčné uspořádání výstřížků jsou tedy následující:

- Šířka pásu:  $\check{S} = B = 180 \text{ mm}$ ,
- Délka výstřížku:  $L_C = 133,8 \text{ mm}$ ,
- Velikost můstku:  $E = 4 \text{ mm}$  (odečteno z diagramu, viz příloha 1),
- Velikost kroku:  $K = L_C + E = 133,8 + 4 = 137,8 \text{ mm}$ ,
- Plocha výstřížku:  $S_V = 24\,034 \text{ mm}^2$  (hodnota zjištěna za pomoci programu Autodesk Inventor).

Dále je potřeba zjistit procentuální využití materiálu pro konkrétní variantu nástřihového plánu. Jak již bylo zmíněno výše, díky dodavateli [24] je možnost objednat přesné rozměry polotovaru ve formě ocelových sviteků, které jsou charakterizovány kromě šířky svým průměrem, vnějším a vnitřním. Dodavatel nabízí dvě možnosti vnitřního průměru a to 508 nebo 610 mm, a u vnějšího průměru nabízí do maximální hodnoty 2000 mm. Pro zjištění nejlepší varianty, budou níže podrobeny výpočtu procentuálního využití materiálu možnosti viz tab. 5. Ale jako první je uveden příklad výpočtu pro  $D_{sv} = 2000 \text{ mm}$  a  $d_{sv} = 610 \text{ mm}$ :

- Výpočet rozvinuté délky svitku  $L_{SV}$ :

$$L_{SV} = \frac{\pi}{4 \cdot s} \cdot (D_{SV}^2 - d_{SV}^2) = \frac{\pi}{4 \cdot 1,5} \cdot (2\,000^2 - 610^2) = 1\,899\,564 \text{ mm}, \quad (3.3)$$

kde:  $D_{SV}$  – vnější průměr svitku [mm],  
 $d_{SV}$  – vnitřní průměr svitku [mm].

- Plocha svitku:

$$S_{SV} = L_{SV} \cdot \check{S} = 1\,899\,564 \cdot 180 = 341\,921\,520 \text{ mm}^2, \quad (3.4)$$

kde:  $L_{SV}$  – délka pásu svitku [mm].

- Počet výstřížků na jeden svitek plechu:

$$n_V = \frac{L_{SV}}{K} = \frac{1\,899\,564}{137,8} = 13\,784,93 \Rightarrow 13\,784 \text{ ks}, \quad (3.5)$$

kde:  $K$  – velikost kroku [mm].

- Procentuální využití svitku plechu:

$$\eta_{SV} = \frac{S_V \cdot n_V}{S_{SV}} \cdot 100 = \frac{24\,034 \cdot 13\,784}{341\,921\,520} \cdot 100 = 96,889 \%. \quad (3.6)$$

- Potřebný počet svitků:

$$n_{SV} = \frac{N}{n_V} = \frac{150\,000}{13\,784} = 10,882 \Rightarrow 11 \text{ ks}, \quad (3.7)$$

kde:  $N$  – celková výrobní série [ks].

- Procentuální využití všech svitků plechu (za předpokladu nemožnosti využití zbytku materiálu na další výrobu):

$$\eta_{CSV} = \frac{N \cdot S_V}{n_{SV} \cdot S_{SV}} \cdot 100 = \frac{150\,000 \cdot 24\,034}{11 \cdot 341\,921\,520} \cdot 100 = 95,851 \%. \quad (3.8)$$

Tab. 5 Porovnání jednotlivých variant uspořádání výstřížků

| $D_{SV}$ [mm] | $d_{SV}$ [mm] | $L_{SV}$ [m] | $n_V$ [ks] | $S_{SV}$ [m <sup>2</sup> ] | $\eta_{SV}$ [%] | $n_{SV}$ [ks] | $\eta_{SVC}$ [%] |
|---------------|---------------|--------------|------------|----------------------------|-----------------|---------------|------------------|
| 2 000         | 610           | 1 889,56     | 13 754     | 341,92                     | 96,889          | 11            | 95,851           |
| 1 800         | 610           | 1 501,63     | 10 897     | 270,29                     | 96,894          | 14            | 95,270           |
| 1 600         | 610           | 1 145,58     | 8 313      | 206,20                     | 96,891          | 19            | 92,016           |
| 2 000         | 508           | 1 959,27     | 14 218     | 352,67                     | 96,894          | 11            | 92,930           |
| 1 800         | 508           | 1 561,34     | 11 330     | 281,04                     | 96,892          | 14            | 91,626           |
| 1 600         | 508           | 1 205,29     | 8 746      | 216,95                     | 96,888          | 18            | 92,317           |

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že nejvyšší využití materiálu na výrobu 95,851 % má kombinace  $D_{SV} = 2000$  mm a  $d_{SV} = 610$  mm. Zároveň tak bude snížena celková manipulace se svitky, díky potřebě 11 svitků na celou výrobu. Hodnoty průměrů budou důležitým parametrem při pozdější volbě podávacího zařízení pro zvolený typ polotovaru.

### 3.5 Výpočty pro technologii stříhání

Pro správnou volbu výrobního stroje a jeho parametrů je důležité spočítat tvářecí síly a práce potřebné k výrobě součásti. Tyto hodnoty je nutné určit zvlášť pro jednotlivé střížníky a následně je sečíst pro získání celkové střížné síly. Nejprve je určena velikost střížného odporu zvoleného materiálu, tedy oceli 11 375. Mez pevnosti tohoto materiálu se pohybuje v rozmezí 360 ÷ 510 MPa. Pro výpočet je zvolena nejvyšší hodnota tohoto intervalu z důvodu jistoty prostřížení materiálu. Nejprve je třeba určit střížný odpor dle vztahu:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 510 = 408 \text{ MPa.} \quad (3.9)$$

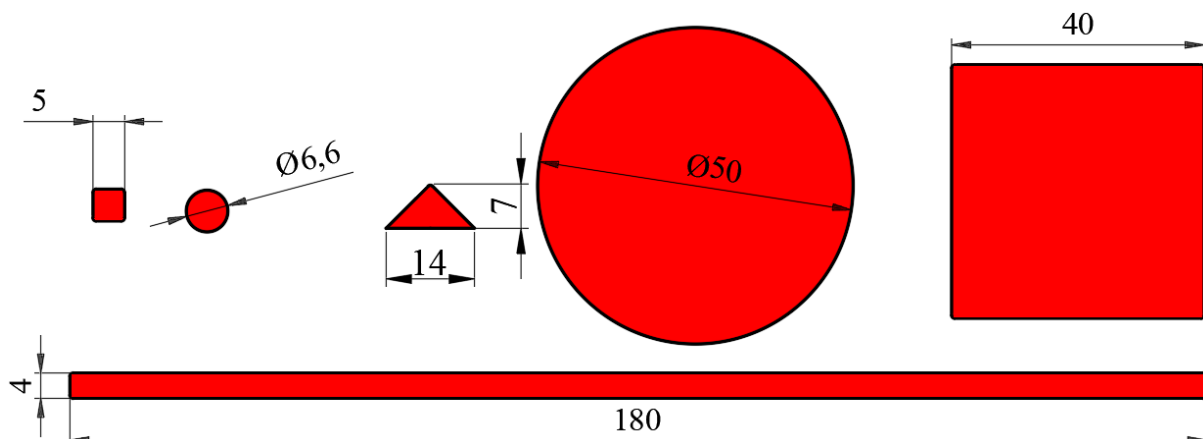
Nyní lze určit jednotlivé střížné síly, které jsou vypočteny na základě vzorce (2.2 kap. 2.1.2), pro který byl koeficient opotřebení  $n$  zvolen z důvodu bezpečnosti 1,55 z rozmezí 1,2 ÷ 1,55. Příklad výpočtu pro čtvercový střížník o straně 40 mm, kde  $l$  je rovno 160 mm:

