



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA VESA DRŽÁKU

MANUFACTURING OF A VESA HOLDER

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jaromír Večeřa

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2022

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jaromír Večeřa**  
Studijní program: Strojírenská technologie  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

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

## Výroba VESA držáku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby dílčí části VESA držáku pro monitory PC či TV. Součást bude vyráběna z plechu pomocí sdruženého postupového nástroje. Pro výrobu budou navrženy vhodné technologie plošného tváření, jejichž princip bude popsán v úvodní části diplomové práce. Praktickým výstupem bude návrh postupu výroby zadané součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

### Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na zvolené technologie plošného tváření.  
Návrh postupu výroby a provedení technologických a kontrolních výpočtů.  
Volba vhodného stroje.  
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.

### Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

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

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Diplomová práce předkládá návrh technologie výroby držáku monitoru podporující uchycovací systém VESA. Součást je zhotovena z oceli DC01 o tloušťce 2 mm, přičemž velikost výrobní série byla stanovena na 150 000 ks/rok. Po zvážení možných výrobních variant byl jako vhodný způsob vybrán použití postupového sdruženého nástroje kombinujícího stříh a ohyb. Po kontrole technologičnosti a výběru vhodného výrobního postupu byly provedeny propočty tvářecích sil a prací. Celková síla byla stanovena na 699,7 kN a celková tvářecí práce dosahuje hodnoty 1,2 kJ. Jako vhodný stroj pro výrobu byl vybrán lis S160 od firmy Šmeral Brno a.s. Polotovar ve formě svitku do něj bude veden pomocí podávacího zařízení.

## Klíčová slova

držák, DC01, postupový sdružený nástroj, stříh, ohyb

## ABSTRACT

This diploma thesis presents a proposal for manufacturing of a monitor holder supporting the VESA mounting system. The part is made of DC01 steel with a thickness of 2 mm, while the size of the production series was set at 150,000 pcs/year. After considering possible production variants, the use of a progressive combined tool combining cutting and bending was chosen as a suitable method. After technology control and selecting a suitable production process, calculations of forming forces and work were performed. The total force was set at 699,7 kN and the total forming work reaches 1,2 kJ. The S160 press from the company Šmeral Brno a.s. was chosen as a suitable machine for production. The semi-finished product in the form of a metal sheet coils will be fed into press by feeding device.

## Key words

Holder, DC01, progressive die tool, cutting, bending

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VEČEŘA, Jaromír. *Výroba VESA držáku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139735>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

---

## PROHLÁŠENÍ

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

Brno, 20.05.2022

místo, datum

Jaromír, Večeřa

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za trpělivost, vstřícnost ale hlavně za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval rodině a blízkým za podporu během studia.

---

## OBSAH

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| ÚVOD .....                                      | 9  |
| 1 ROZBOR ZADÁNÍ.....                            | 10 |
| 1.1 Možnosti výroby.....                        | 11 |
| 1.2 Povrchová úprava dílce .....                | 14 |
| 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ.....           | 16 |
| 2.1 Stříhání .....                              | 16 |
| 2.1.1 Střížná vůle .....                        | 17 |
| 2.1.2 Kvalita střížné plochy .....              | 18 |
| 2.1.3 Střížná síla a práce .....                | 19 |
| 2.2 Ohýbání .....                               | 21 |
| 2.2.1 Odpružení .....                           | 23 |
| 2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu ..... | 24 |
| 2.2.3 Stanovení délky polotovaru .....          | 25 |
| 2.2.4 Ohýbací síla a práce.....                 | 26 |
| 2.3 Stroje .....                                | 29 |
| 2.4 Nástroje a materiály funkčních částí .....  | 31 |
| 2.4.1 Nástroje pro stříhání .....               | 32 |
| 2.4.2 Nástroje pro ohýbání .....                | 35 |
| 2.5 Technologičnost .....                       | 37 |
| 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI .....                   | 39 |
| 3.1 Rozvin součásti.....                        | 40 |
| 3.2 Varianty výroby.....                        | 41 |
| 3.3 Rozvržení součásti.....                     | 43 |
| 3.4 Výrobní postup .....                        | 46 |
| 3.5 Celková síla a práce.....                   | 47 |
| 3.6 Těžiště sil.....                            | 51 |
| 3.7 Odpružení .....                             | 52 |
| 3.8 Kontrola funkčnosti.....                    | 53 |
| 3.9 Stanovení funkčních rozměrů.....            | 54 |
| 3.10 Popis nástroje .....                       | 56 |
| 3.11 Volba stroje .....                         | 59 |
| 4 ZÁVĚR.....                                    | 61 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                   | 62 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....         | 66 |
| SEZNAM PŘÍLOH .....                             | 69 |

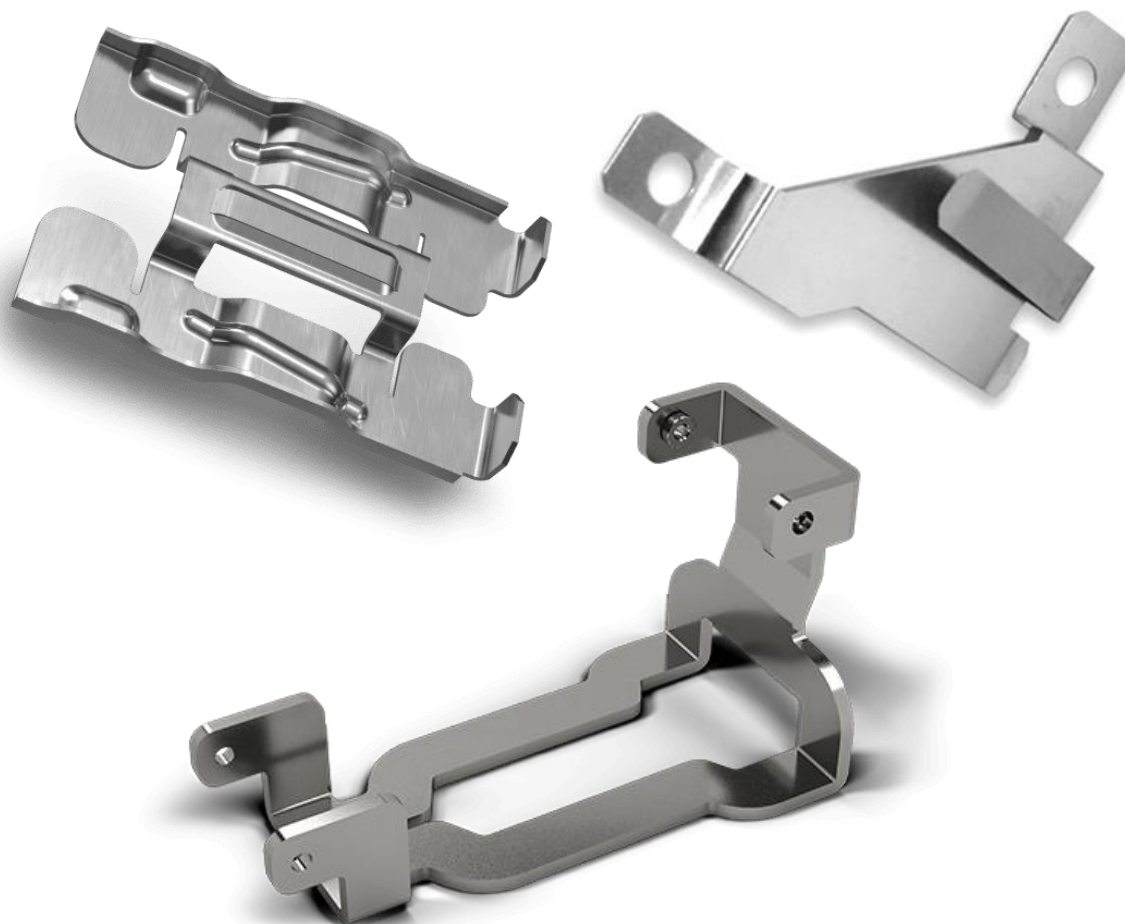


## ÚVOD

Dnešní doba nabízí nespočet výrobních technologií, díky nimž je možné vyrábět dříve jinak nevyrobitelné tvary. Vedle moderních výrobních metod jako je 3D tisk, své uplatnění na trhu stále mají tradiční zástupci jako slévání, svařování, obrábění nebo tváření.

Při tváření dochází k přetvoření výchozího polotovaru do tvaru požadovaných rozměrů a kvalit, a to za působení vnějších sil. Díky těmto vlastnostem lze vyrábět dílce, které by za pomoci jiných metod byly stěží vyrobitelné, nebo by nebyly vyrobitelné vůbec. Řadí se mezi beztrískové technologie, díky čemuž je množství odpadu relativně malé. V kombinaci s vysokým taktem výroby se tato metoda stává velice ekonomicky výhodnou, a proto se těší vysoké oblibě. [1]

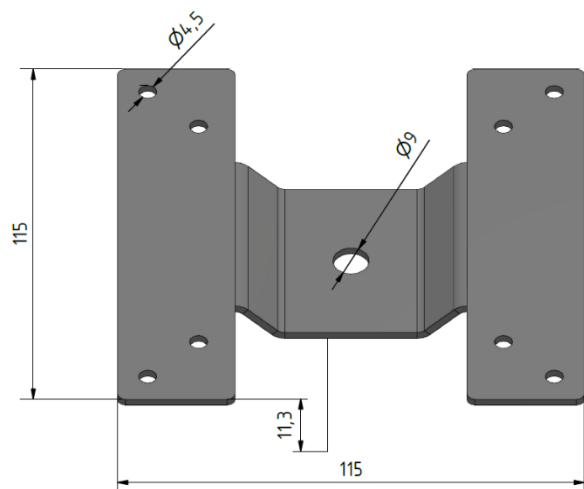
Tváření jako takové lze rozdělit do dvou hlavních skupin – objemové a plošné. Při prvním zmíněném způsobu dochází k přetvoření polotovaru v celém objemu. Lze jej dále dělit na tváření za studena (pod teplotou rekystalizace) nebo za tepla (nad teplotou rekystalizace). Jako hlavní zástupci jsou označeny technologie kování, pýchování nebo protlačování. U plošného tváření (obr. 1) dochází k rovinnému stavu napjatosti, neboť napětí působící ve směru tloušťky dosahuje zanedbatelných hodnot ve srovnání s napětím v ploše. Technologie jako tažení, ohýbání nebo stříhání nachází hlavní uplatnění ve hromadné výrobě. Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na poslední ze zmiňovaných, tedy technologii stříhání a ohýbání, které budou využity pro výrobu zadané součásti. [1]



Obr. 1 Příklad součástí vyrobených plošným tvářením [2; 3; 4].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je plechový držák monitoru. Celá uchycovací sestava se skládá ze čtyř dílců, přičemž v rámci časové úspory bude v rámci této práce řešena pouze část v přímém styku s monitorem (obr. 2). Jedná se o dílec prostorového tvaru, který je vybaven uchycovacím systémem VESA standard, který definuje rozteče čtyřech otvorů pro uchycení monitorů a televizí nacházejících se na jejich zadní straně. Se zbytkem sestavy je tento díl spojen šroubem s podložkou, díky čemuž je umožněno otáčení kolem osy šroubu o 360 °. Celá sestava se poté hojně využívá v kombinaci s různými držáky (stacionárními nebo teleskopickými) připevněnými ke stolu nebo stěně (obr. 3). Hlavní předností je zvětšení pracovní plochy stolu a také větší variabilita nastavení umístění monitoru. [6]



Obr. 3 Řešená součást držáku [5].



Obr. 2 Příklad využití držáku [7].

Tento uchycovací systém se těší velké oblibě jak mezi rekreačními uživateli PC, tak mezi těmi, kteří počítač využívají několik hodin denně, neboť tak lze dosáhnout většího pohodlí při práci a celkově lepší ergonomičnosti pracoviště. Na trhu je k dostání velké množství držáků lišící se tvarem, způsobem připevnění k nosnému ramenu nebo i nosností celé soustavy. Příklady dostupných řešení držáku podporujících systém VESA jsou uvedeny na obr. 4. [9]



Obr. 4 Druhy VESA držáků [8; 9; 10].

Před samotným návrhem byl proveden průzkum trhu, na základě kterého byly zvoleny některé použité parametry. Řešená součást bude vyráběna v sérii 150 000 ks/rok a dosahuje maximálních rozměrů 115x115x11,3 mm při tloušťce plechu 2 mm. Pro rozteč děr bylo použito VESA MIS-D standardu (otvory mají rozteč 100x100 nebo 75x75 mm). Vzhledem k tomu, že součást nebude vystavena velkému zatížení, není proto vyžadováno vysokých mechanických vlastností. Nutné je brát v potaz následnou povrchovou úpravu součásti. Jako vhodný materiál byla zvolena nízkouhliková ocel s označením DC01, jinak též značena jako ocel 11 321. Ta je vhodná pro tváření za studena a rovněž pro výrobky, u kterých je plánovaná povrchová úprava. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1. Chemické složení je v tabulce 2. [6; 11]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DC 01 [11].

| Mez pevnosti $R_m$ [MPa] | Mez kluzu $R_e$ [MPa] | Tažnost A [%] |
|--------------------------|-----------------------|---------------|
| 270-410                  | 230                   | 28            |

Tab. 2 Chemické složení oceli DC 01 [12].

| Prvek           | C         | Mn       | P     | S     |
|-----------------|-----------|----------|-------|-------|
| Koncentrace [%] | max. 0,12 | max. 0,6 | 0,045 | 0,045 |

## 1.1 Možnosti výroby

Při výběru vhodné výrobní technologie je zapotřebí posoudit její vhodnost na základě parametrů jako jsou efektivnost výroby nebo náklady. Jelikož se jedná o prostorovou součást, k výrobě bude zapotřebí využít několika kroků. V první fázi bude zhotoven rozvinutý tvar součásti z plechu, nebo ze svitku. V následující operaci bude tento rozvin ohýbán. Z dostupných technologií pro přípravu polotovaru jsou vhodné následující možnosti.

- Plazma – jedná se o navenek elektricky neutrální plyn, který obsahuje nabitě částice (elektrony a ionty). K dělení materiálu se využívá vysoké teploty (až 20 000 K) soustředěné do úzkého svazku plazmatu (obr. 5). Díky tomu dochází k rychlému natavení materiálu. Vlivem vysoké rychlosti proudění plazmatu (až  $2300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) dochází vlivem dynamických účinků k odstranění nataveného materiálu z místa řezu. Byť je tato metoda vhodná pro všechny kovové materiály, volba řezného plynu se liší podle druhu materiálu. Nejčastěji se využívá argon, dusík, vodík, kyslík a jejich směsi. Použitým plynem je ovlivněna maximální řezná tloušťka (až 140 mm), řezná rychlost a taktéž kvalita řezu. Hlavní výhodou je malé vnesené teplo do místa řezu, čímž nedochází k tak značným deformacím, vysoká řezná rychlost pro tenké plechy a snadná možnost automatizace. Nevýhodou je hlučnost a vzniklý ořep na spodní hraně. Kvůli tomu je tato metoda nevhodná pro výrobu řešené součásti. [13; 14]
- Laser – podstatou této metody je zaostření rovnoběžného paprsku pomocí fokusačních čoček do ohniska. Zde dochází k tavení až sublimaci materiálu (obr. 6). Ze vzniklé spáry, která je vyplněna roztaveným kovem, je zapotřebí tento kov odstranit. K tomu slouží řezný plyn, jehož druh určuje metodu dělení. Mezi tyto metody se řadí řezání oxidační a tavné. Při tavném je použito inertního plynu (dusíku), který natavený kov odstraňuje ze spáry svým prouděním. Při oxidačním je jako pracovní plyn použit kyslík. Jelikož tento plyn podporuje hoření, tak roztavený kov částečně shoří v jeho proudu. To je vhodné pro konstrukční uhlíkaté oceli. Za hlavní výhody lze považovat vysokou řeznou rychlost, vysokou přesnost a snadnou automatizaci. Nevýhodou jsou provozní náklady a možný rozstřík kovu, který znehodnotí povrch. Z těchto důvodů není tato metoda také vhodná pro výrobu zadané součásti. [16; 17]



Obr. 5 Řezání plazmou [15].

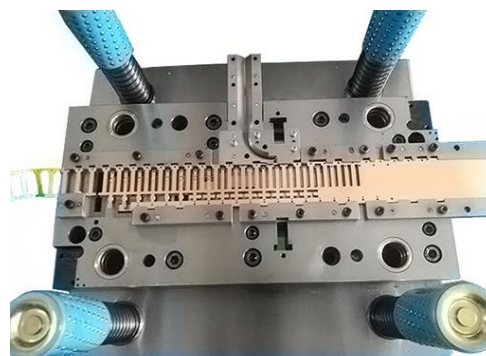


Obr. 6 Řezání laserem [18].

- Vodní paprsek – jedná se o obroušování materiálu vlivem působení tlaku vodního paprsku (obr. 7). Tomu přispívá vysoká rychlost proudícího paprsku. Proces probíhá ve dvou etapách. V první je do plechu vyhotovena prohlubeň, ve druhé je vytvořena řezná spára. To je způsobeno velkým tlakem (2000 až 6500 barů) na malé ploše, díky čemuž v materiálu vznikají mikrotrhliny. Ty se vlivem dynamických účinků a turbulentního proudění ve spáře šíří materiálem. Pro tvrdé materiály (ocel, keramika) se používá abrazivo, které celý proces urychluje. Hlavní výhodou je možnost řezat tlusté dílce nezávisle na druhu materiálu (víc než 150 mm), přičemž v místě řezu není žádná tepelně ovlivněná oblast. Nevýhodou jsou provozní náklady a možný vznik koroze u vyráběného plechového dílce. Proto není tato metoda vhodná pro výrobu zadané součásti. [19; 20]
- Stříhání v nástroji – ke zhotovení součásti dochází za pomoci stříhání. To může proběhnout v jednoduchém nástroji, kdy je součást zhotovena na jeden zdvih, nebo v nástroji postupovém (obr. 8). Zde probíhá více střížných operací při jednom zdvihu. V každém zdvihu je vystřižena určitá část plechu. Po vystřižení je plechový polotovár posunut například podávacím zařízením v případě svítku o vzdálenost kroku. Výstřižek je zhotoven po tolika zdvizích beranu, kolik je kroků. Díky tomu je tento typ výroby velice produktivní. Dosahovaná přenosnost je mezi IT12-IT14 a drsnost povrchu Ra 3,2. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady. [22; 23]



Obr. 7 Řezání vodním paprskem [21].



Obr. 8 Postupový střížný nástroj [24].

Pro dosažení požadovaného tvaru je nutné provést operaci ohýbání. Možnosti ohybu jsou popsány v následujících bodech.

- Ohyb v ohýbacím nástroji (ohýbačce) – jedná se o konstrukčně poměrně jednoduché stroje (obr. 9), kdy poloha polotovaru je zajištěna sevřením čelistí a ohyb je proveden kalenou ocelovou hranou. Úhel ohybu je zajištěn dorazy nebo je odečten na měřicí stupnici stroje. Pohon je zde použit buď ruční nebo strojní. Tato metoda se hodí pro menší polotovary a malou sériovost výroby. Z těchto důvodů se nejedná o vhodnou metodu pro výrobu řešené součásti. [25; 26]



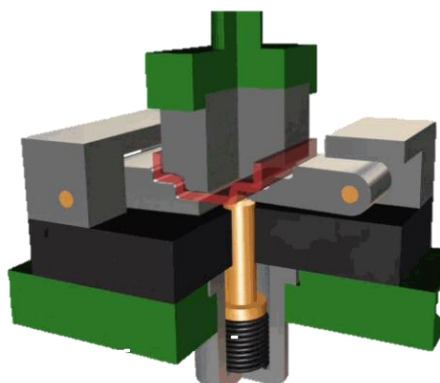
- Ohraňování – je vhodná metoda pro výrobu jednoduchých ale i tvarově složitějších součástí vyráběných ohybem. K tomu slouží speciální jednoúčelové stroje zvané ohraňovací lis. Ty se vyznačují vysokou lisovací silou a také velkým pracovním prostorem v řádu několika metrů. Nástroj je tvořen dvěma vyměnitelnými lištami (obr. 10). Dolní je matrice, horní (pohyblivá) se nazývá razník. Díky vyměnitelnosti lišt se jedná o poměrně univerzální stroj, kdy je součást vyhotovena různými ohyby, které na sebe technologicky navazují. Nevýhodou je nutnost přesného založení součásti a nižší sériovost, kvůli čemuž je tato metoda pro zadanou součást také nevhodná. [28; 29]



Obr. 9 Ruční ohýbačka [27].

Obr. 10 Princip ohýbání na ohraňovacím lisu [29].

- Ohýbání ve tvářecím nástroji – je výhodná metoda pro výrobu velkých sérií. K výrobě je totiž použito speciálně vyrobeného nástroje (obr. 11) sestávajícího se z ohybnice a ohybníku. Součást je zpravidla ustavena mezi dorazy, čímž je zaručena přesnost a opakovatelnost výroby. V první fázi dochází k dosednutí ohybníku na polotovaru, poté je navýšen tlak a materiál je ohnut do požadovaného tvaru, a to na jeden zdvih. Jako hlavní výhody je možné uvést vysokou sériovost, jako nevýhodu vysoké pořizovací náklady na nástroj. I přes to, že se tato metoda jeví jako vhodná pro výrobu řešené součásti, z důvodu časové náročnosti založení polotovaru a nutnosti vystřížení plechového rozvinu na jiném nástroji, není vybrána jako nejvhodnější. [30]



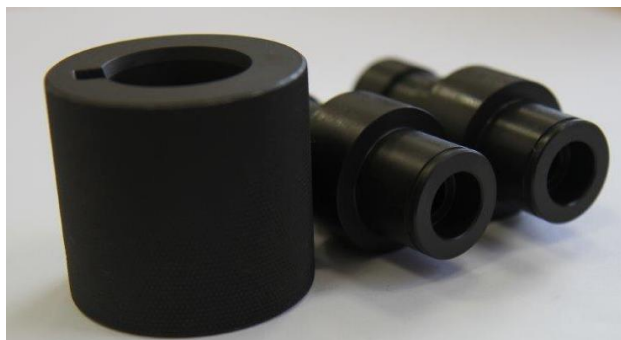
Obr. 11 Ohýbací nástroj [30].

Po zvážení všech možných výrobních technologií se jako nejlepší pro výrobu řešené součásti jeví postupový sdružený nástroj. Sdružení ohybu a stříhu do jednoho nástroje je vhodnou kombinací pro výrobu dílce. Díky tomu dojde k úspoře času, automatizaci výrobního procesu a také k eliminaci chyb vzniklých možným špatným založením dílce do nástroje.

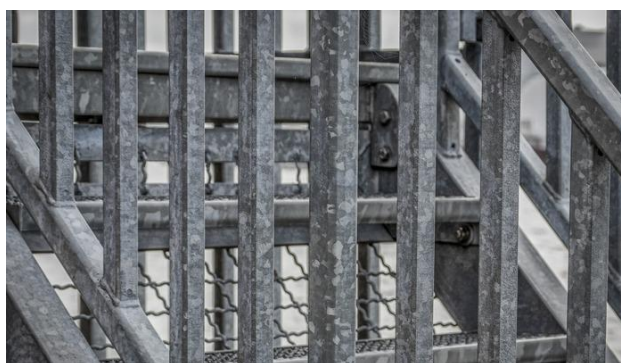
## 1.2 Povrchová úprava dílce

Pro zaručení trvanlivosti součásti a stálosti vzhledu je vhodné na materiál použít jednu z dostupných povrchových úprav. Ty mohou být organické nebo anorganické. Vzhledem k tomu, že se součást bude vyskytovat v suchém prostředí a nebude nijak zvlášť namáhána, bude tato úprava plnit zejména estetickou funkci. K tomu lze použít následujících povrchových uprav. [31]

- Fosfátování – jedná se o úpravu, kdy dochází k vyloučení nerozpustných fosforečnanů na povrchu povlakovaného kovu. Dochází k tomu díky rozpuštění terciálního fosforečnanu zinku, hořčíku nebo železa. Takto vytvořený povlak má šedou barvu a na dotek působí sametově (obr.12). Teploty aplikace se pohybují mezi 30 a 70 °C. K aplikaci dochází metodou ponorem, kdy doba nanášení trvá 3-10 minut. Možné je i nanesení nástřikem, kdy se doba nanášení zkracuje na 1-3 minuty. Zhotovená vrstva je nevodivá, korozivzdorná a dobře soudržná se základním materiálem. Hlavní použití nachází fosfátování při tváření, neboť funguje jako nosný povlak pro mazivo. [32; 33]
- Zinkování – je operace, kdy dochází k nanesení zinku na základní materiál (obr. 13). Toho může být dosaženo metodou galvanického nebo žárového zinkování. Při první metodě se odmaštěný povrch ponoří do roztoku zinečnaté soli. Vlivem průchodu proudu mezi základním materiálem (katoda) a roztokem (anoda) dochází k vylučování zinku na povrchu součásti. Při žárovém zinkování je součást opět očištěna a odmaštěna. Poté je součást mořena v kyselině chlorovodíkové. Po nanesení tavidla v roztoku chloridu zinečnatého a chloridu amonného je součást vysušena. Následuje samotné žárové zinkování, probíhající v lázni při teplotě 450-460 °C. Takto vytvořená vrstva dosahuje větších tloušťek než u zinkování galvanického. Proto se používá především pro venkovní aplikace. Výhodou jsou antikorozi ochrana a odolnost proti mechanickému poškození. Byť je tato metoda zautomatizovaná, uplatnění nachází zejména pro velké součásti. Z toho důvodu se nehodí pro řešenou součást. [32; 35; 36]



Obr. 12 Fosfátovaný povrch součásti [34].

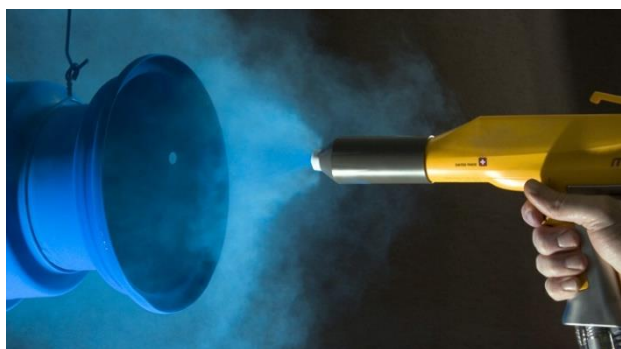


Obr. 13 Pozinkovaný povrch [36].

- Černění – jinak též zvané brunýrování (obr. 14), je poměrně často se vyskytující povrchová úprava. Jejím hlavním cílem je zlepšení vzhledu součásti a taktéž zvětšení korozní ochrany. K ochraně dochází vlivem vzniku oxidové vrstvy na povrchu dílce. Očištěná a odmaštěná součást se nejčastěji máčí v solné lázni tvořené směsí dusičnanů a dusitanů. Během procesu je nutné dodržovat stanovenou teplotu lázně v rozmezí 130-140 °C. Doba barvení se pak pohybuje mezi 3-10 minutami. Vzniklý povlak má tloušťku do 20 µm, díky čemuž povlak kopíruje nerovnosti povrchu jako vrypy nebo škrábance. Výhodou je dobrý vzhled a ochrana materiálu. [32; 37; 38]
- Nátěrové hmoty – byť se jedná o jednu z nejstarších povrchových úprav, stále se těší velké oblibě v různých odvětvích průmyslu. Jedná se o jednolitý povlak (film) na povrchu součásti, jehož hlavním úkolem je plnit estetickou funkci a chránit součást proti korozi. Je tvořen pojivem, které tvoří film a zajišťuje přichycení k podkladu. Dále rozpouštědlem, které zajišťuje dobrou roztíratelnost a pigmenty a plnivy, které zajišťují barevnost a dobré technologické vlastnosti. Před nátěrem je nutné součást dobře očistit a odmastit. Druhy nátěrů se dělí způsobem nanášení. Ředitelné jsou nanášeny štětcem, vzduchovým nízkotlakým stříkáním (obr. 15) nebo máčením. Práškové nátěry jsou poté nanášeny elektrostaticky, elektroforézou nebo elektrokineticky. Tloušťka filmu se liší dle metody nanášení, nejčastěji se pohybuje v rozmezí 30-50 µm. Díky velké škále barev lze snadno získat požadovaný odstín s odpovídajícími vlastnostmi. [32; 39]



Obr. 14 Povrch upravený černěním [37].



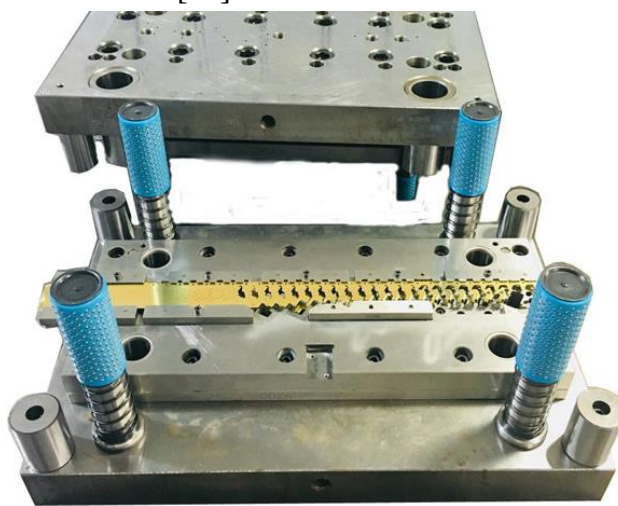
Obr. 15 Vzduchové nízkotlaké stříhání [40].

Ze zmíněných metod se jako nejvhodnější jeví úprava držáku za pomoci nátěrového systému. Protože se bude řešená součást nacházet ve vnitřních prostorách, není třeba klást velký důraz na ochranu proti korozi, kterou mají jiné úpravy lepší. Tímto způsobem lze dosáhnout požadované barevnosti i vlastností, a to za nižší cenu v porovnání s ostatními metodami.

