



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# TECHNOLOGIE VÝROBY KRYTU VENTILÁTORU

THE PRODUCTION TECHNOLOGY THE FAN COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ HUDOUSEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAELA CÍSAŘOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jiří Hudousek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

### **Technologie výroby krytu ventilátoru**

v anglickém jazyce:

### **The Production Technology the fan cover**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na technologii výroby krytu ventilátoru plošným tvářením. V závěrečné práci bude literární studie zaměřena na tažení rotační součásti bez příruby.

Cíle bakalářské práce:

Návrh vhodné technologie výroby součásti a zpracování postupu výroby doložené technologickými výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. TIŠNOVSKÝ, Miroslav; MÁDLE, Luděk. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
2. FREMUNT, Přemysl; KREJČÍK, Jiří a PODRÁBSKÝ, Tomáš. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
3. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
4. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
5. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

HUDOUSEK Jiří: Technologie výroby krytu ventilátoru.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia předkládá návrh technologie výroby krytu ventilátoru plošným tvářením. Na základě literární studie byl navržen postup součásti výrobou, kdy je přístřih plechu zpracován technologií hlubokého tažení bez ztenčení stěny a následně dokončen ostřížením na požadované rozměry, protažením dna výtažku, prostřížením montážních otvorů a povrchově upraven. Pro operaci tažení byl na základě výpočtů navržen nástroj s přidržovačem a dle síly potřebné ke zhotovení výtažku a velikosti nástroje byl vybrán hydraulický lis ZH 160 (výrobce PRESSHYDRAULIKA, s.r.o.). Materiálem zvoleným na výrobu dílce je hlubokotažný ocelový plech DC04 (ČSN EN 10130), výrobní série 100 000 ks za rok.

Klíčová slova: kryt, plošné tvářením, přístřih, hluboké tažení

## ABSTRACT

HUDOUSEK Jiří: The Production Technology the fan cover.

The project elaborated in frame of bachelor studies is submitting design of the fan cover production with sheet metal forming technology. Based on the literary pursuit a production process of the workpiece was designed when the blank is formed with deep drawing technology without thickness reduction (pure drawing) and subsequently completed by trimming to size, dimpling of the shell bottom, assembly holes punching and surface treated. Based on the calculation drawing in die with blankholder was designed for drawing operation and according to the force needed and tool size a hydraulic press ZH 160 (manufacturer PRESSHYDRAULIKA, s.r.o.) was selected. Material chosen for the production of workpiece is deep drawing steel sheet DC04 (ČSN EN 10130), production batch is 100 000 pcs. per year.

Keywords: cover, sheet metal forming, blank, deep drawing

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDOUSEK, Jiří. *Technologie výroby krytu ventilátoru*. Brno, 2015. 42 s., 11 příloh (6 výkresů), CD. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.  
Dostupné z WWW: <[ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace)>.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 20. 5. 2015

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Michaela Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

## OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| ÚVOD .....                                                 | 10 |
| 1. ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI.....                             | 11 |
| 1.1 Možné technologie výroby součásti .....                | 12 |
| 2. TVÁŘENÍ.....                                            | 14 |
| 2.1 Stříhání.....                                          | 15 |
| 2.1.1 Způsoby stříhání.....                                | 15 |
| 2.1.2 Střížný proces.....                                  | 16 |
| 2.1.3 Kvalita střížné plochy .....                         | 17 |
| 2.1.4 Nástřihový plán .....                                | 17 |
| 3. TECHNOLOGIE TAŽENÍ .....                                | 18 |
| 3.1 Parametry procesu tažení.....                          | 19 |
| 3.1.1 Velikost přístřihu plechu.....                       | 19 |
| 3.1.2 Stanovení počtu tažných operací .....                | 20 |
| 3.1.3 Tažná mezera .....                                   | 21 |
| 3.1.4 Volba přidržovače .....                              | 22 |
| 3.1.5 Výpočet síly a práce.....                            | 23 |
| 3.1.6 Maziva při procesu tažení .....                      | 24 |
| 3.1.7 Tažné nástroje a jejich konstrukce .....             | 24 |
| 3.1.8 Stroje pro hluboké tažení .....                      | 27 |
| 3.2 Protahování .....                                      | 29 |
| 4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....                          | 31 |
| 4.2 Volba materiálu .....                                  | 31 |
| 4.2 Technologický postup.....                              | 32 |
| 4.3 Výpočet přístřihu .....                                | 32 |
| 4.6 Počet tažných operací .....                            | 33 |
| 4.5 Nástřihový plán.....                                   | 34 |
| 4.6 Tažná mezera a geometrie funkčních částí tažidla ..... | 37 |
| 4.7 Použití přidržovače .....                              | 37 |
| 4.8 Výpočet síly a práce .....                             | 38 |
| 4.9 Volba stroje a návrh tažného nástroje.....             | 38 |
| 5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ .....                              | 40 |
| 5.1 Cena materiálu na 1 kus.....                           | 40 |
| 5.2 Cena nástrojů .....                                    | 40 |
| 5.3 Kooperace .....                                        | 40 |
| 5.4 Stanovení ceny výrobku .....                           | 41 |
| 5.5 Bod zvratu.....                                        | 41 |
| ZÁVĚRY.....                                                | 42 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

## ÚVOD [2], [9], [18]

V současné době, s ohledem na stávající ekonomickou situaci a rostoucí nároky na výrobní technologie v oblasti strojírenského průmyslu, je třeba hledat takové výrobní procesy, které pro výrobce nepředstavují příliš vysoké finanční zatížení. Náklady na výrobu kvalitního produktu by tedy měly být co nejnižší. Mezi velkou škálou výrobních technologií ve strojírenství lze proces tváření chápat jako méně náročný na vstupní parametry a zároveň velmi výhodný například z hlediska hospodárnosti a efektivnosti - vysoké výrobnosti produktů při nízké spotřebě energií.

Tváření je možno charakterizovat jako technologický proces zpracování materiálu, který lze označit jako nedestruktivní, neboť tvar zpracovávaného materiálu se mění, aniž by došlo k porušení jeho celistvosti. Tváření se dá rozdělit do několika skupin dle stanovených hledisek. Podle teploty lze tváření rozdělit na tváření za tepla, při němž se pro zlepšení tvařitelnosti využívá ohřevu materiálu na tvářecí teplotu, a tváření za studena, kde se tohoto ohřevu nevyužívá a k tváření tak dochází při běžné teplotě. Z hlediska použitého způsobu technologie je dále tváření děleno na objemové a plošné. Plošným tvářením je pak možné údery lisu zhotovit tvarově složité a přesné součásti, obvykle bez nutnosti dalšího obrábění. Ukázky produktů vyrobených tvářením jsou zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 Výrobky zhotovené tvářením [22], [24], [26]

## 1. ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI

Cílem práce je navrhnout nový technologický postup výroby. Řešenou součástí je kryt průmyslového potrubního radiálního ventilátoru (obr. 2), který je používán ve vzduchotechnice. Kryt sestává ze dvou kusů, které jsou po instalaci ventilátoru sesazeny do sebe a zanáty. Takto připravený celek je zasazen mezi potrubí vzduchotechniky, kde plní funkci odvětrání a distribuce vzduchu. V bakalářské práci je řešena pouze válcová část, rozšíření práce na zpracování výroby celého krytu, tedy řešení kuželové části, bude realizováno v navazujícím magisterském studiu.

Řešený díl je rotačního tvaru o dvou průměrech, kdy  $\varnothing 239$  mm slouží k sesazení do druhé části krytu a  $\varnothing 98$  mm slouží k nasazení roury potrubí. Celková délka dílu je 111 mm, tloušťka materiálu 2 mm. Po obvodu velkého průměru jsou v rozmezí  $90^\circ$  vystříženy čtyři otvory o  $\varnothing 5$  mm pro uchycení ventilátoru a sesazení pláště pomocí nýtů.

Při volbě vhodného materiálu je nutné brát zřetel na prostředí, kde bude součást instalována. Jelikož je při použití ventilátoru předpoklad vlhkého prostředí vlivem kondenzace vodních par, je nutné zvolit takový materiál, aby nedošlo k porušení pláště korozí. Té lze předejít užitím nerezové oceli, nebo zvolit ocel zcela běžnou s následnou povrchovou úpravou. Velikost série je stanovena na 100 000 ks za rok.



Obr. 2 3D model krytu ventilátoru vytvořený v Autodesk Inventor 2014

### 1.1 Možné technologie výroby součástí [2], [13], [15], [23]

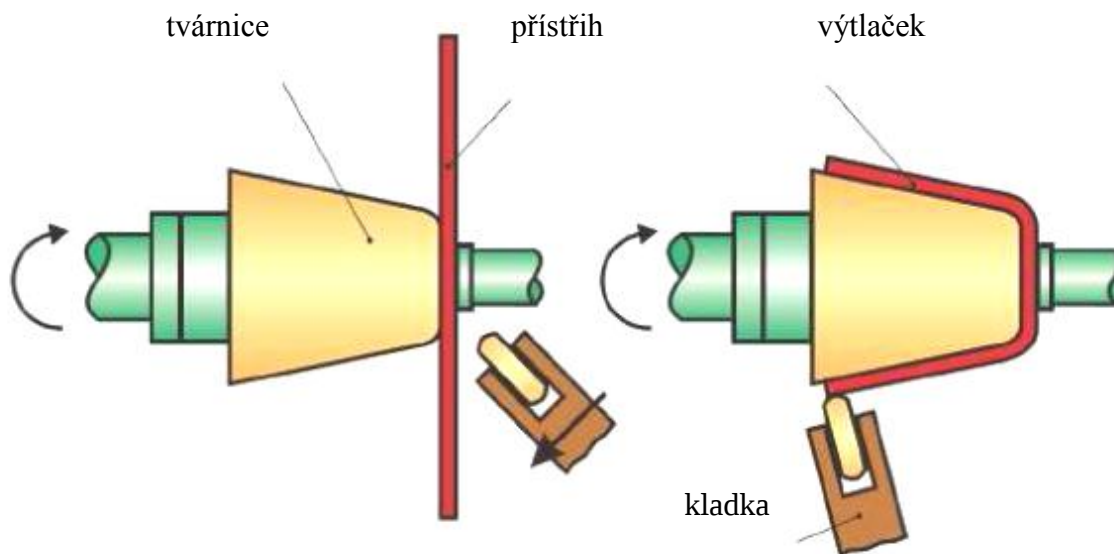
Pro zvolení nejvhodnější metody výroby součásti je třeba brát zřetel na to, aby při její výrobě byly dodrženy požadavky na přesnost a kvalitu, a zároveň aby technologie výroby byla co nejsnadnější při zachování co možná nejnižších výrobních nákladů.

Pro výrobu zadané součásti – krytu, lze použít následující možné varianty technologie výroby:

- **Rotační tlačené plechu - kovotlačení**

Technologie kovotlačení je metodou výroby součástí, při které dochází prostřednictvím kladky k natlačení plechu do tvarové formy (tvárnice), za současného rotačního pohybu tvárnice. Tato forma udává výsledný tvar výrobku, viz obr. 3. Tento druh technologie je vhodný k výrobě dutých součástí vypouklého tvaru, a to v menších sériích výrobků. Výrobu prostřednictvím této metody lze provádět ručně, při níž je sice zachován požadavek nízkých výrobních nákladů, nicméně je zde kladen vysoký nárok na kvalifikovanost pracovníků. Další možností, jak realizovat výrobu kovotlačení je metoda strojní, při níž lze vyrábět složitější tvary.

Tato metoda výroby není vhodná pro výrobu zadané součásti především s ohledem na velikost série, při níž by byly příliš vysoké náklady kvůli nízké produktivitě. Dále je třeba zmínit špatnou kvalitu povrchu u této metody, která by měla za následek nutnost použít dodatečné operace kalibrování.



Obr. 3 Princip rotačního tlačení [13]

- **Nekonvenční tažení**

U technologie nekonvenčního tažení je část nástroje nahrazena jiným médiem, kterým je například elastomer (guma, pryž), nebo kapalina.

Při tažení elastomerem, tedy tažení gumovým nástrojem se ocelová část tažnice nahrazuje tažnicí gumovou. Při této metodě výroby je používána horní pohyblivá část stroje, kterou tvoří ocelová skříň, která obsahuje pásy elastomeru. Tato skříň se pohybuje proti pevnému tažníku, který je tak vtlačován do elastomeru. Pomocí tohoto procesu pak součást získává požadovaný tvar. Konečný tvar součásti je tedy určován tvarem pevného tažníku. Tuto technologii je vhodné použít na výrobu rozměrnějších dílů v rámci kusové výroby. Další

výhoda spočívá v tom, že tažné nástroje jsou ekonomicky méně nákladné při zachování určité jednoduchosti nástroje.

Tváření kapalinou (tzv. Hydroform) funguje na obdobném principu, jako tažení elastomerem. V tomto případě tvoří kapalina součást ocelové skříně, která je utěsněna pryžovou membránou. Nejprve se tedy přitlačí přídržovač na pryžovou membránu tak, aby bylo zamezeno zvlnění materiálu. Poté je tažník, který je umístěn na pístu, vtlačován do skříně s kapalinou, čímž dochází k získání požadovaného tvaru materiálu. Přebytek kapaliny je při tomto procesu regulován ventilem. Tato metoda je sice vhodná k výrobě složitějších součástí ve velkosériové výrobě, nicméně zásadní nevýhodou jsou zde vysoké pořizovací náklady stroje na vstup.

Ani jednu z výše uvedených metod tedy nelze použít pro výrobu zadané součásti, a to buď z důvodu malé produktivity výroby, nebo z důvodu vysokých výrobních nákladů.

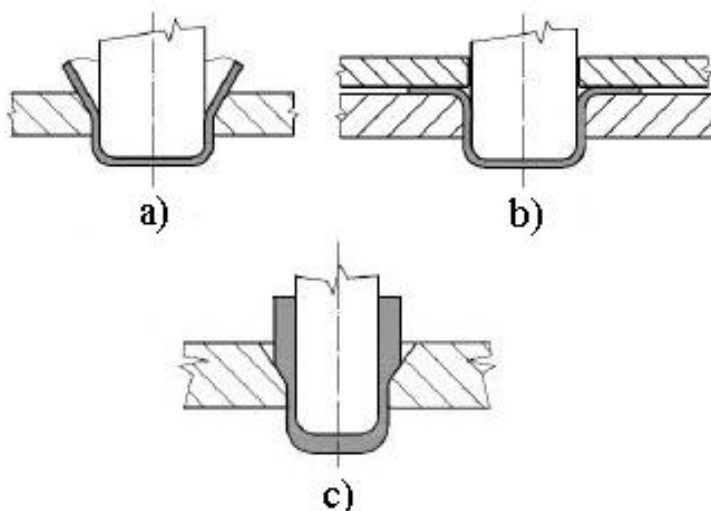
#### • Konvenční tažení

Při konvenčním tažení je tažený materiál vtahován tažníkem přes tažnici, čímž je docíleno požadovaného tvaru. Na rozdíl od tažení nekonvenčního je při konvenčním tažení použito dvou kovových nástrojů (tažník a tažnice). Díky použití pevného nástroje (tažidla), skládajícího se z tažníku a tažnice, je odolnost a životnost nástroje větší, než v případě nekonvenčního tažení. Při této metodě výroby lze docílit různorodých dutých výtažků, ať už jednoduchých, nebo složitějších tvarů. Příklady konvenčního tažení jsou uvedeny na obr. 4.

Tuto metodu výroby lze dělit na tažení bez ztenčení stěny (tloušťka stěny výtažku je v průběhu celého tažného procesu stejná), a tažení se ztenčením stěny (při procesu výroby dochází ke ztenčení stěny materiálu). Této metody je využíváno u výrobků, kde je žádoucí mít tlustší dno oproti stěnám výtažku.

I v tomto případě jsou výrobní náklady vysoké, a proto není možné tuto technologii použít při kusové výrobě, nicméně vzhledem k vysokému počtu vyrobených kusů se tato nevýhoda stává nevýhodou nepatrnou. S ohledem na dlouhou životnost nástroje a na možnost využití této metody pro velkosériovou výrobu je tato technologie pro výrobu zadané součásti nejvhodnější.

S ohledem na neměnnost tloušťky stěny zadané součásti bude konkrétně k výrobě použita metoda konvenčního tažení bez ztenčení stěny, při níž budou nejlépe zachovány požadavky na výrobu krytu co se geometrické či rozměrové přesnosti týká. Na tuto technologii a přidružené procesy použité k výrobě dané součásti bude dále zpracována literární studie.