$$F_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,55 \cdot 160 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 510 = 151\,776 \text{ N.}$$

Tab. 6 Střížné síly

| Střížník        | Obvod $l$ [mm] | Střížná síla $F_{si}$ [kN] | Počet [ks] | Celková střížná síla $F_{csi}$ [kN] |
|-----------------|----------------|----------------------------|------------|-------------------------------------|
| 1 – Ø6,6 mm     | 20,735         | 19,7                       | 5          | 98,3                                |
| 2 – Trojúhelník | 23,899         | 22,7                       | 2          | 45,3                                |
| 3 – Obdélník    | 351,314        | 333,3                      | 1          | 333,3                               |
| 4 – Ø50 mm      | 152,071        | 144,3                      | 1          | 144,3                               |
| 5 – □40 mm      | 160            | 151,8                      | 1          | 151,8                               |
| 6 – □5 mm       | 20             | 19,0                       | 1          | 19,0                                |
|                 |                |                            |            | $\Sigma F_{cs} = 791,9 \text{ kN}$  |

Obvody všech stříhaných částí  $l$  byly vypočteny v programu Autodesk Inventor Professional 2023 viz obr. 27. Pro výpočty byly zanedbány ty části, které jsou již vystříženy v předchozích operacích, a proto jsou v tabulce zaznamenány nižší hodnoty.



Obr. 27 Tvary a základní rozměry střížníků.

Dále je nutné určit sřížnou práci pro všechny sřížníky pomocí vzorce (2.3). Kontrolní výpočet byl opět proveden pro čtvercový sřížník o straně 40 mm:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot s}{1000} = \frac{0,45 \cdot 151\,776 \cdot 1,5}{1000} = 102,4 \text{ [J]},$$

kde:  $\lambda$  – součinitel plnosti volen v rozmezí (0,45 ÷ 0,42); zvoleno 0,45 z důvodu zajištění vyrobiteľnosti součásti.

Tab. 7 Sřížné práce

| Sřížník         | Obvod l [mm] | Sřížná práce $A_{si}$ [J] | Počet [ks] | Celková sřížná práce $A_{csi}$ [J] |
|-----------------|--------------|---------------------------|------------|------------------------------------|
| 1 – Ø6,6 mm     | 20,735       | 13,3                      | 5          | 66,4                               |
| 2 – Trojúhelník | 23,899       | 15,3                      | 2          | 30,6                               |
| 3 – Obdélník    | 351,314      | 224,9                     | 1          | 224,9                              |
| 4 – Ø50 mm      | 152,071      | 97,4                      | 1          | 97,4                               |
| 5 – □40 mm      | 160          | 102,4                     | 1          | 102,4                              |
| 6 – □5 mm       | 20           | 12,8                      | 1          | 12,8                               |
|                 |              |                           |            | $\Sigma A_{cs} = 534,6 \text{ J}$  |

Na základě znalosti sřížného odporu materiálu lze určit sřížnou vůli. Velikost koeficientu  $c_s$  byla zvolena 0,031 vzhledem k nízkým nárokům na kvalitu sřížné plochy. Velikost vůle je vypočtena podle vztahu (2.1):

$$v = c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,031 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{408} = 0,03 \text{ mm}.$$

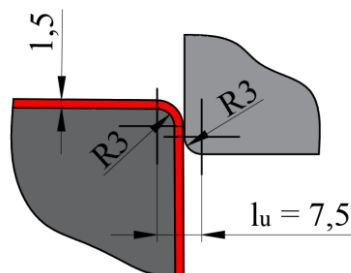
### 3.6 Výpočty pro technologii ohýbání

Vyráběná součást je postupně děrována v nástroji a v posledním kroku dochází k finální změně tvaru – ohnutí o úhel  $\alpha = 90^\circ$ . Tento ohyb lze vzhledem k uvažovanému uspořádání nástrojů klasifikovat jako poloviční ohyb do tvaru U. Před určením velikosti ohýbacích sil je nutné zjistit velikost odpružení, které vlivem pružné deformace materiálu zpětně rozevívá ohyb o úhel  $\beta$  a ovlivňuje přesnost ohybu. Výpočet je proveden pomocí vzorce (2.8):

$$\beta_U = \arctan\left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) = \arctan\left(0,75 \cdot \frac{7,5}{0,55 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5}\right) = 0^\circ 26',$$

kde:  $k$  – koeficient; určen dle tab. 4 jako  $k = 1 - x = 1 - 0,45 = 0,55$ ,

$l_u$  – délka ramene;  $l_u = 7,5$  mm (obr. 28).



Obr. 28 Ohyb součásti.

Nyní lze určit potřebnou sílu pro vytvoření ohybu. Součinitel tření je pro tento výpočet volen  $f = 0,15$  vzhledem k uvažované absenci maziv, či jiných možností snížení tření při ohybu a šířka plechu  $b = 180$  mm, která je dána zvolenou variantou výroby. Velikost síly je tedy určena dle vzorce (2.10):

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_0 + s} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{180 \cdot 1,5^2 \cdot 235}{3 + 1,5} = 25\,380 \text{ N.}$$

Pro zvolenou technologii sdruženého nástroje je nutné použití přidržovače, který zamezí, aby byl pás plechu nevhodně deformován. Velikost síly od přidržovače je dle ČSN 22 7340 určena jako  $(0,25 \div 0,30) \cdot F_U$  [23]. Pro tuto sílu je vybrána vhodná pružina, jejíž parametry jsou popsány v příloze 2. Ohýbací síla je tedy zvětšena o sílu přidržovače na:

$$F'_U = 0,3 \cdot F_U + F_U = 0,3 \cdot 25\,380 + 25\,380 = 32\,994 \text{ N.} \quad (3.10)$$

Velikost potřebné tvářecí práce lze tedy určit pomocí vzorce (2.10):

$$A_U = m \cdot \frac{F'_U \cdot h}{1\,000} = \frac{1}{6} \cdot \frac{32\,994 \cdot 14}{1\,000} = 76,99 \text{ J,}$$

kde:  $m$  – součinitel respektující průběh síly;  $m = 1/6$ .