Problematika konečné povrchové úpravy nebude v rámci diplomové práce zahrnuta.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Postupový sdružený nástroj kombinuje více tvářecích operací v jednom nástroji. Nejčastěji se jedná o stříhání, ohýbání, děrování nebo tažení. Součást je poté zhotovena na několik zdvihů. Polotovarem je nejčastěji pás plechu ve formě svitku, jež je do nástroje přiváděn za pomoci podavače. Tím je i zajištěna velikost kroku. Postupového sdruženého nástroje je hojně využíváno ve velkosériové výrobě, neboť je na každý zdvih vyrobena jedna součást (počet zdvihů se odvíjí od složitosti součásti). Vlivem výroby v jednom nástroji je zaručena výroba stejně přesných dílců a odpadá potřeba mezioperačních přesunů, což výrobu značně zrychluje. Díky tomu je možné dosáhnout nízké ceny za dílec. Nevýhodou jsou vysoké náklady na pořízení nástroje, které je nutné vykompenzovat množstvím vyrobených dílců. Příklad takového nástroje je na obrázku 16. [23]



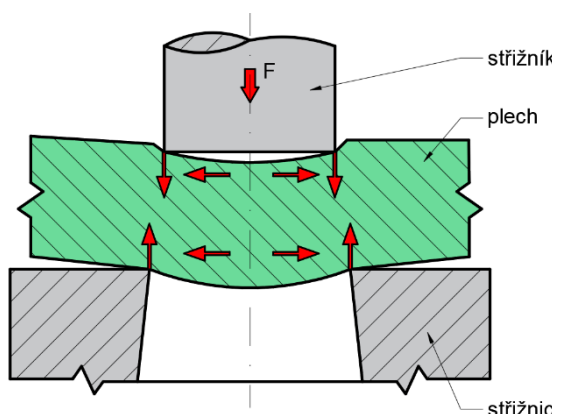
Obr. 16 Postupový sdružený nástroj [41].

### 2.1 Stříhání

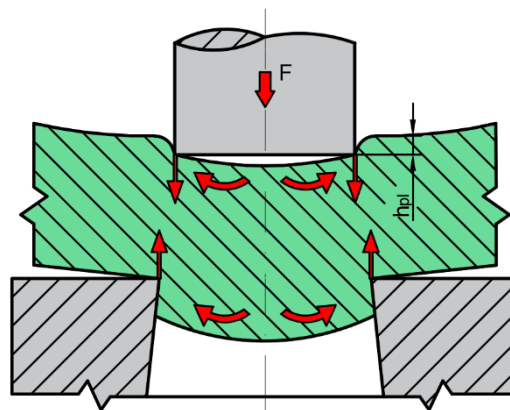
Jedná se o základní operaci dělení materiálu, která funguje samostatně, nebo i jako přípravná operace pro další výrobu. Dělení je docíleno protichůdným silovým působením na materiál vhodně upravenými noži, čímž dojde k jeho oddělení v určité ploše. Stříhání se dělí na dvě skupiny – děrování a vystřihování. Při děrování jsou vytvářeny vnitřní otvory, přičemž materiál, který je takto odstraněn, je považován za odpad. U vystřihování dochází k tvorbě vnějšího obvodu součásti. Jeho okolí je poté odpadem. Přesnost a kvalitu výsledné plochy stříhu nejvíce ovlivňují činitelé jako velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání nebo kvalita zpracování střížného nástroje. Konstrukčními úpravami střížníku nebo zvolením jiné metody stříhání lze eliminovat vznik nekvalitní střížné plochy s širokým pásmem utržení nebo případné deformace výrobku. Celý proces probíhá podle křivky stříhu a lze jej rozdělit na tři fáze. [42; 43; 44; 45; 46]

- První fáze – nastává po dosednutí střížníku na stříhaný materiál (obr. 17). To vyvolává v materiálu napětí menší, než je jeho mez kluzu. Díky tomu dochází pouze k elastickým deformacím. Hloubka vniknutí je ovlivněna především mechanickými vlastnostmi materiálu a pohybuje se v rozmezí 5 až 8 % tloušťky. Vlivem protichůdného silového působení střížníku a střížnice na materiál dochází ke vzniku silových dvojic způsobujících v této oblasti nežádoucí ohyb. [42; 43; 45; 46]
- Druhá fáze – se projevuje vznikem trvalé deformace, neboť působící síly vyvozují napětí, které je větší jak mez kluzu materiálu. Hloubka plastického vniknutí –  $h_{pl}$  zde dosahuje hodnot 10 až 25 % tloušťky plechu a je ovlivněna především materiálem a jeho mechanickými vlastnostmi. Zobrazena je na obrázku 18. [42; 43; 45; 46]



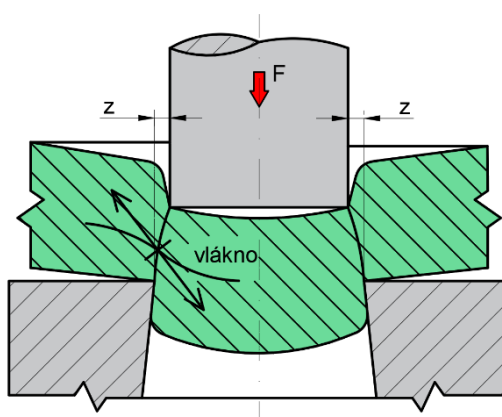


Obr. 17 První fáze stříhu [42].



Obr. 18 Druhá fáze stříhu [42].

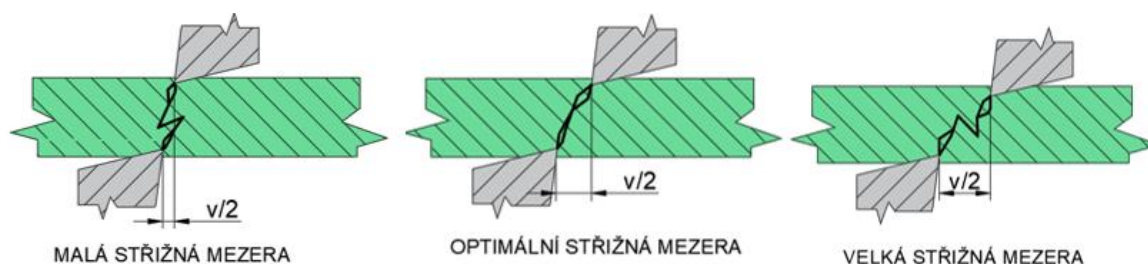
- Třetí fáze – je provázena dosažením meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$  (obr. 19). Poté je vytvořen nástřih – vznik trhlin u hran střížníku a střížnice, neboť zde je největší tahové napětí. Při postupu střížníku dále do materiálu dochází ve směru největšího smykového napětí k šíření trhlin, jejich spojení dle křivky stříhu a oddělení výstřížku. Hlavním faktorem ovlivňujícím rychlost a postup trhlin jsou opět mechanické vlastnosti materiálu. U tvrdého a křehkého materiálu dochází k malému vniknutí, u měkkého a houževnatého může být hloubka vniknutí střížných hran  $h_s$  až 0,6 tloušťky plechu. Vliv na šíření trhlin má i velikost střížné mezery  $z$ . [42; 43; 45; 46]



Obr. 19 Třetí fáze stříhu [42].

### 2.1.1 Střížná vůle

Střížná vůle, standardně označovaná  $v$  je tvořena součtem dvou střížných mezer  $z$ . Ty tvoří rozdíl mezi pracovní částí střížníku a střížnice. Na velikosti střížné mezery je závislá kvalita střížné plochy (Obr. 20), životnost nástroje i energetická náročnost, proto je podstatné ji udržovat stejnou po celé délce střížné křivky. V případě nerovnoměrnosti dochází ke vzniku nekvalitní střížné plochy způsobující ostřiny nebo jiné povrchové vady. Při optimální střížné vůli dochází ke spojení trhlin, které vytvoří střížnou plochu bez otřepů a s požadovanou drsností. Při použití malé střížné vůle dochází k míjení trhlin a vzniku deformace materiálu, což může vést k jeho vícenásobnému stříhání. To má za následek nárůst střížné síly i práce. Naopak při velké vůli může dojít k ohybu stříhané součásti, eventuálně až ke vtažení plechu mezi střížník a střížnici. Cílem je tedy nastavit takovou vůli, při níž je dosaženo požadované kvality plochy při co nejnižší síle. [42; 43; 44; 45; 46]



Obr. 20 Vliv střižné vůle na kvalitu střižné plochy [43].

Velikost střižné vůle se odvíjí především od stříhaného materiálu a jeho tloušťky. Obvykle dosahuje hodnot v rozmezí 3-20 % tloušťky plechu. V potaz je třeba brát i zvětšování střižné vůle vlivem opotřebení nástroje. Lze volit dle experimentálně zjištěných hodnot nebo dle vzorců. [43; 45; 46]

Pro plechy o tloušťce  $\leq 3$  mm lze dle normy ČSN 22 6015 stanovit velikost střižné vůle takto [22]:

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

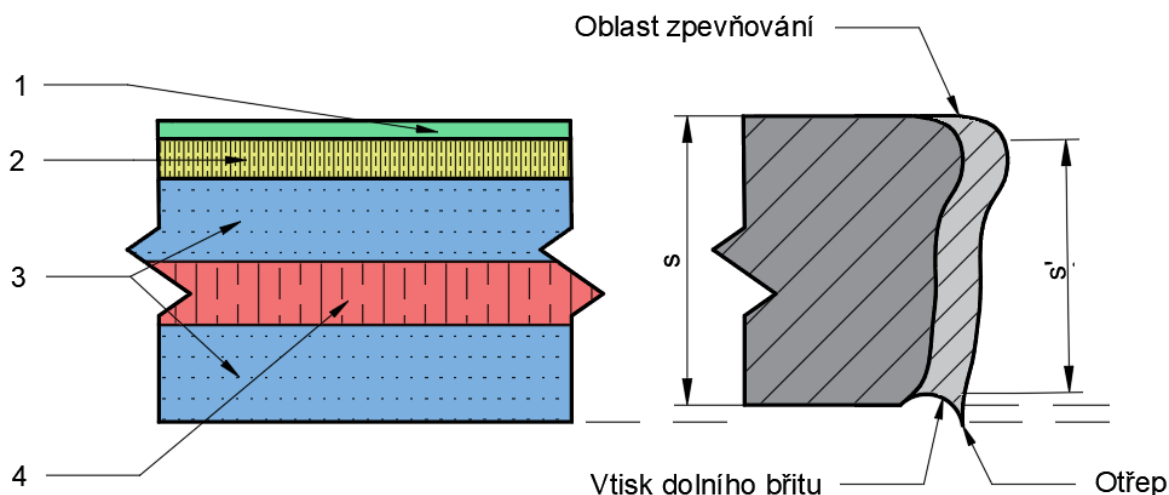
- kde:  $c$  - součinitel závislý na stupni stříhu [-], pohybuje se v rozsahu (0,005 až 0,025),  
 $s$  - tloušťka polotovaru [mm],  
 $\tau_s$  - pevnost materiálu ve stříhu [MPa].

Střižná vůle ovlivňuje finální rozměry střižníku či střižnice, a to na základě použité operace. Při stříhání, kdy je cílem získání přesného vnějšího rozměru, dochází ke zmenšení střižníku a tím dosažení hodnoty střižné vůle. Oproti tomu při děrování, kdy je kladen důraz na přesný rozměr otvoru, je vůle dosaženo zvětšením rozměrů střižnice. [43; 45; 46]

### 2.1.2 Kvalita střižné plochy

Při stříhání plechů za běžných podmínek a standardním způsobem je nejčastěji dosahováno drsnosti plochy Ra 3,2. Tvar střižné plochy je ovlivněn křivkou stříhu, a proto připomíná tvar písmena S. Střižnou plochu lze rozdělit na čtyři pásma, viz obr. 21. V prvním pásmu (1) dochází k zaoblení vstupní hrany plechu, pásmo dosahuje zpravidla tloušťky 6 %  $s$ , a nachází se zde pouze pružná deformace. V pásmu druhém (2) nastává plastická deformace a probíhá zde vlastní stříh. Tloušťka pásma je okolo 10 % tloušťky plechu, její velikost je ovšem ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného plechu. Procentuálně největší oblastí (až 80 % tloušťky) je pásmo lomu (3). Jeho velikost je značně ovlivněna vlastnostmi materiálu. Čím tvrdší a křehčí materiál je, tím je pásmo větší. Posledním z pásem (4) je pásmo otěru, jehož velikost nejvíce ovlivňuje velikost střižné vůle. Obecně lze konstatovat, že čím menší je tato oblast, tím kvalitnější je výsledná plocha i stříh. Na obrázku 21 je zobrazen vzhled střižné plochy při normální střižné vůli. Kvalita i přesnost jsou nejvíce ovlivněny velikostí střižné vůle, vlastnostmi materiálu a v neposlední řadě i stavem a druhem nástroje. Ten má největší podíl na nežádoucím vzniku ostrin. Za pomoci vyšší rychlosti stříhu nebo zvolení jiné střižné metody lze tuto vzniklou nepříjemnost eliminovat. [42; 43; 44; 46]

Během stříhání dochází v okolí střižné plochy k trvalé deformaci materiálu, která vede ke zpevnění. Díky tomu vykazuje tato oblast, která se pohybuje v rozsahu  $(0,2 \text{ až } 0,3) \cdot s$ , rozličné mechanické vlastnosti jako zvýšení meze kluzu i pevnosti a snížení tvárnosti. Zásadní roli zde opět hraje tloušťka a druh stříhaného materiálu, neboť u tvrdých, tlustých plechů je tato oblast značně menší, než je tomu u plechů tenkých a měkkých. [42; 43; 46]

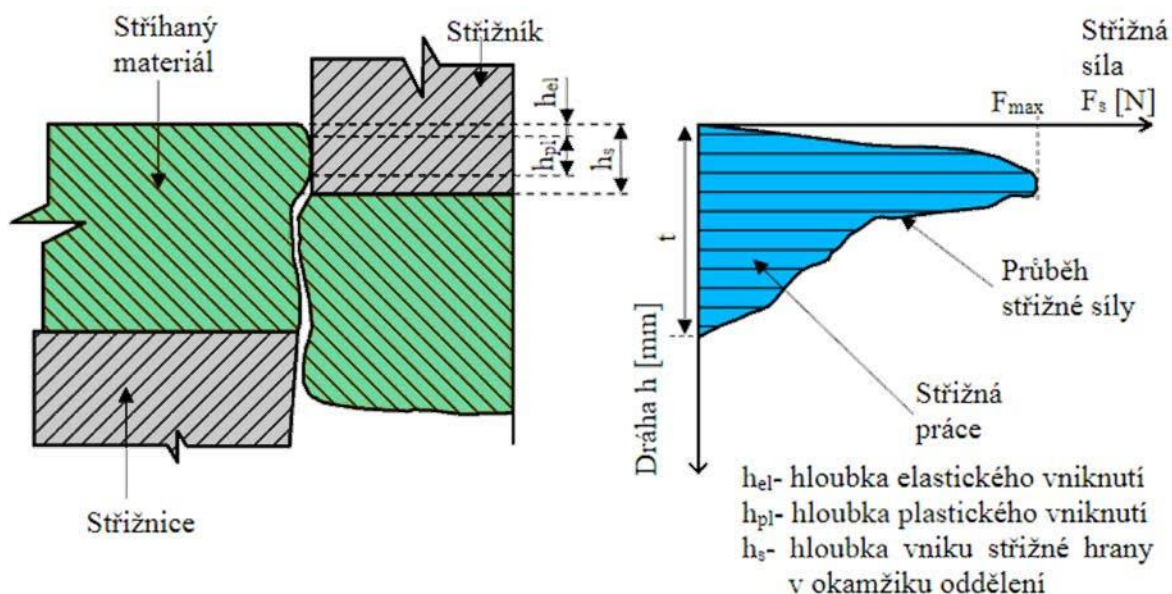


Obr. 21 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [42].

### 2.1.3 Střížná síla a práce

Základní veličiny, dle kterých je možné zvolit správný stroj pro výrobu součásti, jsou velikost střížné síly a práce. Je to proto, aby během výroby dílce nedošlo k překročení jmenovité síly stroje a k jeho následnému poškození. [45]

Střížná síla dosahuje během střížného procesu značně rozdílných hodnot. K prudkému nárůstu střížné síly dochází v prvních dvou fázích stříhu – v oblasti elastického vniknutí a plastického zatlačení, kde nastává zpevňování materiálu způsobené jeho napěchováním pod břitem nože. Maxima je dosaženo v okamžiku vzniku trhlin. Poté dochází k prudkému poklesu síly vlivem spojení trhlin, kdy nastává lom materiálu. U křehkých materiálů, kdy je rozdíl mezi mezí kluzu a mezí pevnosti téměř zanedbatelný, stačí malé vniknutí do materiálu, aby došlo k jeho porušení. U materiálů houževnatých je tomu naopak. Pozvolný doběh síly je dán působením střížníku na materiál, aby bylo zaručeno jeho protlačení skrze střížnici. Průběh je znázorněn na obrázku 22. [42; 43; 44; 45; 46]



Obr. 22 Střížná síla [42].

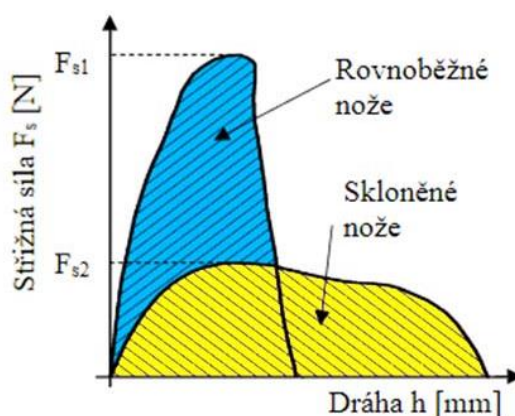
Na velikost střížné síly má krom materiálových vlastností a délky křivky stříhu vliv i otupení nástroje. Empiricky lze velikost střížné síly popsat vztahem [43]:

$$F_s = n \cdot \tau_s \cdot S = n \cdot \tau_s \cdot l \cdot s, \quad (2.2)$$

kde:  $S$  - plocha stříhu [mm<sup>2</sup>],  
 $n$  - koeficient otupení nástroje [-], obvyklé hodnoty 1,1 – 1,3,  
 $l$  - délka křivky stříhu [mm].

Použití vztahu (2.2) je podmíněno poměrem průměru střížníku ku tloušťce materiálu. Pokud je tento poměr větší nebo roven 1, tedy průměr střížníku je větší nebo roven tloušťce materiálu, lze tento vztah bez problému užít. V opačném případě dochází k výraznému nárůstu napětí ve stříhu. [42]

Velikost střížné síly lze zmenšit využitím konstrukčních uprav střížníku nebo střížnice. K takovéto úpravě se přistupuje taktéž z hlediska technologického, neboť při stříhání dlouhých a tvarově složitých dílců by docházelo k rázům a rychlejšímu otupení nástroje. Při děrování je možné použít zkoseného střížníku, při vystřihování pak zkosené střížnice. Z obrázku 23 je patrné snížení střížné síly doprovázené zvětšením zdvihu a nárůstem střížné práce. [45; 46]



Obr. 23 Porovnání rovnoběžných a skloněných nožů [46].

Dalšími silami vyskytujícími se v procesu jsou síly pro protlačení výstřížku a pro setření. Protlačovací síla vzniká od protlačení materiálu skrze střížnici, síla stírací vzniká při vracení střížníku vlivem působení prostříženého materiálu na jeho boční stěny. [43; 46]

Síla protlačovací se počítá dle vztahu [46]:

$$F_{pr} = (0,02 \div 0,05) \cdot F_s \quad (2.3)$$

Stírací síla se spočítá [46]:

$$F_{st} = c_s \cdot F_s, \quad (2.4)$$

kde:  $c_s$  - součinitel stírání [-], volen dle Tab. 3.

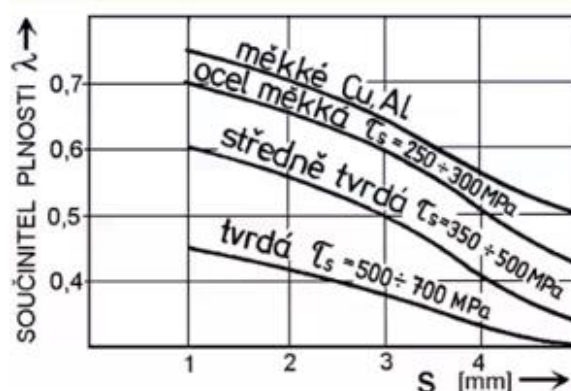
Tab. 3 Hodnoty součinitele stírání [46].

| Materiál a jeho tloušťka | Hodnota součinitele stírání $c_s$ |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Ocel do 1 mm             | 0,02-0,12                         |
| Ocel 1 až 5 mm           | 0,06-0,16                         |
| Ocel na 5 mm             | 0,08-0,20                         |

Práce je obecně určena plochou pod křivkou střižné síly (obr. 24). Její velikost je jedním z parametrů potřebných k výběru stroje a je dána vztahem [42]:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{smax} \cdot s}{1000}, \quad (2.5)$$

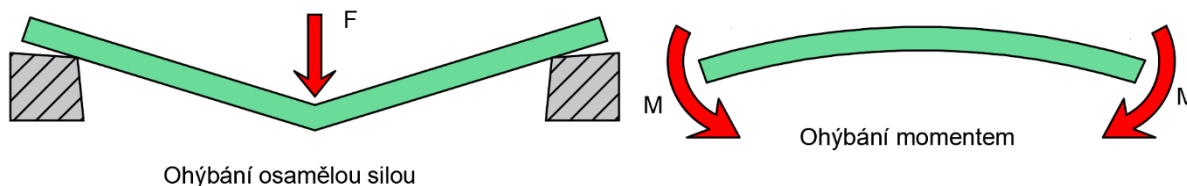
kde:  $\lambda$  - součinitel plnosti diagramu při stříhu [-], viz obr. 24,  
 $F_{smax}$  - maximální střižná síla [N].



Obr. 24 Graf ke stanovení součinitele plnosti [42].

## 2.2 Ohýbání

Ohýbání je tváření proces, při kterém dochází k trvalé deformaci materiálu. Toho je docíleno vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů, jak je znázorněno na obrázku 25. Křivost součásti lze touto metodou měnit u plechů, tyčí nebo i drátů. Nejčastěji je ohyb prováděn za studena, avšak pro tvrdé a křehké materiály, které kladou velký odpor proti ohybu, je možné tento proces zrealizovat za tepla. K přetvoření polotovaru slouží nástroje zvané ohýbadla. Jsou tvořeny ze dvou hlavních součástí – ohybnice a ohybníku, který je zpravidla pohyblivý. K zachování stálosti ohnutého tvaru dojde po překročení meze kluzu, přičemž je během děje dosahováno pružně-plastických deformací. Jejich velikost ovlivňuje mnoho faktorů jako je například tloušťka a kvalita ohýbaného materiálu, velikost ohybových momentů nebo třeba poloměr ohybu. [25; 42; 44; 46]

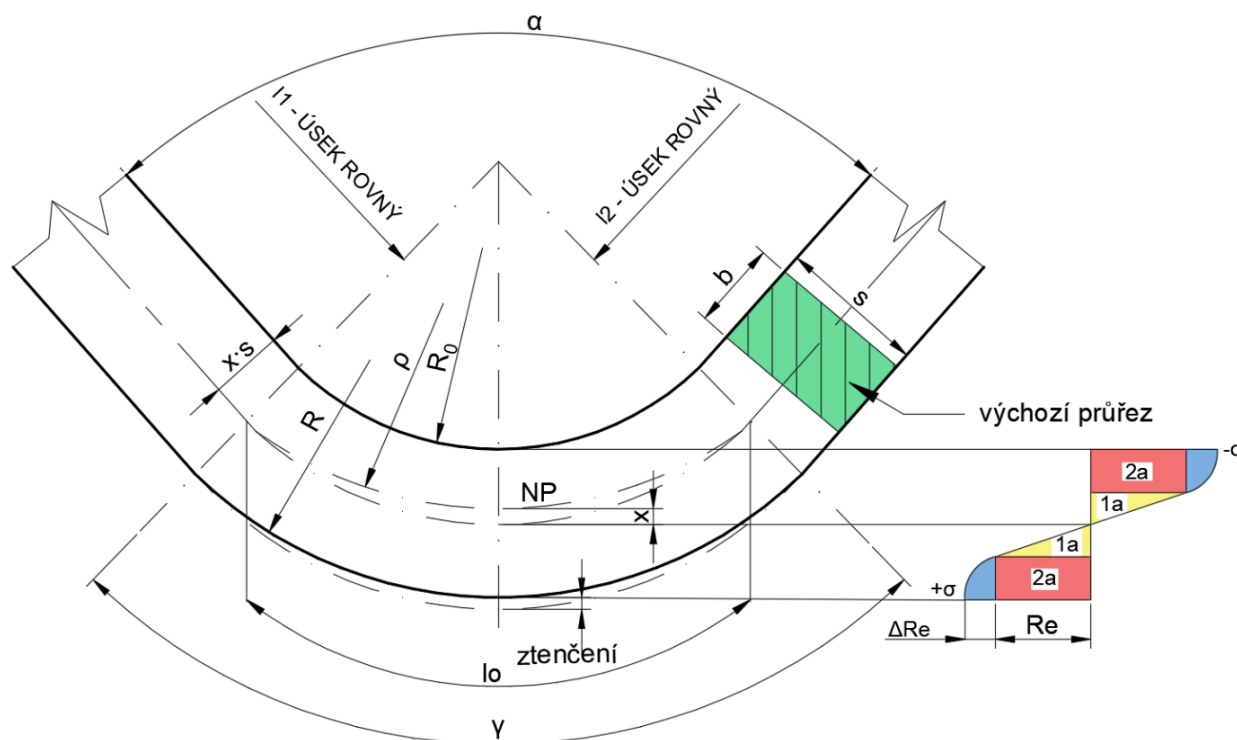


Obr. 25 Způsoby ohýbání [42].

Rozhodujícím parametrem procesu jsou tahová napětí. Jejich kritické hodnoty proto musí být vždy menší než pevnost materiálu v tahu, jinak hrozí porušení materiálu vznikem trhlin. Na vnitřní straně ohybu je materiál namáhán tlakovým napětím, a tedy stlačován. Oproti tomu na vnější straně dochází k tahovému namáhání a tím způsobenému natahování materiálu. V místě, kde dochází skokově ke změně charakteru zmíněných napětí se vyskytuje neutrální plocha (obr. 26). V místě neutrální plochy nedochází k žádným deformacím, což má za následek i nulovou hodnotu napětí v rovině ohybu. Délka neutrální plochy se nemění a vzhledem k tomu, že v místě ohybu se průřez polotovaru mírně deformuje, dochází k posunu neutrální plochy směrem k vnitřní straně ohybu. Těchto vlastností je posléze využito při výpočtu rozměru



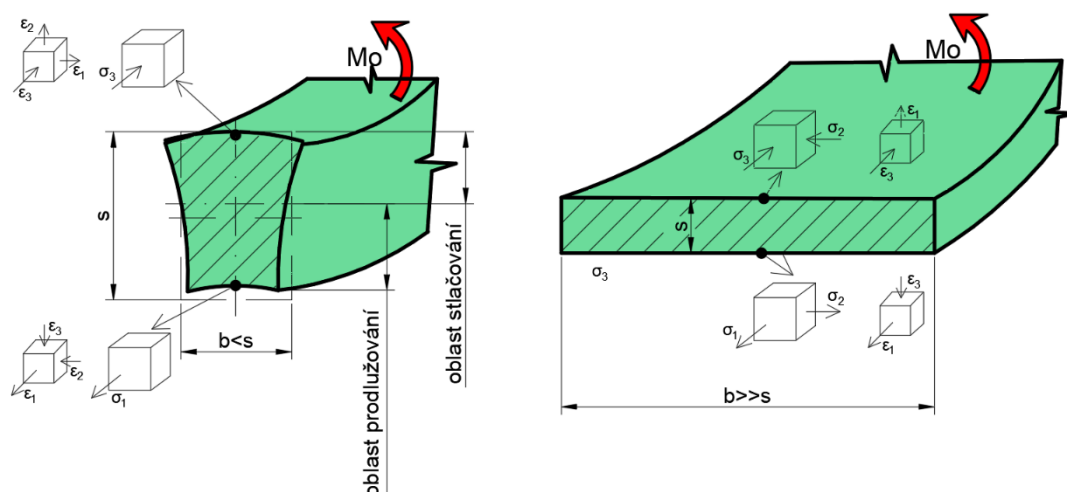
rozvinu součásti. Ohýbání lze rozdělit na několik fází, přičemž hlavním kritériem je druh deformace. V první fázi, kdy nastává pouze elastická deformace, je napětí  $\sigma$  menší než mez kluzu  $\mathbf{Re}$ . Druhá fáze začíná překročením meze kluzu a trvá až do ukončení ohýbání. Vyznačuje se pružně plastickou deformací, kdy vrstvy materiálu zdeformované pouze elasticky se nacházejí ve střední části polotovaru, respektive kolem neutrální plochy (na obr. 26 označeny 1a a 1b) a vrstvy, v nichž bylo dosaženo napětí větší jak mez kluzu a tedy zdeformované plasticky. Ty se nacházejí v okrajových částech průřezu, na obrázku 26 jsou označeny jako 2a a 2b. Zde došlo již k trvalé deformaci materiálu se zpevněním a nárůstu napětí o hodnotu  $\Delta\mathbf{Re}$ . [25; 42; 44; 46]



Obr. 26 Schéma ohýbání [44].