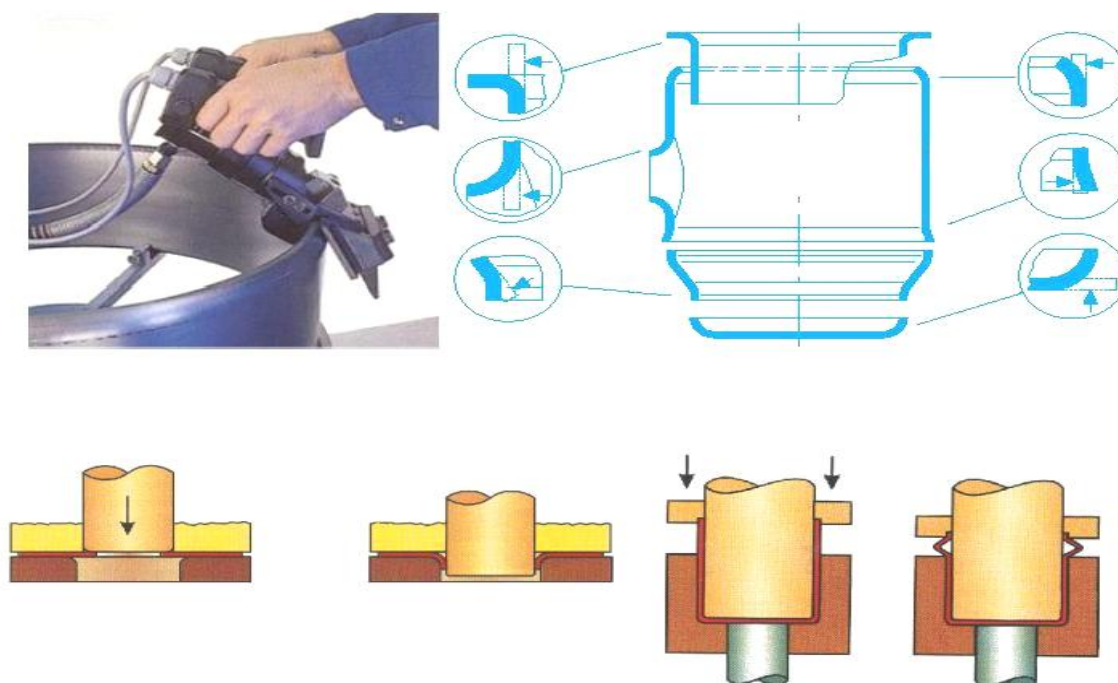
Obr. 4 Tažení konvenčním způsobem  
a) bez přídržovače; b) s přídržovačem;  
c) se ztenčením stěny [15]

## 2. TVÁŘENÍ [2], [5], [6]

Tváření je jedna z nejhospodárnějších metod zpracování kovů, při níž dochází pomocí plastických deformací k trvalé změně tvaru a velikosti tvářené součásti. Tváření je možné z hlediska použitého způsobu technologie rozdělit na:

**a) tváření plošné** – výchozím polotovarem při plošném tváření je obvykle přístřih plechu, pás plechu nebo již jinak zpracovaný polotovar. Ke změně tvaru opracovávaného polotovaru dochází prakticky bez zásadní změny tloušťky a plochy původního polotovaru. Jako operace plošného tváření lze zahrnout:

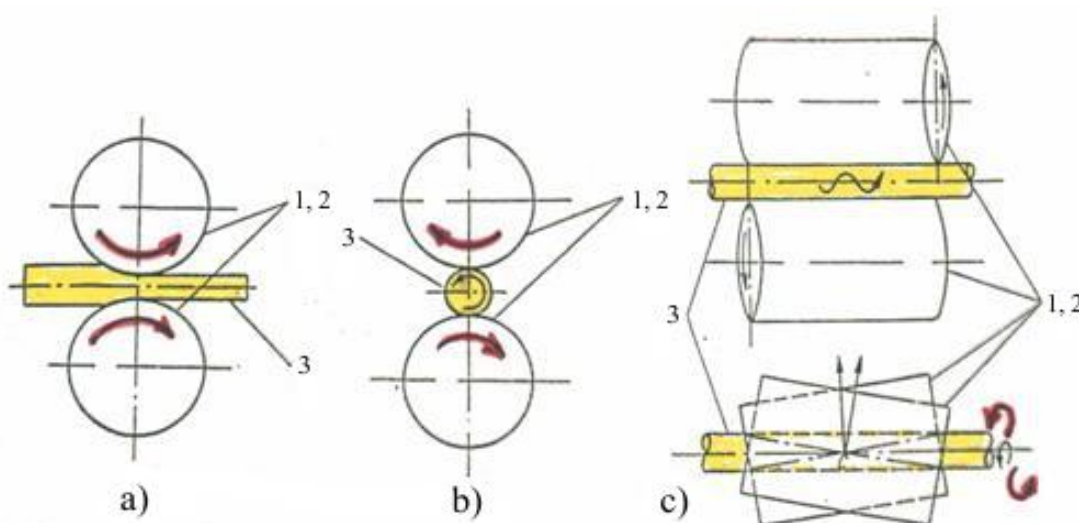
- stříhání, vystřihování, děrování, prostřihování, protrhávání, apod.,
- ohýbání, lemování (viz obr. 5), obrubování, drápkování, rovnání, apod.,
- tažení – žlábkování, napínání, protahování, hluboké tažení, zužování, rozšiřování, atd.



Obr. 5 Ukázka ručního a strojního lemování [17]

**b) tváření objemové** – jedná se o technologii tváření, při které je změna tvaru dosahována v celém objemu, a to výrazným přemístěním materiálu. Při objemovém tváření nastává deformace ve směru všech tří os. Mezi objemové tváření lze zařadit následující operace:

- kování volné, kování zápusťkové, kalibrování, protlačování, apod.,
- válcování podélné, válcování podélné tvarové, válcování příčné tvarové, rozválcování, apod. (viz obr. 6),
- protlačování zpětné, dopředné, kombinované, profilové, apod.,
- tažení – redukování, kalibrování, rozšiřování, apod.



Obr. 6 Princip a) podélného; b) příčného; c) kosého válcování  
(1, 2 – válce; 3 – obrobek) [14]

Podrobný přehled základních operací včetně jejich konkrétního popisu a schémat je upraven v daných normách a příslušné literatuře. Jako příklad lze uvést normu ČSN 22001.

## 2.1 Stříhání [1], [2], [7], [9], [20]

Stříhání je jednou ze základních a také nejrozšířenějších operací plošného tváření materiálu, která se vedle přípravy polotovarů používá také například na vystřihování součástí z plechu. Základním principem technologie stříhání je operace, při které stříháním dochází k oddělení materiálu prostřednictvím dvou protilehlých řezných hran (břitů), jejichž vzájemným působením vzniká v řezné rovině smykové napětí. Proces stříhání je poté zakončen porušením tvářeného materiálu v ohnisku deformace. Podle teploty, při níž probíhá proces stříhání, lze pak technologii stříhání dělit na stříhání za tepla, při němž se pro zlepšení tvařitelnosti využívá ohřevu materiálu na tvářecí teplotu, a stříhání za studena, kde se tohoto ohřevu nevyužívá a ke stříhání tak dochází při běžné teplotě.

### 2.1.1 Způsoby stříhání

**a) stříhání na nůžkách** – proces stříhání na nůžkách lze dále rozdělit na následující způsoby:

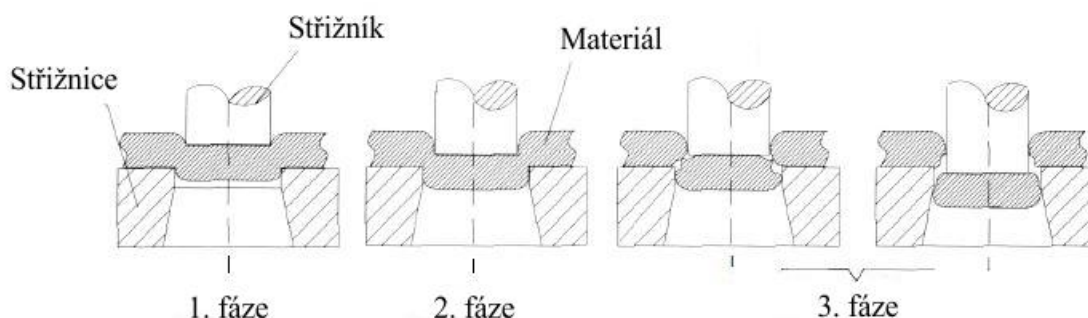
- stříhání rovnoběžnými noži,
- stříhání skloněnými noži,
- stříhání kotoučovými noži.

S ohledem na to, že k výrobě krytu bude použito metody stříhání na stříhadlech, nebudou metody stříhání na nůžkách blíže rozebírány.

**b) stříhání na stříhadlech** - hlavní části stříhadla jsou označovány jako střížník a střížnice, mezi které se vkládá příslušný stříhaný materiál. Při procesu stříhání na stříhadlech je třeba maximálně využít plochu pásů plechu, z nichž jsou součásti stříhány. Takové efektivnosti je dosaženo především procesem rozložení výstřížků na pásu, který je obecně označován jako nástřihový plán. Proces stříhání na stříhadlech lze uskutečnit například prostřednictvím jednoduchého, postupového, sdruženého, nebo sloučeného stříhadla.

## 2.1.2 Střížný proces

Jak již bylo uvedeno, stříhání je operace, při které stříháním dochází k oddělení materiálu prostřednictvím dvou protilehlých řezných hran (břitů), jejichž vzájemným působením vzniká v řezné rovině smykové napětí. Proces stříhání pak probíhá ve třech základních fázích, viz obr. 7.



Obr. 7 Fáze střížného procesu [2]

- a) **první fáze střížného procesu** – poté, co střížník dosedne na tvářený materiál, dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu, kdy se materiál stlačuje, ohýbá a nakonec vtlačuje do příslušného otvoru střížnice. První fáze je tak oblastí pružných deformací. Jedná se přibližně o  $(5 \div 8) \%$  tloušťky stříhaného materiálu. V tomto případě je napětí ve stříhaném materiálu menší, než mez pružnosti  $R_e$ . Při první fázi střížného procesu tedy dochází k tomu, že na straně střížníku vznikne vydutí a na straně střížnice dochází k vytlačení materiálu.
- b) **druhá fáze** – s ohledem na to, že ve druhé fázi střížného procesu se střížník vtlačuje do materiálu a ten do daného otvoru střížnice a napětí stříhaného materiálu se zvětší tak, že překračuje mez kluzu, dochází zde k trvalé deformaci, přičemž hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu je přibližně v rozmezí  $(10 \div 25) \%$  tloušťky. Druhá fáze je tedy oblastí plastické deformace, přičemž v závěru této fáze se napětí na hranách střížníku a střížnice blíží mezi pevnosti a v oblasti styku střížných hran střížnice a střížníku se začínají vytvářet trhlinky.
- c) **třetí fáze** – v návaznosti na to, že v rámci třetí fáze střížného procesu dochází k zatížení materiálu nad mez pevnosti, se vytvoří u hran střížnice a střížníku trhlinky, které se dále šíří stříhaným materiálem od styku střížných hran s materiálem, a to až do okamžiku jejich spojení, kdy dojde k úplnému utržení materiálu. Rychlost, jakou budou trhlinky vznikat a šířit se, je dána mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a velikostí střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí, což mimo jiné znamená, že oddělení křehkého a tvrdého materiálu probíhá mnohem rychleji, než oddělení houževnatého a měkkého materiálu. Místo, v němž probíhá samovolné utržení stříhané části materiálu, je nejvíce ovlivněno z hlediska kvality povrchu stříhané plochy. Při úplném oddělení výstřížku od výchozího materiálu je hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu  $(10 \div 60) \%$  jeho tloušťky (hloubka je odvislá od stříhaného materiálu a nástroje, kterým je stříhání prováděno). K úplnému oddělení výstřížku tedy dojde dříve, než střížník projde celou tloušťkou stříhaného materiálu, což je také důvodem toho, že střížné plochy mají určitou drsnost a jejich hrany nejsou zcela rovinné.

### 2.1.3 Kvalita střížné plochy

Technologií stříhání dochází k tomu, že střížné plochy nejsou zcela rovinné (při normální střížné vůli je střížná plocha tvaru „S“), a zároveň je zde patrná určitá drsnost, která je nerovnoměrně rozprostřena. Drsnost v oblasti vzniku prvních trhlinek je například větší než na okolních plochách. Při procesu stříhání je drsnost povrchu střížné plochy přibližně v rozmezí  $R_a = 6,3 \div 3,2$ . Její kvalita je v neposlední řadě ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu, například při větší tvrdosti stříhaného materiálu se zhoršuje jakost jeho povrchu. Vlivem trvalé deformace také dochází k tomu, že okolí střížné plochy se během procesu stříhání zpevní.

Kvalita střížné plochy je pak určována určitými podmínkami, kterými jsou:

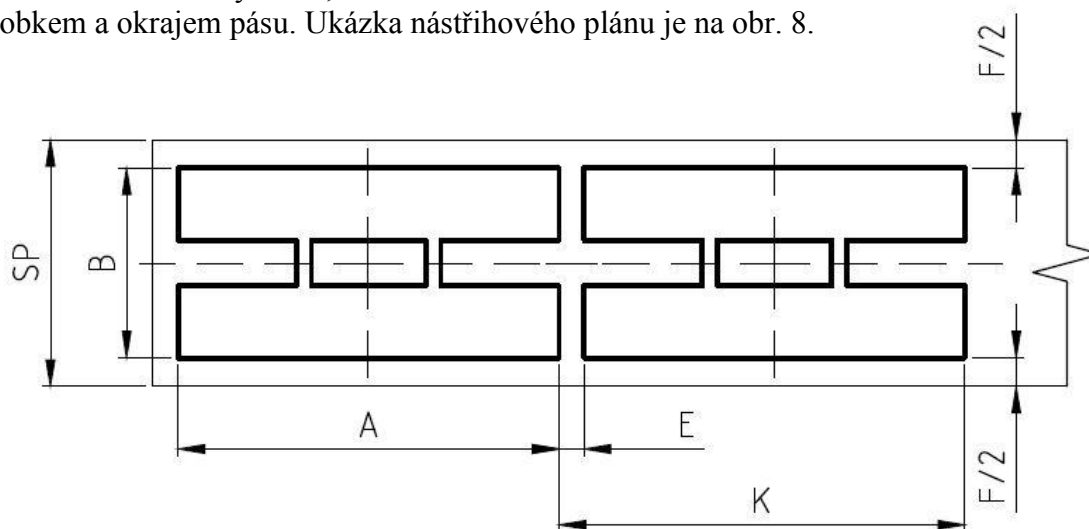
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu (tvrdost, houževnatost, ...),
- velikost střížné mezery (vůle), druh střížného nástroje, stav střížného nástroje,
- kvalita povrchu činných částí střížníku a střížnice, přesnosti činných částí střížníku a střížnice.

Pro přesnost součástí vyrobených stříháním jsou poté určující následující faktory:

- konstrukce nástroje,
- metoda zajištění polohy stříhaného materiálu,
- stav a druh stříhaného materiálu,
- přesnost a tloušťka rozměru stříhaného materiálu,
- pružná deformace při stříhání.

### 2.1.4 Nástřihový plán

Nástřihovým plánem je obecně označován proces rozložení výstřížku na pásu plechu takovým způsobem, aby byl technologický nebo případně konstrukční odpad během technologie stříhání co nejmenší. Vzhledem k tomu, že náklady na pořízení stříhaného materiálu tvoří v procesu stříhání velký podíl, je nutné vypracovat nástřihový plán velice důkladně tak, aby byla zachována efektivnost výroby součásti za předpokladu co možná nejmenšího odpadu. Při volbě a zpracování nástřihového plánu je třeba brát ohled především na tvar a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce a na minimální vzdálenost mezi výrobkem a okrajem pásu. Ukázka nástřihového plánu je na obr. 8.

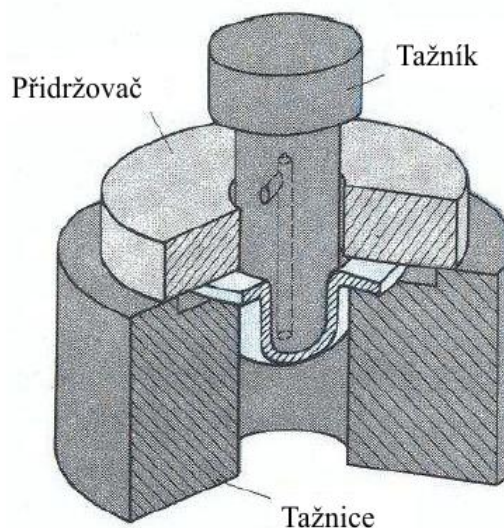


Obr. 8 Ukázka nástřihového plánu ( $A$  – hlavní rozměr;  $B$  – vedlejší rozměr;  $E$  – můstek;  $F$  – přepážka odpadu;  $K$  – krok;  $SP$  – šířka pásu)

### 3. TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [2], [6], [16], [23]

Obecně lze říci, že proces tažení je jednou z nejrozšířenějších metod zpracování plechu, neboť pomocí něho lze jednoduše vyhotovit požadovanou součástku s vysokou tuhostí při zachování její velmi malé hmotnosti.