$h$  – pracovní zdvih;  $h = 14$  mm.

### 3.7 Stanovení rozměrů střížníků a střížnice

Správné určení rozměrů střížníku a střížnice má vliv nejen na samotnou funkčnost střížného nástroje, ale též na dodržení předepsaných výrobních tolerancí stříhaných dílů. Při stanovení rozměrů a tolerancí střížníku a střížnice se vychází z normy ČSN 22 6015. Jelikož se veškeré pracovní části stříhadla postupným opotřebením zmenšují, budou použity vzorce pro výpočty při děrování. Ve výrobní dokumentaci není požadavek na přesné rozměry, tudíž budou tolerance jednotlivých střížníků a střížnic určeny na základě nepředepsaných mezních úchylek jednotlivých délkových rozměrů. Pro rozměry byla zvolena střední třída přesností ISO 2768-m a její hodnoty byly určeny dle tabulky v příloze 3. Rozměry jsou uvedeny v tab. 8 a vzorový výpočet je proveden pro děrování kruhu o průměru 50 mm (obr. 27) [13]:

- Rozměr střížníku určen dle:

$$\begin{aligned} RAD &= \left( JR + \frac{P}{2} \right) - TA \\ &= \left( 50 + \frac{0,46}{2} \right) - 0,12 = 50,23^{+0}_{-0,12} \text{ mm,} \end{aligned} \quad (3.12)$$

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

$JR$  – jmenovitý rozměr [mm],

$P$  – přípustná míra opotřebení [mm],

$TA$  – výrobní tolerance střížníku [mm].

- Rozměr střížnice určen dle:

$$RED = \left( JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE \quad (3.13)$$

$$= \left( 50 + \frac{0,46}{2} + 0,03 \right) + 0,19 = 50,26_{-0}^{+0,19} \text{ mm},$$

kde: RED – rozměr střížnice při děrování [mm],

TE – výrobní tolerance střížnice [mm].

Tab. 8 Výrobní rozměry střížníků a střížnic

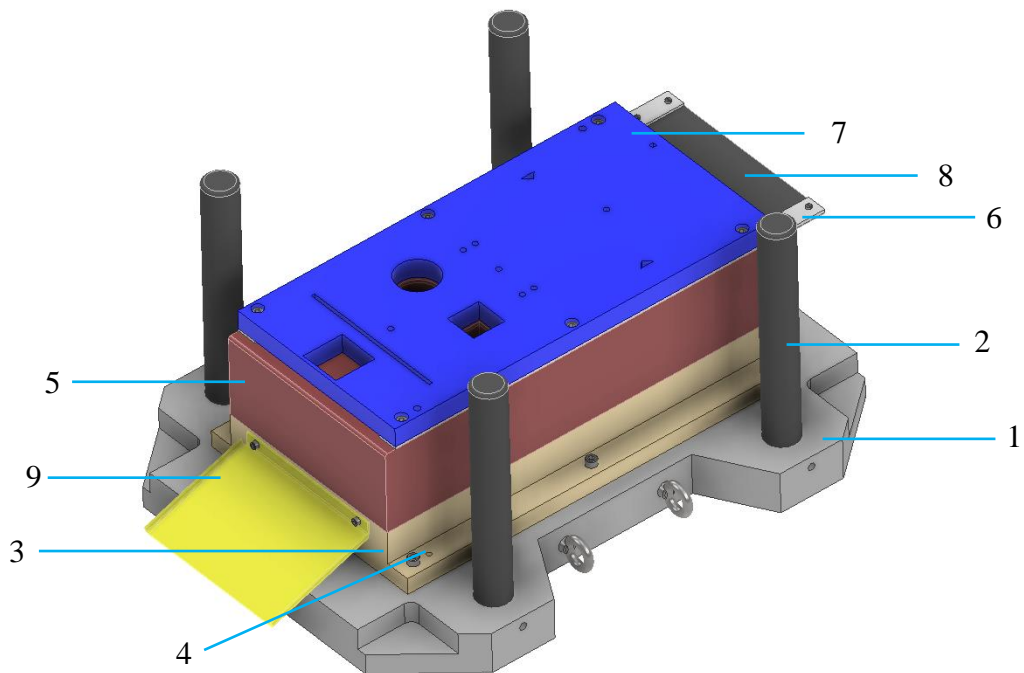
| JR  | P    | TE    | TA    | RED                                   | RAD                                   |
|-----|------|-------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 180 | 0,76 | 0,290 | 0,185 | 180,41 <sub>-0</sub> <sup>+0,29</sup> | 180,38 <sub>-0,19</sub> <sup>+0</sup> |
| 50  | 0,46 | 0,190 | 0,120 | 50,26 <sub>-0</sub> <sup>+0,19</sup>  | 50,23 <sub>-0,12</sub> <sup>+0</sup>  |
| 40  | 0,46 | 0,190 | 0,120 | 40,26 <sub>-0</sub> <sup>+0,19</sup>  | 40,23 <sub>-0,12</sub> <sup>+0</sup>  |
| 14  | 0,31 | 0,120 | 0,074 | 14,19 <sub>-0</sub> <sup>+0,12</sup>  | 14,16 <sub>-0,07</sub> <sup>+0</sup>  |
| 7   | 0,31 | 0,120 | 0,074 | 7,19 <sub>-0</sub> <sup>+0,12</sup>   | 7,16 <sub>-0,07</sub> <sup>+0</sup>   |
| 6,6 | 0,31 | 0,120 | 0,074 | 6,79 <sub>-0</sub> <sup>+0,12</sup>   | 6,76 <sub>-0,07</sub> <sup>+0</sup>   |
| 5   | 0,16 | 0,054 | 0,035 | 5,11 <sub>-0</sub> <sup>+0,05</sup>   | 5,08 <sub>-0,04</sub> <sup>+0</sup>   |
| 4   | 0,16 | 0,054 | 0,035 | 4,11 <sub>-0</sub> <sup>+0,05</sup>   | 5,08 <sub>-0,04</sub> <sup>+0</sup>   |

Vypočtené rozměry a tolerance úchylek byly z důvodu vyrobiteľnosti a případné kontroly vyrobiteľnosti upraveny na setiny.