Průběh napjatosti a deformace lze znázornit na jednoduchých případech ohybu tyčí a širokých pásů (obr. 27). Při ohybu úzkých tyčí majících obdélníkový průřez, kdy je jejich šířka menší než tloušťka, je možné zanedbat napětí ve směru šířky a  $\sigma_2$  je tedy rovno nule. Napjatost v krajních vláknech natahované strany odpovídá jednoosému tahu s trojosým stavem přetvoření, na straně vnitřní se jedná o jednoosý tlak s trojosým schématem deformace. Díky tomu se šířka ohýbané tyče na vnitřní (tlakové) straně zvětšuje, zatímco na vnější (tahové) straně dochází k jejímu zmenšení. [42; 46]

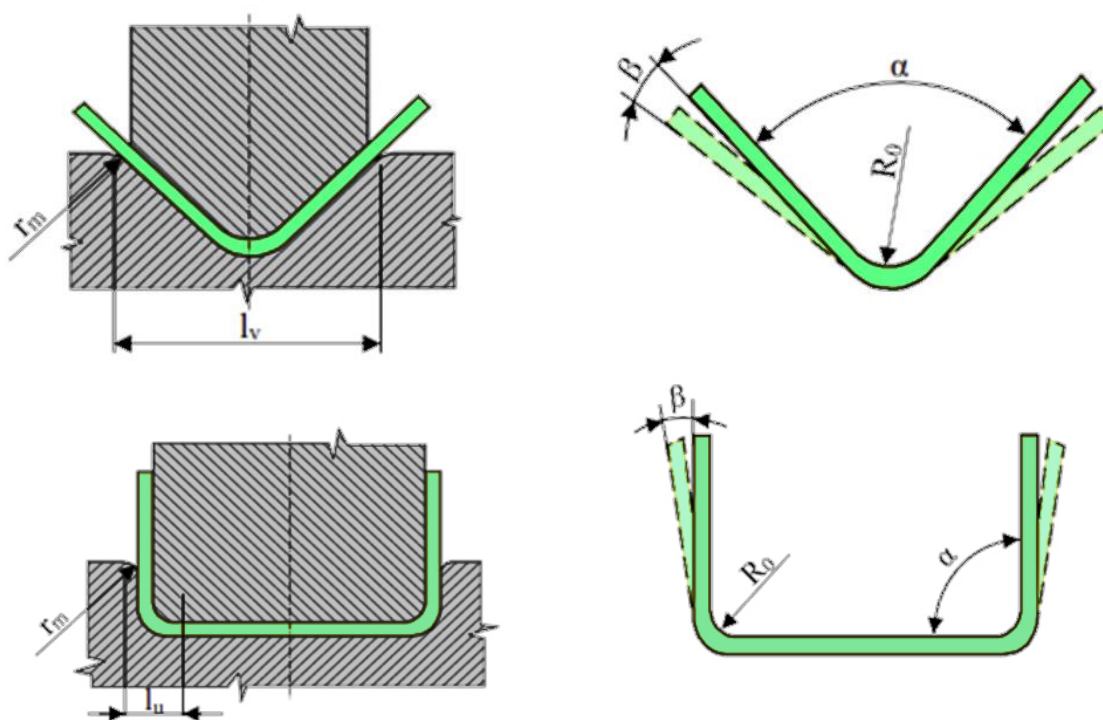
Při ohybu širokých pásů plechu nenastává deformace v příčném směru v důsledku velkého odporu materiálu, díky tomu je v tomto směru nulové přetvoření ( $\epsilon_2 = 0$ ). Velikost napětí ve směru tloušťky materiálu  $\sigma_2$  je oproti velikosti zbylých napětí tak malá, že se zanedbává ( $\sigma_2 = 0$ ). Z těchto důvodů lze ohýbání širokých pásů charakterizovat rovinným stavem deformace. [42; 46]



Obr. 27 Schéma napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů [42].

### 2.2.1 Odpružení

Při ohýbání za studena působí na materiál plastické i elastické deformace, přičemž elastické deformace se díky své vratnosti zásadně podílí na vzniku odpružení – nežádoucí dodatečné deformaci. Po odlehčení dochází k zániku elastických deformací a vzniku odpružení, díky čemuž výsledný tvar zhotovené součásti nesouhlasí s tvarem ohýbacího nástroje. Při konstrukci ohýbacích nástrojů a jejich výpočtech je tedy nutné zohlednit vliv odpružení a umožnit větší hodnoty ohybu právě o velikost odpružení. Na obrázku 28 je úhlem  $\beta$  schematicky znázorněn vliv odpružení při ohybu do V i do U. [25; 42; 44; 46]



Obr. 28 Schémata odpružení při ohybu [25].



Vliv na velikost odpružení má několik faktorů, mezi které lze zařadit druh ohýbaného materiálu, především jeho elastické vlastnosti. Dále pak tloušťku materiálu, úhel a poloměr ohybu nebo samotné provedení ohybu. Při zvětšování úhlu a poloměru ohybu roste i úhel odpružení. Oproti tomu při zvětšování tloušťky materiálu, nebo při přidání kalibrační síly na konci ohýbacího procesu dojde k jeho snížení. [46]

Ke zjištění velikosti odpružení při ohybu na velké poloměry je možné využít diagramů. Vyčtené hodnoty jsou ovšem spíše orientační, proto je pro získání přesnějších výsledků použito především empirických vztahů [46; 48]. Ty jsou podle typu ohybu rozděleny na vztahy pro tvar ohybu V nebo U, přičemž úhel odpružení při ohybu do tvaru V se spočítá následovně [46]:

$$\beta = \arctg \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.6)$$

kde:  $l_v$  - vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm],  
 $k_o$  - součinitel pro výpočet úhlu odpružení [-], určen z Tab. 4,  
 $R_e$  - mez kluzu materiálu [MPa],  
 $E$  - modul pružnosti v tahu [MPa].

Výpočet úhlu odpružení při ohybu do tvaru U [46]:

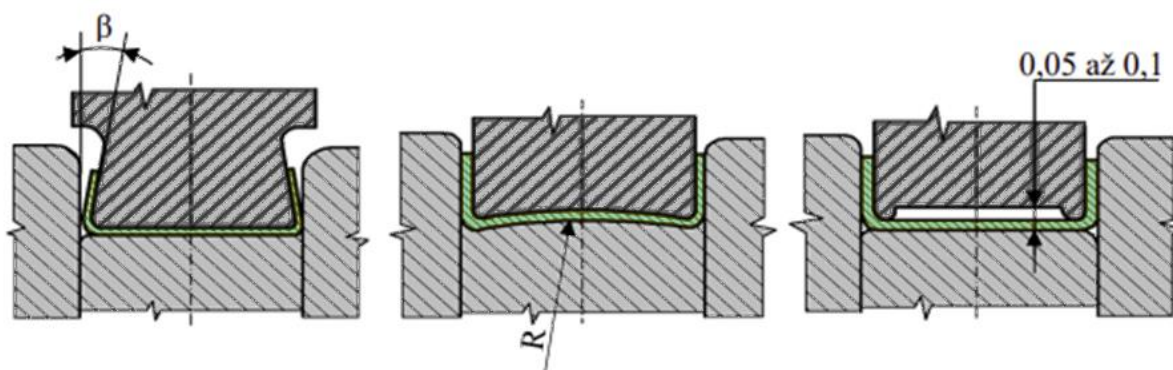
$$\beta = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.7)$$

kde:  $l_u$  - rameno ohybu [mm].

Tab. 4 Součinitel  $k_o$  pro výpočet úhlu odpružení [48].

| $R_o/s$ | 0,1  | 0,25 | 0,5  | 1    | 2    | 3    | 4–6  | 8–10 | 15–20 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $k_o$   | 0,68 | 0,65 | 0,62 | 0,58 | 0,54 | 0,53 | 0,52 | 0,51 | 0,5   |

K eliminaci odpružení lze využít několika způsobů, přičemž jedním z nich je použití kalibrace. Té se využívá v konečné fázi procesu, kdy dojde k nárůstu ohýbací síly a tím k eliminaci elastického napětí. Další možnou variantou je ohnout materiál více právě o hodnotu odpružení, čehož se hojně využívá při ohybu do V. Upravený úhel je poté nutné uvažovat při konstrukci nástroje. V neposlední řadě lze využít konstrukčních úprav ohýbacích nástrojů, a to zejména při U ohybu (obr. 29). [42; 46]



Obr. 29 Způsoby eliminace odpružení [42].

### 2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu

Jako minimální poloměr ohybu  $R_{\min}$  je brána taková hodnota poloměru, při které je materiál ještě pružně plasticky tvářen. Při překročení této mezní hodnoty by došlo k překročení meze pevnosti v tahu  $R_m$  a následnému porušení lomem na vnější tahové straně. Velikost  $R_{\min}$  závisí na plastičnosti, anizotropii, způsobu a úhlu ohybu a v neposlední řadě i na šířce a tloušťce ohýbaného materiálu. Při ohybu je vhodné z anizotropického hlediska volit směr ohybu kolmo

na směr vláken válcovaného polotovaru. Výhodné je taktéž zakládat výstřižek tak, aby se ostřiny vzniklé při stříhání nacházely na vnitřní (tlakové) straně, čímž se eliminuje možnost vzniku trhlin. [42; 44; 46]

Hodnoty  $R_{min}$  jsou v praxi často uvažovány o 20 % větší, přičemž jejich hodnota lze zjistit z norem, nebo dle následujícího vzorce [42]:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_p \cdot s, \quad (2.8)$$

kde:  $\varepsilon_{tmax}$  - trvalá poměrná deformace [-],  
 $c_p$  - součinitel [-], určen z Tab. 5.

Velikost součinitele  $c_p$  je volena dle technologických podkladů, přičemž je tato hodnota ovlivňována zpevněním a směrem vláken – anizotropií. [42]

Tab. 5 Součinitel  $c_p$  pro vybrané materiály [42].

| Materiál | Měkká ocel | Měkká mosaz | Hliník | Dural | Měkká měď |
|----------|------------|-------------|--------|-------|-----------|
| $c_p$    | 0,5-0,6    | 0,3-0,4     | 0,35   | 3-6   | 0,25      |

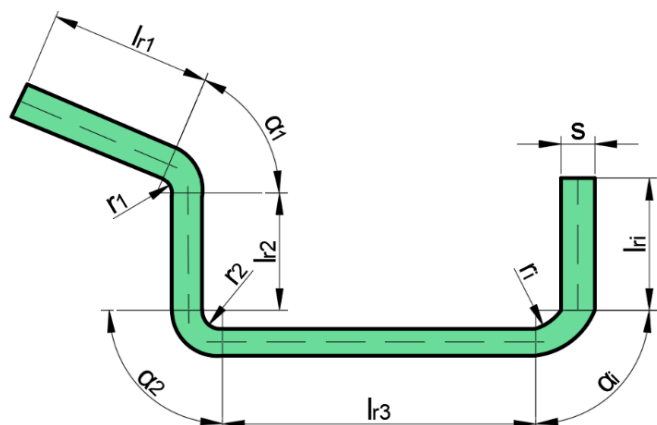
Jako maximální poloměru ohybu  $R_{max}$  je brán takový poloměr, při němž v krajních vláknech tahem namáhané strany již dojde k nevratné plastické deformaci. Díky tomu nedojde po odlehčení k navrácení polotovaru do výchozího stavu a ohyb tak zůstane zachován. [42; 44; 46]

Hlavní využití nachází při ohybu materiálu na velké poloměry, přičemž explicitně lze vyjádřit následující rovnicí [42]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right). \quad (2.9)$$

### 2.2.3 Stanovení délky polotovaru

Rozměr polotovaru je jednou ze stěžejních hodnot pro výrobu součástí. Při zjišťování délky polotovaru při ohýbání se vychází z délky neutrální plochy. Je to z toho důvodu, že tato délka zůstává během celého procesu konstantní. Z obr. 30 je patrné, že se každá ohýbaná součást skládá z úseků rovných a ohnutých. Délka rovných úseků se dá vyčíst z výkresové dokumentace, popřípadě změřit z již hotové součásti. Délka ohnutých součástí je dopočtena na základě zjištění délky neutrální vrstvy v ohnutém úseku. [44; 46; 48]



Obr. 30 Schéma určení délky polotovaru [46].

Pro volbu správného výpočtu je nutné klasifikovat druh ohybu. K tomu lze využít následující dělení [44]:

- velký poloměr zaoblení:  $\frac{R_o}{s} \geq 12$  – jedná se o volný ohyb,
- malý poloměr zaoblení:  $\frac{R_o}{s} \leq 6$  – jedná se o ostrý ohyb, dosahuje se vyšších hodnot plastické deformace,
- ohýbání širokých pásů plechu:  $b > 3s$ .

Řešenou součást lze řadit do poslední skupiny, kdy je uvažováno posunutí neutrální plochy směrem k vnitřní stěně součásti. Tím je docíleno změny průřezu. Pro výpočet poloměru neutrální plochy je využito vztahu [46]:

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

kde:  $x$  – součinitel posunutí neutrální plochy [-], vyčten z Tab. 6.

Tab. 6 Hodnoty součinitele  $x$  [46].

| Mez<br>pevnosti<br>$R_m$ [MPa] | $R_o/s$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 0,1     | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,5  | 2,0  |
| do 400                         | 0,25    | 0,3  | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,4  | 0,41 | 0,42 | 0,44 | 0,45 |
| nad 400                        | -       | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,38 |
| Mez<br>pevnosti<br>$R_m$ [MPa] | $R_o/s$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                                | 3,0     | 4,0  | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 9,0  | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
| do 400                         | 0,46    | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,49 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  |
| nad 400                        | 0,4     | 0,42 | 0,43 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,49 |

Dopočteného poloměru neutrální plochy je následně využito k dopočítání délky této vrstvy za pomoci vztahu [46]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho, \quad (2.11)$$

kde:  $\gamma$  – úhel ohnutého úseku [°],

$$\gamma = 180^\circ - \alpha \quad (2.12)$$

kde:  $\alpha$  – úhel ohybu [°].

Celková délka polotovaru je následně spočtena jako součet délek ohnutých částí součásti a délek rovinných úseků. Matematicky je tato hodnota vyjádřena za pomoci rovnice [46]:

$$L = \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{j=1}^n l_{rj}, \quad (2.13)$$

kde:  $l_r$  – délka rovinného úseku [mm].

## 2.2.4 Ohýbací síla a práce

Velikost ohýbací síly a práce jsou stěžejní hodnoty pro výběr stroje. Při ohybu do tvaru V je uvažováno, že se jedná o ohýbání nosníku na dvou podporách, vprostřed zatíženém silou. [42]

Dle ČSN 22 7340 je stanovena velikost ohýbací síly do tvaru V následovně [42]:

$$F_{ov} = \frac{b_{ov} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right), \quad (2.14)$$

kde:  $b_{ov}$  – šířka ohybu [mm],

$R_o$  – poloměr zaoblení ohybníku [mm].

Ohyb součásti do tvaru U je obdobný s výpočtem do tvaru V. Polotovar je opět uvažován jako nosník, v tomto případě je ale zatěžován dvojicí sil (vlivem rovného čela ohybníku). Výpočet ohybové síly do tvaru U je následovný [42]:

$$F_{ou} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b_{ou} \cdot s^2 \cdot R_e}{R_o + s}, \quad (2.15)$$

kde:  $f$  - součinitel tření [-].

Pro úplné zjištění silových nároků na ohyb je kromě právě zjištěných hodnot nutno zjistit i další síly, které vstupují do ohýbacího procesu. Jedná se o síly kalibrační a přidržovací, které jsou vyjádřeny jako násobek  $F_o$  a mají za následek navýšení výsledné ohybové síly  $F_{oc}$ . Ta je poté zjištěna součtem dílčích sil, jak je vidět na následujícím vztahu [46]:

$$F_{oc} = F_o + F_k + F_p, \quad (2.16)$$

kde:  $F_k$  - kalibrační síla [N],  
 $F_k = (1,5 \div 2) \cdot F_o,$  (2.17)

$F_p$  - přidržovací síla [N],  
 $F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o.$  (2.18)

Pro správnou funkci nástroje je nezbytné vytvoření vůle mezi ohybníkem a ohybnicí. Její velikost ovlivňuje velikost použité síly i ztenčení materiálu v místě ohybu. Její hodnota je nastavena sevřením lisu a pro ohyb do V se zpravidla volí stejná, jako je tloušťka plechu. Při ohybu do U se její velikost stanoví dle vzorce [48]:

$$v_o = s + c_o \cdot s, \quad (2.19)$$

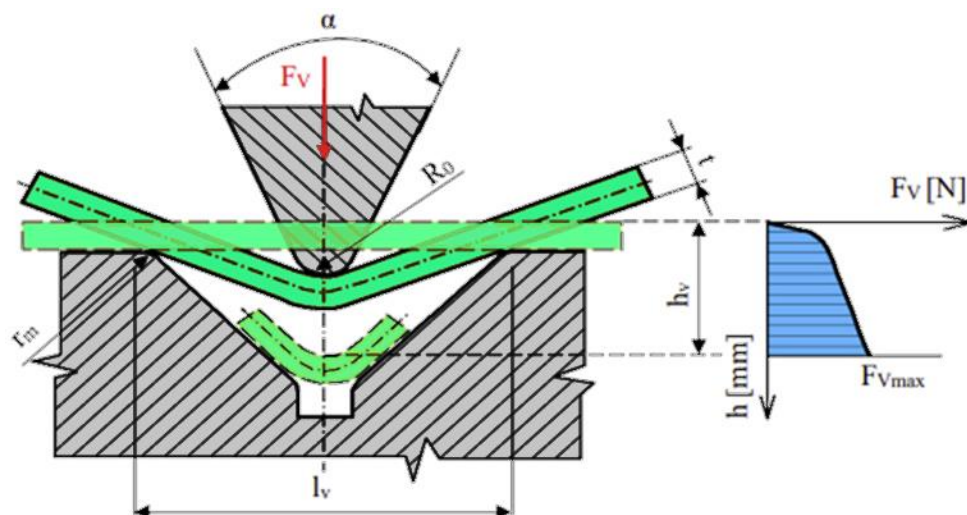
kde:  $c_o$  - součinitel sloužící k vyjádření vlivu tření o ohybnice [-], ovlivněn délkou ramene, stanoven z Tab. 7.

Tab. 7 Hodnoty sloužící ke stanovení koeficientu  $c_o$  [48].

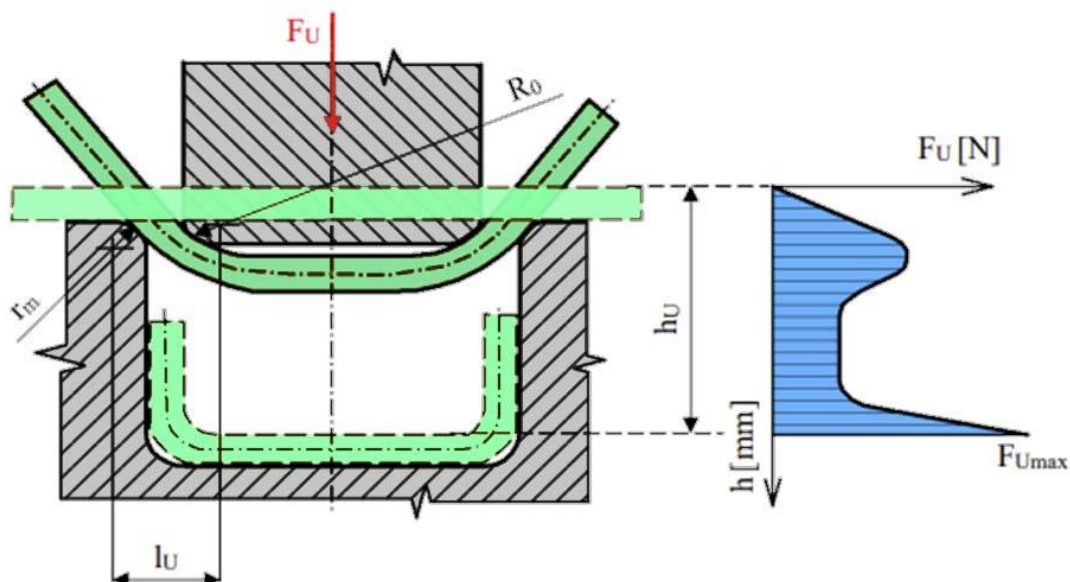
| Délka ramene <b>a</b><br>[mm] | Tloušťka materiálu <b>s</b> |                      |                      |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
|                               | 0,5 až 2                    |                      |                      |
|                               | <b>l<sub>k</sub></b>        | <b>r<sub>m</sub></b> | <b>c<sub>o</sub></b> |
| 10                            | 10                          | 3                    | 0,1                  |
| 20                            | 12                          | 4                    | 0,1                  |
| 35                            | 15                          | 5                    | 0,1                  |
| 50                            | 20                          | 6                    | 0,15                 |

Průběh ohýbací síly do tvaru V je zobrazen na obr. 31. V první fázi ohýbání dochází nejprve elastickým deformacím, což je znázorněno prudkým nárůstem síly. Po překročení meze kluzu a vzniku plastických deformací se působící síla navyšuje minimálně. Z časového hlediska je tato fáze nejdelší. [44; 46]

Průběh ohýbací síly do tvaru U je zobrazen na obr. 32. V první fázi ohýbání dochází nejprve ke vzniku rádiusů, díky čemuž narůstá síla. Poté je materiál vtahován do ohybnice, což má za následek pokles síly na konstantní hodnotu do doby, než dojde ke kontaktu plechu se dnem ohybnice. Poté dochází k vytvarování požadovaného tvaru, někdy doplněného o zpřesnění za pomoci kalibrace, což má za následek prudké navýšení síly v koncové fázi výroby. [44; 46]



Obr. 31 Schéma ohybu do V [46].



Obr. 32 Schéma ohybu do U [46].

Pro dimenzování a volbu výrobního stroje je stěžejní hodnota velikosti ohýbací práce [50].

Explicitně je hodnota práce pro ohyb do V vyjádřena následovně [46]:

$$A_{oV} = \frac{F_{oc} \cdot h_v \cdot \psi}{1000}, \quad (2.20)$$

kde:  $h_v$  - pracovní zdvih [mm], viz obr. 31,  
 $\psi$  - součinitel plnosti diagramu [-],  $\psi = 0,5 \div 0,6$ .

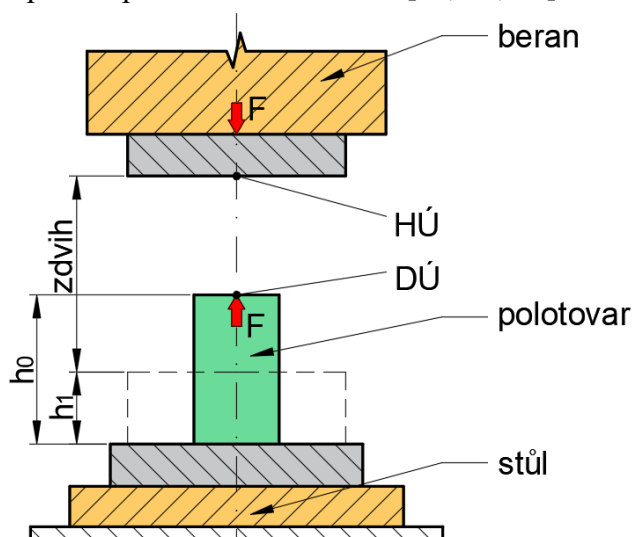
Pro ohyb do tvaru U platí následující vztah [46]:

$$A_{oU} = \frac{F_{oU} \cdot h_u \cdot \psi}{1000}, \quad (2.21)$$

kde:  $h_u$  - pracovní zdvih [mm], viz obr. 32.

## 2.3 Stroje

Tvářecí stroje jsou nedílnou součástí výrobní technologie. Tváření za studena je zpravidla prováděno na lisech. Ty lze rozdělit podle druhu pohybu nástroje na stroje s rotačním pohybem nástroje, nebo na stroje, kde nástroj vykonává přímočarý pohyb. Ty tvoří nejrozšířenější skupinu. Jejich činnost spočívá v předávání energie skrze beran do tvářeného materiálu. V beranu je upnuta horní část nástroje, která vykonává onen přímočarý pohyb. Beran se pohybuje mezi horní a dolní úvratí. Horní úvrat' (HÚ) je ve výšce maximálního zdvihu, dolní (DÚ) ve výšce minimálního (obráz. 33). V obou bodech je nulová rychlost a také nulová síla. Spodní část nástroje je upnuta upínkami ke stolu lisu. [43; 46; 51]



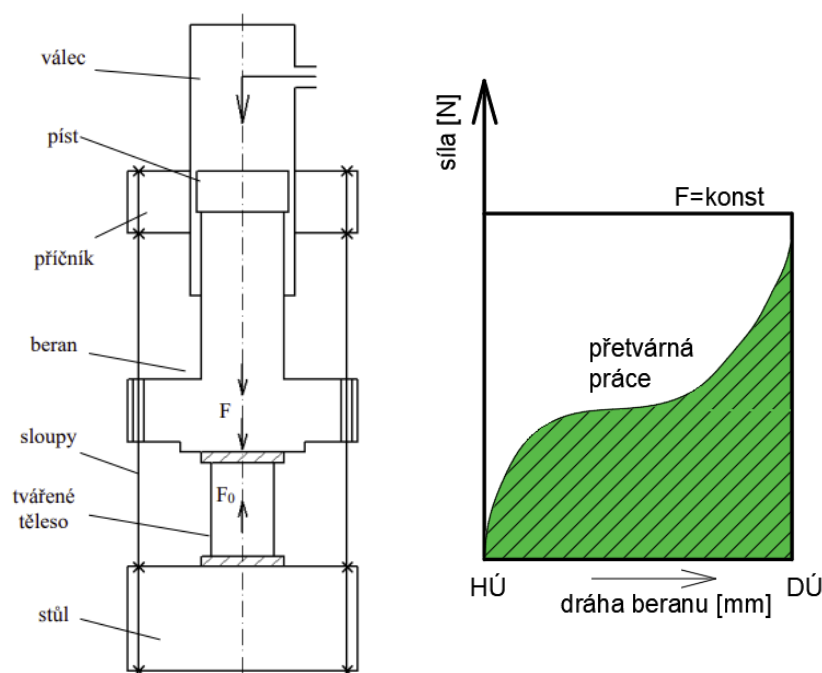
Obr. 33 Princip lisu [51].

Volba vhodného stroje se provádí na základě rozměrových a výkonnostních požadavků. Mezi rozměrové požadavky lze zahrnout velikosti upínacích ploch beranu a stolu lisu, kdy tato plocha musí být větší, než je velikost použitého nástroje. Dalším stěžejním parametrem je velikost zdvihu a sevření, vyložení, přestavitelnost stolu a beranu. V neposlední řadě se jedná i o vnější rozměry stroje. Jako výkonnostní požadavek lze brát velikost jmenovité síly lisu, potažmo velikost tvářecí práce. Při překročení těchto hodnot by mohlo dojít k poškození stroje. Kromě těchto vlastností majících vliv na funkčnost výroby součástí je vhodné dbát i na ergonomičnost, ekologičnost a ekonomickou výhodnost vybíraného stroje. [51; 52; 53]

Lisy lze rozdělit dle druhu využívané energie, kdy v praxi jsou nejčastěji používány lisy hydraulické a lisy klikové.

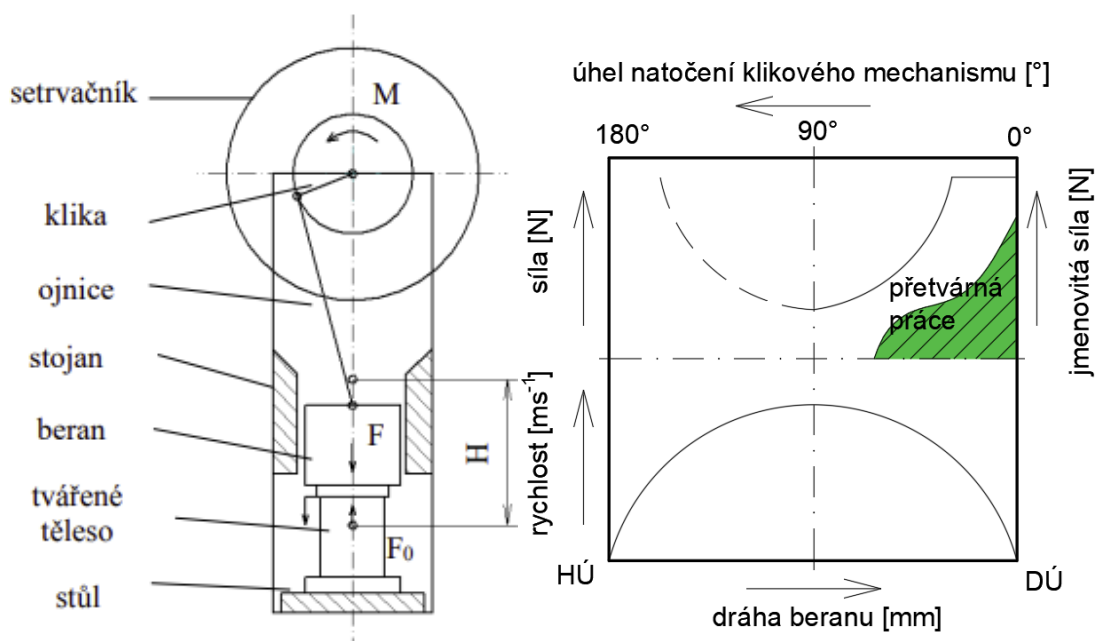
- Hydraulické lisy – jsou řazeny mezi silové tvářecí stroje. K přeměně potenciální tlakové energie na požadovanou přetvárnou práci je využito hydraulického systému. Vlivem rovnoměrného šíření tlaku v kapalině je možné docílit konstantního tlaku a rychlosti pohybu beranu (obráz. 34), kterou lze poměrně snadno a plynule regulovat. Stejně je tomu u regulace zdvihu. Další výhodou je jejich výkon. Vyvozané napětí může dosáhnout až  $10^3$  MPa, přičemž není závislé na zdvihu beranu. Nevýhodou celého zařízení je jeho složitá konstrukce (zejména u pohonné jednotky), nebo složitá údržba. Beran lisu rovněž dosahuje menšího počtu zdvihů za časový úsek ve srovnání s mechanickými lisy, což zapříčiňuje nižší výrobnost. Nepříznivé jsou i pořizovací náklady, které mohou být až o 30 % větší než u lisů mechanických. [51; 52; 53]





Obr. 34 Schéma činnosti hydraulického lisu [51].