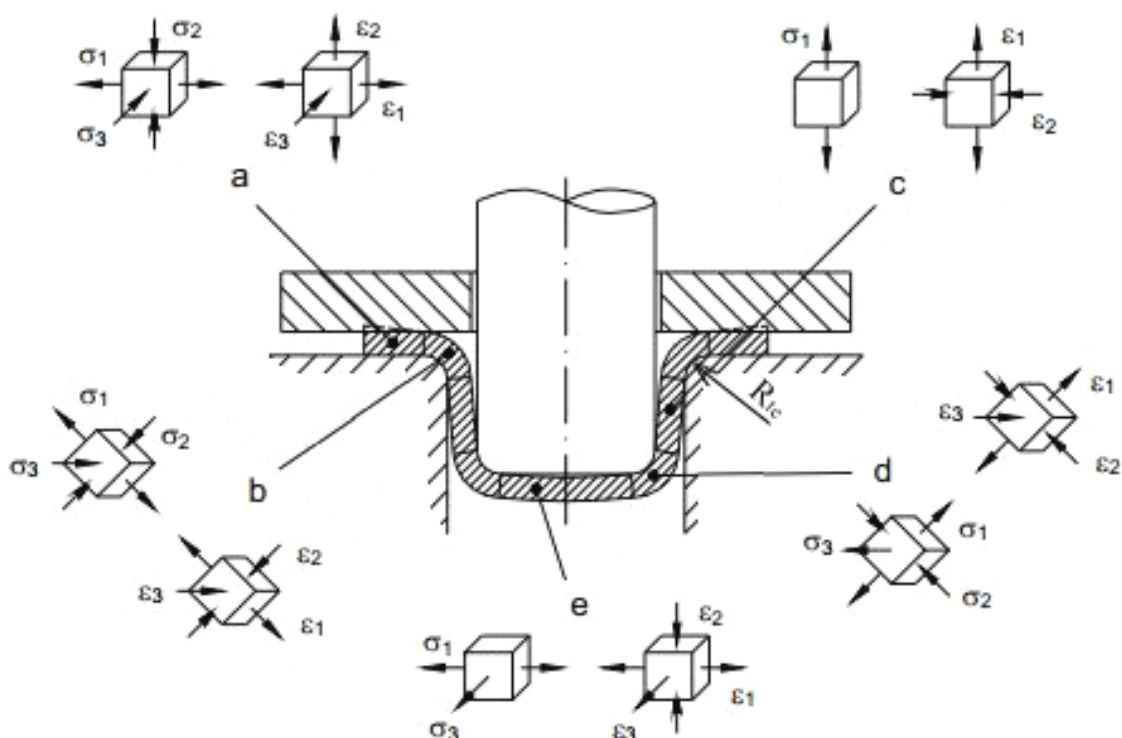
Tažením se rozumí technologický proces, při němž pomocí lisovacího nástroje používaného při tažení, tzv. tažidla, dojde při jedné nebo několika tažných operacích (v závislosti na složitosti a velikosti součásti, na druhu taženého materiálu) k trvalému přetvoření rovinného přístřihu plechu ve výrobek, tzv. výtažek. Podle výsledného tvaru výtažku lze proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a tažení nepravidelných tvarů. Tvary výtažků pak tedy mohou být mělké, hluboké, rotační, nerotační, nepravidelné, atd. Jak již bylo výše zmíněno, nástroje používané při tažení se nazývají tažidla. Každé tažidlo se skládá z tažníků, tažnic, případně přidržovače a dalších konstrukčních součástí, viz obr. 9.



Obr. 9 Řez tažným nástrojem [16]

Samotný proces tažení probíhá tak, že se rovinný přístřih plechu položí na tažnici. Následně se začne tvar přístřihu měnit vlivem působení tlaku tažníku, který vtahuje plochý přístřih plechu do otvoru tažnice, čímž se získá požadovaný výrobek. Tažení lze zařadit mezi tvárné deformace, což znamená, že v průběhu procesu tažení dochází k přesouvání objemu materiálu z plochého přístřihu do válcové části výtažku. Následkem toho dochází k přechování materiálu na okrajích výtažku, což může způsobovat vznik vln v místě příruby, které následně mohou postupovat do válcové části a tím tak zhoršovat kvalitu výrobku. Aby se vzniku výše zmiňovaného zvlnění zabránilo, lze použít přidržovač, který působí na tažený plech tlakem proti tažnici.

Výtažek válcového tvaru, který je tvářen prostřednictvím metody tažení s přidržovačem, je při tomto procesu namáhán v různých jeho částech různým napětím a deformacemi. Schéma hlavních napětí ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) a deformací ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ) při tažení válcového výtažku je znázorněno na obr. 10, z něhož vyplývá, že  $\sigma$  a  $\varepsilon$  se mění v různých částech výtažku, přičemž se mění současně i jejich velikost. V přírubě výtažku (oblast a) vzniká vlivem přidržovače prostorová napjatost. Na poloměru tažnice  $R_{te}$  (oblast b) vzniká prostorová napjatost s největším radiálním tahovým napětím  $\sigma_1$  a malým tangenciálním tlakovým napětím  $\sigma_3$ . Ve válcové části výtažku (oblast c) existuje pouze jednoosá tahová napjatost a prostorový stav deformace z oblasti příruby se zde mění na rovinný stav. V místě přechodu válcové části do dna (oblast d) je prostorová nestejnorodá napjatost, která způsobuje značné prodloužení a tím ztenčení tloušťky stěny výtažku. V této oblasti dochází nejčastěji k utržení dna. Ve dně výtažku (oblast e) vzniká během tažení rovinná tahová napjatost a prostorový stav deformace. V případě jednooperačního tažení je zeslabení stěny dna výtažku zanedbatelné. Při víceoperačním tažení dochází k intenzivnímu zeslabení dna.<sup>6</sup>



Obr. 10 Schéma napětí a deformací při tažení válcového výtažku [12]

### 3.1 Parametry procesu tažení

#### 3.1.1 Velikost přístřihu plechu [2], [6], [23]

Určení velikosti přístřihu plechu lze stanovit buď prostřednictvím výpočtů, nebo prostřednictvím grafů. Při určování velikosti a tvaru výchozího polotovaru u jednoduchých výtažků válcového tvaru se vychází z předpokladu platnosti zákona o zachování objemu materiálu, ze kterého bude výrobek tažen, a z předpokladu zachování tloušťky, která zůstane při tažení přístřihu plechu stejná. Výpočet určení velikosti přístřihu pak vychází z rovnosti povrchů výtažku a přístřihu. U tenkých plechů se počítá s vnějšími rozměry výtažku, u tlustých plechů je potřeba uvažovat střední rozměr tloušťky plechu. S ohledem na anizotropii materiálu a cípatost výtažku se teoreticky vypočtený průměr přístřihu zvětšuje při jednooperačním tažení o 3 % a při každé další operaci o 1 %.

Při výpočtu velikosti přístřihu rotačního výtažku se tento výtažek rozdělí na jednoduché základní části, výpočtem se určí velikosti jednotlivých ploch a jejich součtem lze získat plochu přístřihu. V příloze 1 jsou uvedeny vzorce pro výpočet velikostí běžných základních tvarů ploch.

Součet těchto ploch se následně dosadí do vzorce pro výpočet průměru přístřihu:

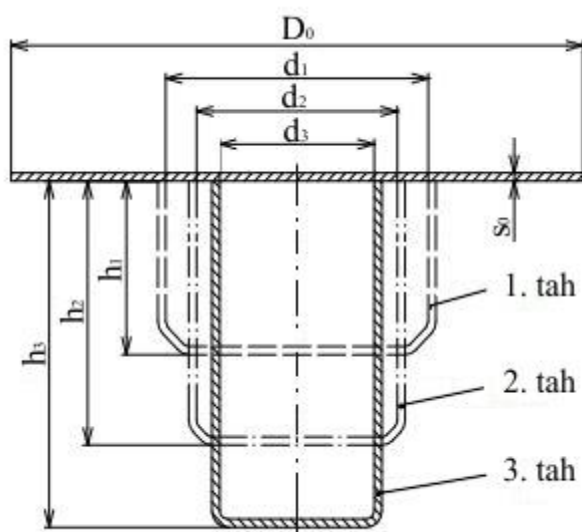
$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad [mm] \quad (3.1)$$

$D_0$  průměr přístřihu [mm]  
 $S$  celková plocha výtažku [mm<sup>2</sup>]

Výpočet velikosti přístřihu lze urychlit použitím vzorců, viz příloha 2, kde jsou uvedeny nejčastěji se vyskytující tvary výtažků. Přehled vzorců pro výpočet přístřihu pro různé tvary výtažku lze nalézt v doporučené odborné literatuře.

### 3.1.2 Stanovení počtu tažných operací [1], [2], [6]

Požadovaný výrobek lze zhotovit prostřednictvím tažných operací. Počet operací je závislý na rozměru výrobku, jeho tloušťce, tvaru, druhu materiálu výtažku, konstrukci tažného nástroje apod. Nízké a jednoduché výrobky co se tvaru týká, jsou zpravidla zhotovovány jednou operací, zatímco hluboké a složité tvary se zhotovují prostřednictvím více operací (obr. 11). Vzhledem k tomu, že při každé operaci tažení materiál zpevňuje a dochází k snižování plasticity výtažku, je nutno po 3. operaci tažení zařadit rekrytalizační žíhání.<sup>6</sup>



Obr. 11 Schéma tažení výtažku na tři operace [6]

Ke stanovení počtu tahů potřebných ke zhotovení požadovaného výrobku se používá součinitel tažení, přičemž platí:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n \quad [-] \quad (3.2)$$

$$m_n = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D_0} \quad [-] \quad (3.3)$$

- $m_c$  celkový součinitel tažení [-]
- $m_1$  součinitel tažení pro první tah [-]
- $m_2$  součinitel tažení pro druhý tah [-]
- $m_3$  součinitel tažení pro třetí tah [-]
- $m_n$  součinitel tažení pro n-tý tah [-]
- $d_1$  průměr výtažku v první operaci [mm]
- $d_2$  průměr výtažku v druhé operaci [mm]
- $d_3$  průměr výtažku v třetí operaci [mm]
- $d_n$  průměr výtažku v n-té operaci [mm]

Minimální dosažitelné hodnoty součinitele tažení  $m$  pro hlubokotažné plechy jsou:

pro první tah  $m_1 = 0,48 \div 0,50$

pro druhý tah  $m_2 = 0,73 \div 0,75$

pro třetí tah  $m_3 = 0,76 \div 0,78$

Na velikost součinitele tažení mají pak vliv zejména tyto faktory – poměrná tloušťka, druh a kvalita materiálu, druh technologie, rychlost tažení, tlak přidržovače, mazání a především geometrie funkčních částí tažného nástroje.

Z poměrné tloušťky byly stanoveny optimální hodnoty součinitelů tažení pro jednotlivé tahy, z kterých lze následně vypočítat průměry výtažků dosažitelných v jednotlivých krocích a tím pádem i počet tažných operací potřebných ke zhotovení součásti. Optimální hodnoty součinitelů tažení rotačních součástí bez příruby jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Optimální součinitele tažení vzhledem k poměrné tloušťce [2]

| Součinitel tažení [-] | Poměrná tloušťka polotovaru $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100$ [%] |             |             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                       | 1,5 - 1,0                                                   | 1,0 - 0,6   | 0,6 - 0,3   |
| $m_1$                 | 0,50 - 0,53                                                 | 0,53 - 0,55 | 0,55 - 0,58 |
| $m_2$                 | 0,75 - 0,76                                                 | 0,76 - 0,78 | 0,78 - 0,79 |
| $m_3$                 | 0,78 - 0,79                                                 | 0,79 - 0,80 | 0,81 - 0,82 |

### 3.1.3 Tažná mezera [1], [3], [23]

Tažnou mezerou se rozumí vůle mezi tažníkem a tažnicí, což je polovina rozdílu průměrů tažnice a tažníku. Pro výrobu zadané součásti metodou tažení bez ztenčení stěny je třeba zvolit tažnou mezeru tak, aby byla větší, než je tloušťka tvářeného plechu, neboť příliš malá tažná mezera zvyšuje riziko možnosti utržení dna zhotovovaného výrobku vlivem zvyšující se tažné síly. Příliš velká tažná mezera má naopak za následek vznik vln na plášti výtažku. V případě kalibrace je hodnota tažné mezery shodná s hodnotou tloušťky taženého materiálu. Velikost tažné mezery je možné odvodit výpočtem, nebo z doporučených hodnot uvedených v tabulkách, viz tab. 2.

Tab. 2 Tažná mezera při tažení plechu [23]

| Tloušťka plechu [mm] | 0,4  | 0,6  | 0,8 | 1   | 1,2 | 1,5  | 2   | 3   |
|----------------------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Tažná mezera [mm]    | 0,45 | 0,65 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,75 | 2,4 | 3,5 |

Norma ČSN 22 7301 doporučuje hodnotu tažné mezery v první operaci tažení:

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 \quad [mm] \quad (3.4)$$

a pro další tažné operace:

$$z = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 \quad [mm] \quad (3.5)$$

$z$  tažná mezera [mm]

$s_0$  tloušťka výchozího polotovaru [mm]

### 3.1.4 Volba přidržovače [3], [6] [9], [23]

Použitím přidržovače se zabráňuje vzniku zvlnění a nežádoucích nerovností na povrchu výtažku. Takové použití přidržovače má však i nežádoucí účinky, kterými jsou zejména přechování materiálu pod přidržovačem a nárůst tloušťky. K rozhodnutí, zda provádět tažení s přidržovačem či bez, lze dojít z metod ověřených praxí a několika dalšími způsoby, např.:

- Hlubokotažné plechy s tloušťkou do 0,5 mm se vždy táhnou s přidržovačem. Síla od přidržovače je pak vyjádřena vztahem:

$$F_p = S_c \cdot p \quad [N] \quad (3.6)$$

$F_p$  síla od přidržovače [N]  
 $S_c$  činná plocha pod přidržovačem [mm<sup>2</sup>]  
 $p$  měrný přidržovací tlak [MPa]

- Freidling vychází ze vztahu poměrné tloušťky:

$$\Delta s = \left( \frac{s_0}{D_0} \right) \cdot 100 \quad [-] \quad (3.7)$$

je-li  $\Delta s < 1,5$ , je nutný přidržovač. V případě, že  $\Delta s > 2$ , lze použití přidržovače vynechat. Vyjde-li však hodnota  $\Delta s$  v rozmezí od 1,5 do 2, je nutné způsob tažení ještě ověřit prostřednictvím jiné metody.

- Metoda Šofmana vychází ze vztahu:

$$D_0 - d_1 \leq 18 \cdot s_0 \quad [-] \quad (3.8)$$

je-li tato podmínka splněna, lze při zhotovení výrobku použít metodu tažení bez přidržovače.

- Určení způsobu tažení dle normy ČSN 22 7301 vychází ze vztahu:

$$\alpha = 50 \cdot \left( z_m - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad [-] \quad (3.9)$$

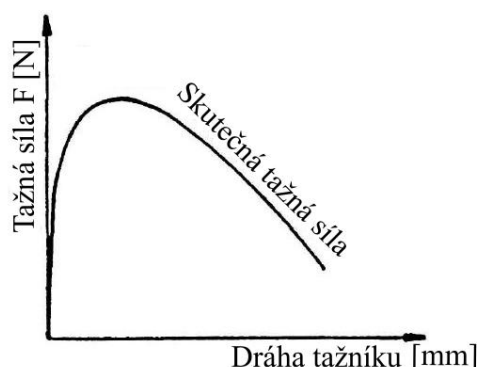
$\alpha$  součinitel určující nutnost použití přidržovače [-]  
 $z_m$  materiálová konstanta [-] (1,9 pro ocelový hlubokotažný plech)

Je-li  $\alpha \geq 100 \cdot \frac{d_1}{D_0}$ , je nutné provádět tažení s přidržovačem, přičemž při víceoperačním tažení platí, že v každé další tažné operaci je nutné použít přidržovač, je-li splněna podmínka  $\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$ .

Je-li splněna podmínka  $\alpha < 100 \cdot \frac{d_1}{D_0}$ , jedná se o tzv. mělké tažení, a není třeba použití přidržovače.

### 3.1.5 Výpočet síly a práce [6], [7], [15], [23]

Aby bylo dosaženo požadovaného tvaru výlisku, který má být vyroben z přístříhu, je třeba na něj působit určitou silou, tzv. tažnou. Tažnou silou se rozumí síla potřebná k překonání třecích sil při zpracovávání rovinného přístříhu plechu ve výtažek. Tažná síla se během procesu tažení z důvodu měněního se tahového napětí mění, a není tedy konstantní, viz obr. 12. Tažná síla postupně roste, až dosáhne maxima, tj. maximální síly, při které dochází k utržení dna výlisku.