### 3.8 Konstrukce nástroje

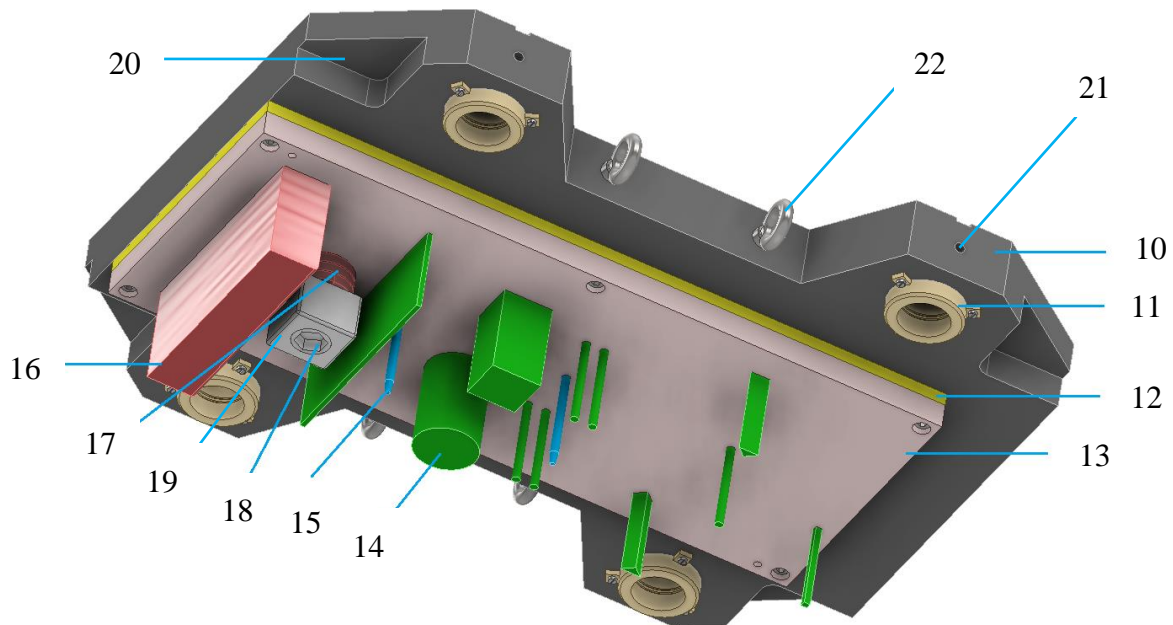
Jak již bylo zmíněno výše, jako výrobní technologie pro výrobu zadaného dílce, byla zvolena varianta postupového sruženého nástroje, který vyhotoví celou součást ve čtyřech krocích. Při konstrukci nástroje je třeba vycházet ze zvoleného výrobního postupu, kterým se řídí tvary a rozmístění základních funkčních částí. Během návrhu bylo dbáno i na možnosti výrobních strojů a byla tomu tak konstrukce uzpůsobena. Celý nástroj byl navržen pomocí programu Autodesk Inventor 2023 Professional a lze jej rozdělit na dvě hlavní části, spodní polovinu a horní polovinu.

Pevná spodní část sruženého nástroje (obr. 29) je upevněna ke stolu lisu pomocí základové desky (1), obsahující otvory na propad odpadového materiálu vzniklého stříháním. Do desky jsou zalisovány a přišroubovány čtyři vodící sloupky (2), jimiž je zajištěn pohyb celého nástroje. Na desku je připevněna podložka (3), též obsahující otvory na propad materiálu, pomocí šesti šroubů a dvou polohovacích kolíků (4). Podložka slouží ke zvětšení celkové výšky sruženého nástroje, aby splňoval minimální uzavřenou výšku tvářecího stroje. Na podložce se nachází první funkční části nástroje, jimiž jsou střížnice (5), vodící lišta pro vedení materiálu (6) a vodící deska (7). Střížnice s podložkou, stejně jako vodící deska a lišta se střížnicí, jsou mezi sebou spojeny pomocí šesti zápusťných šroubů a polohovány pomocí kolíků. Pás svitku do nástroje vstupuje za pomoci podpěrného plechu (8) umístěného pod vodící lištou, a jako hotová součást vystupuje přes gravitační skluz (9), usnadňující odběr materiálu, připevněného ke střížnici.



Obr. 29 Dolní část sdruženého nástroje.

Horní pohyblivá část nástroje (obr. 30) je upevněna k beranu lisu pomocí upínací desky (10), na níž se nachází vybrání pro připevnění pomocí upínek. Do desky jsou nalisovány čtyři vodící pouzdra (11), pro zajištění vedení vodících sloupků, k nimž vedou odvodňovací kanálky. K desce jsou pomocí kolíků a zápusťných šroubů připojeny opěrná deska (12), zamezující vtisknutí střížníků do základové desky a kotevní deska (13), do níž jsou usazeny střížníky (14), hledáčky (15) a ohybník (16). O opěrnou desku se opírá také pružina přidržovače (17) vedená, pomocí šroubu přidržovače (18), až na samotný přidržovač (19).



Obr. 30 Horní část sdruženého nástroje.

Vystřížený odpadní materiál bude odváděn z nástroje skrze otvory v upraveném stole stroje. Horní i spodní část nástroje budou do lisu upevněné hydraulickými upínkami pomocí osmi vybrání (20) na základové a upínací desce. Na těchto deskách je pro usnadnění transportu

a skladování sruženého nástroje zhotoveno osm otvorů pro šrouby (21), aby byl nástroj v zajištěné poloze, pomocí upevňovacích lišt. Celý nástroj je také opatřen osmi nosnými oky (22) pro případnou manipulaci jeřábem.

### 3.9 Kontrolní výpočty

Před konstrukcí samotného nástroje je nutné provést dílčí kontroly. První kontrolou je ověřeno, že z hlediska mezního stavu nedojde ke ztrátě vzpěrné stability. Nejvyšší riziko je totiž u střižníků s nejmenšími průřezy. Délka střižníku proto musí být menší, než je spočtená kritická délka. V případě nesplnění této podmínky je možné provést konstrukční úpravu ve formě zesílení daného průřezu. Vzhledem k použití vodící desky bude pro kontrolní výpočet použit následující vztah [18]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_k \cdot F_{S6}}} [mm], \quad (3.11)$$

kde:  $I$  – kvadratický moment setrvačnosti čtvercového průřezu [ $mm^4$ ],

$n_k$  – koeficient bezpečnosti (volen v rozmezí  $2 \div 3$ ) [-].

Kvadratický moment je určen dle vztahu:

$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{5^4}{12} = 52,08 [mm^4].$$

Po dosazení kvadratického momentu a zvolení  $n = 2$  do vzorce vedeného střižníku (3.10):

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_k \cdot F_{S6}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 52,08}{2 \cdot 19\,000}} = 106,59 mm.$$

Podle výpočtu je kritická volná délka pro nejmenší střižník 106,59 mm. Skutečná délka střižníku mezi vodící a kotevní deskou je ale jen 59 mm a ke ztrátě vzpěrné stability tak nedojde.

Dále je potřeba jednotlivé střižníky kontrolovat na otláčení kvůli vysokým hodnotám sil v oblasti upnutí. Kontroluje se, zda se střižník vlivem působení velké síly nevtlačí do upínací desky. Mezní hodnota, která nesmí být překročena, je u vybrané oceli stanovena na 355 MPa viz příloha 4. Pokud dojde k překročení této hodnoty, bude zapotřebí použít kalenou podložku, která zabráni tomuto nežádoucímu otláčení. Kontrolní výpočet je proveden pro dva různé střižníky:

- Střižník s největší silou – obdélníkový střižník, výpočet je proveden podle následujícího vztahu [21]:

$$\sigma_3 = \frac{F_{S3}}{S_{d3}} = \frac{333\,256,5}{1\,860} = 179,17 MPa, \quad (3.13)$$

kde:  $S_{d3}$  – dosedací plocha obdélníkového střižníku, stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2023,  $S_{d3} = 1860 mm^2$ .