- Mechanické lisy – spadají mezi stroje zdvihové. Rotační pohyb kliky poháněné setrvačником, je za pomoci ojnice převeden na pohyb přímočarý. Síla působící na beranu je závislá na velikosti jeho zdvihu (úhlu natočení kliky). Z tohoto důvodu má síla proměnlivý charakter a jejího maxima je dosaženo těsně před dolní úvratí (obr. 35). Díky tomu musí být stroje dobře seřízeny, jinak by mohlo dojít k jejich přetížení nebo zničení. I tak se řadí mezi nejpoužívanější, jelikož dosahují vysoké výrobnosti a jsou konstrukčně jednoduché. Mezi nejznámější představitele této skupiny lze zařadit lisy klikové nebo výstředníkové. U těch lze díky výstředníkovému pouzdru měnit výšku zdvihu, což zaručuje univerzálnější použití. Pohon stroje zpravidla zajišťuje elektromotor. Ten roztáčí setrvačnik, ve kterém je akumulována energie, která je využita ke tváření. [51; 52; 53]

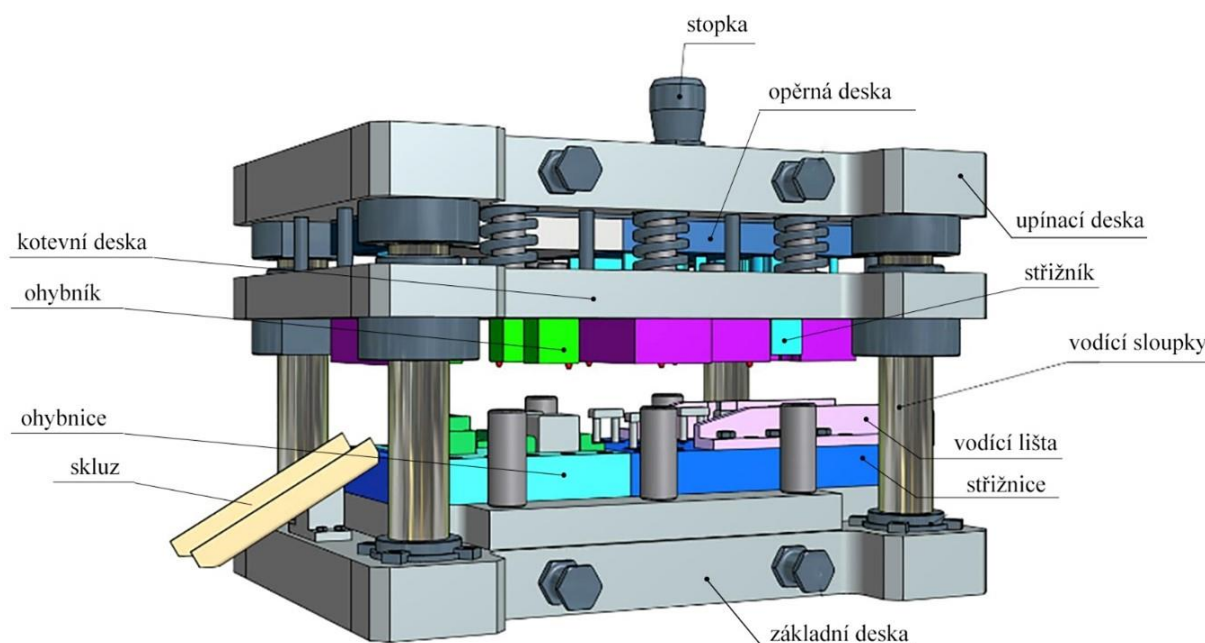


Obr. 35 Schéma činnosti výstředníkového lisu [51].

## 2.4 Nástroje a materiály funkčních částí

Postupový sružený nástroj (obr. 36), který se přímo podílí na výrobě součásti, lze považovat za jeden z nejdůležitějších celků celého výrobního procesu. Z toho důvodu je zapotřebí zaručit jeho vhodnou konstrukci vyhovující technologickým požadavkům a bezchybnou výrobu. Jen tak je možné zaručit, že bude vyráběná součást odpovídat požadavkům předepsaným na výkrese. [26; 57]

Nástroj jako takový lze rozdělit na spodní a horní polovinu, kdy je horní část označena jako hlavice a spodní jako skříň. Základním prvkem horní poloviny je upínací deska. Ta je s beranem lisu spojena za pomoci stopky nebo upínek a slouží k připevnění dalších částí nástroje. Kotevní deska napomáhá ke stabilnímu ukotvení činných částí nástroje jako jsou například střížníky nebo ohybníky. Větší přesnost a tuhost nástroje je docílena za použití vodících sloupků. Ty spojují vrchní a spodní část v jeden celek. Nosným prvkem spodní části je základní deska. Ta zajišťuje pevné spojení se stolem lisu, a zároveň skrze ni propadává odpadový materiál pryč z pracovního prostoru nástroje. Střížnice, ohybnice, vodící lišty a dorazy mají svoji polohu určenou připevněním k základové desce. [26; 57]



Obr. 36 Postupový sružený nástroj včetně popisu [59].

Vhodně zvolené materiály jsou základním předpokladem funkčního nástroje. Musí se volit s ohledem k použití součásti a jejího možného opotřebení. Na základě těchto dat je zvolen odpovídající materiál s dostatečnou životností, který ovšem nebude předimenzován, což by zdražilo výrobu. Vhodné a rovněž běžně používané materiály jsou pro vybrané části nástroje vypsány v Tab. 8. [26; 53; 54]

Nástroje, a zejména střížníky, jsou poměrně hodně namáhány – jak otěrem, tak rázy. Z tohoto důvodu jsou požadované vlastnosti tvrdost a houževnatost. Těch je docíleno za pomoci tepelného zpracování – kalení a následného popouštění. Ke zvýšení oteruvzdornosti a životnosti funkčních částí nástroje lze přispět i za pomoci povlakování, zejména metodou PVD. Nejčastěji jsou použity povlaky nitridu titanu TiN nebo karbonitridu titanu TiCN. [26; 53; 54]

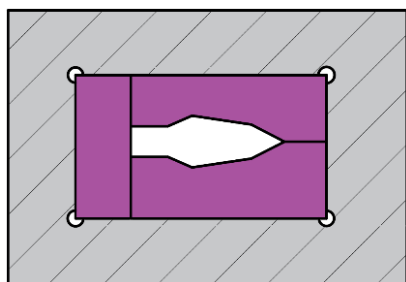
Tab. 8 Materiály pro vybrané části nástrojů [26].

| Určení nástroje | Konstrukční prvek          | Materiál dle ČSN          | Tepelné zpracování       |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Střih           | Střižnice a střižník       | 19 191, 19 312,<br>19 436 | 61-63 HRC                |
|                 | Vodící lišty               | 11 600                    | Cementováno na 60-62 HRC |
|                 | Hledáčky                   | 14 220, 19 191            | 56-60 HRC                |
| Ohyb            | Ohýbací čelisti            | 19 191, 19 192            | 60-63 HRC                |
|                 | Klíny                      | 19 192                    | 58-62 HRC                |
|                 | Vyhazovače                 | 12 050,<br>19 192         | 45-50 HRC<br>55-60 HRC   |
| Společné        | Stojánky, sloupky, pouzdra | 11 500, 12 061,<br>14 220 | Cementováno na 60-62 HRC |

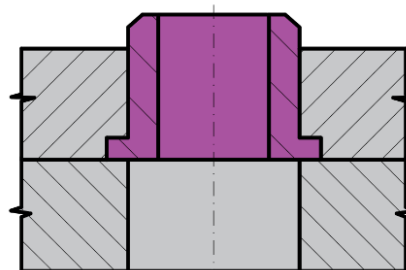
### 2.4.1 Nástroje pro stříhání

Jako stěžejní prvky střížných nástrojů lze označit střižník a střižnici, mezi kterými je vytvořen požadovaný výstřižek. Jeho ustřížení je umožněno prostřednictvím ostrých hran (břitů), které jsou zhotoveny po obvodu otvoru ve střižnici a na čele střižníku. Kvůli tomu je nutné, aby byly proti sobě jednoznačně geometricky orientovány a jejich upevnění bylo pevné a stabilní. K tomu slouží ostatní části nástroje jako vodící sloupky a lišty nebo upínací stopka. [43; 46]

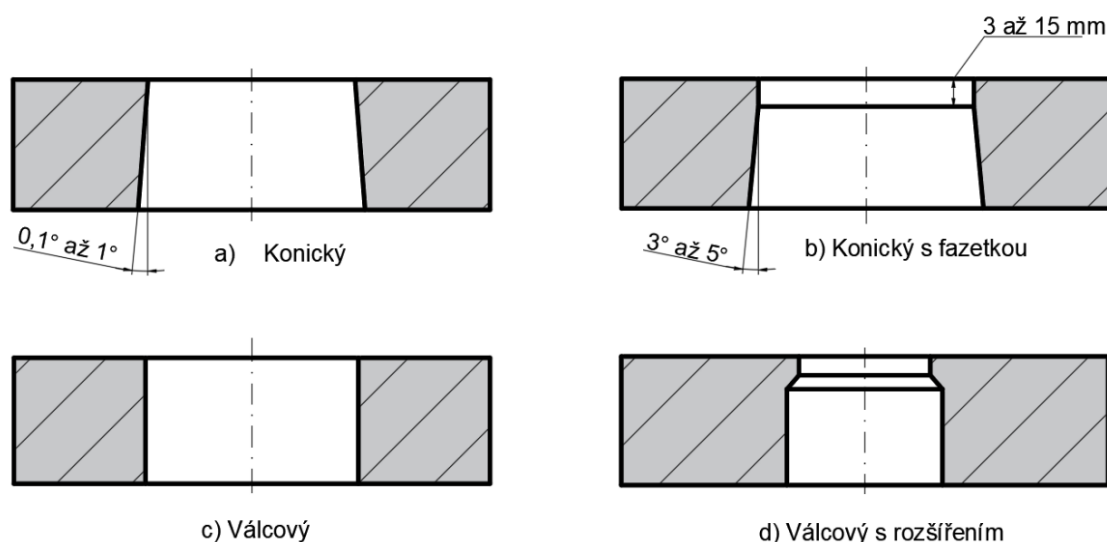
- Střižnice – je připevněna k základové desce, a to přímo nebo nepřímo, poloha je vymezena středícími kolíky. Pro větší odolnost mohou být střižnice kalené. Podle velikosti a vhodnosti použití lze střižnice dělit na celistvé, vložkové a skládané. Skládané (obr. 37) se využívají pro složité tvary, kdy dojde k rozdělení onoho tvaru na dílčí části, které jsou snadněji vyrobitelné. Jednotlivé kusy jsou poté zalisovány do základové desky. Vložkové (obr. 38) se hojně používají, pokud je vyráběno velké množství otvorů a hrozí velké opotřebení jen určité části střižnice. Další využití nachází v případě, že je požadována univerzálnost střižnice pro více typově podobných výrobků. Nejčastěji používané jsou střižnice celistvé, které lze dělit podle geometrie střížných hran. Konický tvar (obr. 39a) je využíván při stříhání malých součástí střední přesnosti, přičemž úhel zkosení roste s rostoucí tloušťkou stříhaného materiálu. Konický s fazetkou (obr. 39b) nachází využití při stříhání přesných, tvarově složitých součástí. Díky použití fazetky lze střižnici vícekrát přebrousit, což je vhodné pro použití při vyšších výrobních sériích. Při použití vyhazovačů, kdy se vystřížený materiál vrací zpět nad střižnici, je nutné použít válcového tvaru střižnice zobrazeného na obr. 39c. Pro stříhání malých kruhových otvorů se využívá válcových otvorů s rozšířením, tak jak je vyobrazeno na obr. 39d. [48; 50; 53; 54; 56; 57]



Obr. 37 Skládaná střižnice [53].

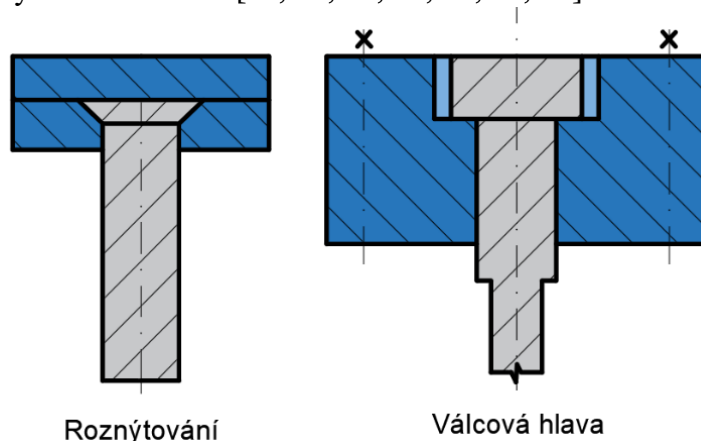


Obr. 38 Vložková střižnice [54].

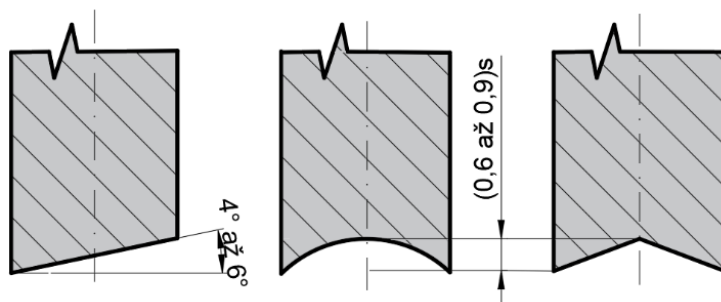


Obr. 39 Geometrie střížných hran [54].

Střížník – je podlouhlý nástroj, jehož průřez geometricky odpovídá vystřižovanému dílci a tvořící protikus ke střížnici. Jeho silovým působením na materiál dochází k iniciaci trhlin a ustřížení materiálu. Z tohoto důvodu je požadována jeho tuhost, kolmost a dobré upevnění v kotevní desce. Styl ukotvení závisí na technologii výroby, složitosti střížníku i materiálu polotovaru. Cílem je zabránit vytažení z kotevní desky vlivem působící stírací síly, dosahující až 20 % síly střížné. U malých střížníků je uchycení provedeno roznýtováním, upevněním šroubem nebo za pomoci kuličky. Pro středně velké střížníky je typické ukotvení pomocí válcové (obr. 40) nebo kuželové hlavy. Velké střížníky se uchycují šrouby přímo do kotevní desky. Střížníky jsou standardně vyráběny z nástrojové oceli. U velkých střížníků je kotvená část vyrobena z ocele konstrukční a střížná hrana z ocele nástrojové. Díky tomu dochází k úspoře drahého materiálu a snížení výrobní ceny nástroje. Pro zajištění menších střížných sil, lepšího vedení nebo zamezení nalepení výstřižku na čelo střížníku se využívá jeho konstrukčních úprav. Ty jsou zobrazeny na obrázku 41. [48; 50; 53; 54; 55; 56; 57]



Obr. 40 Způsoby upevnění střížníků [43].



Obr. 41 Konstrukční úpravy čela střížníku [53].

Střížník může být v nástroji vedený (prochází skrze vodící desku) nebo nevedený. Vzhledem k jejich možné deformaci během procesu, je vhodné provést výpočetní kontroly. [48]

Kontrola na otlačení – zjišťuje, zdali během procesu dojde ke vtlačování střížníku do upínací desky. Vzniklé napětí nesmí překročit maximální dovolené napětí, které pro ocel činí 180 MPa. K zamezení vzniku otlačení je použito přídavné opěrné desky z kalené oceli. Použitý vztah pro ověření napětí na dosedací ploše je následující [43; 48]:

$$\sigma = \frac{F_{si}}{S_{di}} \leq \sigma_{dov}, \quad (2.22)$$

kde:  $S_{di}$  - dosedací plocha řešeného střížníku [mm<sup>2</sup>],  
 $F_{si}$  - síla vyvozená střížníkem [N].

Kontrola střížníku na vzpěr – je zpravidla prováděna pro nejužší střížník. Slouží ke zjištění jeho maximální možné délky, která je bezpečná pro jeho provoz. Při překročení mezní hodnoty by mohlo dojít k vybočení střížníku a jeho poškození ohybem nebo k jeho zlomení. Dle Eulera se kritická délka vedeného střížníku spočítá následovně [43]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_s}}, \quad (2.23)$$

kde:  $n_b$  - bezpečnostní koeficient [-], volen z rozsahu  $n_b = 1,5 \div 2$ .

- Funkční rozměry střížníku a střížnice – ať se jedná o střížník nebo střížnici, během používání dochází k jejich opotřebení. To je potřeba uvažovat při návrhu funkčních rozměrů. [48; 53] Graficky je tato problematika zobrazena na obr. 42, početně se řeší dle následujících rovnic [48].

Výpočet rozměru střížníku při děrování:

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} \quad (2.23)$$

Výpočet rozměru střížnice při děrování:

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} \quad (2.25)$$

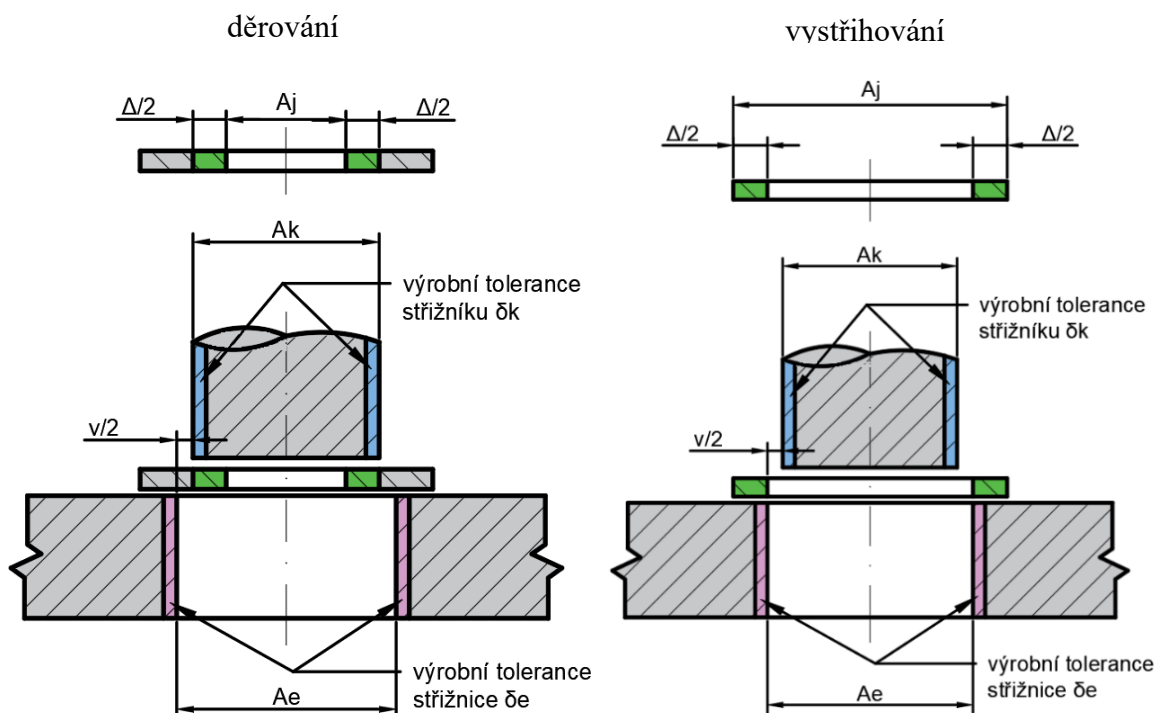
Výpočet rozměru střížníku při vystřihování:

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k} \quad (2.26)$$

Výpočet rozměru střížnice při vystřihování:

$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e}, \quad (2.27)$$

kde:  $A_k$  - jmenovitý rozměr střížníku [mm],  
 $A_e$  - jmenovitý rozměr střížnice [mm],  
 $A_j$  - jmenovitý rozměr otvoru [mm],  
 $\Delta$  - tolerance otvoru [mm],  
 $\delta_e$  - výrobní tolerance střížnice [mm],  
 $\delta_k$  - výrobní tolerance střížníku [mm].



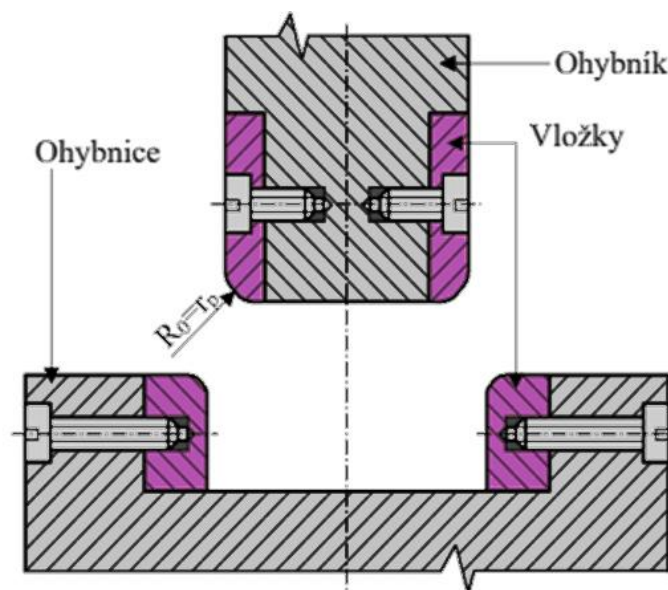
Obr. 42 Tolerance a funkční rozměry nástrojů [50].

## 2.4.2 Nástroje pro ohýbání

Hlavní nástrojová konstrukce se skládá ze stejných prvků jako je tomu u stříhání (upínací deska, stopka, vodící sloupky). Prvky, mezi kterými je vykonán ohyb jsou ohybník a ohybnice, které mají výrazný vliv na výsledný tvar a kvalitu ohybu. Doplněny mohou být o přidržovače nebo vyhazovače, které zajistí snadnější automatizaci celého procesu. [42; 48; 53]

- Ohybník – je pohyblivá část zpravidla opatřena stopkou, pomocí které je připevněna k celku nástroje. Konstrukce je většinou jednoduchá, kopírující tvar zhotovované součásti. Menší ohybníky jsou vyráběny jako celek a jejich povrch je kalen. U ohybu větších součástí nebo při zajištění univerzálnosti nástroje je použito kalených vložek, tělo nástroje tak může být z levnějšího materiálu. Díky tomu je docíleno zvýšení odolnosti proti opotřebení při zachování rozumné výrobní ceny. Poloměr zaoblení ohybníku se shoduje s poloměrem zaoblení součásti (obr. 43). V případě potřeby je možné transformovat svislý pohyb nástroje na vodorovný. K tomu slouží například klínové mechanismy. Délka ohybníku musí dosahovat minimálně takových rozměrů, jakých dosahuje délka ohýbané součásti. [42; 48; 53; 54; 56; 57]





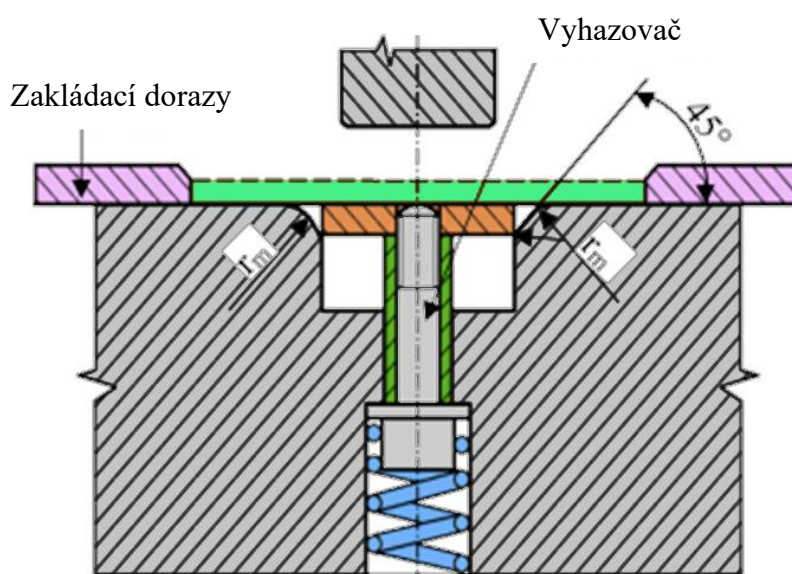
Obr. 43 Vložkový ohýbací nástroj [42].

- Ohybnice – je pevně spojena se spodní částí nástroje. Vnitřní strana může být v místech největšího opotřebení vložkováná, konstrukčně lze ohybnice rozdělit do dvou skupin dle tloušťky ohýbaného plechu. Při ohýbu plechu tlustšího než 3 mm se využívá zkosení vstupní hrany pod úhlem 45°, které je doplněno o zaoblení na poloměr  $r_m$ . Ohyb plechů o menší tloušťce než 3 mm ( $s < 3$  mm) nevyužívá vstupního zkosení a ohybnice je opatřena pouze zaoblením  $r_m$ , jak je znázorněno na obr. 44. Jeho velikost ovlivňuje velikost ohýbací síly a vzhled povrchu. Doporučené hodnoty poloměru zaoblení hran a hloubky ohybnice jsou uvedeny v Tab. 7. [42; 48; 53; 54; 56; 57]

Početně se zaoblení pro plechy do 3 mm vyjádří dle vztahu [54]:

$$r_m = (2 \text{ až } 6) \cdot s \quad (2.28)$$

Založení polotovaru do ohybnice by mělo být co nejpřesnější a nejsnadnější. K tomuto účelu je použito tvarových příložek, kolíkových dorazů nebo zafrézování do pevné části nástroje. [48; 54]



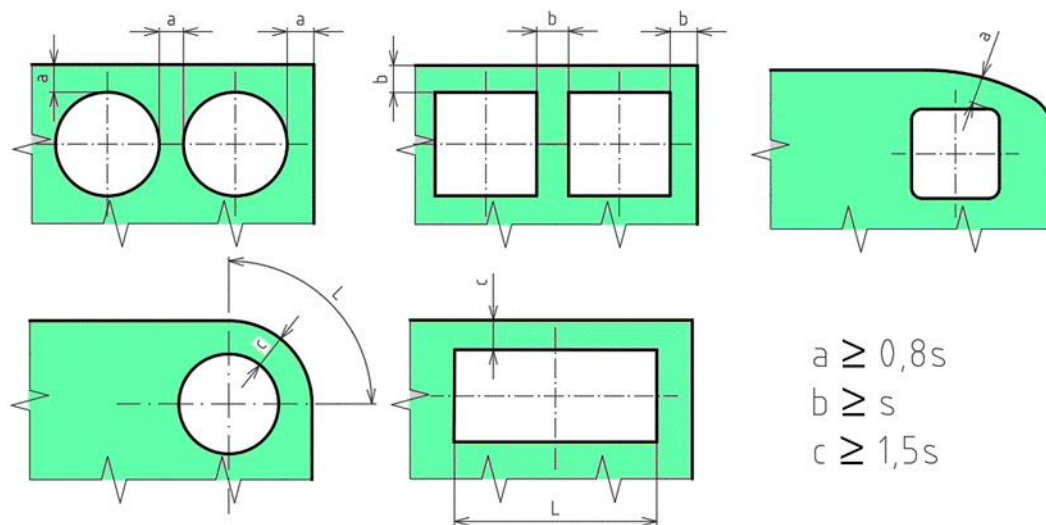
Obr. 44 Konstrukce ohybnice [48].

## 2.5 Technologičnost

Na dosažení maximální efektivity procesu, ekonomičnosti a funkčnosti výroby má mimo jiné velký vliv technologičnost výrobku. Cílem je stanovit takový tvar součásti a její výrobní postup, který bude vyhovovat požadavkům, zamezí vzniku defektů a nebude nikterak nákladný. Tvary součástí by měly být co nejjednodušší, ale zároveň funkční, materiál by měl být vhodný pro tváření danými operacemi. Při návrhu je nutné zohlednit počet a složitost operací. [44; 46]

Pro technologii stříhání platí následující doporučení a předpoklady. [43; 46; 60; 62]

- dodržet požadavky na technologičnost konstrukce – dodržení minimální vzdálenosti otvorů od okraje i mezi otvory navzájem, dle obr. 45. Zde jsou uvedeny tyto délky v závislosti na tloušťce materiálu. Pro měkké materiály je třeba tyto hodnoty zvětšit o 20-25 %,
- přesnost výrobku při použití vodících sloupků předepisovat v rozmezí IT9 až IT11,
- kvalitu plochy předepisovat v rozmezí Ra 3,2 až Ra 6,3,
- vyšší požadavky na přesnost předepisovat jen do míst, kde je to nutné, vyvarovat se předepisování kolmosti střížných hran,
- při děrování upřednostňovat kruhové otvory,
- tvar výstřížku volit s ohledem na funkční plochy co nejjednodušší. Vhodné jsou tvary symetrické, rovnoběžníkové nebo tvořící spolu pozitiv a negativ,
- rozmístění součástí na polotovaru volit takové, aby bylo dosaženo co největšího využití materiálu,
- použití kruhových otvorů značně snižuje využitelnost materiálu.

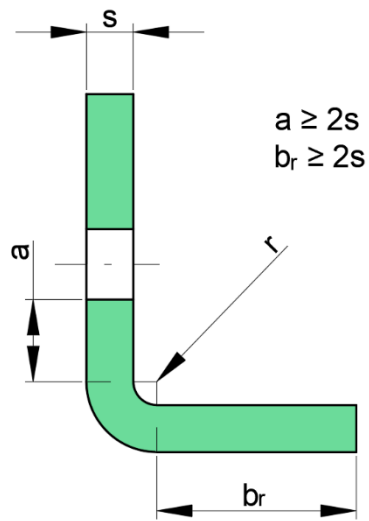


Obr. 45 Technologičnost stříhané konstrukce [46].

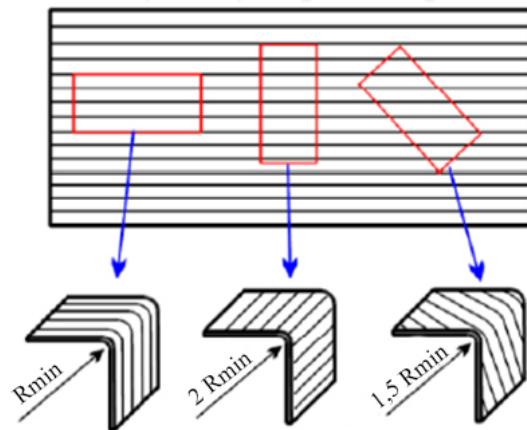
U metody ohýbání platí následující aspekty výroby. [46; 50; 61]

- pro zachování tvaru konstrukčních prvků (např. otvorů) musí být jejich vzdálenost od hrany ohybu  $a \geq 2s$  (obr. 46),
- ohýbané rameno musí dosahovat minimální délky  $b_r \geq 2s$ ,
- nerovnoměrně dlouhá ramena způsobují při ohybu pohyb součásti, pro zabránění se využívá kolíků,
- pro optimální vlastnosti ohybu zohlednit vliv anizotropie a volit jeho osu kolmo na směr válcovaných vláken (obr. 47),
- úhel ohybu volit co nejmenší, avšak větší než minimální poloměr, aby došlo k minimalizaci odpružení. Možno využít kalibrace,

- stranu s otřepem orientovat tak, aby byla namáhána tlakem.