Obr. 12 Průběh tažné síly [6]

Obecně tedy platí, že hodnota skutečné tažné síly musí být menší než velikost maximální tažné síly, aby se zabránilo případnému utržení dna. Pro zjednodušení a urychlení výpočtu maximální síly v praxi se používají empirické vzorce. Výpočet maximální síly je vyjádřen následujícím vzorcem:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d_n \cdot s_0 \cdot R_m \quad [N] \quad (3.10)$$

$F_t$  maximální tažná síla [N]  
 $R_m$  mez pevnosti v tahu [MPa]  
 $C$  součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení  $m$  s přihlédnutím k poměrné tloušťce  $s_0/D_0$  [–] (viz tab. 3)

Tab. 3 Vybrané hodnoty koeficientu  $C$  [23]

|                           |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| $m = \frac{d_n}{D_0}$ [–] | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
| $C$ [–]                   | 1,00 | 0,86 | 0,72 | 0,60 | 0,40 |

Bude-li proces tažení probíhat s přidržovačem, je třeba znát sílu od přidržovače  $F_p$  působící na přístřih plechu kolmým směrem na povrch tažnice. Jak již bylo výše uvedeno, tato síla se stanoví ze vztahu (3.6).

Aby byl proces tažení a výroba daného výtažku efektivní a funkční, nastaví se skutečný tlak přidržovače tak, aby při tažení nedocházelo ke vzniku vln nebo trhlin na výlisku. Především při tažení na dvojčinných lisech s přidržovačem je důležité nastavení co nejmenší možné mezery pro danou tloušťku plechu, aby se přístřih pod přidržovačem nezařadil.<sup>6</sup> Celková lisovací síla, na kterou se dimenzuje lis se stanoví vztahem:

$$F_c = F_t + F_p \quad [N] \quad (3.11)$$

Velikost práce při tažení se vypočítá ze vztahu:

$$A = \frac{K_p \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [J] \quad (3.12)$$

$A$  práce [J]  
 $K_p$  koeficient zaplnění plochy [–]  
 $h$  výška výtažku [mm]

### 3.1.6 Maziva při procesu tažení [1], [6], [23]

Zásadním problémem při procesu tažení je vznik tření mezi nástrojem a tvářeným materiálem. Aby bylo toto tření co nejnižší, je nutné použít příslušné mazivo. Použití správného maziva je při procesu tažení velmi důležitým hlediskem pro zachování životnosti tvářecích nástrojů a tím i zvýšení produktivity, zachování povrchových vlastností tvářeného materiálu a ke snížení nákladů na energie v důsledku velikosti tvářecí práce.

Mezi základní předpoklady, které by mělo mazivo splňovat, patří zejména:

- vytvořit povrchový celistvý film k zamezení tření,
- nevyvolávat barevné změny na povrchu tvářeného materiálu,
- být fyziologicky, ekologicky nezávadné,
- být teplotně stálé,
- být nekorozivní,
- nevytvářet lepivé povrchy,
- snadná odstranitelnost z povrchu materiálu,
- nevysychat.

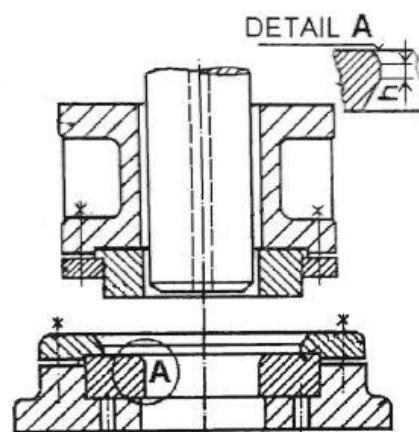
S ohledem na různé metody tvářecích procesů a z hlediska vlastností se rozlišují maziva kapalná (syntetické, rostlinné, ropné oleje, apod.), plastická (měkká, tažná maziva) a tuhá. Volba druhu maziva musí být přizpůsobena očekávaným požadavkům, které má v rámci příslušné tvářecí operace mazivo splnit. Volba maziva musí dále odpovídat povaze tvářecího procesu a druhu tvářeného materiálu.

### 3.1.7 Tažné nástroje a jejich konstrukce [3], [6], [9], [11]

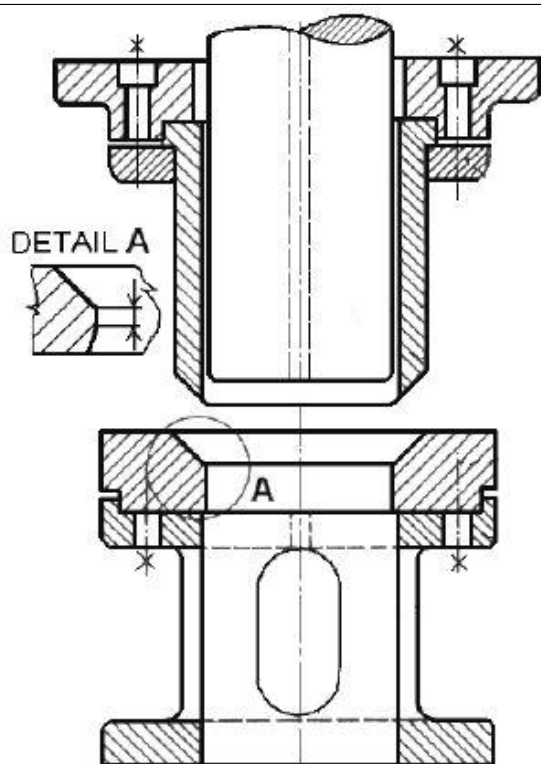
Proces tažení je uskutečňován prostřednictvím tažných nástrojů, tzv. tažidel. Mezi základní konstrukční části tažidel patří tažník, tedy aktivní část, tažnice, a případně přídržovač, který se používá k tomu, aby se zabránilo vzniku nežádoucích záhybů a vrásek na plášti výtažku, popř. ke středění výtažku vůči tažnici, nebo k setření výtažku z tažníku. Mezi další části tažného nástroje patří základová deska, zakládací kroužky a horní upínací deska nástroje.

Co se konstrukce tažidel týká, je odvozena zejména od pořadí tažné operace, typu lisu, od rozměru a tvaru výtažku, materiálu přístřihu a materiálu tažidla. V návaznosti na výše uvedená hlediska lze tažidla dělit např. dle:

- počtu operací na tažidla pro první tah a tažidla pro další tahy (obr. 13, 14),
- konstrukce na tažidla jednoduchá, sloučená, sdružená, speciální,
- druhu lisu na tažidla pro jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové lisy,
- použití přídržovače pak na tažidla s nebo bez přídržovače.



Obr. 13 Tažidlo pro 1. tah [9]



Od volby vhodného materiálu, ze kterého budou složeny jednotlivé části tažného nástroje, je pak odvislá především životnost a efektivnost tažného nástroje, jeho pořizovací náklady a spolehlivost. Doporučené materiály jednotlivých částí tažidel jsou uvedeny v tab. 4.

Obr. 14 Tažidlo pro poslední tah [9]

Tab. 4 Doporučené materiály jednotlivých částí tažidel [9]

| Část tažidla      | Materiál                         | HRC     |
|-------------------|----------------------------------|---------|
| tažník, tažnice   | 19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56 | 58 ÷ 63 |
| základové desky   | 42 24 56, 42 26 61.2             |         |
| zakládací kroužky | 11 600                           |         |
| přidržovače       | 19 191, 19 436, 42 24 56         | 61 ÷ 63 |

- a) **Tažnice** - hlavní část tažného nástroje, jsou buď celistvé, nebo vložkované. V případě vložkované tažnice se však vložkuje nejčastěji pouze tažná hrana. Funkční částí tažnice je otvor, do něhož se při procesu tažení vtahuje přístřih plechu. Tyto funkční otvory pak mohou mít různý tvar.

Základním pojmem, který je v souvislosti s procesem tažení nutné blíže popsat, je poloměr zaoblení tažnice, který má zásadní vliv na rozměrovou přesnost a kvalitu tažného procesu. Poloměr zaoblení tažnice  $R_{te}$  se pro první tah vypočte ze vztahu:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1) \cdot s_0} \quad [mm] \quad (3.13)$$

Poloměry zaoblení tažných hran tažnice jsou závislé na tloušťce plechu. Zvětší-li se tento poloměr, dojde k usnadnění tažení a díky tomu lze zvětšit hloubku a stupeň tažení na jednu operaci. Současně však dojde k tomu, že se zmenší plocha pod přidržovačem, čímž se zvyšuje riziko nebezpečí porušení podmínky stability a vzniku zvlnění na výtažku. Dle ČSN 22 7301 se poloměr zaoblení tažnice pro jednotlivé tahy určuje ze vztahu:

$$R_{te} = (6 \div 10) \cdot s_0 \quad [mm] \quad (3.14)$$

kde se pro první tah použije vyšších hodnot ( $8 \div 10$ ) a pro další tahy se použije hodnot nižších ( $6 \div 8$ ).

- b) **Tažník** - tvoří další, tzv. aktivní konstrukční část tažného nástroje. Jedná se o činnou část tažného nástroje, jejíž vnější tvar je shodný s vnitřním tvarem výtažku. Funkčními částmi tažníku jsou pak čelo, poloměr zaoblení tažné hrany tažnice a válcová část (plášť). Velmi důležité je zavzdušnění prostoru výtažku, který slouží ke zjednodušení stírání výtažku z tažného nástroje. U klasických tažných nástrojů se provádí podélným otvorem, nebo se využívá rozpružení výtažku, popřípadě kombinace obou těchto způsobů. V případě, kdy není zavzdušnění možné provést otvorem, např. u tažníků pro tažení se ztenčením stěny, vytváří se tažník kuželový nebo se na povrchu vytvoří zavzdušňovací rýha. Tažníky mohou být jak kovové z oceli uhlíkové, z hliníkových plechů například pro lisování nebo z plněných pryskyřic. Tažníky menších průměrů jsou obvykle konstruovány jako celistvé, tedy z jednoho kusu. Tažníky větších průměrů jsou pak tvořeny dvěma částmi – funkční částí a držákem. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že konstrukce tažníku je závislá na velikosti průměru funkční části.

Shodně jako poloměr zaoblení tažných hran tažnice je i poloměr zaoblení funkční hrany tažníku nepostradatelnou hodnotou, která má zásadní vliv na kvalitu procesu tažení. Poloměry zaoblení funkční hrany tažníku  $R_{tu}$  jsou stejné, nebo větší než poloměry zaoblení tažných hran tažnice pro první tah i pro další tahy. Podle normy ČSN 22 7301 se u posledního tahu poloměr zaoblení tažníku řídí velikostí výtažku a určuje se ze vztahu:

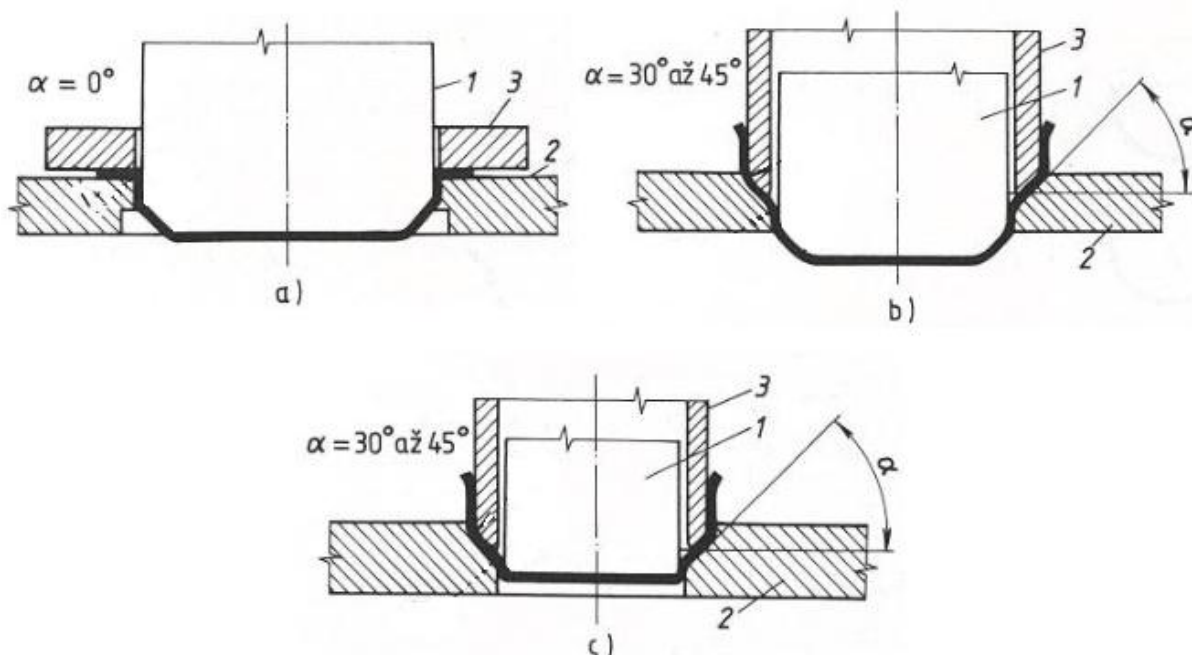
$$R_{tu} = (3 \div 7) \cdot s_0 \quad [mm] \quad (3.15)$$

a to přibližně:

- $(3 \div 4) \cdot s_0$  pro průměr výtažku 10 až 100 mm
- $(4 \div 5) \cdot s_0$  pro průměr výtažku 100 až 200 mm
- $(5 \div 7) \cdot s_0$  pro průměr výtažku 200 mm a výše

Je však třeba uvést, že v případě požadavku na výtažek s menším poloměrem, než jak je uvedeno výše, musí být do procesu tažení zařazena další operace, například kalibrování, tlačení apod.

- c) **Přidržovač** – při procesu tažení lze použít přidržovač s odlišnými tvary ploch, viz obr. 15. Tvar plochy přidržovače je odvislý od toho, zda se přidržovače použije pouze u prvního tahu nebo zda bude jeho použití zvoleno i u tahů dalších. V prvním případě, tedy u jednooperačního tažení, se používá rovinné plochy přidržovače, kde  $\alpha = 0^\circ$ . U dalších tahů se pak použije přidržovač s kuželovou přidržovací plochou se sklonem  $\alpha = 30^\circ$  až  $45^\circ$ , aby se docílilo snížení odporu plechu proti vtahování. Ve výjimečných případech, především bude-li to pro konstrukci nutné nebo výhodnější, lze i u dalších tahů použít jiný přidržovač, než jak je výše uvedeno, ovšem pouze za předpokladu, že tomuto bude přizpůsoben výrobní proces (provedení odlehčení u tažnice, aby se snížilo tření apod.).



Obr. 15 Poloměry zaoblení tažné hrany tažníku, tažnice a přidržovače – a) první tah; b) mezitah; c) poslední tah; 1 – tažník; 2 – tažnice; 3 – přidržovač [12]

### 3.1.8 Stroje pro hluboké tažení [19]

K výrobě požadované součásti při procesu tažení je třeba zvolit vhodný tvářecí stroj. V návaznosti na zadanou součást bude k její výrobě zvolen buď tvářecí stroj silový, který k překonání deformačního odporu tvářeného materiálu využívá především potencionální energie, nebo tvářecí stroj zdvihový, který k překonání deformačního odporu tvářeného materiálu využívá obě formy energie, tedy energii potencionální i energii kinetickou. Typickým představitelem tvářecího stroje zdvihového je klikový lis, a zástupcem tvářecího stroje silového patří zejména hydraulický lis.

Tvářecí stroje silové a tvářecí stroje zdvihové, které působí na tvářený materiál většinou tzv. klidovou silou, se nazývají lisy. Tažné lisy je možné v návaznosti na jejich konstrukci (tj. s ohledem na počet jejich pracovních částí apod.) dělit na:

- **jednočinné lisy** - jedná se o takové lisy, které jsou tvořeny pouze jedním (tzv. celistvým, tažným) beranem, přičemž přidržovač je součástí stroje. Tyto lisy jsou vhodné pro tažení silných materiálů bez přidržovače.
- **dvojčinné lisy** - tyto lisy mohou být tvořeny buď tažným a přidržovacím beranem, nebo pouze tažným beranem a spodním přidržovačem, přičemž řízení tohoto přidržovače není závislé na chodu stroje. Tyto stroje jsou vhodné pro výrobu a zpracování složitějších výtažků hlubokých tvarů s přidržovačem.
- **trojčinné lisy** - tyto lisy se skládají z tažného beranu, přidřovacího beranu a ze spodního přidřovače a jsou používány především pro výrobu výtažků složitých tvarů.
- **postupové lisy** - jedná se o lisy vhodné pro velkosériovou výrobu prostřednictvím víceoperačního tažení.

a) **Mechanické lisy** - i přes to, že mechanické lisy mají mnoho technologických nedostatků jako je například skutečnost, že maximum tvářecí síly lze odebrat až těsně před dolní úvratí, nebo hrozící nebezpečí přetížení stroje či obtížné tváření velkou silou po delší dráze, patří tyto tvářecí stroje mezi nejpoužívanější. Je však nutné mít na paměti, že mechanické lisy mohou být zatíženy jen takovou silou, která nepřevyšuje jejich sílu jmenovitou.