- Nejmenší střižník – čtvercový střižník o straně 5 mm:

$$\sigma_6 = \frac{F_{S6}}{S_{d6}} = \frac{18\,972}{121} = 156,79 MPa,$$

kde:  $S_{d6}$  – dosedací plocha čtvercového střižníku, stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2023,  $S_{d6} = 121 mm^2$ .

U kontrolovaných střížníků hodnota napětí nepřekročila hodnotu 355 MPa, tudíž není zapotřebí používat kalenou opěrnou desku.

Dalším kontrolovaným parametrem je výška střížnice, jejíž přibližnou velikost lze zjistit na základě vztahu (3.14), vycházejícího z celkové tvářecí střížné síly. Tento vztah ovšem nezahrnuje tvar střížnice a provedení propadů v základové desce, proto bude výsledek brán pouze jako orientační:

$$H_s = \sqrt[3]{F_{cs}} = \sqrt[3]{791\,900} = 92,5 \text{ mm}. \quad (3.14)$$

Posledním kontrolovaným parametrem je tuhost pružiny, která při operaci ohýbání musí vytvořit dostatečnou přidržovací sílu, aby nedošlo k nevhodné deformaci plechu. Hodnota, kterou nesmí kontrolovaný parametr překročit, je dle výrobce [27] rovna  $413,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Tuhost pružiny je zjištěna za pomoci síly působící na pružinu a stlačením pružiny:

$$k_p = \frac{0,3 \cdot F_U}{\Delta l} = \frac{0,3 \cdot 25380}{35} = 217,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}, \quad (3.15)$$

kde:  $\Delta l$  – stlačení pružiny [mm].

### 3.10 Volba stroje

Volba vhodného výrobního stroje je závislá na mnoha parametrech, jenž vychází ze samotné konstrukce nástroje, či již vypočtených výsledků. Jedním z nejdůležitějších parametrů je jmenovitá síla lisu, jenž musí být větší než celková tvářecí síla. Ta je získána jako součet sil od obou operací. I když jednotlivé síly nepůsobí současně, například dojde k odstřížení až po dokončení ohybu, je nutné počítat s určitým naddimenzováním stroje. Celková síla se proto ještě navýší o 20 % z důvodu bezpečnosti:

$$F_C = (F_{cs} + F'_{U}) \cdot 1,2 = (791\,946 + 32\,994) \cdot 1,2 = 989,93 \text{ kN}. \quad (3.16)$$

Dalším kritériem jsou rozměry upínacího stolu a beranu lisu, které musí být větší než jsou rozměry navrženého nástroje, dále způsob upínání nástroje do stroje a možnost odchodu odpadového materiálu skrz stůl lisu. Důležitá je také hodnota sevření lisu a velikost zdvihu. Vhodným typem stroje, který splňuje všechny požadavky, je excentrický lis Mecânica Exacta, model CC100 (obr. 31). Technické parametry tohoto lisu jsou zobrazeny v tab. 9. [25]

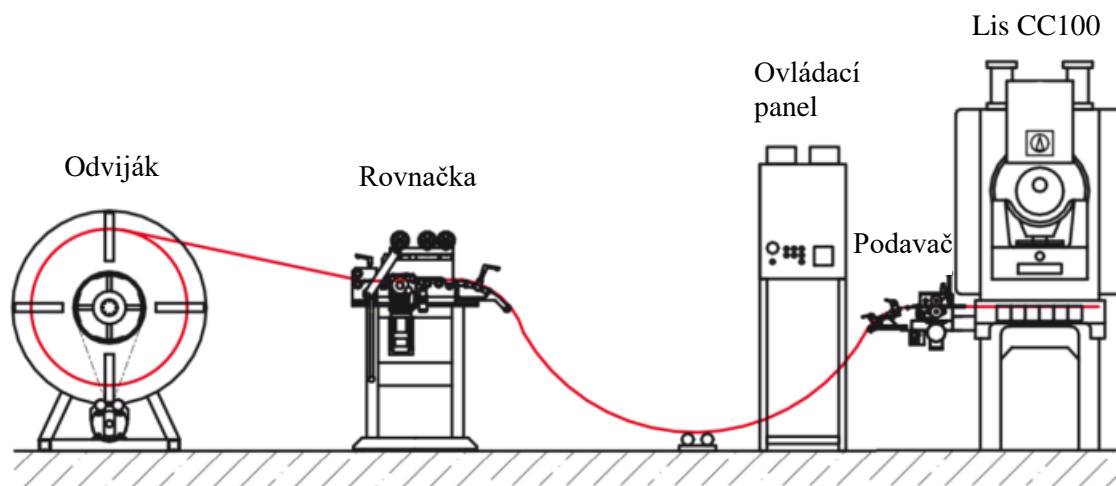


Obr. 31 Excentrický lis Mecânica Exacta CC100 [25].

Tab. 9 Technické parametry lisu Mecânica Exacta model CC100 [25]

| Parametr                                  | Hodnota           | Jednotka    |
|---|-------------------|-------------|
| Kapacita                                  | 1000              | [kN]        |
| Nominální výška                           | 7,1               | [mm]        |
| Energie v kontinuálním chodu              | 7,1               | [kJ]        |
| Energie pro jednotlivý zdvih              | 14,2              | [kJ]        |
| Nominální rychlost                        | 56                | [cyklů/min] |
| Variabilní rychlost                       | 45 – 90           | [cyklů/min] |
| Nastavení zdvihu                          | 20 – 125          | [mm]        |
| Rozměry stolu [šířka x hloubka]           | 1060 × 720        | [mm]        |
| Rozměry beranu [šířka x hloubka]          | 670 × 580         | [mm]        |
| Uzavřená výška [min. vzdál. beran – stůl] | 375               | [mm]        |
| Průchod mezi bočnicemi                    | 520               | [mm]        |
| Pracovní výška                            | 930               | [mm]        |
| Přestavení beranu                         | 80                | [mm]        |
| Počet vedení                              | 6                 | [ks]        |
| Výkon motoru                              | 11                | [kW]        |
| Napětí                                    | 400 / 50          | [V/Hz]      |
| Rozměry (šířka x hloubka x výška)         | 1,8 × 1,95 × 3,35 | [m]         |
| Hmotnost                                  | 11000             | [kg]        |

Výhodou lisu je možnost integrace do linek pro práci se svitky (obr. 32). Výrobní linka se tak bude skládat z odvíjecího zařízení, ze kterého se pás plechu odvíjí do podávací rovnačky. Následně je pás plechu v podávací rovnačce narovnan a podavačem posouván o konkrétní nastavenou hodnotu kroku, která v tomto případě činí 137,8 mm. Pás plechu poté vstupuje do lisu, kde už probíhá výroba zadané součásti. Zmiňované odvíjecí zařízení, včetně rovnačeho a podávacího zařízení, bude použito od stejné firmy Mecânica Exacta, která je nabízí jakožto dovybavení ke zvolenému lisu [25].