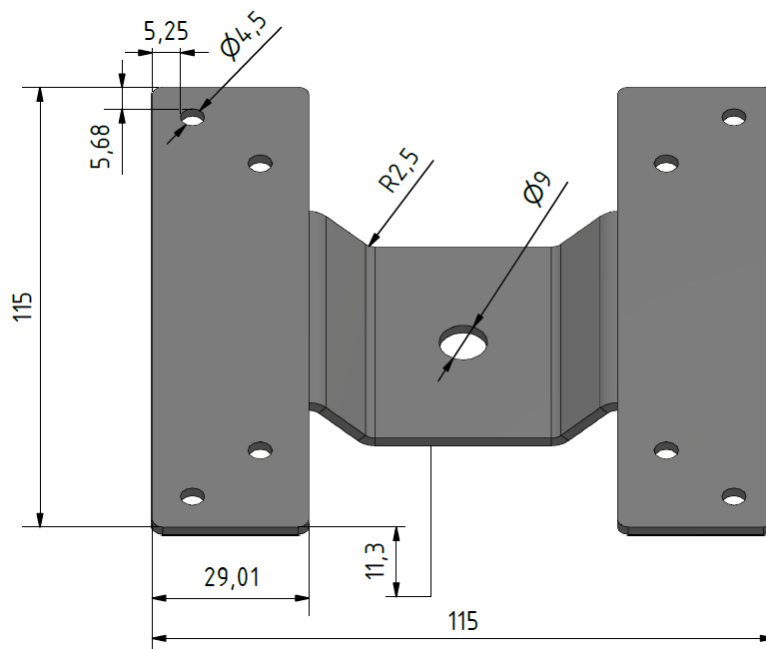
Obr. 46 Technologičnost ohýbané součásti [46].



Obr. 47 Vliv anizotropie na ohyb [50].

### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Vyráběná součást VESA držáku je zhotovena z oceli DC01 o tloušťce 2 mm a maximálních rozměrech 115x115x11,3 mm, které jsou znázorněny na obr. 48. Jako nejvhodnější způsob výroby byl zvolen postupový sdrůžený nástroj kombinující stříh a ohyb.



Obr. 48 VESA držák

Nezbytným krokem před zahájením příprav výroby je posouzení technologičnosti součástí mající za úkol zaručit bezproblémovou výrobu kusu o požadované kvalitě. Rozměry na VESA držáku není třeba přísně tolerovat, z tohoto důvodu jsou všechny rozměry tolerovány dle ČSN ISO 2768-1. Přesnost otvorů zhotovených stříháním se pohybuje mezi IT9 až IT11, což vyhovuje pro zhotovovanou součást. Technologičnost součásti je vztažena ke tloušťce materiálu použitého pro výrobu. Limitní rozměry pro řešenou součást lze stanovit dle následujících vztahů. [64]

- Minimální vzdálenost otvorů od kraje  $a_k$  [46]:

$$\begin{aligned} a_k &= 0,8 \cdot s \\ &= 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Z výpočtu je patrné, že minimální vzdálenost otvoru od okraje je 1,6 mm. Otvory na součásti (obr.48) jsou od okraje vzdáleny nejméně 5,25 mm, tudíž tuto podmínku splňují.

- Minimální poloměru ohybu, dle (2.8):

$$R_{min} = c \cdot s = 0,55 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm}$$

kde:  $c$  - součinitel, určen z Tab. 5. Z rozsahu zvolena hodnota 0,55.

Velikost minimálního poloměru ohybu byla stanovena na 1,2 mm, což splňují všechny poloměry vyskytující se na součásti. Zároveň je jeho velikost dostatečná i pro případ nepříznivého natočení ohybu vůči směru vláken.

- Maximální poloměr ohybu, dle (2.9):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{230} - 1 \right) = 913,04 \text{ mm}$$

Poloměry nacházející se na součásti jsou menší než maximální možný poloměr, tudíž budou všechny bez problému vyrobeny.

- Výpočet minimální délky ramene  $b_r$  [46]:

$$\begin{aligned} b_r &= 3 \cdot s \\ &= 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Minimální délka ohýbaného ramene byla stanovena na 6 mm. Ramena vyskytující se na součásti jsou delší.

Při porovnání dílčích částí součásti s provedenými výpočty je patrné, že jsou splněny technologické požadavky pro výrobu, a součást je tedy plně vyrobitelná.

### 3.1 Rozvin součásti

Jelikož je součást prostorového tvaru, je nutné pro potřeby výroby zjistit tvar a rozměry ve stavu rozvinutém. Díky tomu je posléze možno navrhnout vhodný nástroj a rozmístění součásti na plechu.

Rozměr rozvinu je roven délce neutrální osy procházející středem plechu. Z kapitoly 2.2.3 je patrné, že u rovných úseků k žádnému posunutí nedochází, a je tedy možné délku těchto úseků jednoduše sečíst. Pro úseky ohnuté je nutné brát posunutí osy v potaz. Získané hodnoty jsou posléze porovnány s výsledky z programu Autodesk Inventor 2022.

Všechny ohyby nacházející se na součásti mají stejný poloměr i úhel, proto je možné provést pouze jeden výpočet. Ohyby včetně vyznačených délek jsou na obr. 49. V první řadě je nutné určit součinitel posunutí neutrální vrstvy  $x$ . Jeho hodnota je určena z Tab. 6.

$$\frac{R_o}{s} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \rightarrow x = 0,42$$

kde:  $R_o$  - poloměr ohybu [mm].

Poloměr neutrální plochy je spočten dle vztahu (2.10), a opět lze tuto hodnotu použít pro všechny ohyby na součásti.

$$\rho = R_o + x \cdot s = 2,5 + 0,42 \cdot 2 = 3,34 \text{ mm}$$

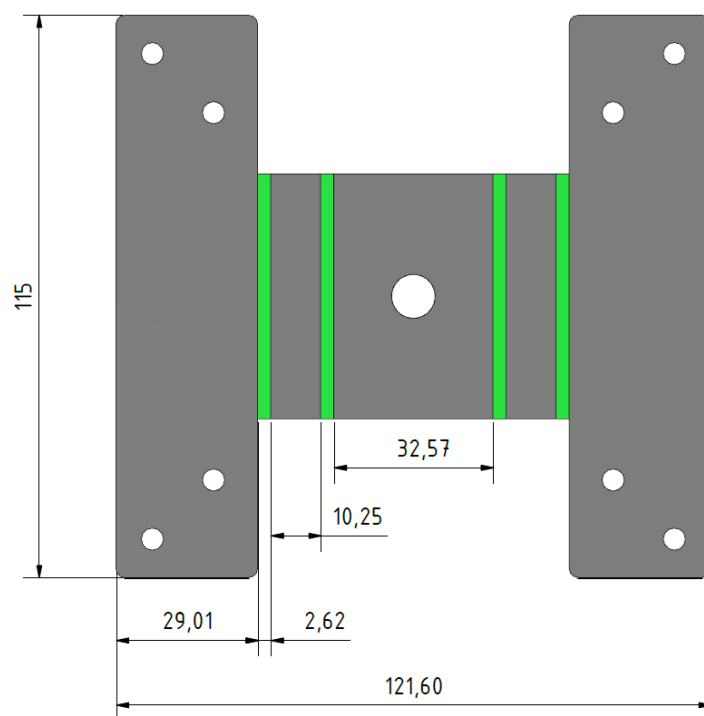
Délka ohnuté části je stanovena dle rovnice (2.11).

$$l_{o1-4} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot (180 - \alpha)}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot (180 - 135)}{180} \cdot 3,34 = 2,623 \text{ mm}$$

Na základě zjištěných hodnot lze dopočítat délku rozvinuté součásti za využití vztahu (2.13).

$$\begin{aligned} L &= \sum_{i=1}^n l_{o_i} + \sum_{j=1}^n l_{r_j} = 4 \cdot l_{o1-4} + 2 \cdot l_{r1} + 2 \cdot l_{r2} + l_{r3} = \\ &= 4 \cdot 2,623 + 2 \cdot 29,014 + 2 \cdot 10,253 + 32,572 = 121,598 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dle programu Autodesk Inventor 2022 byla délka rozvinu stanovena na 121,60 mm, což se téměř přesně shoduje s vypočtenými hodnotami (vzniklý rozdíl je dán zaokrouhlováním). Pro následující výpočty bude použita hodnota  $L=121,6$  mm.



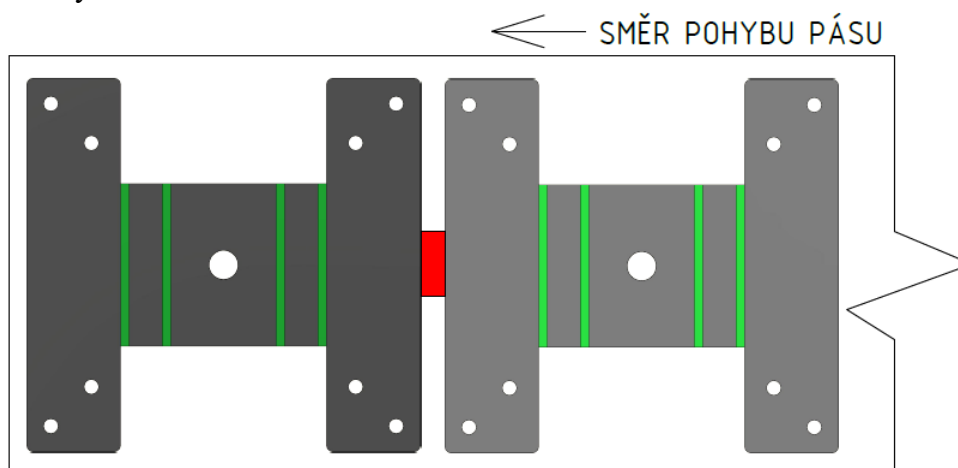
Obr. 49 Rozvin součásti.

### 3.2 Varianty výroby

Při výběru vhodného postupu výroby je zapotřebí brát v úvahu již dříve zvolné využití postupového sdruženého nástroje. Nezbytné je rovněž nezapomínat na fakt, že k zajištění posuvu součásti je nutné, aby mezi sebou byly vznikající dílce spojeny.

Pro výrobu součásti se nabízí několik variant, přičemž pořadí operací není možno nějak zásadně měnit. V první fázi dochází k ostřížení vnějšího tvaru, díky čemuž může být následně vytvořen ohyb do požadovaného tvaru. V poslední fázi je odstřižnut materiál zajišťující posuv součásti v nástroji. Pro zvýšení přesnosti jsou v procesu výroby zahrnuty hledáčky. Jednotlivé varianty, včetně výhod a nevýhod jsou popsány v následujících bodech.

- Varianta A – součást je na páse plechu umístěna podélně. Z obrázku 50 je zřejmé, že z hlediska technologie ohybu je tato varianta příznivá, neboť jsou osy ohybu kolmo orientovány na směr vláken.

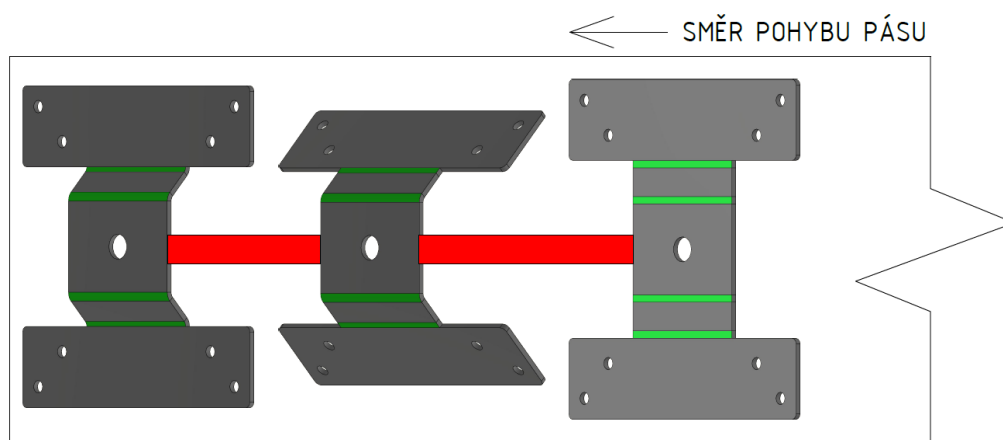


Obr. 50 Rozložení při variantě A.



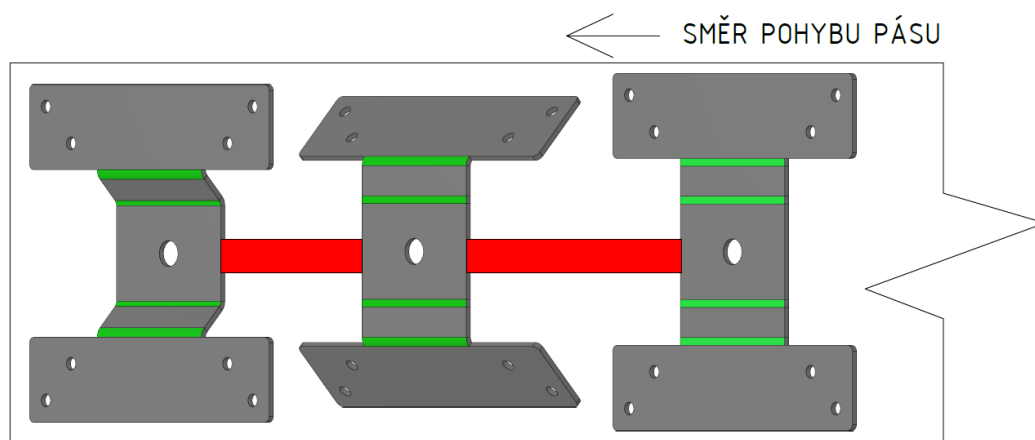
Bohužel takto zvolené uspořádání neumožňuje výrobu ohybu na dané součásti. Brání tomu materiál zajišťující posuv součásti v nástroji (červeně vybarvený obdélník). Z tohoto důvodu je podélné uspořádání zavrženo.

- Varianta B – součást je na páse umístěna příčně. Z technologického hlediska je toto uspořádání méně vhodné, neboť jsou osy ohybu rovnoběžné se směrem průběhu vláken. Z tohoto důvodu je nutné zvětšit minimální poloměr ohybu. Z obrázku 51 je patrné, že takto zvolené uspořádání již dovoluje výrobu ve sdruženém postupovém nástroji díky vhodně umístěnému spojovacímu můstku (označen červenou barvou). Při prvním ohybu je realizován ohyb šikminy, zhotovený sjezdem ohybníku. Realizace druhého ohybu je ovšem problematická. Jelikož je součást spojena můstkem, musí před samotným ohybem dojít k jeho odstřížení, jinak by bylo nutné zajistit pohyb celého pásu plechu. Další problematickou částí je ohyb pacek. Jelikož by šikmá část zavazela při pohybu, bylo by nutné použít odpružené ohybnice. Z těchto důvodů není tato metoda zvolena.



Obr. 51 Rozložení při variantě B.

- Varianta C – dílec je opět orientován příčně, tedy technologicky nevýhodně (obr. 52). Posuv součásti v nástroji je umožněn díky spojovacímu můstku mezi vznikajícími dílci (červený obdélník). Oproti variantě B dochází v rámci prvního ohybu pouze k ohnutí nosných pacek, a to sjezdem ohybníku při zdvihu nástroje. Druhý ohyb je rovněž realizován směrem shora, přičemž mu předchází odstříhnutí můstku. I zde je nutné použití odpružené ohybnice.



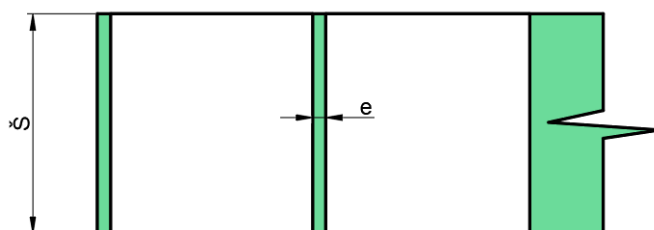
Obr. 52 Rozložení při variantě C.

Na základě úvahy byla jako nejlepší výrobní možnost zvolena varianta C, nabízející vyhotovení součásti bez zvláštních požadavků na nástroj nebo strojní zařízení. Této výrobní variantě se bude věnovat zbytek práce.

### 3.3 Rozvržení součásti

Na základě zvolené výrobní varianty C je potřeba stanovit vhodné rozměry polotovaru. K výrobě je jistě možné využít tabulí plechu stříhaných na podélné či příčné pásy. Vzhledem k tomu, že již v úvodu byl pro výrobu zadané součásti navržen postupový sdružený nástroj, který při výrobě bude zastávat více technologií tváření, a navíc v průběhu návrhu možných variant výroby vyplynula nutnost konstrukčního řešení nástroje s odpružením, bylo přistoupeno k automatizované výrobě s využitím automatického podavače pásu plechu do nástroje. V tomto případě se jako polotovar používá především pásu plechu navinutého do svitku. Odpadá tak nutnost dělení tabulí a manipulace s jednotlivými pásy.

Jako polotovar je tedy zvolen svitek. Šířka plechu potřebná pro zajištění výroby je zvolena stejná, jako je šířka součásti, a to z důvodu úspory materiálu. Velikost můstku je na obr. 53 znázorněna jako  $e$ , a určuje společně s délkou součásti velikost kroku  $K$ . Doporučené velikosti okrajů a můstků jsou popsány v Tab. 9. [62]



Obr. 53 Stanovení šířky odpadu [62].

Tab. 9 Stanovení velikosti můstku a šířky okraje [62].

| Tloušťka<br>materiálu<br>[mm] | Šířka pásu Š [mm] |     |       |     |        |     |         |     |         |     |         |   |
|-------------------------------|-------------------|-----|-------|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|---|
|                               | do 15             |     | 15-50 |     | 50-100 |     | 100-200 |     | 200-300 |     | nad 300 |   |
|                               | Rozměry e, f [mm] |     |       |     |        |     |         |     |         |     |         |   |
|                               | e                 | f   | e     | f   | e      | f   | e       | f   | e       | f   | e       | f |
| 1,8                           | 1,8               | 2,2 | 2,2   | 2,8 | 2,5    | 3,1 | 4       | 4,3 | 4,7     | 5,6 | 5,8     | 7 |
| 2                             | 2                 | 2,5 | 2,5   | 3,1 | 3      | 3,7 | 4,2     | 5   | 5       | 6   | 6       | 7 |

Na základě délky rozvinu (121,6 mm) a tloušťky plechu 2 mm je z Tab. 9 zvolena velikost můstku  $e = 4,2$  mm. Pro výpočet šířky pásu plechu je použito následujícího vzorce:

$$\check{S} = L = 121,6 \text{ mm}$$

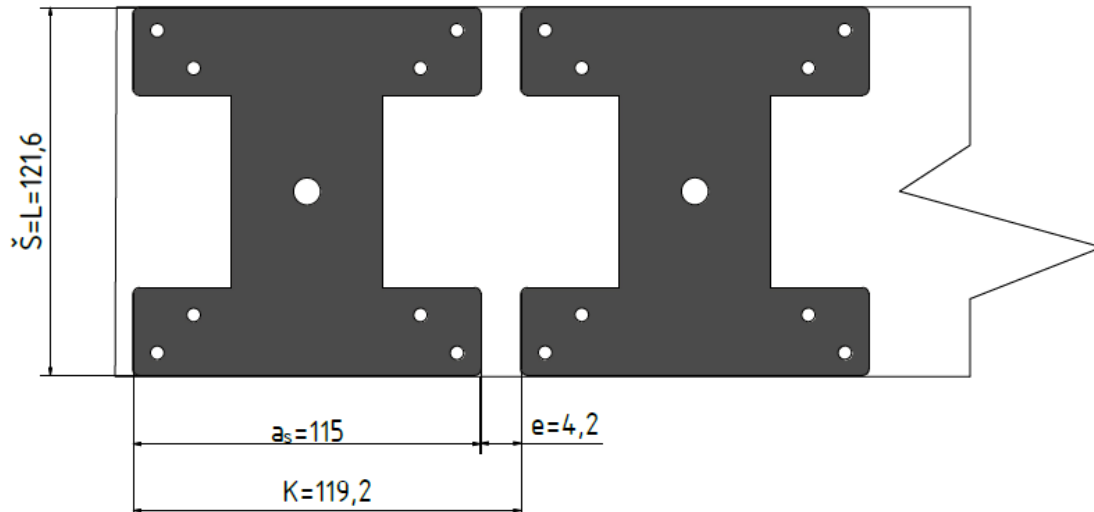
Výpočet délky kroku:

$$K = a_s + e$$

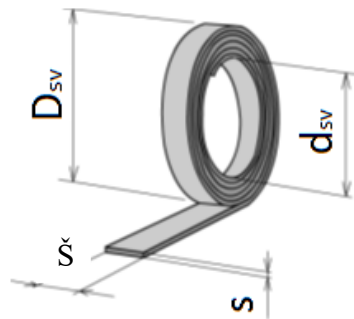
$$= 115 + 4,2 = 119,2 \text{ mm} \quad (3.3)$$

kde:  $a_s$  - šířka součásti [mm], z geometrie součásti  $a_s = 115$  mm.

Součást je poté uspořádána na páse tak, jak je zobrazeno na obr. 54. Pro výpočet využití materiálu bude uvažován plech ve formě svitku schématicky znázorněný na obr. 55. Ten je dodán na míru v požadované šířce  $\check{S} = 121,6 \pm 0,1$  mm, tloušťce 2 mm a jeho vnitřní průměr  $d_{sv}$  je 600 mm. Vnější průměr  $D_{sv}$  může dosahovat různých hodnot dle požadavků výroby, a to až do hodnot 2000 mm. [65] Pro vzorový výpočet je zvolena hodnota  $D_{sv} = 1400$  mm. Pro výpočty je nezbytná hodnota hustoty použitého materiálu. Jelikož se jedná o ocel, hustota je  $\rho_{ocel} = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3}$ . [63]



Obr. 54 Uspořádání součástí na páse.



Obr. 55 Schéma svitku [63].

Výpočet hmotnosti svitku  $m_{sv}$  [63]:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho_{ocel} \quad (3.4)$$

$$= \frac{\pi \cdot (1400^2 - 600^2)}{4} \cdot 121,6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1199,54 \text{ kg}$$

Výpočet délky svitku  $L_{sv}$  [63]:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{\check{S} \cdot s \cdot \rho_{ocel}} \quad (3.5)$$

$$= \frac{1199,54}{121,6 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 628318,53 \text{ mm}$$

Výpočet plochy svitku  $S_{sv}$  [63]:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot \check{S} \quad (3.6)$$

$$= 628318,53 \cdot 121,6 = 76403553,34 \text{ mm}^2$$

Plocha rozvinutého výstřižku bez konstrukčních otvorů vzhledem k softwarovým možnostem byla změřena pomocí CAD softwaru Autodesk Inventor 2022:

$$S_v = 9844,98 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

Výpočet počtu výstřižků z jednoho svitku  $n_{vsv}$  [63]:

$$n_{vsv} = \frac{L_{sv} - 100}{K} \quad (3.8)$$

$$= \frac{628318,5 - 100}{119,2} = 5270,29 \text{ ks}$$

Kvůli správnému zavedení svitku je od celkové délky svitku odečtena hodnota 100 mm. Na základě výpočtu je voleno  $n_{vsv} = 5270$  ks.

Výpočet počtu svitků pro zadanou sérii  $n_{sv}$  [63]:

$$n_{sv} = \frac{N}{n_{vsv}} \quad (3.9)$$

$$= \frac{150000}{5270} = 28,46 \rightarrow 29 \text{ ks}$$

Výpočet využití svitku  $\eta_{sv}$  [63]:

$$\eta_{sv} = \frac{n_{vsv} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 \quad (3.10)$$

$$= \frac{5270 \cdot 9844,98}{76403553,34} \cdot 100 = 67,91 \%$$

Výpočet využití všech svitků  $\eta_{csv}$  [63]:

$$\eta_{csv} = \frac{N \cdot S_v}{S_{sv} \cdot n_{sv}} \cdot 100 \quad (3.11)$$

$$= \frac{150000 \cdot 9844,98}{76403553,34 \cdot 29} \cdot 100 = 66,65 \%$$

Stejné výpočty byly provedeny pro další varianty maximálního vnějšího průměru svitku. Jejich porovnání je uvedeno v Tab. 10.

Tab. 10 Porovnání využitelnosti svitků.

|                         |              |                    | varianta 1  | varianta 2  | varianta 3   |
|-------------------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|
| Vnější průměr           | $D_{sv}$     | [mm]               | 1200        | 1400        | 1600         |
| Vnitřní průměr          | $d_{sv}$     | [mm]               | 600         | 600         | 600          |
| Plocha výstřižku        | $S_v$        | [mm <sup>2</sup> ] | 9844,979    | 9844,979    | 9844,979     |
| Hmotnost svitku         | $m_{sv}$     | [kg]               | 809,69      | 1199,54     | 1649,36      |
| Délka svitku            | $L_{sv}$     | [mm]               | 424115,01   | 628318,53   | 863937,98    |
| Plocha svitku           | $S_{sv}$     | [mm <sup>2</sup> ] | 51572385,00 | 76403533,34 | 105054858,34 |
| Počet ks ze svitku      | $n_{vsv}$    | [ks]               | 3557,17     | 5270,29     | 7246,96      |
| Počet svitků pro výrobu | $n_{sv}$     | [ks]               | 43          | 29          | 21           |
| Využití svitku          | $\eta_{sv}$  | [%]                | 67,90       | 67,91       | 67,90        |
| Celkové využití         | $\eta_{csv}$ | [%]                | 66,59       | 66,65       | 66,94        |

Z dosažených výsledků je patrné, že nejlepší využitelnosti materiálu je dosaženo při variantě 3, která je v Tab.10 znázorněna zeleně. Svitok má vnější průměr  $D_{sv} = 1600$  mm a celková

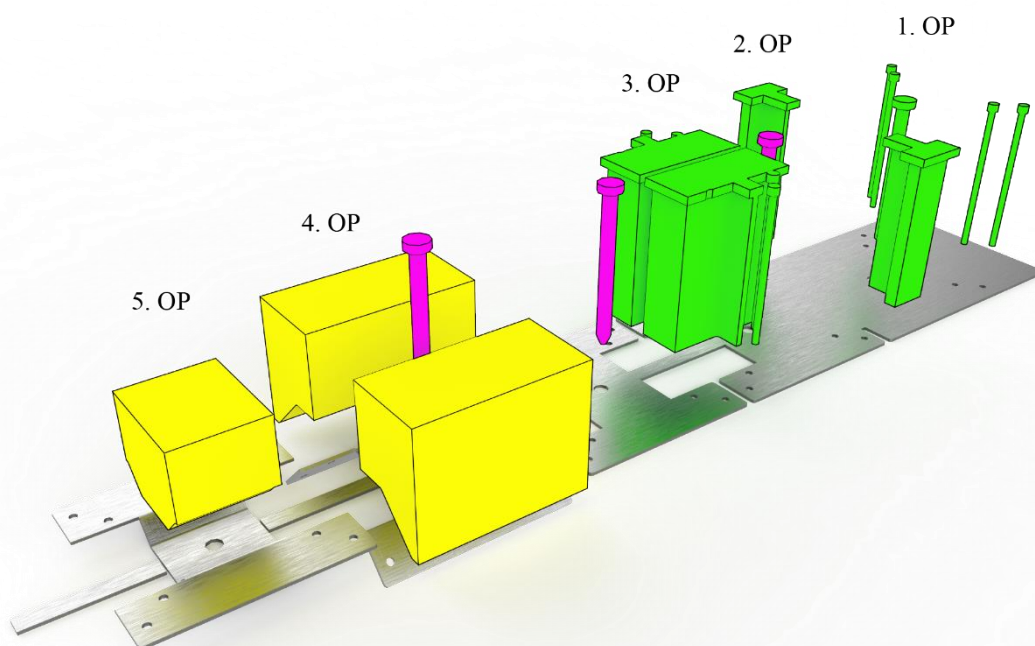
využitelnost dosahuje 66,94 %. Rozdíly mezi ostatními variantami jsou poměrně malé, pohybují se v rozmezí půl procenta. Nejmenšího využití je dosaženo při variantě 1,  $D_{sv} = 1200$  mm a to 66,59 %.

Pro výrobu je tedy zvolen svitek o vnějším průměru  $D_{sv} = 1600$  mm, tloušťce 2 mm a šířce 121,6 mm. Celá výrobní série bude zhotovena z 21 svitků s využitím materiálu přesahující 66 %. Do nástroje bude zaváděn automaticky za pomoci podávacího zařízení.

### 3.4 Výrobní postup

Výrobu součásti lze rozdělit na dvě etapy. V první dochází k vystřížení vnějšího tvaru součásti společně se všemi otvory. Ze stříhu je nutné vyloučit oblast můstku zajišťujícího pohyb součásti. Kvůli lepšímu rozdělení působících sil jsou střížné operace vůči sobě prováděny diagonálně. Následně jsou prováděny ohybové operace. Ty je nutné seřadit tak, aby byla zaručena vyrobitelnost součásti a nedošlo k poškození již zhotovených ohybů a otvorů. Před samotným započítím posledního ohybu je nutné odstříhnout můstek.

Postup výroby byl navržen na 5 operací. Jednotlivé výrobní kroky jsou vyobrazeny na obr. 56, přičemž jednotlivé operace jsou znázorněny barevně. Střížníky mají zelenou barvu, ohybníky jsou znázorněny žlutě a hledáčky v nákrese figurují pod barvou fialovou.



Obr. 56 Schéma postupu výroby.

- **První krok** – dochází k vystřížení středního otvoru  $\varnothing 9$  mm, který posléze slouží ke středění. Zároveň dochází k vystřížení dvou otvorů  $\varnothing 4,5$  mm, sloužících k uchycení součásti k monitoru, na pravé straně součásti.
- **Druhý krok** – nastává částečné prostřížení prostoru mezi jednotlivými díly doplněné o zaoblení vnějších hran součásti.
- **Třetí krok** – součást je středěna za pomoci hledáčku, je prostřížena čtvercový otvor mezi součástmi, přičemž je zároveň dodělán prostřih mezi jednotlivými dílci. Dochází k prostřížení zbývajících otvorů  $\varnothing 4,5$  mm.
- **Čtvrtý krok** – vystředění součásti za pomoci hledáčku, ohyb nosných pacek do požadovaného úhlu směrem dolů.