Aby bylo předcházeno případnému přetížení a tím i poškození mechanického lisu, jsou stroje vybaveny různými druhy pojistných zařízení, jako jsou například pojistky funkční, pojistky zvyšující bezpečnost obsluhy nebo pojistky jistící stroj proti přetížení.

Mechanické lisy lze podle mechanismu použitého k přenosu energie dělit na:

- lisy klikové
- lisy kolenové
- lisy vačkové
- lisy klínové

Podle velikosti je pak možné je dělit na:

- lisy lehké s jmenovitou silou menší než 500 kN
- lisy střední se jmenovitou silou od 500 kN do 5000 kN
- lisy těžké se jmenovitou silou nad 5000 kN

Podle druhu stojanu lze mechanické lisy dělit na:

- lisy s otevřeným stojanem (tvar C)
- lisy s uzavřeným stojanem (tvar O)
- lisy se sloupovým stojanem

Mezi základní typy mechanických lisů lze zařadit:

- lisy výstředníkové
- lisy tažné
- lisy se spodním pohonem
- lisy děrovací a vysekávací
- lisy ohraňovací
- lisy kovací
- lisy kolenové
- lisy vřetenové

b) **Hydraulické lisy** - hydraulický lis je typickým zástupcem tvářecího stroje silového, který pracuje na principu Pascalova zákona, tedy na základě rovnoměrného šíření tlaku všemi směry.

Oproti lisům mechanickým je u hydraulických lisů možné konstruovat lis na sílu až  $10^3$  MN, velikost zdvihu lze nastavit libovolně z celkového zdvihu beranu, tvářecí rychlost je malá a nedochází tak k intenzivnímu zpevnění, rychlost beranu lze plynule regulovat v rozmezí  $0 - 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  s ohledem na zatížení, shodně i sílu lze nastavit dle potřeby případně plynule regulovat. Mezi další nesporné výhody kromě výše uvedených, patří také možnost průběžně měřit tvářecí sílu, skutečnost, že hydraulický lis nelze přetížít a není tak nutné používat pojistky proti přetížení jako u lisů mechanických. Hydraulické lisy pracují v tichosti, klidně a bez výraznějších otřesů a nepotřebují velký základ, neboť jsou jednoduché na obsluhu a je relativně snadné je mechanizovat a automatizovat.

Z výše uvedených důvodů jsou hydraulické lisy vhodné pro hluboké tažení, kde malá tvářecí rychlost snižuje nebezpečí utržení dna. V zásadě všechny složitější součásti se vyrábějí na hydraulických lisech.

Vedle výhod mají hydraulické lisy i některé nevýhody, mezi které patří menší výkon a tedy menší produktivita, absence pevné spodní úvratě, přičemž výška je regulována zarážkou, horší účinnost, pomalejší chod beranu a menší efektivita výrobnosti s tím spojená, složitá údržba a vyšší pořizovací náklady.

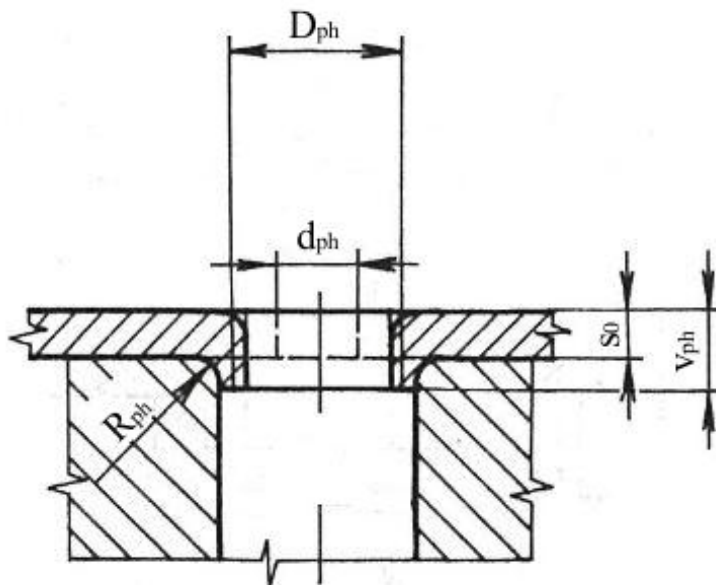
Podle konstrukce lze hydraulické lisy dělit na lisy:

- stojanové
- rámové
- sloupové
- skříňové

Dále pak lze hydraulické lisy dělit dle uložení hydromotoru na lisy svislé, vodorovné a kombinované. Podle mechanismu pohonu lze rozdělit na lisy s mechanizmy s přímým pohonem, s mechanizmy s nepřímým pohonem a s mechanizmy s kombinovaným pohonem.

### 3.2 Protahování [1], [12], [23]

Protahování je proces, při němž prostřednictvím nástrojů, tzv. protahovadel je možné dosáhnout zvětšení výšky výtazku, a to tak, že je zvětšován předstřižený otvor a protažením výtazku vyděrovaným otvorem tak vzniká současně kolmá válcová stěna ve dnu, případně ve stěně výtazku, viz obr. 16.



Obr. 16 Schéma protahování [12]

Aby bylo protahování účinné, je třeba si předstříhnout střední otvor o určitém průměru. Při protahování bez ztenčení stěny lze rozměry kruhových otvorů určit ze vztahu:

$$d_{ph} = D_{ph} + 0,86 \cdot R_{ph} - 2 \cdot v_{ph} \quad [mm] \quad (3.16)$$

$d_{ph}$  průměr předstřiženého otvoru [mm]  
 $D_{ph}$  střední průměr protaženého otvoru [mm]  
 $R_{ph}$  poloměr zaoblení protaženého otvoru [mm]  
 $v_{ph}$  výška protaženého otvoru [mm]

Při procesu protahování je třeba brát zřetel na stupeň deformace, který je u kruhových otvorů dán poměrem průměru předstřiženého otvoru  $d_{ph}$  a středního průměru protaženého otvoru  $D_{ph}$ . Tento poměr je označován jako koeficient protahování, který lze zapsat vztahem:

$$M_p = \frac{d_{ph}}{D_{ph}} \quad [mm] \quad (3.17)$$

$M_p$  koeficient protahování [–]

Doporučené hodnoty koeficientů protahování pro kruhové otvory jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Koeficienty protahování pro nízkouhlikovou ocel [1]

| Úhel $\alpha$ [°] | Poměrná tloušťka $\frac{s_0}{d_{ph}} \cdot 100$ [%] |      |      |        |      |      |      |
|-------------------|-----------------------------------------------------|------|------|--------|------|------|------|
|                   | 2                                                   | 3    | 5    | 8 ÷ 12 | 15   | 20   | 30   |
| 360 ÷ 180         | 0,80                                                | 0,60 | 0,52 | 0,50   | 0,48 | 0,46 | 0,45 |

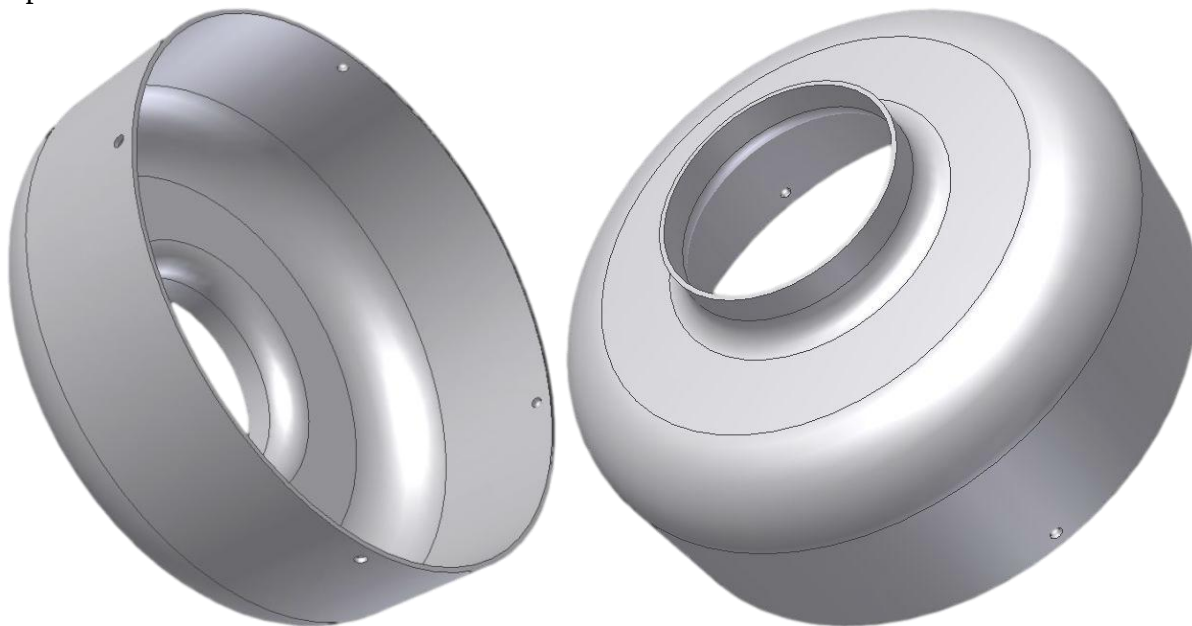
K tomu, aby mohlo dojít k protahování kruhových otvorů volným tažníkem je třeba určité síly, kterou lze odvodit ze vztahu:

$$F_{ph} = 1,1 \cdot \pi \cdot s_0 \cdot R_m \cdot (D_{ph} - d_{ph}) \quad [mm] \quad (3.18)$$

Co se protahovací mezery mezi tažníkem a tažnicí týká, může být tato nepatrně menších rozměrů, než je tloušťka tvářeného materiálu. Pokud však bude mít protahovací mezera velikost větší, nebo rovnu tloušťce výchozího materiálu, dochází k tomu, že povrch protaženého výtažku, tedy válce, má horší jakost v důsledku ztenčení na krajích tvářeného materiálu.

## 4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1, zvolenou technologií pro výrobu daného dílce je konvenční tažení bez ztenčení stěny. Tvar finálního výtažku vymodelovaný v programu Autodesk Inventor 2014 je znázorněn na obr. 17, výkres součásti s hlavními rozměry poté na výkrese BP-20 (příloha 6). Z hlediska rozměrů nejsou kladeny vysoké nároky na rozměrovou a geometrickou přesnost, pouze u otvorů Ø 5 mm rozmístěných po obvodu je třeba dodržet jejich vzájemnou polohu tak, aby bylo možné výrobek následně sesadit a snýtovat s protikusem.



Obr. 17 3D model výtažku

### 4.2 Volba materiálu [4], [8]

Při volbě materiálu byla uvažována zvolená technologie výroby, funkce krytu a prostředí, ve kterém bude instalován, dostupnost materiálu u dodavatele a v neposlední řadě i jeho cena, aby byla docílena rentabilita výroby. Jako nejvhodnější varianta byl zvolen plech válcovaný za studena, ČSN EN 10130 v jakosti DC04 (1.0338) z důvodu skladové položky u regionálního dodavatele a splnění požadavků na použitelnost na tvářecí operace. Jedná se o ocel nelegovanou, vhodnou pro tváření za studena, k zvlášť hlubokému tažení, odolnou proti stárnutí. Materiál je též vhodný k nanášení povlaků. Jelikož bude kryt vystaven kondenzaci vodních par, bude muset být na konci výrobního procesu zařazena vhodná povrchová úprava. Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu jsou uvedeny níže (tab. 6).

Tab. 6 Vlastnosti výrobků povrchově válcovaných za studena [4]

| Značka oceli | Číselné označení | R <sub>e</sub> | R <sub>m</sub> | A <sub>80</sub> | r <sub>90</sub> | n <sub>90</sub> | Chemické složení |          |          |           |
|--------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------|----------|-----------|
|              |                  | MPa            | MPa            | min. %          | min.            | min.            | C max. %         | P max. % | S max. % | Mn max. % |
| DC04         | 1.0338           | -/210          | 270/350        | 38              | 1,6             | 0,180           | 0,08             | 0,030    | 0,030    | 0,40      |

## 4.2 Technologický postup

U návrhu postupu výroby součásti je nutné zvážit proveditelnost. Mezi hlavními úkony potřebnými ke zjištění, zda je podnik schopen přijmout zakázku, jsou zejména jasná definice výrobku (kompletnost dokumentace, konstrukční požadavky, legislativa,...), dále je třeba provést analýzu vybavenosti dílny (strojový park, nástroje, měřidla) a v neposlední řadě i volné kapacity dílny. Tyto aspekty mají nemalý vliv na konečnou cenu výrobku a návratnost případné investice do pořízení nových strojů, nástrojů, výrobního zařízení.

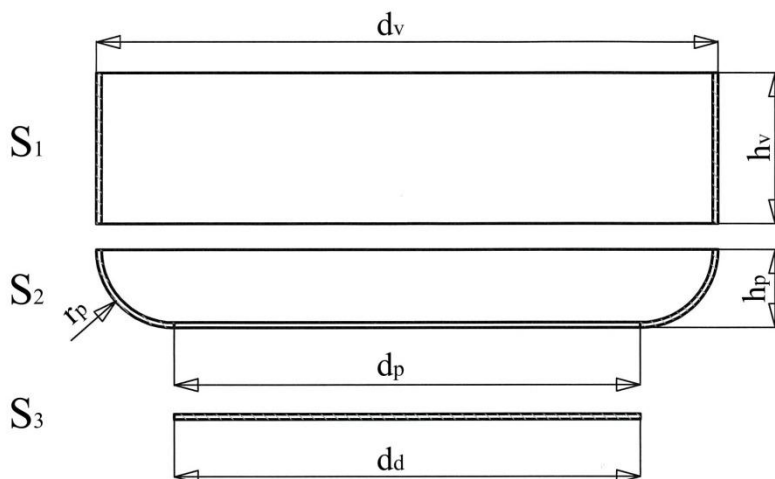
Při návrhu postupu lze uvažovat o výrobě ve sdruženém nástroji, ať už jde o stříhací operace spolu s tažnými, nebo o sdružený tažný nástroj při víceoperačním tažení. Sice dojde k úspoře obsazenosti strojů, ale za cenu vyšších nákladů na pořízení nástrojů a nižší produktivity. Politika výrobního závodu je v co největší míře využít stávajícího výrobního zařízení, dílna je vybavena převážně hydraulickými lisami, které jsou osazovány spíše jednoúčelovými nástroji. Manipulace součástí mezi jednotlivými pracovišti probíhá pomocí pásových dopravníků. Technologický postup bude tedy zpracován na stávající strojový park za použití jednodušších jednooperačních nástrojů.

Výroba krytu bude probíhat nejdříve ve skladu MTZ, kde bude z tabulí plechu nebo pásů plechu připraven přístřih. Následně bude takto připravený polotovar dopraven do výrobní haly, kde budou provedeny operace tažení a finální dokončení, které spočívá v ostřížení přebytečného materiálu, prostřížení dna a jeho protažení a následné prostřížení montážních otvorů. Jelikož je třeba výrobek ošetřit antikorozi ochranou, bude dále odmaštěn a předán do kooperace na galvanické zinkování.

## 4.3 Výpočet přístřihu

Určení velikosti přístřihu plechu lze stanovit buď prostřednictvím výpočtů, nebo prostřednictvím grafů. V části 3.1.1 byl zmíněn postup výpočtu přes plochu výtažku, tento bude nyní aplikován na stanovení velikosti přístřihu potřebného ke zhotovení součásti.

Výtažek se rozdělí na jednoduché základní části (obr. 18), výpočtem dle vzorců z přílohy 1 se určí velikosti jednotlivých ploch a jejich součet se získá celková plocha přístřihu. Dosazením do vzorce 3.1 bude stanovena základní velikost (průměr) přístřihu bez přídavku ostřížení.



Obr. 18 Rozdělení výtažku na základní plochy

Výpočet velikostí jednotlivých ploch výtažku dle vzorců z přílohy 1 a jejich součet:

$$S_1 = \pi \cdot d_v \cdot h_v = \pi \cdot 239 \cdot 58 \doteq 43548 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_p \cdot r_p + 4 \cdot r_p^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 179 \cdot 30 + 4 \cdot 30^2) \doteq 32154 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 179^2}{4} \doteq 25164 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 43548 + 32154 + 25164 = 100866 \text{ mm}^2$$

Pro ověření správnosti výpočtu bylo využito software Autodesk Inventor 2014, v kterém byla spočítána plocha výtažku  $100574 \text{ mm}^2$ . Drobné odchylky obou hodnot mohou být způsobeny zaokrouhlením.

Velikost (průměr) přístřihu bez přídavku na ostřížení dle vzorce 3.1:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100866}{\pi}} \doteq 358 \text{ mm}$$

Pro stanovení přesného průměru přístřihu včetně přídavků na ostřížení je nutné znát počet tažných operací, jelikož, jak je uvedeno v kapitole 3.1.1, se průměr přístřihu pro první tah zvětšuje o 3% a s každou další tažnou operací o další 1%.