Obr. 32 Obecné schéma výrobní linky [26].

Po vyrobení součásti by byla vhodná povrchová úprava, jako například černění. Ale tímto se už tato práce nezabývá.

---

## ZÁVĚR

V bakalářské práci byla řešena výroba držáku na ovládání ventilu a manometru. Součást je vyráběna z plechu tloušťky 1,5 mm z konstrukční oceli S235JR dodávané ve formě svitku. Uvažovaná výrobní série je 210 000 ks·rok<sup>-1</sup>.

Pro zhotovení finálního tvaru byla vybrána technologie ohýbání, a tak byly rozebrány možnosti výroby rozvinutého tvaru. Po zhodnocení možných způsobů výroby, byla jako nejvhodnější zvolena varianta technologie postupového stříhání a ohýbání zkombinované ve sdruženém nástroji, na něž byla zaměřena teoretická část této práce. Ke zhotovení součásti je tak zapotřebí jediného nástroje obsahující oboje technologie bez nutnosti manipulace.

Pro správnou výrobu proběhlo ověření technologičnosti součásti z hlediska zásad stříhání i ohýbání. Po splnění všech požadavků bylo přistoupeno k výpočtu rozvinuté délky, pomocí níž byly navrženy varianty výrobního postupu. Vzhledem k tvaru rozvinuté součásti se postupy lišily pouze v orientaci na zavádění pásu plechu. Jako vhodnější byla vybrána varianta příčného rozložení. Díky dodavateli, který nabízí dodání přesných rozměrů svitků, se značně zvýšila využitelnost materiálu. Pro výrobu celé série tak bylo zapotřebí pouze 11 kusů, které budou využity z 95,85 %.

Následně byly zjištěny velikosti tvářecích sil a navrženy rozměry střižníků a střižnic. Po navržení konstrukce nástroje byly provedeny kontrolní výpočty pro ověření funkčnosti. Na základě zjištěné celkové tvářecí síly byl vybrán vhodný excentrický lis firmy Mecânica Exacta, model CC100 doplněný o odvíjecí, rovnací a podávací zařízení od stejné firmy pro svitky plechu.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
  2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
  3. An Engineers' Guide to Sheet Metal Bending. *Komaspec* [online]. Guangzhou: Guangzhou Komaspec Mechanical and Electrical Products Manufacturing Co., 2022 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.komaspec.com/about-us/blog/guide-to-sheet-metal-bending/>
  4. České strojírenství brzdí pomalé hledání a zavádění inovací. *BusinessInfo* [online]. 2022, **2022**(1), 1 [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/ceske-strojirenstvi-brzdi-pomale-hledani-a-zavadeni-inovaci/>
  5. *Limebug products* [online]. Staffordshire: Limebug Limited, c2020 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://limebug.com/shop/>
  6. Řezání vodním paprskem. *Gumex* [online]. Strážnice: GUMEX, spol. s r.o., c1995-2023 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/sluzby/profilu-a-vyroba-tesneni-75/rezani-vodnim-paprskem-46>
  7. Laserové řezání. *Trumpf* [online]. Praha: TRUMPF Praha, spol. s r.o., c2023 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/)
  8. KRÁLÍČEK, Václav. *Technologie vysekávání* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/205347>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.
  9. Lisování plechu. *Trumpf* [online]. TRUMPF Praha, spol. s r.o., c2023 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/reseni/aplikace/lisovani-a-vibracni-vysekavani/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/aplikace/lisovani-a-vibracni-vysekavani/)
  10. *Technologie II: Skripta tkp* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, b.r. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)
  11. FRIDRICH, Ladislav. *Výroba nástěnného držáku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/205340>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.
  12. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – v příkladech: skriptum*. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2013, 127 s. ISBN 978-80-248-3016-2.
  13. ČSN 41 1375. *Ocel 11 375*. 1. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1944.
  14. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. 1. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
  15. Návrh a konstrukce lisovacích nástrojů pro plošné tváření: Postupové sružené nástroje. *FaM Tools: Konstrukční kancelář* [online]. Brno: FaM Tools, 2020 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
  16. Technologičnost stříhání: Akademie tváření: Stříhání. *Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
-

- 
17. FOREJT, Milan. *ROČNÍKOVÝ PROJEKT I: tváření, svařování* [online]. In: . Brno: ÚST FSI VUT v Brně, 2002 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2\\_rocnikovy\\_projekt\\_I\\_2019\\_forejt.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf)
  18. ŘIHÁČEK, Jan. *NÁVRH VÝROBY VÝSTŘIŽKU: HNA - Procesy, přípravky a nástroje ve tváření; Podklady k vypracování*. Brno, 2022.
  19. ALTAN, Taylan. *Metal forming handbook*. X. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. : il., bar. fot. ISBN 3-540-61185-1.
  20. Multi-operation punching of sheet metal. In: *Manufacturing Guide* [online]. Sweden: Stockholm, 2012 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/multi-operation-punching-sheet-metal>
  21. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 21 cm. ISBN 80-01-01003-1.
  22. Srovnání různých upevnění střížníků. *Meusberger* [online]. Wolfurt: Meusburger Georg GmbH & Co, 2019 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/presse/comparison-of-different-punch-attachment-options>
  23. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. 1. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1991.
  24. Ocelové svitky. *ROSSO STEEL* [online]. Praha: ROSSO STEEL, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.rosso.cz/cz/produkty/ocelove-plechy-za-tepla-valcovane>
  25. Excentrické a hydraulické lisy a linky. FORMETAL: plechotvářecí stroje [online]. Měšice: Formetal, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/typ-stroju/excentricke-a-hydraulicke-lisy/>
  26. LINKY NA ROVNÁNÍ PÁSŮ ZE SVITKŮ INKY NA ROVNÁNÍ PÁSŮ ZE SVITKŮ: ROVNACÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL. ATTL: Obchod se stroji [online]. Sibřina: Attl Machine Trade, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.attl.cz/obchod-se-stroji.html>
  27. Pružiny. *SODEMANN: PRUŽINY.CZ* [online]. Hinnerup: SODEMANN Industrifjedre A/S, 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.sodemann-pruziny.cz/produkty/nastrojove-pruziny>
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