- **Pátý krok** – vystředění součásti za pomoci výstupku na ohybníku, odstřížení spojovací páteře ohybníkem o střižnou hranu, a následné vytvoření U ohybu směrem nahoru, a tím zhotovení kompletního tvaru součásti. Pro tento krok je nutný odpružený nástroj.

### 3.5 Celková síla a práce

Pro stanovení celkového silového zatížení nástroje je vhodné sečíst síly potřebné pro jednotlivé operace. U výpočtu práce je postup obdobný. Všechny výpočty jsou prováděny pro ocel DC01, jejíž parametry jsou uvedeny v kapitole 1, Tab. 1.

- Střižné síly a práce

Výpočet střižné síly, krok 1 a 3 – děrování otvoru Ø4,5 mm, dle (2.2):

$$F_{s11} = n \cdot \tau_s \cdot l \cdot s = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_{4,5}^2}{4} \cdot s =$$

$$= 1,3 \cdot 0,8 \cdot 400 \cdot \frac{\pi \cdot 4,5^2}{4} \cdot 2 = 13232,4 \text{ N}$$

kde:  $n$  - volen,  $n = 1,3$ ,  
 $R_m$  - voleno,  $R_m = 400 \text{ MPa}$ .

Výpočet střižné síly, krok 1 – děrování otvoru Ø9 mm:

$$F_{s12} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot d_{12}^2}{4} \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 400 \cdot \frac{\pi \cdot 9^2}{4} \cdot 2 = 52929,6 \text{ N}$$

Výpočet střižné síly, krok 2 – vystřihování:

$$F_{s21} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_2 \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 400 \cdot 46,68 \cdot 2 = 38837,76 \text{ N}$$

kde:  $l_2$  - odměřeno pomocí programu Inventor 2022,  $l_2 = 46,68 \text{ mm}$ .

Výpočet střižné síly, krok 3 – vystřihování:

$$F_{s31} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_3 \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 400 \cdot 147,08 \cdot 2 = 122370,56 \text{ N}$$

kde:  $l_3$  - odměřeno pomocí programu Inventor 2022,  $l_3 = 147,08 \text{ mm}$ .

Výpočet střižné síly, krok 5 – odstřížení páteře:

$$F_{s51} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_5 \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 400 \cdot 32,57 \cdot 2 = 27098,24 \text{ N}$$

kde:  $l_5$  - odměřeno pomocí programu Inventor 2022,  $l_5 = 32,57 \text{ mm}$ .

Celková střižná síla je stanovena sečtením všech dílčích střižných sil působících v řešených operacích. Vzhledem k faktu, že se většina střižných operací provádí vícekrát, je nutné jejich pronásobení zahrnout do výpočtu:

$$F_{sc} = F_{s12} + \sum F_{sii} = F_{s12} + 8 \cdot F_{s11} + 2 \cdot F_{s21} + 2 \cdot F_{s31} + 2 \cdot F_{s51} \quad (3.12)$$

$$= 52929,6 + 8 \cdot 13232,4 + 2 \cdot 38837,76 + 2 \cdot 122370,56 +$$

$$+ 2 \cdot 27098,24$$

$$= 535401,92 \text{ N}$$

Výpočet protlačovací síly, dle (2.3):

$$F_{pr} = (0,02 \div 0,05) \cdot F_{sc} = 0,04 \cdot 535401,92 = 21416,08 \text{ N}$$

kde: - z rozsahu voleno 0,04.



Výpočet stírací síly, dle (2.4):

$$F_{st} = c_s \cdot F_{sc} = 0,1 \cdot 535401,92 = 53540,19 \text{ N}$$

kde:  $c_s$  - volen dle Tab. 3,  $c_s = 0,1$ .

Střížná práce se principiálně počítá obdobně jako střížná síla – tedy pro každý střížník zvlášť. Celková hodnota se stanoví součtem dílčích prací a je nutné zahrnout pronásobení počtem provedení jednotlivých operací.

Výpočet střížné práce, krok 1 a 3 – děrování otvoru Ø4,5 mm, dle (2.5):

$$A_{s11} = \frac{\lambda \cdot F_{s11} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 13232,4 \cdot 2}{1000} = 14,6 \text{ J}$$

kde:  $\lambda$  - volen dle obrázku 24,  $\lambda = 0,55$ .

Výpočet střížné práce, krok 1 – děrování otvoru Ø9 mm:

$$A_{s12} = \frac{\lambda \cdot F_{s12} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 52929,6 \cdot 2}{1000} = 58,2 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce, krok 2 – vystřihování:

$$A_{s21} = \frac{\lambda \cdot F_{s21} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 38837,76 \cdot 2}{1000} = 42,7 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce, krok 3 – vystřihování:

$$A_{s31} = \frac{\lambda \cdot F_{s31} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 122370,56 \cdot 2}{1000} = 134,6 \text{ J}$$

Výpočet střížné práce, krok 5 – vystřihování:

$$A_{s51} = \frac{\lambda \cdot F_{s51} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 27098,24 \cdot 2}{1000} = 29,8 \text{ J}$$

Celková střížná práce:

$$\begin{aligned} A_{sc} &= A_{s12} + \sum A_{sii} = A_{s12} + 8 \cdot A_{s11} + 2 \cdot A_{s21} + 2 \cdot A_{s31} + \\ &\quad + 2 \cdot A_{s51} \\ &= 58,2 + 8 \cdot 14,6 + 2 \cdot 42,7 + 2 \cdot 134,6 + 2 \cdot 29,8 = 589,2 \text{ J} \end{aligned} \quad (3.13)$$

#### ▪ Ohybové síly a práce

Výpočet ohybové síly ve 4. kroku – ohyb nosných pacek do V (obr. 57), dle (2.14). Jedná se o ohyb obou pacek zároveň, proto je nutné tento výpočet násobit 2:

$$\begin{aligned} F_{ov4} &= 2 \cdot \frac{b_{ov} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right) = 2 \cdot \frac{50 \cdot 2^2 \cdot 230}{2 \cdot 2,5} \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{45}{2} \right) \\ &= 7621,5 \text{ N} \end{aligned}$$

kde:  $b_{ov}$  - šířka ohybu, určena z geometrie součástí,  $b_o = 50 \text{ mm}$ .

Výpočet kalibrační síly pro krok 4, dle (2.17):

$$F_{kv4} = (1,5 \div 2) \cdot F_{ov4} = 1,5 \cdot 7621,5 = 11432,3 \text{ N}$$

kde: - z rozsahu voleno 1,5.

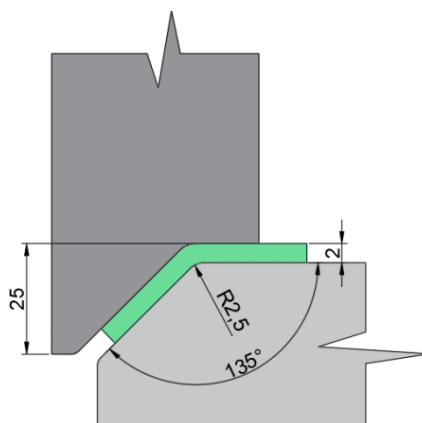
Výpočet přidržovací síly pro krok 4, dle (2.18):

$$F_{pV4} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{oV4} = 0,25 \cdot 7621,5 = 1905,4 \text{ N}$$

kde: - z rozsahu voleno 0,25.

Výpočet celkové síly pro 4. krok, dle (2.16):

$$\begin{aligned} F_{oc4} &= F_{oV4} + F_{kV4} + F_{pV4} = 7621,5 + 11432,3 + 1905,4 \\ &= 20959,2 \text{ N} \end{aligned}$$



Obr. 57 Ohyb do V.

Výpočet ohybové síly v kroku 5 – ohyb šikmého odsazení, zde je uvažován ohyb do tvaru U (obr. 58), dle (2.15):

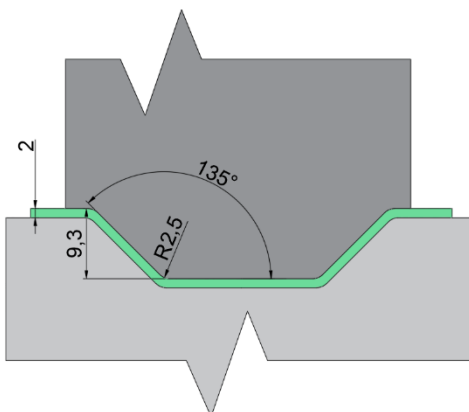
$$\begin{aligned} F_{oU5} &= (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b_{ou} \cdot s^2 \cdot R_e}{R_o + s} = (1 + 7 \cdot 0,2) \cdot \frac{50 \cdot 2^2 \cdot 230}{2,5 + 2} \\ &= 24533,3 \text{ N} \end{aligned}$$

kde:  $f$  - součinitel tření pro kombinaci ocel-ocel,  $f=0,2$ ,  
 $b_{ou}$  - šířka ohybu, určena z geometrie součástí,  $b_{ou} = 50 \text{ mm}$ .

Výpočet kalibrační síly pro krok 5, dle (2.17):

$$F_{kU5} = (1,5 \div 2) \cdot F_{oU5} = 1,5 \cdot 24533,3 = 36800 \text{ N}$$

kde: - z rozsahu voleno 1,5.



Obr. 58 Ohyb do U.

Výpočet přidržovací síly pro krok 5, dle (2.18):

$$F_{pU5} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{oU5} = 0,25 \cdot 24533,3 = 6133,3 \text{ N}$$

kde: - z rozsahu voleno 0,25.

Výpočet celkové síly pro 5. krok, dle (2.16):

$$\begin{aligned} F_{oc5} &= F_{oU5} + F_{kU5} + F_{pU5} = 24533,3 + 36800 + 6133,3 \\ &= 67466,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Celková ohybová síla opět stanoví sečtením sil působících v jednotlivých operacích:

$$\begin{aligned} F_{oc} &= \sum F_{oci} = F_{oc4} + F_{oc5} \\ &= 20959,2 + 67466,6 = 88425,8 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Pro úplnost výpočtů je rovněž nutné určit velikost ohybových prací působících v daných operacích.

Výpočet ohybové práce v kroku 4 – ohyb nosných pacek, dle (2.20):

$$A_{oV} = \frac{F_{oc4} \cdot h_v \cdot \psi}{1000} = \frac{20959,2 \cdot 25 \cdot 0,5}{1000} = 262 \text{ J}$$

kde:  $h_u$  - výška pracovního zdvihu,  $h_u = 25 \text{ mm}$ ,  
 $\psi$  - součinitel plnosti, volen  $\psi = 0,5$ .

Výpočet ohybové práce v kroku 5 – ohyb šikmého odsazení, dle (2.21):

$$A_{oU} = \frac{F_{oc5} \cdot h_u \cdot \psi}{1000} = \frac{67466,6 \cdot 9,53 \cdot 0,5}{1000} = 321,5 \text{ J}$$

kde:  $h_u$  - výška pracovního zdvihu,  $h_u = 9,53$ .

Výpočet celkové ohybové práce:

$$\begin{aligned} A_{oc} &= \sum A_{oi} = A_{oV} + A_{oU} \\ &= 262 + 321,5 = 583,5 \text{ J} \end{aligned} \quad (3.15)$$

#### ▪ Síly pružin

Celková silová náročnost je ovlivněna i působením pružných prvků. Ty se v nástroji nachází hned na několika místech. V prvním případě je využito pružin k vyvození přidržovací síly ve čtvrtém kroku. K tomuto účelu budou využity dvě normalizované pružiny od firmy Fibro, přičemž jejich specifikace je v příloze 1. [66] Další odpruženou částí je dno ohybníku do tvaru U, které zároveň plní funkci vyhazovače. Síla bude vyvozena čtyřmi pružinami, jejichž specifikace je v příloze 2.

Výpočet sil pružin pro stlačení přidržovače:

$$\begin{aligned} F_{ppr} &= 2 \cdot (L_0 - L_n) \cdot k \\ &= 2 \cdot (64 - 37,5) \cdot 10,7 = 567,1 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.16)$$

kde:  $L_0$  - délka pružiny bez zatížení [mm], viz příloha 1,  
 $L_n$  - délka pružiny při zatížení [mm], viz konstrukce nástroje,  
 $k$  - tuhost pružiny [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ], z přílohy 1 volena  $k = 10,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

Výpočet sil pružin pro stlačení vyhazovače:

$$F_{pvy} = 4 \cdot (L_0 - L_n) \cdot k = 4 \cdot (44 - 29,5) \cdot 6 = 348 \text{ N}$$

kde:  $L_0$  - délka pružiny bez zatížení [mm], viz příloha 2,  
 $L_n$  - délka pružiny při zatížení [mm], viz konstrukce nástroje,  
 $k$  - tuhost pružiny [ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ ], z přílohy 2 volena  $k = 6 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ .

Celková síla pro stlačení všech pružin se posléze spočítá dle vzorce:

$$\begin{aligned} F_{\text{pruž}} &= F_{\text{ppr}} + F_{\text{pvy}} \\ &= 567,1 + 348 = 915,1 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Práce nutná ke stlačení pružin se stanoví dle vzorce:

$$\begin{aligned} A_{\text{pruž}} &= \frac{h_{\text{pruž}} \cdot F_{\text{pruž}} \cdot \psi}{1000} \\ &= \frac{\left( (64 - 37,5) \cdot 567,1 \right) + \left( (44 - 29,5) \cdot 348 \right) \cdot 0,5}{1000} \\ &= 10 \text{ J} \end{aligned} \quad (3.18)$$

kde:  $h_{\text{pruž}}$  - výška zdvihu pružin [mm],  $h_{\text{pruž}} = L_0 - L_n$

#### ■ Celková tvářecí síla a práce

Pro získání celkové tvářecí síly a práce je nutné veškeré dílčí výsledky sečíst. Na základě těchto hodnot bude volen vhodný tvářecí stroj. Výpočet uvažuje působení sil ve stejném okamžiku, což ale díky rozdílným délkám nástrojů a jinému časovému působení jednotlivých operací není pravda. I tak lze tento vztah použít, neboť celková tvářecí síla bude mít nižší hodnotu. Díky tomu bude při výběru zajištěna i dostatečná výkonová rezerva.

Výpočet celkové tvářecí síly  $F_{\text{tv}}$ :

$$\begin{aligned} F_{\text{tv}} &= F_{\text{sc}} + F_{\text{pr}} + F_{\text{st}} + F_{\text{oc}} + F_{\text{pruž}} \\ &= 535401,92 + 21416,08 + 53540,19 + 88425,8 + \\ &\quad + 915,1 \\ &= 699699,09 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.19)$$

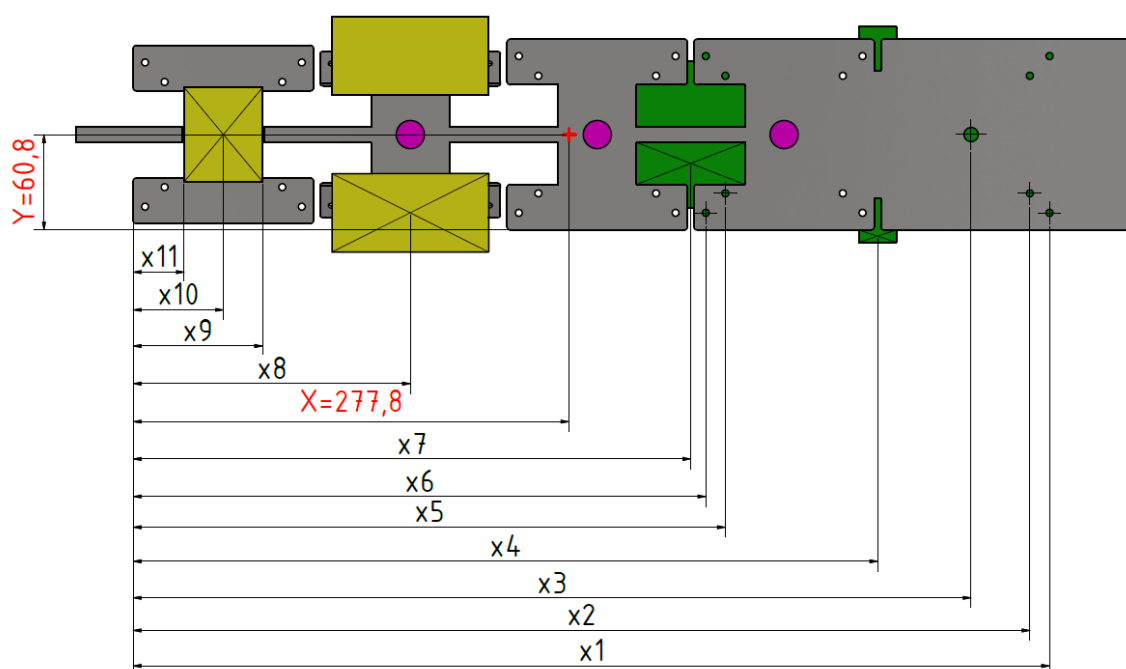
Výpočet celkové tvářecí práce  $A_{\text{tv}}$ :

$$\begin{aligned} A_{\text{tv}} &= A_{\text{sc}} + A_{\text{oc}} + A_{\text{pruž}} = \\ &= 589,2 + 583,5 + 10 = 1182,7 \text{ J} \end{aligned} \quad (3.20)$$

### 3.6 Těžiště sil

Pro konstrukční návrh nástroje je vhodné určit pozici těžiště. Do tohoto místa bývá umístěna upínací stopka, čímž je zaručeno lepší vedení, neboť nedochází ke klopným momentům v nástroji. Přestože se u rozměrově velkých nástrojů stopky k upnutí nevyužívá, poloha těžiště je přesto počítána. Nástroj je poté umístěn do stroje tak, aby osa lisu procházela těžištěm. Těžiště je zjištěno za pomoci výpočtu a následně ověřeno za pomoci CAD systému. Jakožto výchozí bod pro tyto výpočty byl zvolen levý dolní roh pásu plechu. Vzhledem k symetričnosti výroby není nutné počítat těžiště ve směru šířky plechu, neboť se nachází přímo ve středu na ose pásu. Hodnoty využitě při výpočtu jsou zobrazeny na obr. 61. [42; 48] Pro určení těžiště v podélném směru je využito vzorce [48]:

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{2 \cdot F_{s11} \cdot x_1 + 2 \cdot F_{s11} \cdot x_2 + F_{s12} \cdot x_3 + 2 \cdot F_{s21} \cdot x_4 +}{F_{sc} + F_{oc}} \quad (3.21) \\
 &+ \frac{2 \cdot F_{s11} \cdot x_5 + 2 \cdot F_{s11} \cdot x_6 + F_{s31} \cdot x_7 + 2 \cdot F_{oc4} \cdot x_8 +}{F_{sc} + F_{oc}} \\
 &+ \frac{F_{s51} \cdot x_9 + F_{oc5} \cdot x_{10} + F_{s51} \cdot x_{11}}{F_{sc} + F_{oc}} \\
 &= \frac{2 \cdot 13232,4 \cdot 584,3 + 2 \cdot 13232,4 \cdot 571,8 + 52929,6 \cdot 534,3 + 2 \cdot 38837,76 \cdot 474,7 +}{535401,92 + 88425,8} \\
 &+ \frac{2 \cdot 13232,4 \cdot 377,6 + 2 \cdot 13232,4 \cdot 365,1 + 122370,56 \cdot 355,5 + 2 \cdot 20959,2 \cdot 176,71 +}{535401,92 + 88425,8} \\
 &+ \frac{27098,24 \cdot 82,5 + 67466,6 \cdot 57,5 + 27098,24 \cdot 32,5}{535401,92 + 88425,8} = 277,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Obr. 59 Určení polohy těžiště.

Z výpočtu a z přiloženého obrázku, kde je poloha těžiště zaznamenána červeně plyne, že se těžiště v podélném směru nachází 277,8 mm od okraje. Ve směru příčném se těžiště nachází v ose plechu, to jest 60,8 mm od okraje.

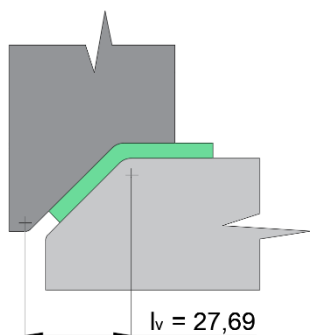
### 3.7 Odpružení

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.2.1, tak je odpružení nedílnou součástí výrobního procesu a nelze jej úplně eliminovat. Výpočet je nutný provést pro každou operaci.

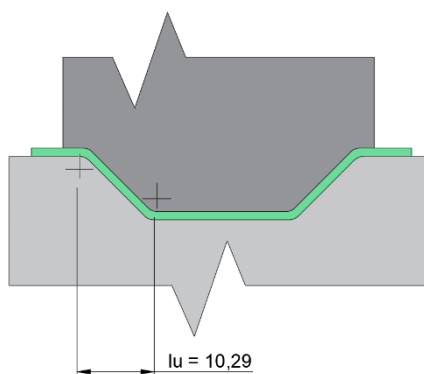
Výpočet odpružení při ohybu nosných pacek do tvaru V (obr. 59), dle vzorce (2.6):

$$\begin{aligned}
 \beta &= \arctg \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left( 0,375 \cdot \frac{27,69}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{230}{2,1 \cdot 10^5} \right) = \\
 &= 0,56^\circ
 \end{aligned}$$

kde:  $k_o$  - součinitel určen z tabulky 4,  $k_o = 0,58$ ,  
 $l_v$  - rameno ohybu,  $l_v = 27,69$  mm.



Obr. 60 Velikost ramene ohybu do V.



Obr. 61 Velikost ramene ohybu do U.

Výpočet odpružení při ohybu šikmého odsazení do tvaru U (obr. 60), dle (2.7):

$$\beta = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{10,29}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{230}{2,1 \cdot 10^5} \right) =$$

$$= 0,42^\circ$$

kde:  $l_u$  - rameno ohybu,  $l_u = 10,29$  mm.

Při porovnání výsledků s dovolenými tolerancemi z normy ČSN ISO 2768-1 třídy přesnosti m je patrné, že odpružení vzniklé při ohybu nosných pacek dosahuje mírně větší hodnoty, než je povoleno normou. Jelikož je na tyto packy vyvozena síla i v páté operaci a dojde tak k jejich zkaližování, není zapotřebí použít konstrukční úpravy nástrojů. [64]

### 3.8 Kontrola funkčnosti

Během provozu nástroje dochází k silovému namáhání funkčních komponent jako jsou střižníky a střižnice, ohybníky a ohybnice. Z tohoto důvodu se při jejich návrhu provádí kontroly funkčnosti. Díky tomu lze nástroj vhodně navrhnout a rizikové komponenty dostatečně dimenzovat. K tomu slouží empirické vztahy.

Kontrola tloušťky střižnice je provedena za účelem zjištění její minimální tloušťky, aby nedošlo během provozu k poškození. Výpočet je proveden na základě síly působící na střižnici a empiricky je tloušťka střižnice zjištěna následovně [64]:

$$H = \sqrt[3]{F_{sc}} \quad (3.22)$$

$$= \sqrt[3]{535401,92} = 81,2 \text{ mm}$$

Dle výpočtu je minimální požadovaná tloušťka střižnice stanovena na 81,2 mm. Jelikož předpokládáme, že střižnice leží na základové desce, je možné její výšku zredukovat na 50 mm.

Kontrola dosedací části střižníku na otlačení je provedena na střižníku s nejmenším rozměrem. Na základě toho byl vybrán střižník pro děrování otvoru Ø4,5 mm, působící v první a třetí operaci.

Výpočet střižníku na otlačení – Ø4,5 mm, dle (2.22):

$$\sigma = \frac{F_{s11}}{S_{di}} = \frac{13232,4}{38,49} = 343,79 \text{ MPa},$$

kde:  $S_{di}$  - dosedací plocha střižníku, odměřena CAD  $S_{di} = 38,49 \text{ mm}^2$ .

Při porovnání získaného napětí s dovoleným napětím ocelové desky, které dosahuje hodnoty  $\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$  je patrné, že napětí na tomto střížníku dosahuje větší hodnoty, a proto je nutné použít kalené opěrné desky.

Kromě kontroly na otlacení je provedena i kontrola na vzpěr. Jelikož ke ztrátě vzpěrné stability dochází zpravidla u malých střížníků, tak je kontrole opět podroben střížník pro děrování otvoru  $\varnothing 4,5 \text{ mm}$ . Pro výpočet je nezbytné zjistit kvadratický moment průřezu **I**, který je pro plný kruhový průřez dán následovně [48]:

$$I = \frac{\pi \cdot d_{stříž}^4}{64} \quad (3.23)$$

$$= \frac{\pi \cdot 4,5^4}{64} = 20,12 \text{ mm}^4,$$

kde:  $d_{stříž}$  - průměr střížníku [mm].

Výpočet kritické délky střížníku, dle (2.23):

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_{s11}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 20,12}{1,5 \cdot 13232,4}} = 91,7 \text{ mm},$$

kde:  $n_b$  - bezpečnostní koeficient, volen  $n_b = 1,5$ .

Výpočtem byla stanovena kritická délka tohoto vedeného střížníku na 91,7 mm. Jelikož v nástroji nedochází k jejímu překročení lze konstatovat, že nástroj bude v pořádku fungovat.

### 3.9 Stanovení funkčních rozměrů

Pro účely konstrukce je nutné provést výpočty spojené s funkčními rozměry použitých nástrojů, v tomto případě střížníků a k nim odpovídajícím otvorům ve střížnicích. Pro netolerované rozměry je opět použito normy ČSN ISO 2768-1, kdy pro potřeby výroby byla zvolena třída přesnosti m. Jejich hodnoty jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11 Mezní úchytky nepředepsaných rozměrů [64].

| Rozsah rozměrů [mm] | Mezní úchytky [mm] |
|---------------------|--------------------|
| 3 až 6              | $\pm 0,1$          |
| 6 až 30             | $\pm 0,2$          |
| 30 až 120           | $\pm 0,3$          |
| 120 až 400          | $\pm 0,5$          |

Nejprve je nutné určit velikost střížné vůle. Ta se dle vztahu (2.1) spočítá následovně:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 400} =$$

$$= 0,46 \text{ mm},$$

kde:  $c$  - součinitel závislý na stupni stříhu, volen  $c = 0,02$ .

Poté je možné stanovit rozměry funkčních částí nástroje. Pro vzorový výpočet je vybráno zhotovení kruhového otvoru  $\varnothing 9$ , a to metodou děrování. Otvor slouží k přichycení součásti k polohovací části. Výpočty jsou provedeny na základě ČSN 22 6015 [22].



Výpočet rozměru střížníku Ø9 při děrování, dle (2.23):

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = \left(A_j + \frac{P}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(9 + \frac{0,310}{2}\right)_{-0,074}$$

$$= 9,155_{-0,074},$$

kde:  $\delta_k$  - výrobní tolerance střížníku, volena dle přílohy 3,  
 $P$  - přípustná míra opotřebení [mm], vyčtena z přílohy 3.

Výpočet rozměru střížnice Ø9 při děrování, dle (2.25):

$$A_e = \left(A_j + \frac{P}{2} + v\right)^{+\delta_e} = \left(9 + \frac{0,310}{2} + 0,46\right)^{+0,054} = 9,615^{+0,120},$$

kde:  $\delta_e$  - výrobní tolerance střížnice, volena dle přílohy 3.

Pro vzorový výpočet vystřihování byl použit obrysový T střížník, respektive jeho délka. Výpočet je proveden dle (2.26):

$$A_k = \left(A_j - \frac{P}{2} - v\right)_{-\delta_k} = \left(28 - \frac{0,310}{2} - 0,46\right)_{-0,074} = 27,385_{-0,074}$$

Výpočet délky otvoru ve střížnici při vystřihování, dle (2.27):

$$A_e = \left(A_j - \frac{P}{2}\right)^{+\delta_e} = \left(28 - \frac{0,310}{2}\right)^{+0,120} = 27,845^{+0,120}$$

Pro dopočet zbývajících rozměrů střížníků a střížnic by se pokračovalo obdobně. Vzhledem k zaručení výrobnosti je výrobní tolerance nástrojů upravena na setiny. Díky tomu bude výroba nástroje jednodušší a levnější, ale zároveň bude dostatečně přesná. Proto je rozměr střížníku pro děrování upraven na  $A_k = 9,16_{-0,07}$  a rozměr střížnice  $A_e = 9,62^{+0,12}$ . Rozměry střížníku pro vystřihování jsou  $A_k = 27,39_{-0,07}$  a rozměr tomu odpovídající střížnice je  $A_e = 27,85^{+0,12}$ .

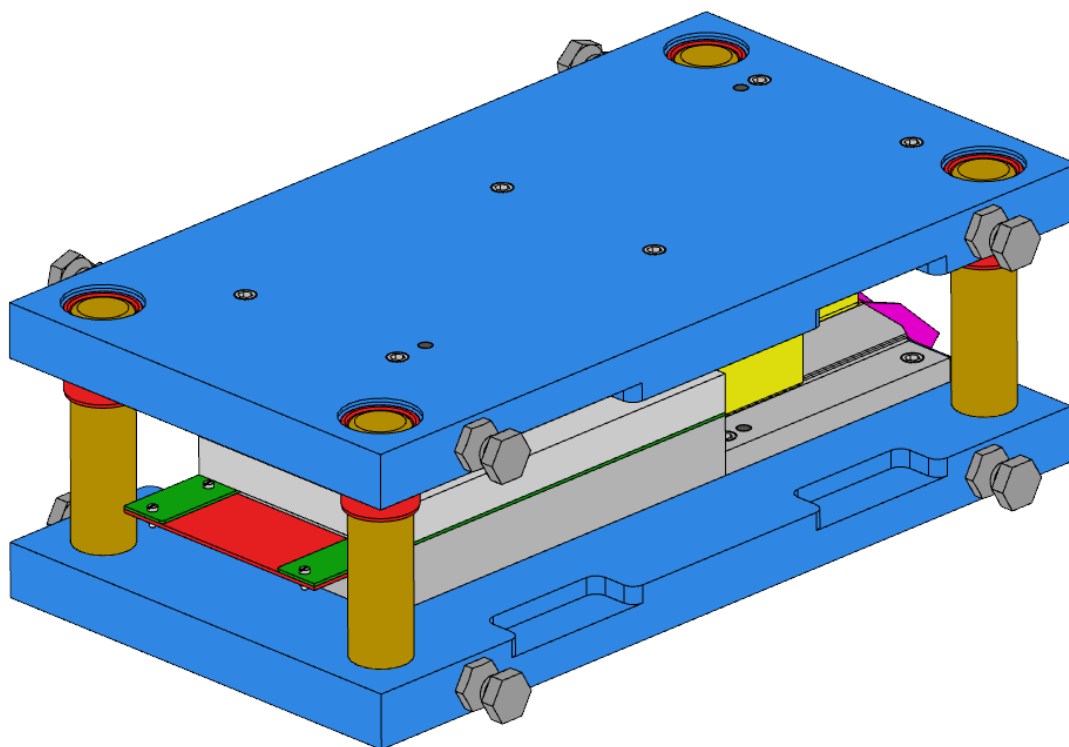
Poslední propočet slouží k určení ohybové vůle. Je proveden pro ohyb nosných pacek dle vztahu (2.19):

$$v_o = s + c_o \cdot s = 2 + 0,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm},$$

kde:  $c_o$  - součinitel, stanoven z Tab. 7,  $c_o = 0,1$ .