Přístřih zvětšený o 3%, jelikož minimálně jedné operace je třeba, bude:

$$D_0 = 368 \text{ mm}$$

## 4.6 Počet tažných operací

V tab. 1 z kapitoly 3.1.2 jsou uvedeny optimální hodnoty součinitele tažení pro jednotlivé tahy, ze kterých lze dle poměrné tloušťky výchozího polotovaru k průměru přístřihu vypočítat redukce, resp. dosažitelné průměry výtažků v jednotlivých operacích a tím pádem počet operací potřebných k vytažení výrobku.

$$\Delta s = \left( \frac{s_0}{D_0} \right) \cdot 100 = \frac{2}{368} \cdot 100 \doteq 0,54$$

Z tab. 1 byly zvoleny tyto součinitele tažení:

$$m_1 = 0,58$$

$$m_2 = 0,79$$

$$m_3 = 0,82$$

Z takto zvolených optimálních hodnot součinitelů tažení lze následně vypočítat dle vzorce 3.3 z kapitoly 3.1.2 dosažitelné průměry v jednotlivých operacích:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 368 \doteq 213 \text{ mm}$$

Jak je patrné z výpočtu, již v první operaci je možné zhotovit výtažek o průměru  $213 \text{ mm}$ , jelikož průměr výtažku je  $239 \text{ mm}$ , postačí k jeho zhotovení jedna tažná operace a i velikost přístřihu nemusí být dále zvětšována a bude stanovena na  $\varnothing 368 \text{ mm}$ .

## 4.5 Nástřihový plán [10]

Dodavatel vstupního materiálu nabídl 3 rozměry plechů v těchto cenách (bez DPH):

plech za studena válcovaný ČSN EN 10131, ČSN EN 10130, jakost DC04 (1.0338)

| rozměr         | váha        | cena        | 100ks       | 1000 ks     |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2x1000x2000 mm | 31,40 kg/ks | 25,30 Kč/kg | 19,90 Kč/kg | 16,20 Kč/kg |
| 2x1250x2500 mm | 49,06 kg/ks | 25,30 Kč/kg | 19,90 Kč/kg | 16,20 Kč/kg |
| 2x1500x3000 mm | 70,65 kg/ks | 25,30 Kč/kg | 19,90 Kč/kg | 16,20 Kč/kg |

Z nomogramu v příloze 3 je třeba stanovit velikosti můstku E a přepážky odpadu F, aby mohly být následně stanoveny šíře pásů a délky kroků:

pro průměr přístřihu 368 mm jsou stanoveny tyto hodnoty E a F:

$$E = 3,5 \text{ mm}$$

$$F = 9 \text{ mm} \Rightarrow \frac{F}{2} = 4,5 \text{ mm}$$

Šířka pásu a velikost kroku jsou stanoveny takto:

$$SP = D_0 + F = 368 + 9 = 377 \text{ mm}$$

$$K = D_0 + E = 368 + 3,5 = 371,5 \text{ mm}$$

Pro šíři pásu 377 mm se plechy o rozměrech 1000x2000 mm a 1250x2500 mm z důvodu velkého odpadu jeví jako méně vhodné, v případě stříhání pásů podélně lze nastříhat 2 ks pásů, resp. 3 ks s poměrně velkým odpadem. Toto samozřejmě platí i pro plech o rozměru 1500x3000 mm, kde při podélném stříhání lze nastříhat též pouze 3 ks pásů a tím pádem je odpad ještě o dost větší, nicméně abychom ustříhli z tohoto plechu 4 ks pásů, chybí pouze 8 mm, které lze uspořít buď zmenšením přístřihu (nenavyšovat přídavek na ostřížení o celá 3%), nebo zmenšit přepážku odpadu F. Technologem byla zvolena varianta zmenšení přepážky odpadu F z původních 9 mm na nových 7 mm.

$$F = 7 \text{ mm} \Rightarrow F/2 = 3,5 \text{ mm}$$

Nově vypočítaná šíře pásu dle výše uvedeného rozhodnutí:

$$SP = D_0 + F = 368 + 7 = 375 \text{ mm}$$

Na základě této hodnoty byl zvolen plech o rozměrech 2x1500x3000 mm. Jelikož je délka plechu násobkem šířky, je zcela bezpředmětné, zda budou pásy stříhány podélně či příčně. Studie využití plechu se bude tedy zabývat pouze jednořadým stříháním vůči dvouřadému.

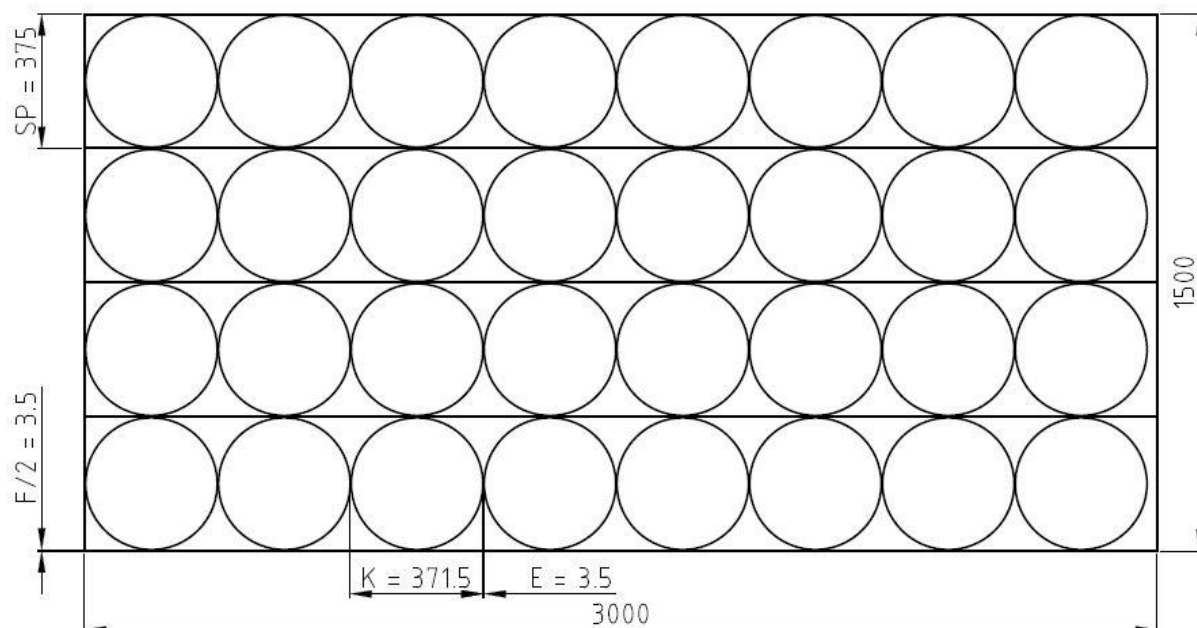
Nově zvolené hodnoty E a F, šíře pásu a velikost kroku:

$$E = 3,5 \text{ mm}$$

$$F = 7 \text{ mm} \Rightarrow F/2 = 3,5 \text{ mm}$$

$$SP = 375 \text{ mm}$$

$$K = 371,5 \text{ mm}$$



Obr. 19 Rozmístění přístřihů na tabuli plechu (jednořadé uspořádání)

Počet pásů na tabuli plechu:

$$p_p = \frac{1500}{SP} = \frac{1500}{375} = 4 \text{ ks}$$

$p_p$  počet pásů [ks]

Počet přístřihů (výstřižků) na pásu plechu:

$$p_v = \frac{3000}{K} = \frac{3000}{371,5} \doteq 8,08 \Rightarrow 8 \text{ ks}$$

$p_v$  počet výstřižků [ks]

Počet přístřihů (výstřižků) z tabule plechu:

$$p_c = p_p \cdot p_v = 4 \cdot 8 = 32 \text{ ks}$$

$p_c$  počet výstřižků z tabule [ks]

Využití tabule plechu:

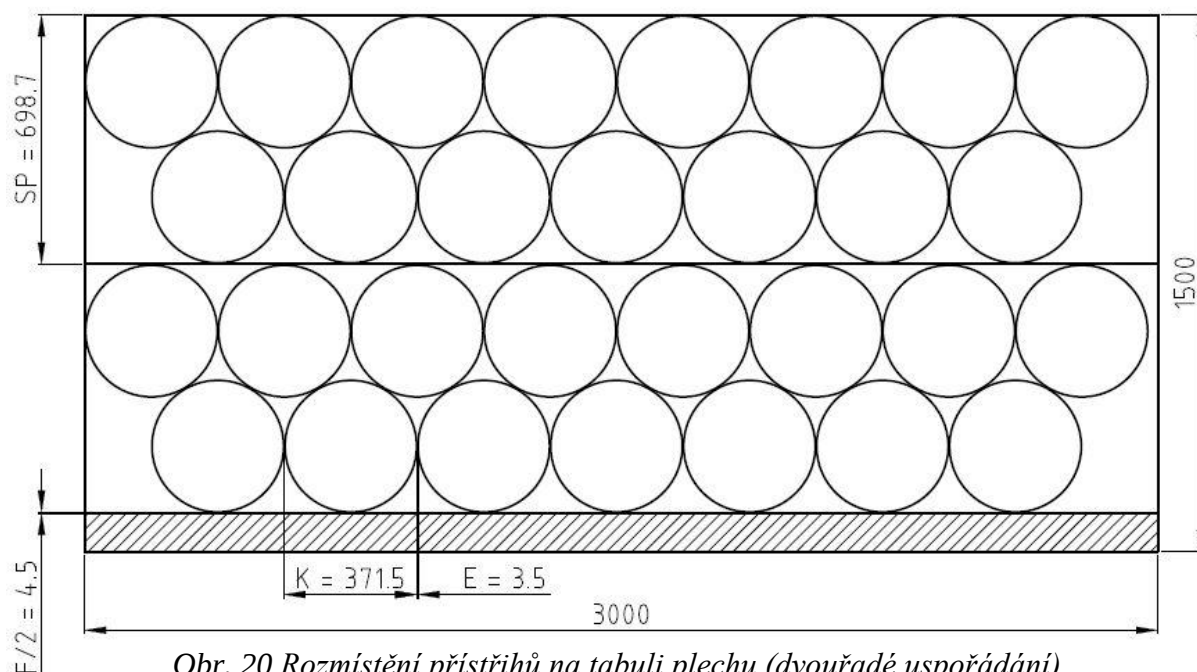
$$\eta_p = \frac{S_p \cdot p_c}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot p_c}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 368^2}{4} \cdot 32}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 \doteq 75,64 \%$$

$\eta_p$  využití tabule plechu [%]

Celková spotřeba tabulí plechu:

$$p_t = \frac{Q}{p_c} = \frac{100000}{32} = 3125 \text{ ks}$$

$p_t$  celková spotřeba tabulí [ks]  
 $Q$  velikost série [ks]



Obr. 20 Rozmístění přístřihů na tabuli plechu (dvouřadé uspořádání)

Šíře pásu pro dvouřadé uspořádání byla stanovena na:

$$SP = 698,7 \text{ mm}$$

Počet pásů na tabuli plechu:

$$p_p = \frac{1500}{SP} = \frac{1500}{698,7} \doteq 2,15 \Rightarrow 2 \text{ ks}$$

Počet přístřihů (výstřížků) na pásu plechu:

$$p_v = \frac{2 \cdot 3000}{K} - 1 = \frac{2 \cdot 3000}{371,5} - 1 \doteq 15,2 \Rightarrow 15 \text{ ks}$$

Počet přístřihů (výstřížků) z tabule plechu:

$$p_c = p_p \cdot p_v = 2 \cdot 15 = 30 \text{ ks}$$

Využití tabule plechu:

$$\eta_p = \frac{S_p \cdot p_c}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot p_c}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 368^2}{4} \cdot 30}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 \doteq 70,91 \%$$

Celková spotřeba tabulí plechu:

$$p_t = \frac{Q}{p_c} = \frac{100000}{30} \doteq 3333,3 \Rightarrow 3334 \text{ ks}$$

Jako vhodnější nástřihový plán se jeví varianta jednořadého uspořádání přístřihů na pásu plechu, kdy je využití materiálu přes 75 %, počet tabulí plechu potřebných ke zhotovení zakázky je 3125 ks.

#### 4.6 Tažná mezera a geometrie funkčních částí tažidla

Určit tažnou mezeru, tj. mezeru mezi tažníkem a tažnicí lze buď z tabulek, nebo výpočtem. V tomto případě bude vybraná hodnota z tabulky pro doporučené hodnoty mezery vzhledem k tloušťce materiálu ověřena výpočtem.

Doporučená hodnota tažné mezery pro tloušťku materiálu 2 mm dle tab. 2 z kapitoly 3.1.3:

$$z = 2,4 \text{ mm}$$

Hodnota tažné mezery dle vzorce 3.4 z téže kapitoly:

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

Byla zvolena tažná mezera 2,4 mm.

Funkčními částmi tažidla se rozumí poloměry zaoblení tažníku a tažnice, jejich určení je nezbytné pro další výpočty.

Výpočet poloměru zaoblení tažnice dle vzorce 3.13:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(368 - 239) \cdot 2} \doteq 12,85 \Rightarrow 13 \text{ mm}$$

Výpočet poloměru zaoblení tažnice dle ČSN 22 7301:

$$R_{te} = (6 \div 10) \cdot s_0 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ mm}$$

Výpočet poloměru zaoblení tažníku dle ČSN 22 7301:

$$R_{tu} = (5 \div 7) \cdot s_0 = 7 \cdot 2 = 14 \text{ mm}$$

Z důvodu následného ostřížení příruby, resp. ostřížení na přesný rozměr po tažení bude zvolen poloměr tažnice menší, tedy 13 mm, naopak poloměr tažníku, jelikož se jedná o jedinou tažnou operaci, musí být stanoven dle výrobku, tj. 28 mm.

#### 4.7 Použití přidržovače

Výpočet dle Freidlinga, který vychází z poměrné tloušťky, vzorec 3.7:

$$\Delta s = \left( \frac{s_0}{D_0} \right) \cdot 100 = \frac{2}{368} \cdot 100 \doteq 0,54 \Rightarrow \text{je nutné použít přidržovač}$$

Ověření dle Šofmana, vzorec 3.8:

$$D_0 - d_1 \leq 18 \cdot s_0$$

$$368 - 239 \leq 18 \cdot 2$$

$$129 \leq 36 \Rightarrow \text{podmínka není splněna a je tedy nutné použít přidržovač}$$

Výpočtem bylo ověřeno, že je nutné použít přidržovač.

## 4.8 Výpočet síly a práce

Výpočet tažné síly dle vzorce 3.10:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d_n \cdot s_0 \cdot R_m = 0,72 \cdot \pi \cdot 239 \cdot 2 \cdot 350 \doteq 378424 \text{ N}$$

Výpočet síly od přidržovače dle vzorce 3.6:

$$F_p = S_c \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot [D_0^2 - (d_n + 2 \cdot R_{te})^2] \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot [368^2 - (239 + 2 \cdot 13)^2] \cdot 2 \doteq 102414 \text{ N}$$

Výpočet celkové lisovací síly, na kterou se dimenzuje lis dle vzorce 3.11:

$$F_c = F_t + F_p = 378424 + 102414 = 480838 \text{ N}$$

Velikost práce při tažení dle vzorce 3.12:

$$A = \frac{K_p \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{0,66 \cdot 480838 \cdot 86}{1000} \doteq 27292 \text{ J}$$

## 4.9 Volba stroje a návrh tažného nástroje [11], [21]

Před vlastním výběrem vhodného stroje je nutné znát parametry tvářecího procesu, mezi které patří zejména velikost série, rozměry výrobku a nástroje, velikosti tvářecích sil.

Na základě těchto parametrů, zejména pak kvůli velikosti nástroje musel být vybrán lis s větší lisovací silou, než je potřebná, a to hydraulický univerzální lis ZH 160 výrobce PRESSHYDRAULIKA, s.r.o. Ukázka lisu je na obr. 21, základní parametry stroje jsou uvedeny v příloze 4.

Popis dle výrobce:

Hydraulické lisy ZH jsou výkonné produkční lisy vhodné pro hluboké tažení, lisování, stříhání, děrování nebo ohýbání za studena, ale také řadu jiných tvářecích prací. Jsou dodávány ve standardní typové řadě, nebo s rámem upraveným dle požadavku zákazníka. Také vybavení lisu může být standardní, nebo dle požadavku rozšířeno o zvláštní vybavení.