| Označení          | Legenda                                | Jednotka              |
|-------------------|--|-----------------------|
| A                 | Tažnost                                | [%]                   |
| A <sub>s</sub>    | střižná práce                          | [J]                   |
| A <sub>U</sub>    | práce pro ohyb tvaru U                 | [J]                   |
| b                 | šířka plechu                           | [mm]                  |
| c                 | součinitel                             | [-]                   |
| c <sub>s</sub>    | koeficient                             | [-]                   |
| d <sub>sv</sub>   | vnitřní průměr svitku                  | [mm]                  |
| D <sub>sv</sub>   | vnější průměr svitku                   | [mm]                  |
| E                 | velikost můstku                        | [mm]                  |
| E <sub>T</sub>    | modul pružnosti v tahu                 | [MPa]                 |
| f                 | součinitel tření                       | [-]                   |
| F <sub>C</sub>    | celková tvářecí síla                   | [N]                   |
| F <sub>cs</sub>   | celková střižná síla                   | [N]                   |
| F <sub>s</sub>    | střižná síla                           | [N]                   |
| F <sub>U</sub>    | síla pro ohyb tvaru U                  | [N]                   |
| F <sub>V</sub>    | síla pro ohyb tvaru V                  | [N]                   |
| h                 | pracovní zdvih                         | [mm]                  |
| H <sub>s</sub>    | výška střižnice                        | [mm]                  |
| I                 | kvadratický moment setrvačnosti        | [mm <sup>4</sup> ]    |
| JR                | jmenovitý rozměr                       | [mm]                  |
| k                 | součinitel odpružení                   | [-]                   |
| k <sub>p</sub>    | tuhost pružiny                         | [N·mm <sup>-1</sup> ] |
| K                 | velikost kroku                         | [mm]                  |
| l                 | délka stříhu                           | [mm]                  |
| l <sub>i</sub>    | délka rovných úseků                    | [mm]                  |
| l <sub>krti</sub> | kritická délka                         | [mm]                  |
| l <sub>oj</sub>   | délka zaoblených úseků                 | [mm]                  |
| l <sub>u</sub>    | vzdálenost mezi opěrami                | [mm]                  |
| l <sub>v</sub>    | rameno ohybu                           | [mm]                  |
| L <sub>C</sub>    | celková délka rozvinu                  | [mm]                  |
| L <sub>sv</sub>   | rozvinutá délka svitku                 | [mm]                  |
| m                 | součinitel respektující průběh síly    | [-]                   |
| n                 | koeficient opotřebení nástroje         | [-]                   |
| n <sub>k</sub>    | koeficient bezpečnosti                 | [mm]                  |
| n <sub>v</sub>    | počet výstřížků na jeden svitek plechu | [ks]                  |
| n <sub>sv</sub>   | počet svitků                           | [ks]                  |
| P                 | přípustná míra opotřebení              | [mm]                  |
| r <sub>p</sub>    | poloměr ohybníku                       | [mm]                  |
| R                 | poloměr ohybu                          | [mm]                  |
| R <sub>a</sub>    | drsnot povrchu                         | [μm]                  |
| R <sub>e</sub>    | mez kluzu                              | [MPa]                 |
| R <sub>max</sub>  | maximální poloměr ohybu                | [mm]                  |
| R <sub>min</sub>  | minimální poloměr ohybu                | [mm]                  |
| R <sub>z</sub>    | pevnost v tahu                         | [MPa]                 |
| R <sub>0</sub>    | zaoblení hrany ohybnice                | [mm]                  |
| RAD               | rozměr střižníku při děrování          | [mm]                  |

| Označení          | Legenda                                    | Jednotka           |
|-------------------|--|--------------------|
| RED               | rozměr střížnice při děrování              | [mm]               |
| s                 | tloušťka materiálu                         | [mm]               |
| S                 | plocha stříhu                              | [mm <sup>2</sup> ] |
| S <sub>di</sub>   | dosedací plocha střížníku                  | [mm <sup>2</sup> ] |
| S <sub>p</sub>    | plocha pásu plechu                         | [mm <sup>2</sup> ] |
| S <sub>v</sub>    | celková plocha výstřížků                   | [mm <sup>2</sup> ] |
| S <sub>sv</sub>   | plocha svitku                              | [mm <sup>2</sup> ] |
| Š                 | šířka pásu                                 | [mm]               |
| TA                | výrobní tolerance střížníku                | [mm]               |
| TE                | výrobní tolerance střížnice                | [mm]               |
| v                 | střížná vůle                               | [mm]               |
| x                 | velikost posunutí neutrální osy            | [mm]               |
| z                 | střížná mezera                             | [mm]               |
| $\alpha$          | úhel ohybu                                 | [°]                |
| $\beta'$          | úhel se zohledněním odpružení              | [°]                |
| $\beta_u$         | odpružení pro ohyb tvaru U                 | [°]                |
| $\beta_v$         | odpružení pro ohyb tvaru V                 | [°]                |
| $\Delta l$        | stlačení pružiny                           | [mm]               |
| $\epsilon_{tmax}$ | poměrná deformace                          | [-]                |
| $\eta$            | využití materiálu                          | [%]                |
| $\eta_{sv}$       | využití jednoho svitku plechu              | [%]                |
| $\eta_{csv}$      | celkové využití svitků plechu              | [%]                |
| $\lambda$         | součinitel plnosti                         | [-]                |
| $\sigma_i$        | tlakové napětí na dosedací části střížníku | [MPa]              |
| $\tau_s$          | střížný odpor                              | [MPa]              |