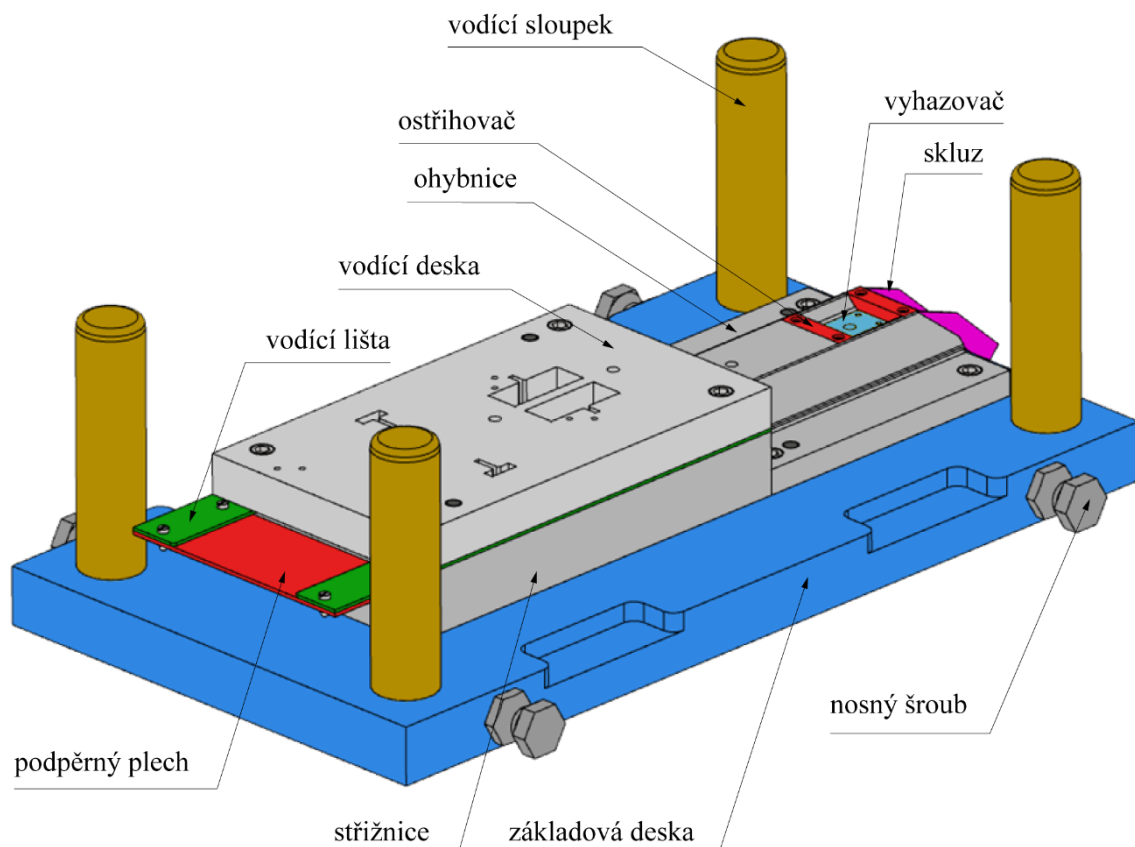
### 3.10 Popis nástroje

Pro účel výroby VESA držáku byl zkonstruován postupový sdružený nástroj (obr. 62) kombinující operace stříhu a ohybu. Jeho konstrukce se odvíjí od tvaru součásti a zvoleného výrobního postupu. Návrh nástroje byl realizován v CAD programu Autodesk Inventor 2022. Z obrázku 62 je patrné, že nástroj je tvořen dvěma hlavními částmi, a to horní a spodní polovinou nástroje. Ty jsou mezi sebou spojeny vodícími sloupky, které v kombinaci s kluzným vedením zajišťují jejich vzájemný pohyb a středění. Pro zajištění snazší manipulace je nástroj opatřen přepravními šrouby.

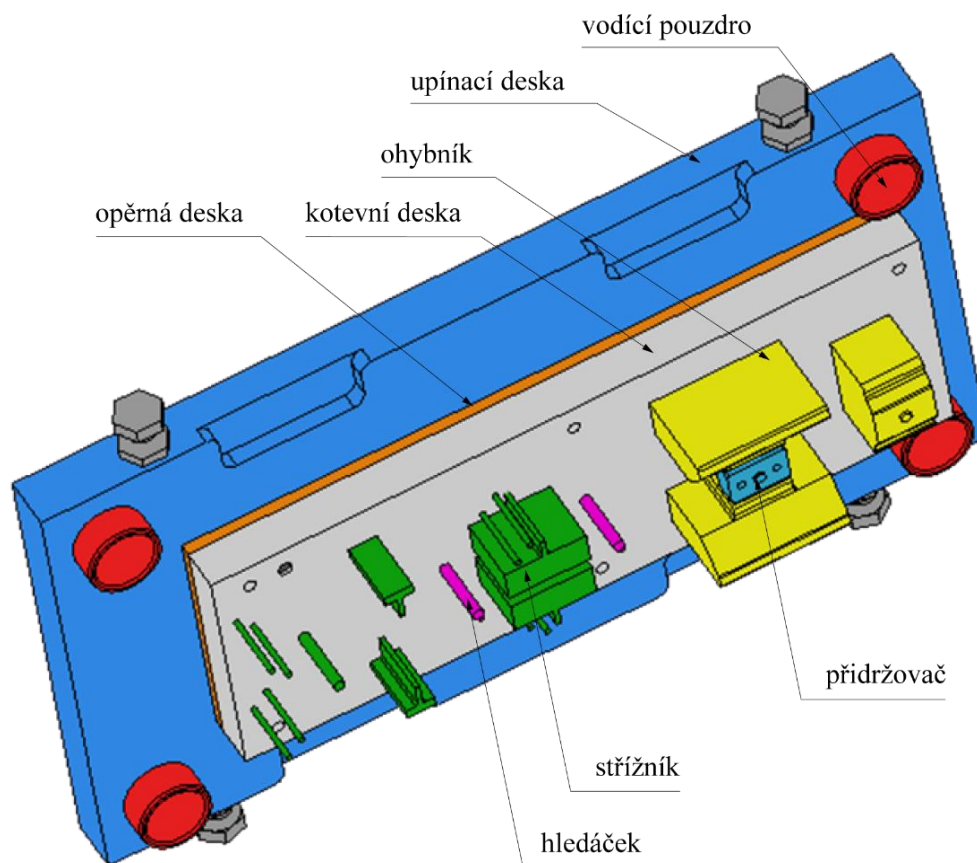


Obr. 62 Navržený postupový sdružený nástroj.

Spodní část nástroje je zobrazena na obr. 63. Největší plochu zde zabírá základová deska. Díky ní je nástroj spojen se stolem lisu, a to za pomoci upínek. S deskou jsou spojeny všechny komponenty nacházející se ve spodní části. Spojení vodících sloupků se základovou deskou je zajištěno jejich zalisováním, střížnice a ohybnice jsou spojeny šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, dle ČSN 02 1143. Přesnost ustavení těchto komponent je podpořena využitím válcových kolíků dle ISO 8734. Jak střížnice, tak ohybnice jsou vyráběny v celku, a to za účelem zjednodušení výroby. Odpad vzniklý při stříhání propadá otvory v základové desce a následně i otvorem ve stole lisu.

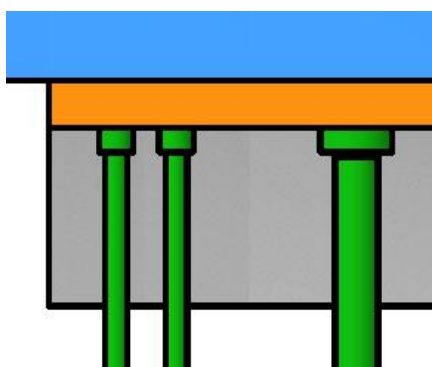


Horní část nástroje (obr. 64) je rovněž složena z několika komponent, jež jsou spojeny s upínací deskou. Obdobně jako základová deska slouží k upnutí celé horní poloviny k beranu lisu, opět s využitím upínek. Vodicí pouzdra, která jsou nalisována do upínací desky, slouží k vedení vodicích sloupků. Nejvýznamnější součástí jsou funkční části nástroje, a to střížníky, ohybníky a hledáčky. Ty jsou za pomoci osazení upevněny v kotevní desce (obr. 65). K omezení vznikajícího otlačení je využito kalené opěrné desky. K upínací desce je rovněž připevněn přidržovač. Toto spojení je realizováno pomocí dvou šroubů. Připevnění jednotlivých desek je opět za pomoci šroubů, přesnost ustavení je zvýšena použitím kolíků.

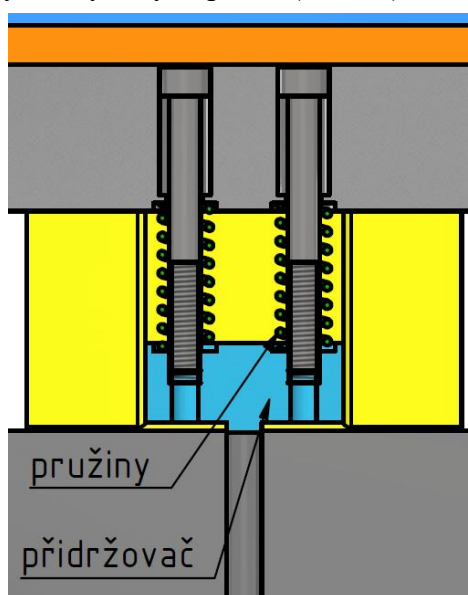


Obr. 64 Horní polovina nástroje.

Přední část nástroje není konstrukčně nikterak výjimečná. V druhé části nástroje muselo dojít kvůli ohybu k přidání několika komponent. Při ohybu do V ve 4. kroku je plech za pomoci přidržovače přidržován na ohybníci. Jeho poloha je rovněž před zahájením ohybu vystředěna pomocí hledáčku umístěného na spodní straně přidržovače. Vedení je zajištěno dvěma šrouby pohybujícími se dle potřeby v kotevní desce, přidržovací sílu vyvozují dvě pružiny. Jejich poloha je určena šroubem a zafrézováním kapsy do stykových prvků (obr. 66).

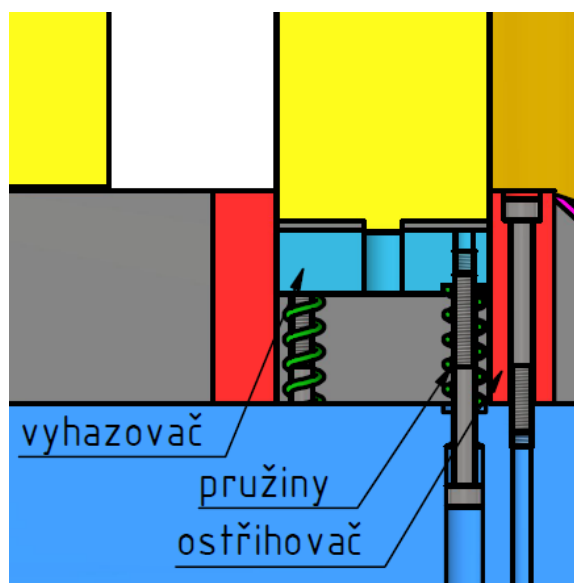


Obr. 65 Upnutí střížníků.



Obr. 66 Funkce přidržovače.

Při ohybu do U v 5. kroku dochází k ostřížení páteře, a to mezi ohybníkem a ostříhovači. Ty jsou do procesu zařazeny kvůli dvěma hlavním důvodům – snazší výrobě ohybnice a jednodušší udržování nabroušené střížné hrany. Během tohoto kroku je realizován ohyb boků součásti směrem nahoru. Vzhledem k tomu, že je pro výrobu využito jednočinného stroje, není možné tento ohyb provést pohybem ohybníku zdola nahoru. Proto v tomto kroku musí být celá součást posunuta pod úroveň střížnice a ohybnice. Boky dílce jsou tak ohnuty pomocí pevné nepohyblivé ohybnice. Ponor součásti je po odstříhnutí páteře umožněna pomocí odpruženého vyhazovače, ke kterému je shora dílec přitlačen ohybníkem. Tento vyhazovač na pružinách pak vyhodí ohnutý a odstřížený dílec nahoru nad úroveň střížnice a ohybnice a dalším posunem pásu, respektive sousedním spojovacím můstkem (páteří) před jeho odstřížení posunuta na skluz. Funkce vyhazovače a ostříhovače je znázorněna na obrázku 67.



Obr. 67 Funkce vyhazovače

Pro zaručení kompatibility nástroje se sevřením lisu je nutné nástroj podložit. K tomu slouží vypodkládací desky umístěné pod deskou základovou. Tím se stane nástroj dostatečně velkým, a zároveň bude zvětšen odpadový prostor nacházející se mezi lisem a nástrojem.

### 3.11 Volba stroje

Jak již bylo v několika předchozích kapitolách zmíněno, spousta výpočtů je prováděna právě za účelem výběru vhodného tvářecího stroje. Jeho parametry je nutno volit takové, aby byl schopen vyvinout minimálně takovou tvářecí sílu a práci, jaké byly spočteny v kapitole 3.5.4. Lis musí rovněž disponovat nejen dostatečně velkou plochou k upnutí nástroje, ale i dostatečným zdvihem.

Jakožto vhodný stroj byl vybrán výstředníkový lis od firmy Šmeral Brno a. s. Tento stroj s označením S 160 (obr. 68) se stojanem ve tvaru C je vhodný pro zpracování plechů v lisovnách, a to při zpracování pásů nebo svitků. Disponuje tvářecí silou o velikosti 1600 kN, a upínací plochou 1200x800 mm, přičemž jeho další parametry jsou uvedeny v Tab. 12. [67]

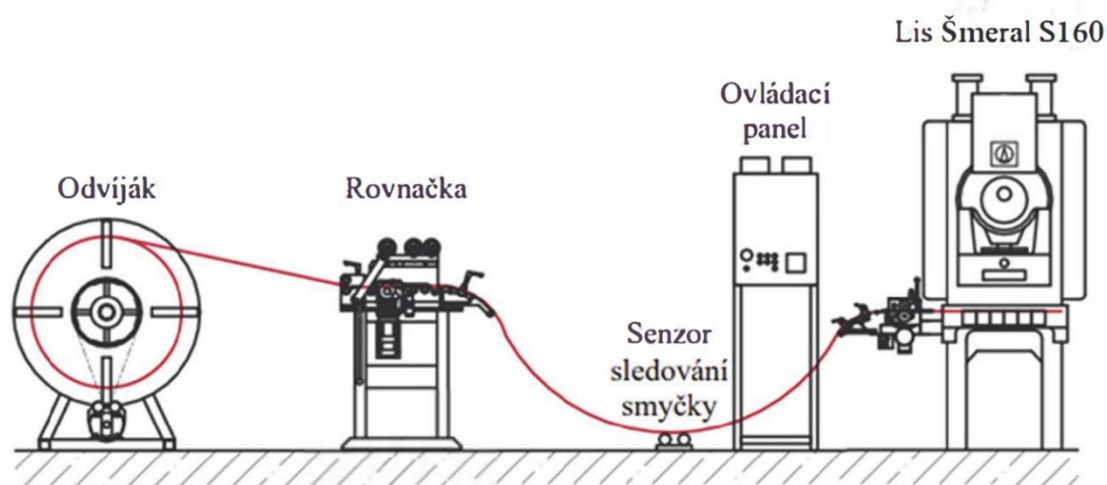
Tab. 12 Parametry stroje S160 [67].

|                       |      |           |                           |                      |                 |
|-----------------------|------|-----------|---------------------------|----------------------|-----------------|
| Tvářecí síla          | [kN] | 1 600     | Zdvih beranu              | [mm]                 | 20-160          |
| Sevření               | [mm] | 500       | Počet zdvihů              | [min <sup>-1</sup> ] | 40/60           |
| Vyložení              | [mm] | 400       | Přestavování beranu       | [mm]                 | 100             |
| Upínací plocha stolu  | [mm] | 1 200x800 | Celkový instalovaný výkon | [kW]                 | 23              |
| Upínací plocha beranu | [mm] | 850x520   | Rozměry stroje v x š x h  | [m]                  | 3,3 x 1,4 x 2,5 |

Jelikož je jako výchozí polotovár použit svitek plechu, je nutné zařadit před samotný nástroj podávací linku. Ta zajistí odvíjení plechu, jeho rovnání a posun o stanovenou velikost výrobního kroku. Jako vhodná se k tomuto účelu jeví automatická linka od firmy Attl a spol. s.r.o. s označením ARPL RAL 250, jejíž technické parametry jsou uvedeny v příloze 4 [68]. Schéma linky včetně použitého lisu je znázorněno na obr. 69.



Obr. 68 Výstředníkový lis S160 [67].



Obr. 69 Schéma linky ARPL RAL 250 [68].

## 4 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem výroby jednoho z typů VESA držáku. Jedná se o součást v přímém styku s monitorem, nacházející se v sestavě držáku monitoru. Jak již název napovídá, součást podporuje uchycovací systém VESA. Jako materiál byla zvolena ocel s označením DC01 o tloušťce 2 mm. Plánovaná produkce součásti je 150 000 ks/rok.

V rámci řešení byla provedena rešerše zabývající se možnostmi výroby dílce. Po zvážení faktorů jako jsou přesnost výroby a velikost vyráběné série byl jako vhodný nástroj vybrán postupový sdružený nástroj kombinující stříh a ohyb. Na tyto technologie tváření byla zpracována teoretická část práce. Po zvážení možných povrchových úprav byla jako vhodná metoda zvolena použití nátěrového systému.

Po kontrole technologičnosti a výběru vhodného uspořádání na páse plechu bylo vybráno uspořádání s označením C, kde je součást situována příčně ke směru pohybu pásu. Tomu odpovídá vypočtená šířka pásu  $121,6 \pm 0,1$  mm. K vyrobění součásti je zapotřebí pěti kroků. Byly provedeny výpočty týkající se využitelnosti materiálu, přičemž jako nejvhodnější se jeví použití svitku o vnitřním průměru 600 mm a vnějším průměru 1600 mm. K zaručení výroby je zapotřebí 21 svitků s využitelností 66,94 %.

Před návrhem výrobního nástroje byly provedeny kontrolní a technologické výpočty. Celková tvářecí síla byla stanovena na 699 699,09 N a tvářecí práce má hodnotu 1182,7 J. Model nástroje byl proveden v programu Autodesk Inventor 2022 a jeho dílčí části jsou obsaženy ve výkresové dokumentaci. S ohledem na rozměry nástroje a vypočtené tvářecí síly a práce bylo možné vybrat vhodný výrobní stroj, a to lis od firmy Šmeral Brno a.s. s označením S160. Do výroby je před nástroj rovněž zařazena podávací a rovnací linka od firmy Attl a spol s.r.o. s označením ARPL RAL 250.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Technologie tváření kovů. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
2. Stainless Steel Sheet Metal Stamping Parts. *PowerWinx* [online]. [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://www.powerwincnc.com/sheet-metal-fabrication-service/stamping-process-service/stainless-steel-sheet-metal-stamping-parts.html>
3. Sheet Metal Fabrication. *Protolabs* [online]. [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/services/sheet-metal-fabrication/>
4. Custom Sheet Metal Fabrication. *Get-it-made* [online]. [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://get-it-made.co.uk/services/sheet-metal/>
5. Universal metal VESA mount. *AliExpress* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32789334961.html?spm=a2g0o.cart.0.0.21bf3c00Qh7fZd&mp=1>
6. VESA norm / standard – What does the standard mean? *Vesa-standard* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.vesa-standard.com/vesa-mis-d.html>
7. ARCTIC Z1 Basic stolní držák pro monitor. *NC computers s.r.o.* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.nc.cz/arctic-z1-basic-stolni-drzak-pro-monitor-13-32-lcd-vesa-do-15-kg-cerny\\_d335136.html](https://www.nc.cz/arctic-z1-basic-stolni-drzak-pro-monitor-13-32-lcd-vesa-do-15-kg-cerny_d335136.html)
8. MAX stolní držák pro dva LCD monitory. *CZC.cz* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/max-stolni-drzak-pro-dva-lcd-monitory-13-27/239465/produkt>
9. AlzaErgo Arm S05B Tube. *Alza.cz* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/alzaergo-ergoarm-s05b-tube-d5626013.htm>
10. Millenium VESA Stand Wall MKII. *Thomann* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [https://www.thomann.de/cz/millenium\\_vesa\\_stand\\_wall\\_mkii.htm](https://www.thomann.de/cz/millenium_vesa_stand_wall_mkii.htm)
11. Ocelové plechy válcované za studena. *Nypro* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
12. Ocelářův průvodce. *Babca* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: [http://babca.cz/content/uploads/ocelaruv\\_pruvodce\\_2b.pdf](http://babca.cz/content/uploads/ocelaruv_pruvodce_2b.pdf)
13. MRŇA, Libor. *Dělení a svařování svazkem plazmatu*. Brno, 2013. Dostupné také z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_deleni\\_a\\_svarovani\\_plasmou\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_deleni_a_svarovani_plasmou_2013_mrna.pdf)
14. Plazmové řezání. *Schinkmann s.r.o* [online]. 2021 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
15. High Speed Plasma Cutting. *Fabricating and Metalworking* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2017/05/high-speed-plasma-cutting-system-slashes-operating-costs/>
16. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser*. Brno, 2013. Dostupné také z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_rezani\\_laserem\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_rezani_laserem_2013_mrna.pdf)
17. Laserové řezání – základní rozdělení. *Lascam* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/zakladni-rozdeleni-laseroveho-rezani/>

- 
18. Laser Cutting and Engraving. *ENLIGHT3D* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://enlight3d.com/products-lasercut-egrave.html>
  19. Jak nejlépe řezat ocelové plechy. *ESAB* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>
  20. Princip řezání vodním paprskem. *Řezání CNC* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
  21. What is Waterjet Cutting. *Same Waterjet* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://swaterjet.com/learn-about-weterjet-cutter>
  22. ČSN 22 6015. 1. Praha: ÚNM, 1977
  23. ŠPINLEROVÁ, Marie. *Obor Nástrojař* [online]. Opava, 2007 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>. Střední škola technická Opava.
  24. Compound Dies. *China Electrical Contact Subassembly Progressive Stamping Riveting Die* [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://spt-injectionmolding.en.made-in-china.com/product/qBwJdtErXWRM/China-Electrical-Contact-Subassembly-Progressive-Stamping-Riveting-Die.html>
  25. Technologie plošného tváření – ohýbání. *Katedra tváření kovů a plastů – skripta* [online]. Liberec [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
  26. LIDMILA, Zdeněk. *Přípravky a nástroje: FPN* [přednáška]. Brno, 2020
  27. Ohýbačka plechu AKM610ECO. *Svářečky-obchod.cz* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/51743-ohybacka-plechu-akm610eco>
  28. Ohýbání plechu. *CNC Ohraňování plechů* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.ohranovaniplechu.cz/>
  29. Zpracování plechů ohraňovacím lisem. *FERRUM s.r.o.* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
  30. Metal Stamping Dies. *DGMF MOLD CLAMPS CO., LTD* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: [http://www.moldclamps.net/ArticleDetails?article\\_id=164&pagenum=3](http://www.moldclamps.net/ArticleDetails?article_id=164&pagenum=3)
  31. Povrchové úpravy kovů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-kovu>
  32. Studijní opory: HPU – Renovace a povrchové úpravy. *Studium – Odbor technologie svařování ÚST FSI VUT Brno* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/studium/index.php?stranka=opory>
  33. Fosfátování. *Galvan* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://galvan.cz/fosfatovani/>
  34. Fosfátování Prostějov, Olomouc. *GALVA s.r.o.* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/fosfatovani/>
  35. Galvanické pozinkování jednoduše. *Průmysl* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://prumysl.inform.cz/strojirenstvi/galvanicke-pozinkovani-jednoduse/>
  36. Žárové zinkování není pohledová úprava! *BALUMO* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://www.balumo.cz/l/zarove-zinkovani-neni-pohledova-uprava/>
-

- 
37. Černění / Brynřování. *Rosma Trade* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://rosma.cz/galvanovna/cerneni>
38. KUDLÁČEK, Jan. Alkalické černění ocelí. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli>
39. KEPPERT, Martin. *Nátěrové hmoty* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/D23IMP/prednaska-5.pdf>
40. Lakování / Lackieren. *K-KOVO s.r.o.* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <http://k-kovo.treybal.cz/povrchova-uprava/lakovani/>
41. Progressive Stamping Die Maker. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/China-mould-manufacture-punch-press-tool\\_60531340649.html](https://www.alibaba.com/product-detail/China-mould-manufacture-punch-press-tool_60531340649.html)
42. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
43. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
44. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
45. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
46. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
47. ČADA, Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD*. Ostrava, 2013. Výukový materiál. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
48. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0401-9. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:96c1b860-63d8-11e2-9d9f-005056827e52?page=uuid:26777412-047f-16fb-3e03-ae9a5e1c1794>
49. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
50. LIDMILA, Zdeněk. *Technologie tváření: HH2* [přednáška]. Brno, 2020
51. MAŇAS, Stanislav. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: Část: TVÁŘECÍ STROJE* [online]. Praha, 2007 [cit. 2022-02-02]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
52. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015 [cit. 2022-02-02]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <http://www.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
53. LIDMILA, Zdeněk. *Tvářecí nástroje: HTN* [přednáška]. Brno, 2021
-