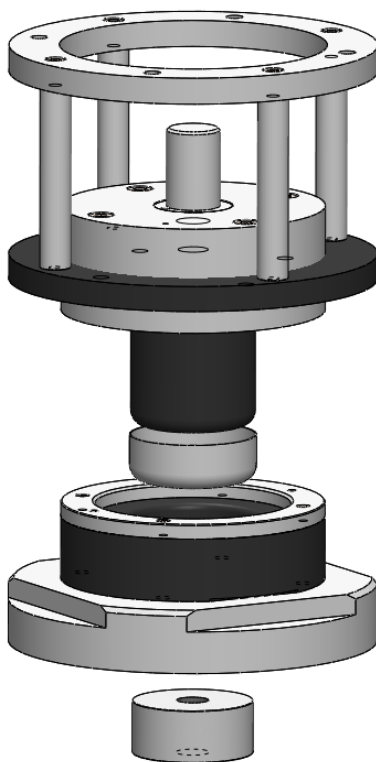
Obr. 21 Lis ZH 160 [21]

Tažný nástroj je konstruován jako jednooperační, sestává ze spodní části, která bude pomocí upínek uchycena ke stolu lisu a části horní, která bude uchycena k dvojčinné horní části lisu.

Spodní část tažidla tvoří základová deska, do které jsou vyfrézovány drážky, které slouží k ustavení nástroje pomocí upínek ke stolu lisu. K základové desce je čtyřmi šrouby připevněna tažnice, na které je přišroubován středící kroužek. Vzájemná poloha základové desky a tažnice, resp. tažnice a středícího kroužku je dosažena pomocí kolíků. Tažnice je též odfrézována z důvodu lepší demontáže.

Horní díl nástroje je sestaven ze dvou na sobě nezávislých částí, které budou ovládány pomocí dvojčinného beranu lisu. První částí je přidržovač, který je sestaven z příruby, sloupků a vlastního přidržovače. Druhou část tvoří stopka, která je zašroubována do horní upínací desky a zajištěna proti vyšroubování, dále pak kotvící deska, do které je zasazen tažník. Horní upínací deska a kotvící deska jsou sešroubovány, jejich vzájemná poloha je řešena pomocí středících pouzder. Nástroj je řešen včetně spodního vyhazovače, který bude osazen na spodním beranu lisu, který je jako volitelné příslušenství součástí lisu.

Konstrukce nástroje s hydraulicky ovládaným přidržovačem musela být zvolena poté, co nebylo možné vytipovat vhodné vinuté pružiny vzhledem k hloubce tažení a i z důvodu zajištění konstantní přidržovací síly. Navržený nástroj je na obr. 22, výkresová dokumentace poté v přílohách.



*Obr. 22 Sestava tažného nástroje*

## 5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Pro sestavení ceny výrobku a vyhodnocení návratnosti investice do nástrojů a rentability celé zakázky budou převzaty ceny a sazby mezd, variabilních a fixních nákladů z již zavedené výroby podobného výrobku (představitele), tzv. standard.

### 5.1 Cena materiálu na 1 kus

Náklady na pořízení materiálu:

$$N_m = p_t \cdot m_t \cdot c_m = 3125 \cdot 70,65 \cdot 16,20 \doteq 3576657 \text{ Kč}$$

$N_m$  náklady na materiál [Kč]  
 $m_t$  hmotnost tabule plechu [kg]  
 $c_m$  cena materiálu [Kč/kg]

Zhodnocení odpadu:

$$Z_o = p_t \cdot m_t \cdot c_o \cdot \left(1 - \frac{\eta_p}{100}\right) = 3125 \cdot 70,65 \cdot 3,20 \cdot \left(1 - \frac{75,64}{100}\right) \doteq 172103 \text{ Kč}$$

$Z_o$  zhodnocení odpadu [Kč]  
 $m_t$  hmotnost tabule plechu [kg]  
 $c_o$  cena odpadu [Kč/kg]

Cena materiálu na 1 ks:

$$N_k = \frac{N_m - Z_o}{Q} = \frac{3576657 - 172103}{100000} \doteq 34,05 \text{ Kč}$$

$N_k$  cena materiálu na 1 ks [Kč]

### 5.2 Cena nástrojů

Cena nástrojů je stanovena odborným odhadem, ve stanovení celkových nákladů na jeden kus bude pro zjednodušení výpočtu rozpuštěna do výrobní série jako náklad za materiál.

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Nástroj na vystřížení přístřihu plechu | 350000 Kč |
| Tažný nástroj                          | 450000 Kč |
| Dokončovací nástroje                   | 150000 Kč |

K ceně materiálu jednoho kusu bude ve výpočtu ještě připočítáno 9,50 Kč za nástroje.

### 5.3 Kooperace

Součást musí být po dokončení předána do kooperace na povrchovou úpravu – galvanické zinkování. Cena této operace je dodavatelem stanovena na 15 Kč/kg. Programem Autodesk Inventor 2014 je spočítána hmotnost součásti na 1,53 kg.

## 5.4 Stanovení ceny výrobku

Cena výrobku se řídí politikou firmy a je počítána dle tabulky v příloze 5, kde jsou počítány náklady na výrobu jednoho kusu dle stanovených koeficientů mezd, variabilních a fixních nákladů. Výrobní časy jsou stanoveny odborným odhadem. Výsledná cena je následně dána navýšením těchto nákladů o 30%.

Cena výrobku:

$$C_v = N_v \cdot 1,3 = 107,66 \cdot 1,3 \doteq 140 \text{ Kč}$$

$C_v$       cena výrobku [Kč]  
 $N_v$       náklady výrobku [Kč]

Cena výrobku je stanovena na 140 Kč bez DPH.

## 5.5 Bod zvratu [25]

Stanovením bodu lze zjistit, kdy se tržby rovnají nákladům a firmě v tuto dobu nevzniká žádný zisk ani ztráta. Po tomto množství produkce začíná firma generovat zisk.

Výpočet bodu zvratu:

$$B_z = \frac{FN}{C_v - VN} = \frac{1902000}{140 - 13,45} \doteq 15030 \text{ ks}$$

$B_z$       bod zvratu [ks]  
 $FN$       fixní náklady [Kč]  
 $VN$       variabilní náklady [Kč]

Firmě se začne generovat zisk po vyrobení 15030 ks výrobků.

## ZÁVĚRY

Řešenou součástí v závěrečné práci byl kryt průmyslového potrubního radiálního ventilátoru, jejím výstupem byl poté návrh vhodné technologie výroby součásti plošným tvářením a zpracování výkresové dokumentace. Velikost série byla stanovena na 100 000 ks za rok.

Pro výrobu zadané součásti byly vzaty do úvahy varianty technologie výroby kovotlačením, nekonvenčním tažením, konkrétně tažení elastomerem a tvářením kapalinou (Hydroform), a konvenčním tažením bez a se ztenčením stěny. Z důvodu nízké produktivity nebo z důvodu vysokých výrobních nákladů byla zvolena technologie konvenčního tažení bez ztenčení stěny.

Na základě literární studie technologie stříhání a tažení byl sestaven technologický postup výroby součásti, kdy je z přístříhu plechu o  $\varnothing$  368 mm v jedné operaci vytažen základní tvar součásti, který je následně dokončen ostřížením příruby, prostřížením a protažením jeho dna do finálního tvaru, prostřížením montážních otvorů a povrchově upraven. Pro výrobu krytu byl zvolen hlubokotažný ocelový plech DC04 (ČSN EN 10130).

Pro operaci tažení byl dle výpočtů navržen tažný nástroj a vybrán konkrétní stroj. Tažidlo sestává z pevné části, kterou je tažnice se základovou deskou a pohyblivé části. Pohyblivá (vrchní) část se skládá z tažníku a přidržovače. Přidržovač je ovládán hydraulicky vnějším beranem lisu, použití přidržovače s vinutými pružinami nebylo z důvodu hloubky tažení a zajištění konstantní přidržovací síly možné. Tažník je celistvé konstrukce, finanční úspora na materiálu při použití tažníku děleného by byla minimální z důvodu vyšších nároků na přesnost jeho výroby. Součástí nástroje je spodní vyhazovač. Kvůli velikosti nástroje byl zvolen lis s větší jmenovitou silou, než je třeba, konkrétně hydraulický univerzální lis ZH 160 výrobce PRESSHYDRAULIKA s.r.o., který má jako volitelné příslušenství horní přidržovač a spodní vyhazovač.

V ekonomickém hodnocení byl poté zjednodušeně nastíněn možný výpočet ceny výrobku a spočítána návratnost investice do nástrojů. Finální cena výrobku byla stanovena na 140 Kč bez DPH a bod zvratu stanoven na 15030 vyrobených kusů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAREŠ, Karel et al. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
2. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004, 219 s. ISBN 08-311-3182-9.
3. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1969.
4. ČSN EN 10130. *Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena – Technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
5. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Základní druhy tváření*. Brno, 2004. Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/kapitola\\_1.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_1.htm)
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
7. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Návod do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
8. FERONA. *Sortimentní katalog: Materiálové normy*. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat\\_normy.php](http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php)
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I*. Brno, 2002. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt\\_I.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_I.pdf)
11. KOTOUČ, Jiří, Luděk MÁDLE, Jan ŠANOVEC a Jan ČERMÁK. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
12. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W-Výrobky ze slinovaných prášků, X-Výrobky z plastů, Y-Svařování součástí, Z-Protikoroze ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
13. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologické způsoby výroby dutých těles*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)
14. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie objemového tváření*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/02.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm)
15. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
16. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09-tazeni/02-tazidlo.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09-tazeni/02-tazidlo.jpg)

17. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09-tazeni/07-lemovanim.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09-tazeni/07-lemovanim.jpg)
18. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie tváření kovů*. Liberec. [online]. [cit. 2015-04-23]. 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)
19. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. Brno, 2002. Kombinované stadium, III. ročník. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf)
20. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
21. PRESSHYDRAULIKA. *Hydraulické lisy, hydraulická zařízení, elektrická vybavení: Katalog* [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://files.presshydraulika.cz/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf>
22. PRESSPART: *About Presspart Manufacturing Ltd.* [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.presspart.com/industrial/history/>
23. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 196 s. ISBN 80-03-00221-4.
24. TWINPLEX STAMPING CO. *Deep draw stamping solutions: Deep draw*. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://twinplex.com/deep-draw.html>
25. WIKIPEDIE. *Bod zvratu*. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod\\_zvratu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu)
26. WILD. *Precision automotive components: Deep drawn components*. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.wildautomotive.com/products/deep-drawn-components/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka | Jednotka | Popis                   |
|---------|----------|-------------------------|
| HRC     | [-]      | tvrdost podle Rockwella |

| Symbol                                           | Jednotka           | Popis                               |
|--------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| A                                                | [J]                | práce                               |
| A <sub>80</sub>                                  | [%]                | tažnost                             |
| C                                                | [-]                | součinitel                          |
| D <sub>0</sub>                                   | [mm]               | průměr přístřihu                    |
| D <sub>ph</sub>                                  | [mm]               | střední průměr protaženého otvoru   |
| E                                                | [mm]               | můstek                              |
| F                                                | [mm]               | přepážka odpadu                     |
| F <sub>c</sub>                                   | [N]                | celková lisovací síla               |
| F <sub>p</sub>                                   | [N]                | síla od přidržovače                 |
| F <sub>ph</sub>                                  | [N]                | síla protahování                    |
| F <sub>t</sub>                                   | [N]                | maximální tažná síla                |
| K                                                | [mm]               | krok                                |
| K <sub>p</sub>                                   | [-]                | koeficient zaplnění plochy          |
| M <sub>p</sub>                                   | [-]                | koeficient protahování              |
| Q                                                | [ks]               | velikost série                      |
| R <sub>a</sub>                                   | [μm]               | střední aritmetická úchylka profilu |
| R <sub>e</sub>                                   | [MPa]              | mez pružnosti                       |
| R <sub>m</sub>                                   | [MPa]              | mez pevnosti v tahu                 |
| R <sub>ph</sub>                                  | [mm]               | poloměr zaoblení protaženého otvoru |
| R <sub>te</sub>                                  | [mm]               | poloměr zaoblení tažnice            |
| R <sub>tu</sub>                                  | [mm]               | poloměr zaoblení tažníku            |
| S                                                | [mm <sup>2</sup> ] | celková plocha výtažku              |
| S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> | [mm <sup>2</sup> ] | dílčí plocha výtažku                |
| S <sub>c</sub>                                   | [mm <sup>2</sup> ] | činná plocha pod přidržovačem       |
| S <sub>p</sub>                                   | [mm <sup>2</sup> ] | plocha přístřihu                    |
| SP                                               | [mm]               | šířka pásu                          |

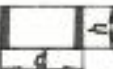
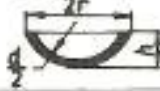
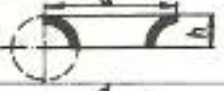
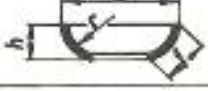
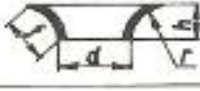
|                                                                  |       |                                  |
|------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|
| <b><math>d_1, d_2, d_3, d_n</math></b>                           | [mm]  | průměr výtažku                   |
| <b><math>d_d</math></b>                                          | [mm]  | průměr dna                       |
| <b><math>d_p</math></b>                                          | [mm]  | průměr prstence                  |
| <b><math>d_{ph}</math></b>                                       | [mm]  | průměr předstřiženého otvoru     |
| <b><math>d_v</math></b>                                          | [mm]  | průměr válce                     |
| <b><math>h</math></b>                                            | [mm]  | výška výtažku                    |
| <b><math>h_p</math></b>                                          | [mm]  | výška prstence                   |
| <b><math>h_v</math></b>                                          | [mm]  | výška válce                      |
| <b><math>m, m_1, m_2, m_3, m_n</math></b>                        | [-]   | součinitel tažení                |
| <b><math>m_c</math></b>                                          | [-]   | celkový součinitel tažení        |
| <b><math>n_{90}</math></b>                                       | [-]   | exponent deformačního zpevnění   |
| <b><math>p</math></b>                                            | [MPa] | měrný přidržovací tlak           |
| <b><math>p_c</math></b>                                          | [ks]  | počet výstřižků z tabule         |
| <b><math>p_p</math></b>                                          | [ks]  | počet pásů                       |
| <b><math>p_t</math></b>                                          | [ks]  | celková spotřeba tabulí          |
| <b><math>p_v</math></b>                                          | [ks]  | počet výstřižků                  |
| <b><math>r_{90}</math></b>                                       | [-]   | součinitel plastické anizotropie |
| <b><math>r_p</math></b>                                          | [mm]  | poloměr prstence                 |
| <b><math>s_0</math></b>                                          | [mm]  | tloušťka výchozího polotovaru    |
| <b><math>v_{ph}</math></b>                                       | [mm]  | výška protaženého otvoru         |
| <b><math>z</math></b>                                            | [mm]  | tažná mezera                     |
| <b><math>z_m</math></b>                                          | [-]   | materiálová konstanta            |
| <b><math>\alpha</math></b>                                       | [-]   | součinitel                       |
| <b><math>\sigma, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3</math></b>         | [MPa] | napětí                           |
| <b><math>\epsilon, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3</math></b> | [-]   | deformace                        |
| <b><math>\eta_p</math></b>                                       | [%]   | využití tabule plechu            |

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – vzorce pro výpočet velikostí běžných základních ploch
- Příloha 2 – vzorce pro výpočet velikostí přístřihů pro běžné tvary výtažků
- Příloha 3 – nomogramy pro stanovení velikostí můstků a přepážek odpadu
- Příloha 4 – základní parametry stroje
- Příloha 5 – výpočet nákladů výrobku
- Příloha 6 – výkres A3 BP-20 KRYT
- Příloha 7 – výkres A3 BP-001 SESTAVA – TAŽNÝ NÁSTROJ, list 1
- Příloha 8 – výkres A4 BP-001 SESTAVA – TAŽNÝ NÁSTROJ, list 2
- Příloha 9 – výkres A3 BP-1 TAŽNICE
- Příloha 10 – výkres A3 BP-2 TAŽNÍK
- Příloha 11 – výkres A3 BP-13 VÝTAŽEK

## Příloha 1

Vzorce pro výpočet velikostí běžných základních ploch [23]

| rotační tvar                                                                        | plocha                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $A = \frac{\pi}{4} d^2$<br>okroužek                                                                        |
|    | $A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$<br>prstenec                                                              |
|    | $A = \pi \cdot d \cdot h$<br>válec                                                                         |
|    | $A = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot f$<br>rotační kužel       |
|    | $A = \frac{\pi}{4} (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} f \cdot (d + d_1)$<br>kornalý kužel |
|  | $A = \pi \cdot d^2$<br>koule                                                                               |
|  | $A = \frac{\pi}{2} \cdot d^2$<br>polokoule                                                                 |
|  | $A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$<br>kulová úseč                                           |
|  | $A = \pi \sqrt{4r^2 h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi \cdot d \cdot h$<br>kulová vrstva                   |
|  | $A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$<br>konkávní prstenec (čtvrtina)                     |
|  | $A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$<br>konvexní prstenec (čtvrtina)                     |
|  | $A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$<br>konkávní prstenec                                       |
|  | $A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$<br>konvexní prstenec                                       |