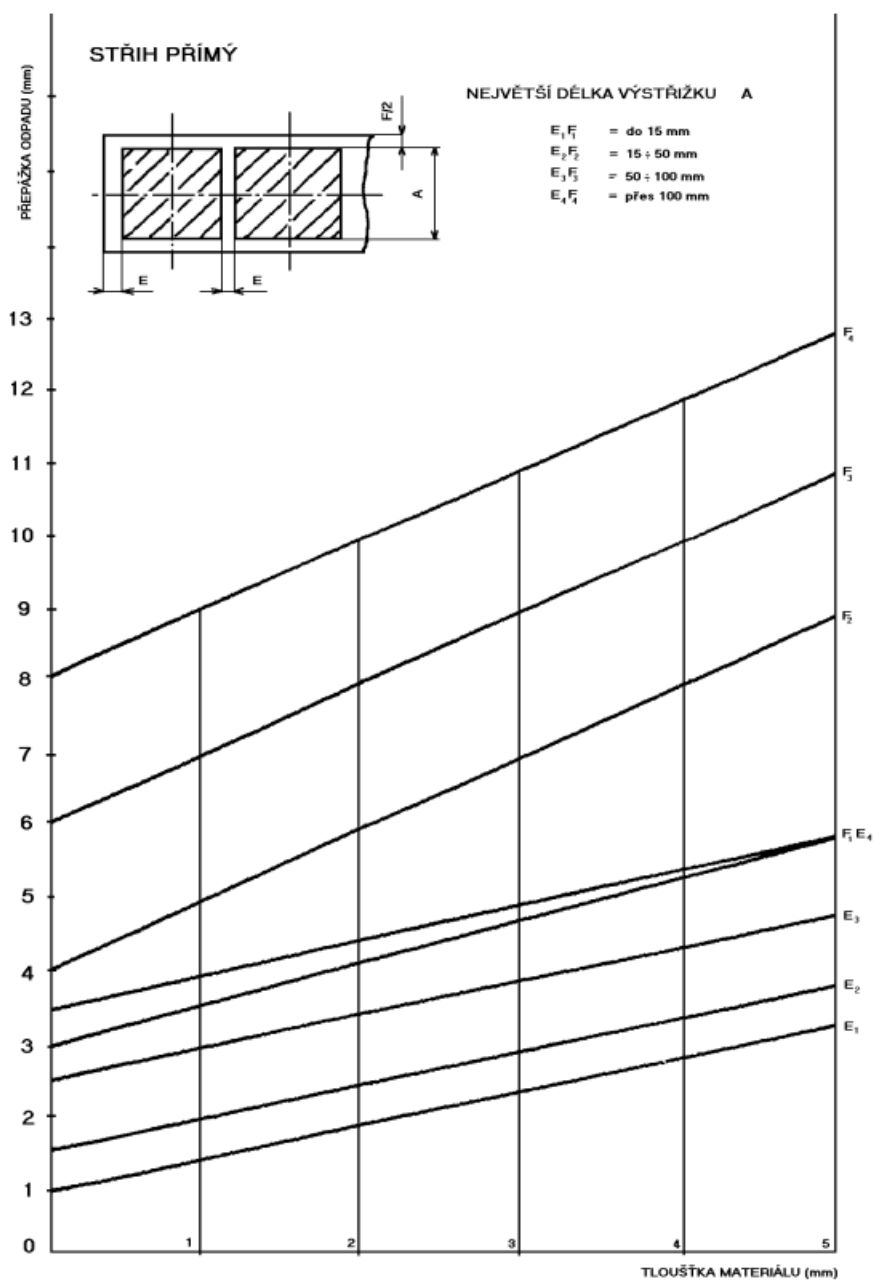
## SEZNAM PŘÍLOH

|           |  |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Nomogram pro určení hodnot „E“ a „F/2“ – stříh přímý: hranatý tvar |
| Příloha 2 | Pružina R205-810   |
| Příloha 3 | Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů                       |
| Příloha 4 | Vlastnosti oceli ČSN 11 700  |

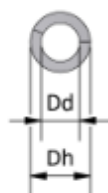
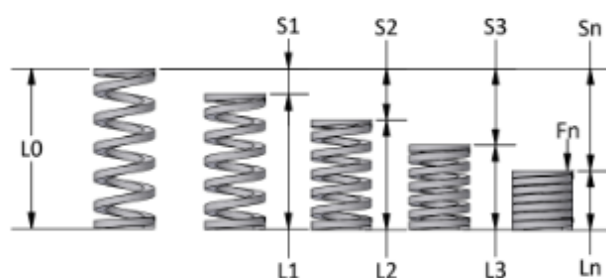
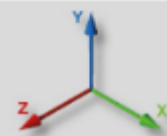
## SEZNAM VÝKRESŮ

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Držák            | 2023-BP-20427     |
| Kusovník         | 2023-BP-208427-00 |
| Sdružený nástroj | 2023-BP-208427-01 |
| Střížnice        | 2023-BP-208427-02 |
| Střížník         | 2023-BP-208427-03 |

---



**SODEMANN**  
INDUSTRIFJEDRE A/S



R205-810

| Atribut produktu                   | Hodnota            |
|------------------------------------|--------------------|
| Typ pružiny                        | Nástrojová pružina |
| Materiál                           | Chrom-vanad        |
| L0 - Délka bez zatížení (mm)       | 64,00              |
| Ln - Max. délka při zatížení (mm)  | 45,00              |
| Sn - Maximální zdvih (mm)          | 19,00              |
| Fn - Maximální zatížení při Ln (N) | 7860,00            |
| Dd - Max. trn (mm)                 | 25,00              |
| Dh - Min. díra (mm)                | 50,00              |
| Barva                              | Cervená            |
| h - Výška závitů (mm)              | 6,99               |
| b - Šířka závitů (mm)              | 11,56              |
| Hmotnost (g)                       | 378,00             |
| HS kód                             | 7320208100         |
| Země původu                        | UK                 |

## Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů

| TŘÍDA PŘESNOSTI |             | MEZNÍ ÚCHYLKY PRO ZÁKLADNÍ ROZSAH ROZMĚRŮ |                |                 |                   |                    |                     |                         |                         |
|-----------------|-------------|---|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| OZNAČENÍ        | NÁZEV       | 0,5<br>DO 3                               | PŘES 3<br>DO 6 | PŘES 6<br>DO 30 | PŘES 30<br>DO 120 | PŘES 120<br>DO 400 | PŘES 400<br>DO 1000 | PŘES<br>1000<br>DO 2000 | PŘES<br>2000<br>DO 4000 |
| f               | JEMNÁ       | ±0,05                                     | ±0,05          | ±0,1            | ±0,15             | ±0,2               | ±0,3                | ±0,5                    | -                       |
| m               | STŘEDNÍ     | ±0,1                                      | ±0,1           | ±0,2            | ±0,3              | ±0,5               | ±0,8                | ±1,2                    | ±2,0                    |
| c               | HRUBÁ       | ±0,2                                      | ±0,3           | ±0,5            | ±0,8              | ±1,2               | ±2,0                | ±3,0                    | ±4,0                    |
| v               | VELMI HRUBÁ | -   | ±0,5           | ±1              | ±1,5              | ±2,5               | ±4,0                | ±4,0                    | ±8,0                    |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Příloha 4                   | 4/4 |
| Vlastnosti oceli ČSN 11 700 |     |

ČSN 11700 – konstrukční ocel



### 1. Orientační srovnání se zahraničními normami

| DIN    | EN 10027-1 | EN 10027-2 | EN 10025:90 | GOST |
|--------|------------|------------|-------------|------|
| St70-2 |            |            |             |      |

### 2. Chemické složení (rozbor tavby) v %

| C | Mn | Si | P          | S          | N          | Al |
|---|----|----|------------|------------|------------|----|
|   |    |    | max. 0,045 | max. 0,045 | max. 0,009 |    |

### 3. Mechanické vlastnosti

| Mechanické vlastnosti      | Provedení            |                     |
|----------------------------|----------------------|---------------------|
|                            | tepelně nezpracované | normalizačně žíhané |
| Pevnost v tahu $R_m$ [MPa] | 690 - 830            |                     |
| Mez kluzu $R_e$ [MPa]      | min. 355             |                     |
| Tažnost $A_{10}$ [%]       |                      |                     |

### 4. Charakteristika oceli a příklady použití

Strojní součásti, u nichž se nevyžaduje svařitelnost, s větší odolností proti namáhání a odolností proti opotřebením. Výkovky a vylisky s velkou tvrdostí bez tepelného zpracování. Pásky a pruhy za studena válcované na destičky Gallových řetězů.