- 
54. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
55. TSCHATTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
56. *Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools*. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.
57. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design: processes - machines - tools*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
58. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
59. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
60. Akademie tváření: *Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků*. MMPrůmyslové spektrum [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
61. Akademie tváření: *Technologičnost konstrukce při ohýbání*. MMPrůmyslové spektrum [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
62. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983
63. MELICHAR, Ivo. *Výroba nosného ramene*. Brno, 2018. 46 s, 5 výkresů, 17 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
64. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
65. Plechy, svitky pokovené. *Montan ocel* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.montanocel.cz/plechy-svitky-pokovene/>
66. Speciální šroubová tlačná pružina. *Fibro normálie* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: [https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog\\_Czech/HTML5/780/#zoom=z](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/780/#zoom=z)
67. Šmeral – S 160: Výstředníkové lisy. *ŠMERAL* [online]. Brno: ŠMERAL [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/44/s-160>
68. Linky na rovnání pásů ze svitků. *ATTL: Továrna na stroje* [online]. Praha: ATTL [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: [https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni\\_produkty-rovnani\\_pasu.pdf](https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf)
69. *Citace PRO* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: [www.citacepro.com](http://www.citacepro.com)
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

| Označení           | Legenda                              | Jednotka           |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|
| A                  | Tažnost                              | [%]                |
| a                  | Délka ramene                         | [mm]               |
| A <sub>e</sub>     | Jmenovitý rozměr střižnice           | [mm]               |
| A <sub>j</sub>     | Jmenovitý rozměr otvoru              | [mm]               |
| A <sub>k</sub>     | Jmenovitý rozměr střižníku           | [mm]               |
| a <sub>k</sub>     | Minimální vzdálenost otvoru od kraje | [mm]               |
| A <sub>oc</sub>    | Celková ohybová práce                | [J]                |
| A <sub>oU</sub>    | Ohybová práce do U                   | [J]                |
| A <sub>oV</sub>    | Ohybová práce do V                   | [J]                |
| A <sub>pruž</sub>  | Práce ke stlačení pružin             | [J]                |
| A <sub>s</sub>     | Střižná práce                        | [J]                |
| a <sub>s</sub>     | Šířka součásti                       | [mm]               |
| A <sub>sc</sub>    | Celková střižná práce                | [J]                |
| A <sub>tv</sub>    | Tvářecí práce                        | [J]                |
| b <sub>ov</sub>    | Šířka ohybu                          | [mm]               |
| b <sub>r</sub>     | Minimální délka ramene               | [mm]               |
| c                  | Součinitel závislý na stupni stříhu  | [-]                |
| c <sub>p</sub>     | Součinitel pro minimální poloměr     | [-]                |
| c <sub>o</sub>     | Součinitel tření o ohybnici          | [-]                |
| c <sub>s</sub>     | Součinitel stírání                   | [-]                |
| d <sub>střiž</sub> | Průměr střižníku                     | [mm]               |
| D <sub>sv</sub>    | Vnější průměr svitku                 | [mm]               |
| d <sub>sv</sub>    | Vnitřní průměr svitku                | [mm]               |
| E                  | Modul pružnosti v tahu               | [Mpa]              |
| f                  | Součinitel tření                     | [-]                |
| F <sub>k</sub>     | Kalibrační síla                      | [N]                |
| F <sub>oc</sub>    | Celková ohybová síla                 | [N]                |
| F <sub>ou</sub>    | Ohýbací síla do U                    | [N]                |
| F <sub>ov</sub>    | Ohýbací síla do V                    | [N]                |
| F <sub>p</sub>     | Přidržovací síla                     | [N]                |
| F <sub>ppr</sub>   | Síla pro stlačení pružin přidržovače | [N]                |
| F <sub>pr</sub>    | Protlačovací síla                    | [N]                |
| F <sub>pruž</sub>  | Síla pro stlačení pružin             | [N]                |
| F <sub>pvy</sub>   | Síla pro stlačení pružin vyhazovače  | [N]                |
| F <sub>s</sub>     | Střižná síla                         | [N]                |
| F <sub>sc</sub>    | Celková střižná síla                 | [N]                |
| F <sub>si</sub>    | Síla vyvozená střižníkem             | [N]                |
| F <sub>st</sub>    | Stírací síla                         | [N]                |
| F <sub>tv</sub>    | Tvářecí síla                         | [N]                |
| H                  | Teoretická výška střižnice           | [mm]               |
| h <sub>pl</sub>    | Hloubka plastického vniknutí         | [mm]               |
| h <sub>pruž</sub>  | Výška zdvihu pružin                  | [mm]               |
| h <sub>s</sub>     | Hloubka vniknutí střižných hran      | [mm]               |
| h <sub>u</sub>     | pracovní zdvih                       | [mm]               |
| h <sub>v</sub>     | pracovní zdvih                       | [mm]               |
| I                  | Kvadratický moment průřezu           | [mm <sup>4</sup> ] |

|                   |                                       |                       |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| K                 | Krok                                  | [mm]                  |
| k                 | Tuhost pružiny                        | [N·mm <sup>-1</sup> ] |
| k <sub>o</sub>    | Součinitel pro výpočet úhlu odpružení | [-]                   |
| l                 | Délka křivky střihu                   | [mm]                  |
| L                 | Délka polotovaru                      | [mm]                  |
| l <sub>krit</sub> | Kritická délka střižníku              | [mm]                  |
| L <sub>n</sub>    | Délka pružiny při zatížení            | [mm]                  |
| l <sub>o</sub>    | Délka ohnutého úseku                  | [mm]                  |
| L <sub>o</sub>    | Délka pružiny bez zatížení            | [mm]                  |
| l <sub>r</sub>    | Délka rovinného úseku                 | [mm]                  |
| L <sub>sv</sub>   | Délka svitku                          | [mm]                  |
| l <sub>u</sub>    | Rameno ohybu                          | [mm]                  |
| l <sub>v</sub>    | Vzdálenost mezi opěrami ohybnice      | [mm]                  |
| m <sub>sv</sub>   | Hmotnost svitku                       | [kg]                  |
| n                 | Koeficient otupení nástroje           | [-]                   |
| N                 | Velikost série                        | [ks]                  |
| n <sub>b</sub>    | Bezpečnostní koeficient               | [-]                   |
| n <sub>sv</sub>   | Počet svitků                          | [ks]                  |
| n <sub>vsv</sub>  | Počet výstřižků                       | [ks]                  |
| P                 | Přípustná míra opotřebení             | [-]                   |
| R <sub>e</sub>    | Mez kluzu                             | [Mpa]                 |
| R <sub>m</sub>    | Mez pevnosti                          | [Mpa]                 |
| r <sub>m</sub>    | Zaoblení hran ohybnice                | [mm]                  |
| R <sub>max</sub>  | Maximální poloměr                     | [mm]                  |
| R <sub>min</sub>  | Minimální poloměr                     | [mm]                  |
| R <sub>o</sub>    | Poloměr zaoblení ohybníku             | [mm]                  |
| R <sub>o</sub>    | Poloměr ohybu                         | [mm]                  |
| s                 | Tloušťka materiálu                    | [mm]                  |
| S                 | Plocha střihu                         | [mm <sup>2</sup> ]    |
| S <sub>di</sub>   | Dosedací plocha střižníku             | [mm <sup>2</sup> ]    |
| S <sub>sv</sub>   | Plocha svitku                         | [mm <sup>2</sup> ]    |
| S <sub>v</sub>    | Plocha výstřižku                      | [mm <sup>2</sup> ]    |
| Š                 | Šířka pásu plechu                     | [mm]                  |
| v                 | Střižná vůle                          | [mm]                  |
| v <sub>o</sub>    | Ohybová vůle                          | [mm]                  |
| x                 | Součinitel posunutí neutrální plochy  | [-]                   |
| X                 | poloha těžiště v ose x                | [mm]                  |
| Y                 | Poloha těžiště v ose y                | [mm]                  |
| z                 | Střižná mezera                        | [mm]                  |
| α                 | Úhel ohybu                            | [°]                   |
| β                 | Úhel odpružení                        | [°]                   |
| γ                 | Úhel ohnutého úseku                   | [°]                   |
| Δ                 | Tolerance otvoru                      | [mm]                  |
| δ <sub>e</sub>    | Tolerance střižnice                   | [mm]                  |
| δ <sub>k</sub>    | Tolerance střižníku                   | [mm]                  |
| ε <sub>tmax</sub> | Trvalá poměrná deformace              | [-]                   |
| η <sub>csv</sub>  | Celkové využití svitků                | [%]                   |
| η <sub>sv</sub>   | Využití svitku                        | [%]                   |
| λ                 | Součinitel plnosti diagramu střih     | [-]                   |

|                       |                                  |                       |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| $\rho$                | Poloměr neutrální plochy         | [mm]                  |
| $\rho_{\text{ocel}}$  | Hustota oceli                    | [kg·m <sup>-3</sup> ] |
| $\sigma$              | Napětí                           | [MPa]                 |
| $\sigma_{\text{dov}}$ | Dovolené napětí                  | [MPa]                 |
| $\psi$                | Součinitel plnosti diagramu ohyb | [-]                   |
| $\tau_s$              | Pevnost materiálu ve střihu      | [Mpa]                 |



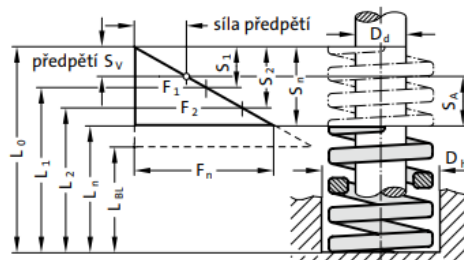
## SEZNAM PŘÍLOH

|           |                                             |
|-----------|---------------------------------------------|
| Příloha 1 | Pružina 241.14.16.064 [66]                  |
| Příloha 2 | Pružina 241.14.10.044 [66]                  |
| Příloha 3 | Stanovení funkčních rozměrů v nástroji [22] |
| Příloha 4 | Rovnací a podávací linka ARPL [68]          |

### Seznam výkresů

VESA držák; 2022-DP-200841-DRŽ  
Postupový sdružený nástroj; 2022-DP-200841-SES  
Střížník T; 2022-DP-200841-16  
Střížnice; 2022-DP-200841-04  
Ohybník U; 2022-DP-200841-09  
Ohybnice; 2022-DP-200841-06  
Kusovník; 2022-DP-200841-KUS

## SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÁ TLAČNÁ PRUŽINA, SF, IDENTIFIKAČNÍ BARVA "ZELENÁ", DIN ISO 10243

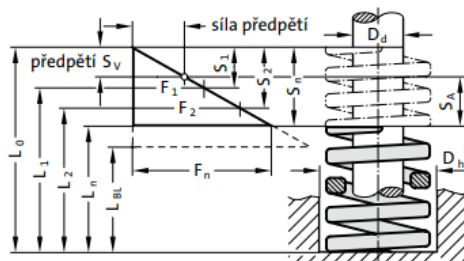


- $D_h$  = průměr otvoru
- $D_d$  = průměr trnu
- $L_0$  = délka nezatížené pružiny
- $L_1 \dots L_n$  = délky zatížené pružiny, přiřazené síle pružiny  $F_1 \dots F_n$
- $L_{BL}$  = délka 100 % stlačené pružiny
- $F_1 \dots F_n$  = síla pružiny v N přiřazené k délkám pružiny  $L_1 \dots L_n$
- $S_{V1} \dots S_{V7}$  = min. předpětí pružiny přiřazené k délce pružiny  $S_1 \dots S_7$
- $S_1 \dots S_n$  = zdvihy pružiny přiřazené k síle pružiny  $F_1 \dots F_n$
- $R$  = tuhost pružiny v N/mm
- $S_{A1} \dots S_{A7}$  = pracovní zdvih pružiny

### 241.14. Speciální šroubová tlačná pružina, SF, identifikační barva "zelená", DIN ISO 10243

| Objednací číslo | $D_h$ | $D_d$ | $L_0$ | $R$  | 45%<br>$S_1$ | $S_{V1}$ | $S_{A1}$ | $F_1$ | 62%<br>$S_2$ | $S_{V2}$ | $S_{A2}$ | $F_2$ | 80%<br>$S_3$ | $S_{V3}$ | $S_{A3}$ | $F_3$ | 100%<br>$S_n$ | $F_n$ |
|-----------------|-------|-------|-------|------|--------------|----------|----------|-------|--------------|----------|----------|-------|--------------|----------|----------|-------|---------------|-------|
| 241.14.10.025   | 10    | 5     | 25    | 11   | 5,6          | 1,6      | 4        | 62    | 7,8          | 3,8      | 4        | 85    | 10           | 7,2      | 2,8      | 110   | 12,5          | 138   |
| 241.14.10.032   | 10    | 5     | 32    | 8,5  | 7,2          | 2,1      | 5,1      | 61    | 9,9          | 4,8      | 5,1      | 84    | 12,8         | 9,3      | 3,5      | 109   | 16            | 136   |
| 241.14.10.038   | 10    | 5     | 38    | 6,8  | 8,6          | 2,5      | 6,1      | 58    | 11,8         | 5,7      | 6,1      | 80    | 15,2         | 11       | 4,2      | 103   | 19            | 129   |
| 241.14.10.044   | 10    | 5     | 44    | 6    | 9,9          | 2,9      | 7        | 59    | 13,6         | 6,6      | 7        | 82    | 17,6         | 12,8     | 4,8      | 106   | 22            | 132   |
| 241.14.10.051   | 10    | 5     | 51    | 5    | 11,5         | 3,3      | 8,2      | 57    | 15,8         | 7,6      | 8,2      | 79    | 20,4         | 14,8     | 5,6      | 102   | 25,5          | 128   |
| 241.14.10.064   | 10    | 5     | 64    | 4,1  | 14,4         | 4,2      | 10,2     | 59    | 19,8         | 9,6      | 10,2     | 81    | 25,6         | 18,6     | 7        | 105   | 32            | 131   |
| 241.14.10.076   | 10    | 5     | 76    | 3,6  | 17,1         | 4,9      | 12,2     | 62    | 23,6         | 11,4     | 12,2     | 85    | 30,4         | 22       | 8,4      | 109   | 38            | 137   |
| 241.14.10.305   | 10    | 5     | 305   | 0,9  | 68,6         | 19,8     | 48,8     | 62    | 94,6         | 45,8     | 48,8     | 85    | 122          | 88,4     | 33,6     | 110   | 152,5         | 137   |
| 241.14.13.025   | 12    | 6     | 25    | 21   | 5,6          | 1,6      | 4        | 118   | 7,8          | 3,8      | 4        | 163   | 10           | 7,2      | 2,8      | 210   | 12,5          | 262   |
| 241.14.13.032   | 12    | 6     | 32    | 16,4 | 7,2          | 2,1      | 5,1      | 118   | 9,9          | 4,8      | 5,1      | 163   | 12,8         | 9,3      | 3,5      | 210   | 16            | 262   |
| 241.14.13.038   | 12    | 6     | 38    | 13,6 | 8,6          | 2,5      | 6,1      | 116   | 11,8         | 5,7      | 6,1      | 160   | 15,2         | 11       | 4,2      | 207   | 19            | 258   |
| 241.14.13.044   | 12    | 6     | 44    | 12,1 | 9,9          | 2,9      | 7        | 120   | 13,6         | 6,6      | 7        | 165   | 17,6         | 12,8     | 4,8      | 213   | 22            | 266   |
| 241.14.13.051   | 12    | 6     | 51    | 10,3 | 11,5         | 3,3      | 8,2      | 118   | 15,8         | 7,6      | 8,2      | 163   | 20,4         | 14,8     | 5,6      | 210   | 25,5          | 263   |
| 241.14.13.064   | 12    | 6     | 64    | 7,6  | 14,4         | 4,2      | 10,2     | 109   | 19,8         | 9,6      | 10,2     | 151   | 25,6         | 18,6     | 7        | 195   | 32            | 243   |
| 241.14.13.076   | 12    | 6     | 76    | 6,3  | 17,1         | 4,9      | 12,2     | 108   | 23,6         | 11,4     | 12,2     | 148   | 30,4         | 22       | 8,4      | 192   | 38            | 239   |
| 241.14.13.089   | 12    | 6     | 89    | 5,4  | 20           | 5,8      | 14,2     | 108   | 27,6         | 13,4     | 14,2     | 149   | 35,6         | 25,8     | 9,8      | 192   | 44,5          | 240   |
| 241.14.13.305   | 12    | 6     | 305   | 1,6  | 68,6         | 19,8     | 48,8     | 110   | 94,6         | 45,8     | 48,8     | 151   | 122          | 88,4     | 33,6     | 195   | 152,5         | 244   |
| 241.14.16.025   | 16    | 8     | 25    | 29   | 5,6          | 1,6      | 4        | 163   | 7,8          | 3,8      | 4        | 225   | 10           | 7,2      | 2,8      | 290   | 12,5          | 362   |
| 241.14.16.032   | 16    | 8     | 32    | 22,9 | 7,2          | 2,1      | 5,1      | 165   | 9,9          | 4,8      | 5,1      | 227   | 12,8         | 9,3      | 3,5      | 293   | 16            | 366   |
| 241.14.16.038   | 16    | 8     | 38    | 19,3 | 8,6          | 2,5      | 6,1      | 165   | 11,8         | 5,7      | 6,1      | 227   | 15,2         | 11       | 4,2      | 293   | 19            | 367   |
| 241.14.16.044   | 16    | 8     | 44    | 17,1 | 9,9          | 2,9      | 7        | 169   | 13,6         | 6,6      | 7        | 233   | 17,6         | 12,8     | 4,8      | 301   | 22            | 376   |
| 241.14.16.051   | 16    | 8     | 51    | 14   | 11,5         | 3,3      | 8,2      | 161   | 15,8         | 7,6      | 8,2      | 221   | 20,4         | 14,8     | 5,6      | 286   | 25,5          | 357   |
| 241.14.16.064   | 16    | 8     | 64    | 10,7 | 14,4         | 4,2      | 10,2     | 154   | 19,8         | 9,6      | 10,2     | 212   | 25,6         | 18,6     | 7        | 274   | 32            | 342   |
| 241.14.16.076   | 16    | 8     | 76    | 9    | 17,1         | 4,9      | 12,2     | 154   | 23,6         | 11,4     | 12,2     | 212   | 30,4         | 22       | 8,4      | 274   | 38            | 342   |

## SPECIÁLNÍ ŠROUBOVÁ TLAČNÁ PRUŽINA, SF, IDENTIFIKAČNÍ BARVA "ZELENÁ", DIN ISO 10243



- $D_h$  = průměr otvoru
- $D_d$  = průměr trnu
- $L_0$  = délka nezatížené pružiny
- $L_1 \dots L_n$  = délky zatížené pružiny, přiřazené síle pružiny  $F_1 \dots F_n$
- $L_{Bl}$  = délka 100 % stlačené pružiny
- $F_1 \dots F_n$  = síla pružiny v N přiřazené k délkám pružiny  $L_1 \dots L_n$
- $S_{V1} \dots S_{V7}$  = min. předpětí pružiny přiřazené k délce pružiny  $S_1 \dots S_7$
- $S_1 \dots S_n$  = zdvihy pružiny přiřazené k síle pružiny  $F_1 \dots F_n$
- $R$  = tuhost pružiny v N/mm
- $S_{A1} \dots S_{A7}$  = pracovní zdvih pružiny

### 241.14. Speciální šroubová tlačná pružina, SF, Identifikační barva "zelená", DIN ISO 10243

| Objednací číslo | D <sub>h</sub> | D <sub>d</sub> | L <sub>0</sub> | R    | 45%            |                 |                 |                | 62%            |                 |                 |                |                | 80%             |                 |                |                |                | 100% |  |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|------|--|
|                 |                |                |                |      | S <sub>1</sub> | S <sub>V1</sub> | S <sub>A1</sub> | F <sub>1</sub> | S <sub>2</sub> | S <sub>V2</sub> | S <sub>A2</sub> | F <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> | S <sub>V3</sub> | S <sub>A3</sub> | F <sub>3</sub> | S <sub>n</sub> | F <sub>n</sub> |      |  |
| 241.14.10.025   | 10             | 5              | 25             | 11   | 5,6            | 1,6             | 4               | 62             | 7,8            | 3,8             | 4               | 85             | 10             | 7,2             | 2,8             | 110            | 12,5           | 138            |      |  |
| 241.14.10.032   | 10             | 5              | 32             | 8,5  | 7,2            | 2,1             | 5,1             | 61             | 9,9            | 4,8             | 5,1             | 84             | 12,8           | 9,3             | 3,5             | 109            | 16             | 136            |      |  |
| 241.14.10.038   | 10             | 5              | 38             | 6,8  | 8,6            | 2,5             | 6,1             | 58             | 11,8           | 5,7             | 6,1             | 80             | 15,2           | 11              | 4,2             | 103            | 19             | 129            |      |  |
| 241.14.10.044   | 10             | 5              | 44             | 6    | 9,9            | 2,9             | 7               | 59             | 13,6           | 6,6             | 7               | 82             | 17,6           | 12,8            | 4,8             | 106            | 22             | 132            |      |  |
| 241.14.10.051   | 10             | 5              | 51             | 5    | 11,5           | 3,3             | 8,2             | 57             | 15,8           | 7,6             | 8,2             | 79             | 20,4           | 14,8            | 5,6             | 102            | 25,5           | 128            |      |  |
| 241.14.10.064   | 10             | 5              | 64             | 4,1  | 14,4           | 4,2             | 10,2            | 59             | 19,8           | 9,6             | 10,2            | 81             | 25,6           | 18,6            | 7               | 105            | 32             | 131            |      |  |
| 241.14.10.076   | 10             | 5              | 76             | 3,6  | 17,1           | 4,9             | 12,2            | 62             | 23,6           | 11,4            | 12,2            | 85             | 30,4           | 22              | 8,4             | 109            | 38             | 137            |      |  |
| 241.14.10.305   | 10             | 5              | 305            | 0,9  | 68,6           | 19,8            | 48,8            | 62             | 94,6           | 45,8            | 48,8            | 85             | 122            | 88,4            | 33,6            | 110            | 152,5          | 137            |      |  |
| 241.14.13.025   | 12             | 6              | 25             | 21   | 5,6            | 1,6             | 4               | 118            | 7,8            | 3,8             | 4               | 163            | 10             | 7,2             | 2,8             | 210            | 12,5           | 262            |      |  |
| 241.14.13.032   | 12             | 6              | 32             | 16,4 | 7,2            | 2,1             | 5,1             | 118            | 9,9            | 4,8             | 5,1             | 163            | 12,8           | 9,3             | 3,5             | 210            | 16             | 262            |      |  |
| 241.14.13.038   | 12             | 6              | 38             | 13,6 | 8,6            | 2,5             | 6,1             | 116            | 11,8           | 5,7             | 6,1             | 160            | 15,2           | 11              | 4,2             | 207            | 19             | 258            |      |  |
| 241.14.13.044   | 12             | 6              | 44             | 12,1 | 9,9            | 2,9             | 7               | 120            | 13,6           | 6,6             | 7               | 165            | 17,6           | 12,8            | 4,8             | 213            | 22             | 266            |      |  |
| 241.14.13.051   | 12             | 6              | 51             | 10,3 | 11,5           | 3,3             | 8,2             | 118            | 15,8           | 7,6             | 8,2             | 163            | 20,4           | 14,8            | 5,6             | 210            | 25,5           | 263            |      |  |
| 241.14.13.064   | 12             | 6              | 64             | 7,6  | 14,4           | 4,2             | 10,2            | 109            | 19,8           | 9,6             | 10,2            | 151            | 25,6           | 18,6            | 7               | 195            | 32             | 243            |      |  |
| 241.14.13.076   | 12             | 6              | 76             | 6,3  | 17,1           | 4,9             | 12,2            | 108            | 23,6           | 11,4            | 12,2            | 148            | 30,4           | 22              | 8,4             | 192            | 38             | 239            |      |  |
| 241.14.13.089   | 12             | 6              | 89             | 5,4  | 20             | 5,8             | 14,2            | 108            | 27,6           | 13,4            | 14,2            | 149            | 35,6           | 25,8            | 9,8             | 192            | 44,5           | 240            |      |  |
| 241.14.13.305   | 12             | 6              | 305            | 1,6  | 68,6           | 19,8            | 48,8            | 110            | 94,6           | 45,8            | 48,8            | 151            | 122            | 88,4            | 33,6            | 195            | 152,5          | 244            |      |  |
| 241 14 16 025   | 16             | 8              | 25             | 29   | 5,6            | 1,6             | 4               | 163            | 7,8            | 3,8             | 4               | 225            | 10             | 7,2             | 2,8             | 290            | 12,5           | 362            |      |  |

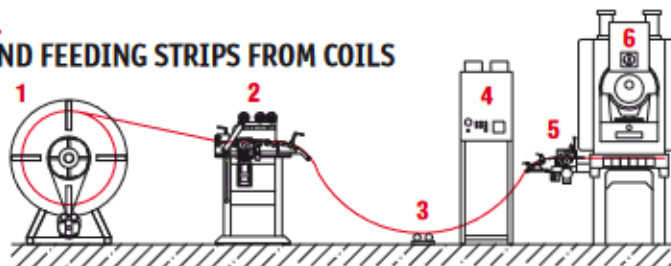
## Příloha 3

Stanovení funkčních rozměrů v nástroji [22]

| Tolerance součástky TS |       | Připustná míra<br>opotřebení P | Výrobní tolerance |                |
|------------------------|-------|--------------------------------|-------------------|----------------|
| od                     | do    |                                | Střížnice – TE    | Střížniku – TA |
| 0,020                  | 0,025 | 0,020                          | 0,007             | 0,004          |
| 0,025                  | 0,030 | 0,025                          | 0,008             | 0,005          |
| 0,030                  | 0,035 | 0,030                          | 0,009             | 0,006          |
| 0,035                  | 0,040 | 0,035                          | 0,011             | 0,008          |
| 0,040                  | 0,045 | 0,040                          | 0,013             | 0,009          |
| 0,045                  | 0,050 | 0,045                          | 0,016             | 0,011          |
| 0,050                  | 0,060 | 0,050                          | 0,019             | 0,013          |
| 0,060                  | 0,070 | 0,060                          | 0,022             | 0,015          |
| 0,070                  | 0,080 | 0,070                          | 0,025             | 0,016          |
| 0,080                  | 0,090 | 0,080                          | 0,029             | 0,020          |
| 0,090                  | 0,100 | 0,090                          | 0,032             | 0,023          |
| 0,100                  | 0,120 | 0,100                          | 0,036             | 0,025          |
| 0,120                  | 0,140 | 0,110                          | 0,036             | 0,025          |
| 0,140                  | 0,160 | 0,120                          | 0,040             | 0,027          |
| 0,160                  | 0,180 | 0,140                          | 0,046             | 0,030          |
| 0,180                  | 0,200 | 0,160                          | 0,054             | 0,035          |
| 0,200                  | 0,220 | 0,170                          | 0,063             | 0,040          |
| 0,220                  | 0,240 | 0,180                          | 0,072             | 0,046          |
| 0,240                  | 0,260 | 0,200                          | 0,081             | 0,052          |
| 0,260                  | 0,280 | 0,220                          | 0,089             | 0,057          |
| 0,280                  | 0,300 | 0,230                          | 0,089             | 0,057          |
| 0,300                  | 0,320 | 0,250                          | 0,100             | 0,062          |
| 0,320                  | 0,350 | 0,270                          | 0,100             | 0,062          |
| 0,350                  | 0,370 | 0,290                          | 0,120             | 0,074          |
| 0,370                  | 0,400 | 0,310                          | 0,120             | 0,074          |
| 0,400                  | 0,430 | 0,330                          | 0,140             | 0,087          |
| 0,430                  | 0,460 | 0,350                          | 0,140             | 0,087          |
| 0,460                  | 0,500 | 0,380                          | 0,160             | 0,100          |
| 0,500                  | 0,530 | 0,410                          | 0,160             | 0,100          |
| 0,530                  | 0,560 | 0,430                          | 0,160             | 0,100          |
| 0,560                  | 0,600 | 0,460                          | 0,190             | 0,120          |
| 0,600                  | 0,650 | 0,500                          | 0,190             | 0,120          |
| 0,650                  | 0,700 | 0,540                          | 0,220             | 0,140          |
| 0,700                  | 0,750 | 0,580                          | 0,220             | 0,140          |
| 0,750                  | 0,800 | 0,620                          | 0,250             | 0,160          |
| 0,800                  | 0,900 | 0,680                          | 0,250             | 0,160          |
| 0,900                  | 1,000 | 0,760                          | 0,290             | 0,185          |
| 1,000                  | 1,200 | 0,880                          | 0,320             | 0,210          |
| 1,200                  | 1,400 | 1,000                          | 0,360             | 0,230          |
| 1,400                  | vice  | 1,200                          | 0,400             | 0,250          |

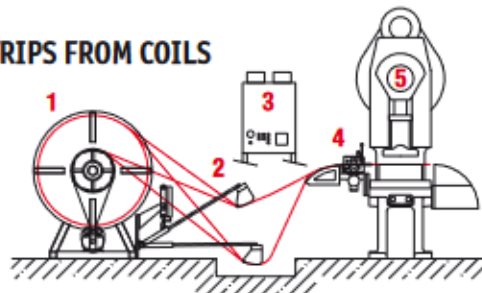
### ROVNAČÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



### PODÁVACÍ LINKA APL / LINE APL FOR FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Kompenzátor / Compensator
- 3 - Ovládací panel / Control panel
- 4 - Podavač / Feeder PAL
- 5 - Lis / Press



### TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

#### Řada odvíjáků AOZ / Uncoilers AOZ

| Typ/Type | Nosnost<br>Capacity<br>(kN) | Vnitřní ø svítky<br>Coil inner ø<br>(mm) | Max. šířka pásu<br>Strip width max.<br>(mm) | Tloušťka pásu<br>Strip thickness<br>(mm) | Max. rychlost odvíjení<br>Uncoiling speed max.<br>(m/min) | Pohon elektromot.<br>Electric drive | Příkon<br>Power input<br>(kW) |
|----------|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| AOZ 03   | 3 ÷ 8                       | 480 ÷ 620                                | 120                                         | 0,15 ÷ 1,2                               | 80                                                        | ne / no                             | —                             |
| AOZ 08   | 8 ÷ 15                      | 480 ÷ 620                                | 250                                         | 0,3 ÷ 2,0                                | 180                                                       | ano-ne / yes-no                     | 1,5 ÷ 3,0                     |
| AOZ 15   | 15 ÷ 25                     | 480 ÷ 620                                | 350                                         | 0,3 ÷ 3,0                                | 160                                                       | ano-ne / yes-no                     | 2,2 ÷ 7,5                     |
| AOZ 25   | 15 ÷ 40                     | 480 ÷ 620                                | 350                                         | 0,3 ÷ 4,0                                | 160                                                       | ano-ne / yes-no                     | 7,5 ÷ 15,0                    |
| AOZ 40   | 40 ÷ 100                    | 480 ÷ 620                                | 580                                         | 0,5 ÷ 4,5                                | 160                                                       | ano-ne / yes-no                     | 11,0 ÷ 22,0                   |

#### Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

| Typ/Type | Počet válců<br>Number of rollers | Průměr válců<br>Diameter of rollers<br>(mm) | Max. šířka pásu<br>Strip width max.<br>(mm) | Tloušťka pásu<br>Strip thickness<br>(mm) | Max. rychlost<br>Uncoiling speed max.<br>(m/min) | Pohon elektromot.<br>Electric drive | Příkon<br>Power input<br>(kW) |
|----------|----------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| ROA 160  | 5                                | 40                                          | 160                                         | 0,3 - 1,8                                | 280                                              | ne / no                             | 7,5                           |
| ROA 250  | 5                                | 60                                          | 250                                         | 0,3 - 2,5                                | 320                                              | ano-ne / yes-no                     | 7,5                           |
| ROA 350  | 5                                | 80                                          | 350                                         | 0,3 - 4,0                                | 260                                              | ano-ne / yes-no                     | 11,0                          |
| ROA 580  | 5                                | 100                                         | 580                                         | 1,0 - 4,5                                | 260                                              | ano-ne / yes-no                     | 18,5                          |

#### Řada podavačů PAL / Feeders PAL

| Typ/Type | Přesnost podání<br>Accuracy of feed<br>(mm na/ per 1000 mm) | Průměr válců<br>Diameter of rollers<br>(mm) | Max. šířka pásu<br>Strip width max.<br>(mm) | Tloušťka pásu<br>Strip thickness<br>(mm) | Max. rychlost linky<br>Mill speed max.<br>(m/min.) | Číselný příkon<br>Power input<br>(kW) | Max délka podání<br>Length of feed max.<br>(mm) |
|----------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| PAL 150  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 40                                          | 150                                         | 0,5 ÷ 3                                  | 100                                                | 3,0                                   | 3 000                                           |
| PAL 250  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 60                                          | 250                                         | 0,5 ÷ 3,5                                | 80                                                 | 3,0                                   | 3 000                                           |
| PAL 500  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 80                                          | 500                                         | 0,8 ÷ 3                                  | 80                                                 | 3,0                                   | 6 000                                           |

#### Řada podávacích a rovnačích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

| Typ/Type | Přesnost podání<br>Accuracy of feed<br>(mm na/ per 1000 mm) | Průměr válců<br>Diameter of rollers<br>(mm) | Max. šířka pásu<br>Strip width max.<br>(mm) | Tloušťka pásu<br>Strip thickness<br>(mm) | Max. rychlost linky<br>Mill speed max.<br>(m/min.) | Číselný příkon<br>Power input<br>(kW) | Max délka podání<br>Length of feed max.<br>(mm) |
|----------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| RAL 150  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 40                                          | 100                                         | 0,5 ÷ 3,0                                | 40                                                 | 7,5                                   | 3 000                                           |
| RAL 250  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 60                                          | 200                                         | 0,5 ÷ 3,5                                | 35                                                 | 10,2                                  | 3 000                                           |
| RAL 500  | ± 0,05 ÷ 0,1                                                | 80                                          | 500                                         | 0,8 ÷ 3,0                                | 35                                                 | 10,2                                  | 6 000                                           |