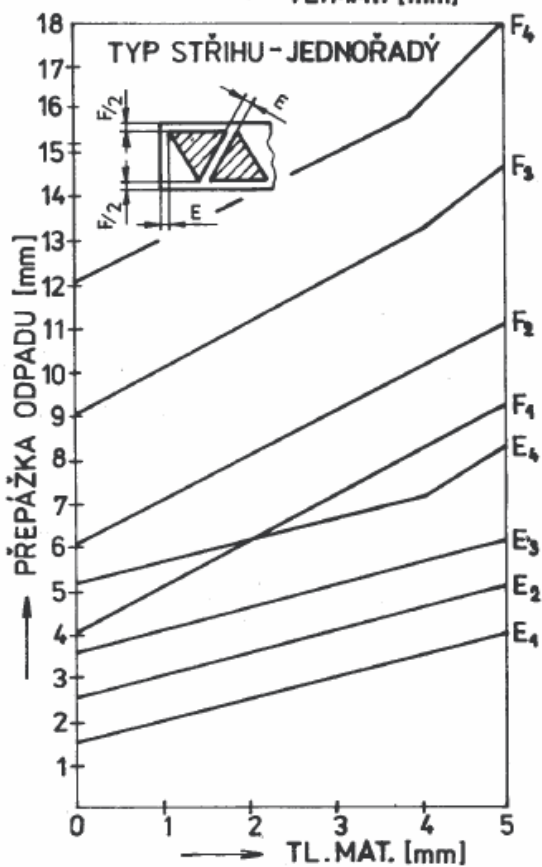
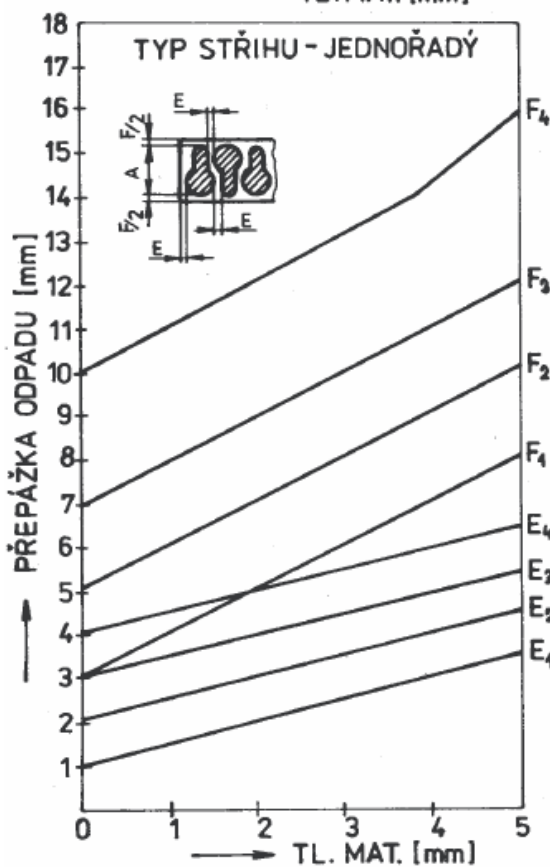
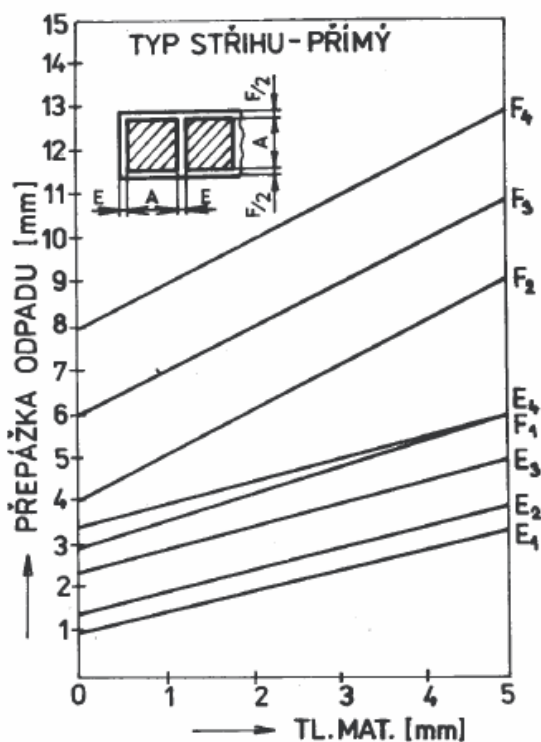
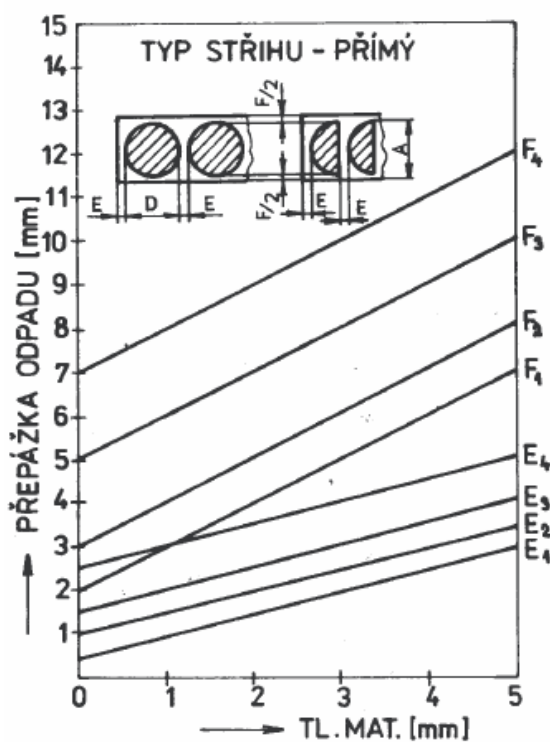
## Příloha 2

Vzorce pro výpočet velikostí přístřihů pro běžné tvary výtažků [12]

|  |                                                         |  |                                                                                         |  |                                                              |
|--|---------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------|
|  | $D = \sqrt{d^2 + 4dv}$                                  |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1v}$                                                              |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 4[v_1^2 + d_1v_2 + 0,5(d_1 + d_2)]}$      |
|  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1v}$                              |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1v_1 + d_2v_2)}$                                                 |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 2h(d_1 + d_2)}$                           |
|  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1v_1 + d_2v_2)}$                 |  | $D = \sqrt{d_3^2 + 4(d_1v_1 + d_2v_2)}$                                                 |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 2h(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$           |
|  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1v_1 + d_2v_2)}$                 |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 4d_1v + 2f(d_1 + d_2)}$                                              |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 2h[(d_1 - d_2) + 2d_2v]}$                 |
|  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1v_1 + d_2v_2) + 2f(d_2 + d_3)}$ |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2}$<br>nebo<br>$D = \sqrt{d_2^2 + 2,28rd_2 - 0,56r^2}$ |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2v + 2f(d_2 + d_3)}$ |
|  | $D = \sqrt{2d^2} = 1,414d$                              |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1v}$                                                              |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2v + 2f(d_2 + d_3)}$ |
|  | $D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$                              |  | $D = \sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$                                                       |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 2,28rd_2 - 0,56r^2}$                      |
|  | $D = \sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$                       |  | $D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dv}$                                                            |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2v + 2f(d_2 + d_3)}$ |
|  | $D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dv}$                            |  | $D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1v}$                                                      |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 6,28rd_1 + 8r^2 + 4d_2v + 2f(d_2 + d_3)}$ |
|  | $D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1v}$                      |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(v_1^2 + d_1v_2)}$                                                  |  | $D = \sqrt{4d_2v + 6,28rd_1 + d_1^2}$                        |
|  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4(v_1^2 + d_1v_2)}$                  |  | $D = \sqrt{d^2 + 4(v_1^2 + dv_2)}$                                                      |  | $D = 1,414 \sqrt{d_1^2 + 2d_1v + f(d_1 + d_2)}$              |
|  | $D = \sqrt{d^2 + 4(v_1^2 + dv_2)}$                      |  | $D = \sqrt{d_1^2 + 4v^2 + 2f(d_1 + d_2)}$                                               |  | $D = \sqrt{d_2^2 + 4v^2}$                                    |
|  | $D = \sqrt{d_1^2 + 4v^2 + 2f(d_1 + d_2)}$               |  |                                                                                         |  | $D = \sqrt{d^2 + 4v^2}$                                      |

## Příloha 3

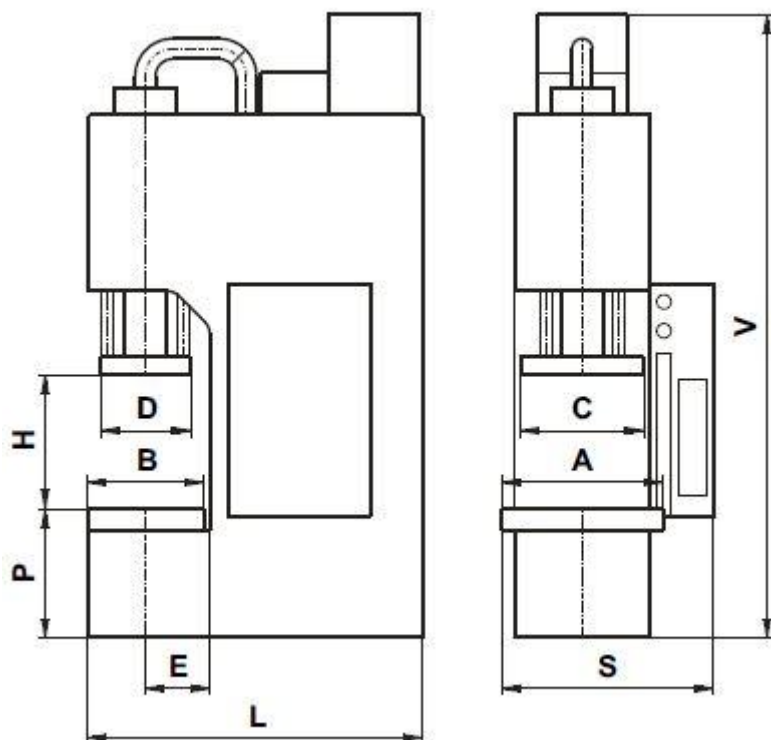
Nomogramy pro stanovení velikostí můstků a přepážek odpadu [10]



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

## Příloha 4

Základní parametry stroje [21]



### Standardní řada lisů • Standard range of presses:

| TYP                   |                |              |           | ZH 10 | ZH 25       | ZH 30       | ZH 40       | ZH 50       | ZH 63       | ZH 100      | ZH 160      | ZH 250    |           |
|-----------------------|----------------|--------------|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Lisovací síla         | Pressing force | kN           |           | 100   | 250         | 300         | 400         | 500         | 630         | 1000        | 1600        | 2500      |           |
| Zdvih beranu          | Ram stroke     | mm           |           | 400   |             |             |             |             |             | 500         |             |           |           |
| Přibližovací rychlost | Approach speed | mm/s         |           | 250   | 235         |             | 250         |             | 255         | 225         | 260         | 270       |           |
| Pracovní rychlost     | Pressing speed | mm/s         |           | 30    |             | 32          |             | 27          | 26          | 8 - 26      | 5 - 32      | 8 - 38    |           |
| Zpětná rychlost       | Return speed   | mm/s         |           | 160   | 180         | 205         | 230         | 215         | 230         | 200         | 215         | 340       |           |
| Stůl                  | A x B          | Table        | A x B     | mm    | 605 x 405   |             | 655 x 455   |             |             | 755 x 505   |             | 810 x 580 | 900 x 650 |
| Beran                 | C x D          | Ram          | C x D     | mm    | 455 x 355   |             |             | 505 x 405   |             |             | 540 x 410   | 750 x 510 |           |
| Vyložení              | E              | Gap          | E         | mm    | 250         | 260         |             | 280         |             | 330         | 360         |           |           |
| Rozevření             | H              | Opening      | H         | mm    | 600         |             |             |             |             |             | 700         | 950       |           |
| Výška stolu           | P              | Table height | P         | mm    | 890         |             |             |             |             |             | 880         | 905       |           |
| Rozměry stroje        | Dimensions     |              |           | m     | 1,24 x 1,03 | 1,39 x 1,07 | 1,39 x 1,08 | 1,48 x 1,16 | 1,48 x 1,17 | 1,58 x 1,23 | 1,65 x 1,14 | 2 x 1,2   | 2 x 1,2   |
|                       | L x S x V      |              | L x S x V |       | x 2,78      | x 2,9       | x 2,99      | x 3,08      | x 3,08      | x 3,15      | x 3,0       | x 3,52    | x 3,68    |

#### Standardní vybavení:

- plynulá regulace lisovací síly
- regulace lisovací rychlosti
- bezpečnostní moduly
- obouruční ovládání
- digitální manometr a spínač
- počítadlo zdvihů
- řídicí systém Siemens
- hydraulické prvky renomovaných firem
- regulovatelná doba lisování

#### Zvláštní příslušenství:

- optoelektronická zábrana
- horní přidržovač a vyhazovač
- spodní přidržovač a vyhazovač
- nožní ovládání
- osvětlení pracovního prostoru
- olejová náplň
- tlumiče střižného rázu
- kontinuální snímání polohy
- elektronické nastavení lisovací síly
- další příslušenství dle dohody

#### Standard equipment:

- stepless pressing force regulation
- pressing speed regulation
- safety modules
- both-hand control
- digital pressure gauge and switch
- stroke counter
- Siemens control systems
- worldwide hydraulic components
- regulation of pressing time

#### Special accessories:

- safety light curtain
- upper blankholder and ejector
- lower blankholder and ejector
- foot control
- working space lighting
- mineral oil filling
- cutting shock absorbers
- continual position sensing
- electronic pressing force adjustment
- additional accessories as agreed

Příloha 5

Výpočet nákladů výrobku

KRYT BP-20

| NÁKLADY STANDARD 2015 |                      |          |       |       |    |       |      |      |      | CZK   |     |
|-----------------------|----------------------|----------|-------|-------|----|-------|------|------|------|-------|-----|
| STANDARD 2015         |                      |          |       |       |    |       |      |      |      |       |     |
| STRUKTURA             | Artikl<br>KRYT BP-20 | MNOŽSTVÍ | ODPAD | SAZBA |    |       | MAT  | LAB  | VO   | FO    | TOT |
|                       |                      |          |       | LAB   | VO | FO    |      |      |      |       |     |
|                       |                      |          |       |       |    |       |      |      |      |       |     |
|                       |                      |          |       |       |    |       |      |      |      |       |     |
|                       |                      |          |       |       |    |       |      |      |      |       |     |
|                       |                      | na ks    |       |       |    | 34,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |       |     |
|                       |                      | 1        | 0%    |       |    | 34,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 34,05 |     |
|                       |                      | na ks    |       |       |    | 9,50  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |       |     |
|                       |                      | 1        | 0%    |       |    | 9,50  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,50  |     |
|                       |                      | na ks    |       |       |    | 15,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |       |     |
|                       |                      | 1,53     | 0%    |       |    | 22,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 22,95 |     |
|                       | CELKEM               |          |       |       |    | 66,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 66,50 |     |

| STANDARD 2015 |                               |            |             |        |        |        |     |      |       |       |       |
|---------------|-------------------------------|------------|-------------|--------|--------|--------|-----|------|-------|-------|-------|
| POSTUP        | Artikl<br>KRYT 2-BP-001       | PRACOVIŠTĚ | VÝROBNÍ ČAS | SAZBA  |        |        | MAT | LAB  | VO    | FO    | TOT   |
|               |                               |            |             | LAB    | VO     | FO     |     |      |       |       |       |
|               |                               |            |             |        |        |        |     |      |       |       |       |
|               | STŘÍHÁNÍ PÁSŮ Z PLECHU        | 120010     | 0,009090    | 233,01 | 1,9051 | 1,4137 |     | 2,12 | 4,04  | 5,70  | 11,86 |
|               | STŘÍHÁNÍ PŘÍSTŘIHŮ Z PÁSU     | 124526     | 0,003333    | 262,9  | 1,5744 | 1,4137 |     | 0,88 | 1,38  | 1,95  | 4,21  |
|               | TAŽENÍ                        | 130570     | 0,006944    | 262,9  | 1,6964 | 1,4137 |     | 1,83 | 3,10  | 4,38  | 9,30  |
|               | OŠTRÍŽENÍ, PROSTRÍŽENÍ DNA    | 140500     | 0,005000    | 262,9  | 1,1107 | 1,4137 |     | 1,31 | 1,46  | 2,06  | 4,84  |
|               | PROTAŽENÍ DNA                 | 150570     | 0,004167    | 262,9  | 1,6964 | 1,4137 |     | 1,10 | 1,86  | 2,63  | 5,58  |
|               | PROSTRÍŽENÍ MONTÁŽNÍCH OTVORŮ | 170500     | 0,005556    | 262,9  | 1,1107 | 1,4137 |     | 1,46 | 1,62  | 2,29  | 5,38  |
|               | CELKEM                        |            | 0,034090    |        |        |        |     | 8,69 | 13,45 | 19,02 | 41,16 |